

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN**

**FACULTAD DE AGRONOMÍA**



**EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO AGRONÓMICO Y CALIDAD  
TECNOLOGICA DE TRIGOS (*Triticum aestivum* L. y *Triticum durum* L.)  
CULTIVADOS EN LA ASCENSIÓN, ARAMBERRI, NUEVO LEÓN.**

**TESIS**

COMO REQUISITO PARA OBTENER EL GRADO DE  
MAESTRO EN CIENCIAS EN PRODUCCIÓN AGRÍCOLA

PRESENTA

**NYDIA DEL CARMEN RAMIREZ CORTEZ**

**GENERAL ESCOBEDO, N.L.**

**DICIEMBRE, 2022**

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN**

**FACULTAD DE AGRONOMÍA**



**EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO AGRONÓMICO Y CALIDAD TECNOLÓGICA DE TRIGOS (*Triticum aestivum* L. y *Triticum durum* L.) CULTIVADOS EN LA ASCENSIÓN, ARAMBERRI, NUEVO LEÓN.**

**TESIS**

COMO REQUISITO PARA OBTENER EL GRADO DE  
MAESTRO EN CIENCIAS EN PRODUCCIÓN AGRÍCOLA

PRESENTA

**NYDIA DEL CARMEN RAMIREZ CORTEZ**

**GENERAL ESCOBEDO, N.L.**

**DICIEMBRE, 2022**

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN**

**FACULTAD DE AGRONOMÍA**



**EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO AGRONÓMICO Y CALIDAD  
TECNOLOGICA DE TRIGOS (*Triticum aestivum* L. y *Triticum durum* L.)  
CULTIVADOS EN LA ASCENSIÓN, ARAMBERRI, NUEVO LEÓN.**

**TESIS**

COMO REQUISITO PARA OBTENER EL GRADO DE  
MAESTRO EN CIENCIAS EN PRODUCCIÓN AGRÍCOLA

PRESENTA

**NYDIA DEL CARMEN RAMIREZ CORTEZ**

**GENERAL ESCOBEDO, N.L.**

**DICIEMBRE, 2022**

ESTA TESIS FUE REVISADA Y APROBADA POR EL  
COMITÉ PARTICULAR COMO REQUISITO PARCIAL  
PARA OBTENER EL GRADO DE  
MAESTRO EN CIENCIAS EN PRODUCCIÓN AGRÍCOLA

COMITÉ PARTICULAR

---

Dr. Guillermo Niño Medina  
Director de Tesis

---

Dr. José Elías Treviño Ramírez  
Co-Director de Tesis

---

M.C. Jesús Andrés Pedroza Flores  
Asesor de Tesis

---

Subdirectora de Estudios de Posgrado  
Dra. Juanita Guadalupe Gutiérrez Soto

## DEDICATORIA

**A DIOS:** Por todas las bendiciones recibidas por ser mi guía, mi consuelo en los momentos difíciles, por acompañarme en cada momento de mi carrera y de mi vida.

**A MI HIJA:** Por su apoyo, comprensión, por ser el motor que me impulsa a seguir adelante.

**A MIS PADRES:** Arturo Ramirez Ortega e Isabel Cortez Gonzalez por cuidarme, protegerme y guiarme para poder seguir superándome. Gracias por su amor.

**A MI FAMILIA:** A mis hermanas Flérida, Rosario, Alma, Verónica, Yesenia y Xochith, a mis hermanos Arturo y Gustavo, a mis cuñadas, cuñados, sobrinas y sobrinos por su apoyo constante, por brindarle alegría y aliento a mi vida.

**A MIS AMIGOS (AS):** M.C. Carina, Ing. Juan Carlos por acompañarme, apoyarme e impulsarme a cumplir mis metas, a mis compañeros Ing. Lucero, Ing. Rocio, Ing. Daniel e Ing. Jesus por ser parte del reto y darle felicidad a mi carrera.

## **AGRADECIMIENTOS**

Al **Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología** (CONACYT), por el recurso económico otorgado para el desarrollo de mis actividades académicas, durante el periodo de estudios.

A la **Facultad de Agronomía** de la **Universidad Autónoma de Nuevo León** por brindarme la oportunidad de continuar con mi preparación académica.

A mi Director de Tesis, por el apoyo y dedicación para que este trabajo fuera terminado

A mis asesores por su tiempo, comprensión, apoyo y dedicación, por estar cada vez que necesite sus sabios consejos.

A mis profesores por el apoyo recibido en el transcurso de mi carrera.

Al personal del CIDIA, Laboratorio de Química y Bioquímica y Laboratorio de Ingeniería por apoyarme y compartir conmigo sus conocimientos, gracias por brindarme su tiempo y los materiales para realizar los análisis en esta investigación. A todas las personas que me brindaron su apoyo cuando quería rendirme, aprecio mucho el tiempo que me dedicaron y sus palabras las cuales me alentaron a seguir adelante.

**¡MUCHAS GRACIAS!**

## ÍNDICE DE CONTENIDO

<b>INDICE DE CONTENIDO</b> .....	IV
<b>INDICE DE CUADROS</b> .....	VIII
<b>INDICE DE FIGURAS</b> .....	X
<b>RESUMEN</b> .....	1
<b>ABSTRACT</b> .....	3
<b>1. INTRODUCCIÓN</b> .....	5
<b>1.1 Hipótesis</b> .....	7
1.1.1. General.....	7
1.1.2. Específicas .....	7
1.2. Objetivos.....	8
1.2.1. Objetivo general .....	8
1.2.2. Objetivos específicos .....	8
<b>2. REVISIÓN DE LITERATURA</b> .....	9
2.1. Producción de trigo .....	9
2.1.1. Producción mundial.....	9
2.1.2. Producción nacional.....	10
2.1.3. Producción estatal.....	11
2.2. Descripción general del trigo .....	11
2.2.1. Importancia del cultivo .....	11
2.2.2. Clasificación taxonómica del trigo.....	12
2.2.3. Morfología del trigo .....	12
2.2.4. Desarrollo fenológico de la planta de trigo .....	18
2.2.5. Clasificación de las variedades comerciales .....	19
2.2.6. Condiciones edafoclimáticas para el establecimiento del trigo ...	23

2.2.7. Enfermedades (Roya) .....	23
2.2.8. Requerimientos nutricionales del trigo .....	26
2.2.9. Procedimiento industrial del trigo (producción de harina) .....	26
2.2.10. Pruebas de calidad en la harina de trigo .....	30
2.2.11. Pruebas de color .....	31
2.2.12. Falling Number (número de caída) .....	32
2.2.13. Farinógrafo de Brabender .....	32
2.2.14. Extensibilidad de la masa .....	33
2.2.15. Propiedades nutricionales del trigo .....	34
<b>3. MATERIALES Y MÉTODOS .....</b>	<b>38</b>
3.1. Localización del experimento .....	38
3.2. Material genético .....	39
3.3. Diseños experimentales.....	39
3.4. Preparación del terreno para la siembra .....	40
3.5. Variables agronómicas .....	41
3.5.1. Altura de la planta (cm) .....	41
3.5.2. Longitud de la espiga (cm) .....	41
3.5.3. Numero de espiguillas por espiga .....	41
3.5.4. Madurez fisiológica .....	41
3.5.5. Número de granos por espiga .....	41
3.5.6. Rendimiento del grano por hectárea (t ha <sup>-1</sup> ) .....	42
3.5.7. Peso de mil semillas (g) .....	42
3.5.8. Rendimiento de forraje por hectárea (t ha <sup>-1</sup> ).....	42
3.5.9. Cosecha .....	42
3.5.10. Humedad del grano .....	43
3.6. Molienda .....	43
3.7. Rendimiento de la harina .....	44



3.8. Color de la harina .....	44
3.9. Extensibilidad de la masa .....	44
3.10. Evaluacion tecnológica del pan .....	45
3.10.1. Formulación y elaboración del pan .....	45
3.10.2. Perdida de peso durante el horneado .....	46
3.10.3. Textura del pan .....	46
3.10.4. Color del pan .....	46
3.11. Evaluacion tecnológica de pasta tipo espagueti .....	47
3.11.1. Formulación y elaboración de pasta tipo espagueti .....	47
3.11.2. Color de la pasta .....	47
3.11.3. Fracturabilidad .....	47
3.11.4. Corte .....	47
3.12. Analisis Estadístico .....	48
<b>4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....</b>	<b>49</b>
4.1. Trigos harineros .....	49
4.2. Trigos cristalinos .....	59
<b>5. CONCLUSIONES .....</b>	<b>70</b>
<b>6. BIBLIOGRAFÍA .....</b>	<b>72</b>

## ÍNDICE DE CUADROS

<b>Cuadro</b>		<b>Página</b>
<b>1</b>	Clasificación taxonómica del trigo	<b>12</b>
<b>2</b>	Desarrollo fenológico de la planta de trigo	<b>19</b>
<b>3</b>	Producción de trigo de acuerdo a las características de textura del endospermo	<b>22</b>
<b>4</b>	Requerimiento nutrimental del trigo	<b>26</b>
<b>5</b>	Rangos de valores de Falling Number	<b>32</b>
<b>6</b>	Composición química de diferentes granos de trigo	<b>35</b>
<b>7</b>	Contenido de minerales	<b>35</b>
<b>8</b>	Contenido de vitaminas trigo duro	<b>35</b>
<b>9</b>	Composición química de productos elaborados a base de trigo	<b>36</b>
<b>10</b>	Contenido de minerales de productos final a base de trigo	<b>37</b>
<b>11</b>	Tratamientos evaluados	<b>39</b>
<b>12</b>	Resultados obtenidos de tratamientos evaluados en las variables altura de planta, número de hojas por planta, número de macollos por planta, longitud de la espiga, número de espiguillas por espiga y número de granos por espiga	<b>50</b>
<b>13</b>	Resultados obtenidos en peso de mil granos, forraje seco por hectárea, rendimiento de grano por hectárea y días a madurez comercial de los tratamientos evaluados	<b>52</b>
<b>14</b>	Color en harinas obtenidas de trigos harineros	<b>55</b>
<b>15</b>	Extensibilidad de la masa de trigo harinero	<b>56</b>
<b>16</b>	Altura, pérdida de peso durante el horneado y dureza del pan elaborado a partir de harina de trigos harineros	<b>58</b>
<b>17</b>	Color de la corteza de pan	<b>59</b>
<b>18</b>	Resultados obtenidos de tratamientos evaluados en las variables altura de planta, número de hojas por planta, número de macollos por planta, longitud de la espiga, número de espiguillas por espiga y número de granos por espiga.	<b>60</b>

<b>19</b>	Peso de mil granos, forraje por hectárea, rendimiento de grano por hectárea y días a madurez fisiológica de trigos macarroneros.	<b>62</b>
<b>20</b>	Diferencias de color en la harina de <i>Triticum durum</i> L.	<b>64</b>
<b>21</b>	Extensibilidad de la masa	<b>65</b>
<b>22</b>	Color de la pasta	<b>66</b>

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura</b>		<b>Página</b>
1	Producción mundial de trigo (SIAP, 2021)	9
2	Principales países productores de trigo (FAO, 2021)	10
3	Producción nacional de trigo (SIAP, 2021)	10
4	Producción estatal de trigo (SIAP, 2021)	11
5	Raíz del trigo	13
6	Planta de trigo	14
7	A. Inflorescencia de trigo; B. Flores de trigo	15
8	A. Espiga de trigo madura; B. Espiga de trigo en campo	15
9	Granos de trigo ( <i>Triticum aestivum</i> L. y <i>Triticum durum</i> L.)	16
10	Anatomía del grano de trigo	17
11	Escala Zadok	18
12	Evolución genética del trigo	20
13	Granos de trigo ( <i>Triticum durum</i> L.)	20
14	Granos de trigo ( <i>Triticum aestivum</i> L.)	21
15	Roya de la hoja ( <i>Puccinia recondita</i> )	24
16	Roya amarilla o estriada ( <i>Puccinia striiformis</i> )	25
17	Roya del tallo ( <i>Puccinia graminis</i> f. sp. <i>Triticì</i> )	25
18	Diagrama de flujo de las etapas de producción industrial de la harina	27
19	Proceso industrial de la harina	30
20	Esquema de lectura de Farinógrafo de Brabender	33
21	Proceso industrial de la harina	34
22	Productos elaborados a base de trigo	36
23	Temperatura semanal promedio durante el ciclo del cultivo	38
24	Mapa del diseño experimental en campo	40
25	Humedad de grano de trigo ( <i>Triticum aestivum</i> L.)	53
26	Rendimiento de harina ( <i>Triticum aestivum</i> L.)	54
27	Humedad de grano de trigo ( <i>Triticum durum</i> L.)	63

<b>28</b>	Rendimiento de harina de trigo ( <i>Triticum durum</i> L.)	<b>63</b>
<b>28</b>	Fracturabilidad de la pasta	<b>67</b>
<b>29</b>	Fuerza requerida al corte en pasta cocida	<b>67</b>

## RESUMEN

Los trigos harineros (*Triticum aestivum* L.) y cristalinos (*Triticum durum* L.) son de gran importancia en la alimentación humana ya que tienen un alto contenido de vitaminas, minerales y proteínas. Son utilizados en la industria para la elaboración de pan, pasta, tortillas y repostería.

El objetivo de este trabajo fue evaluar las variables agronómicas y calidad tecnológica de cuatro genotipos de *Triticum aestivum* L. y tres genotipos de *Triticum durum* L.

Este trabajo de investigación se realizó en el campus de la Facultad de Agronomía UANL Unidad Académica La Ascensión. Los tratamientos fueron evaluados con un diseño de bloques completos al azar con cuatro repeticiones. Evaluando variedades harineras: San Isidro, Floreña, Norteña, Conatrigo, y macarroneras: Conasist, Barobampo y Anatoly.

Los resultados en los trigos harineros mostraron que el T4 H (Conatrigo F-2015) tuvo un mejor comportamiento en longitud de la espiga, espiguillas por espiga, granos por espiga y mayor rendimiento en granos por hectárea, forraje seco por hectárea y una tonalidad clara en la harina, en el pan obtuvo mayor porcentaje de pérdida de humedad al horneado, mayor altura del pan, tonos más claros en la corteza y mayor fuerza para su deformación.

En los trigos cristalinos el que mostro mayor altura de planta, número de hojas, longitud de la espiga, número de espiguillas por espiga, peso de mil granos, rendimiento de grano por hectárea, rendimiento de forraje seco por hectárea, peso de forraje seco por

hectárea, humedad del grano, rendimiento de harina y una tonalidad más oscura en la harina fue el tratamiento T3 M (Anatoly C-2011).

En la extensibilidad de la masa y tono de pasta mostraron comportamientos similares.

El tratamiento T2 M (Barobampo C-2015) requirió de mayor fuerza de compresión en la pasta para llegar a romperse y menor fuerza para el corte en la pasta cocida.

Palabras clave: *Trigo, Calidad, Harina, Pan, Pasta*

## ABSTRACT

Bread wheat (*Triticum aestivum* L.) and crystalline wheat (*Triticum durum* L.) are of great importance in human nutrition since they have a high content of vitamins, minerals and proteins. They are used in the industry for the preparation of bread, pasta, tortillas and confectionery.

The objective of this work is to evaluate the agronomic variables and technological quality of four genotypes of *Triticum aestivum* L. and three genotypes of *Triticum durum* L.

This research work was carried out on the campus of the UANL Faculty of Agronomy, La Ascensión Academic Unit. The treatments were evaluated with a randomized complete block design with four replications. Evaluating flour varieties: San Isidro, Floreña, Norteña, Conatrigo, and macaroni varieties: Conasist, Barobampo and Anatoly.

The results in the bread wheats showed that the T4 H (Conatrigo F-2015) had a better performance in spike length, spikelets per spike, grains per spike and higher yield in grains per hectare, dry forage per hectare and a light tonality. in the flour, in the bread it obtained a higher percentage of moisture loss when baked, higher bread height, lighter tones in the crust and greater strength for its deformation.

In durum wheats, the one that showed the highest plant height, number of leaves, spike length, number of spikelets per spike, thousand grain weight, grain yield per hectare,



dry forage yield per hectare, dry forage weight per hectare, grain moisture, flour yield and a darker shade in the flour was the T3 M treatment (Anatoly C-2011).

In the extensibility of the dough and paste tone they showed similar behaviors. The T2 M treatment (Barobampo C-2015) required greater compressive force in the pasta to break and less force for cutting in the cooked pasta.

Keywords: *Wheat, Quality, Flour, Bread, Pasta.*

## 1. INTRODUCCIÓN

El trigo es uno de los cereales de mayor importancia en producción agrícola y como alimento esencial en la dieta humana (Mazid *et al.*, 2009). Se distingue de otros granos debido a su gran versatilidad para la preparación de distintos alimentos debido a las propiedades viscoelásticas únicas de la masa de trigo (Peña-Bautista *et al.*, 2017).

Gracias a su diversidad genética, para satisfacer la demanda se han desarrollado distintas variedades con diferentes propósitos de consumo, aproximadamente el 95% de la producción mundial es de trigo harinero (*Triticum aestivum* L.) y el 5% de trigo duro (*Triticum durum* L.) (Cámara-Salim *et al.*, 2020). Aporta alto valor nutricional ya que contiene vitaminas B1 (tiamina), B2 (riboflavina), niacina, B6 (piridoxina) E, hierro y zinc, aminoácidos esenciales, es fuente de carbohidratos, proteínas (aproximadamente de 8 a 12 %), microelementos, fibra dietética, compuestos no proteicos como celulosa, hemicelulosa y polifenoles (Miller *et al.*, 2011, Zheng *et al.*, 2021).

Los principales países productores de trigo en el mundo estuvieron encabezados en el 2020 por China, India, Rusia y Estados Unidos, con una producción mundial de 760.92 millones de T de acuerdo con datos de la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO, 2021). En el ranking mundial, México se posicionó en el trigésimo tercer lugar, con una producción de 2,986,689 T (SIAP, 2021).

En nuestro país, los estados que aportan los mayores volúmenes de producción son: Sonora, Guanajuato, Sinaloa, Baja California y Michoacán, destacando el estado de Sonora con un volumen de producción de 1,532,757.29 T en el año 2020. A nivel nacional, Nuevo León figura en el noveno lugar con un registro de volumen de producción de 23,149.44 T en el mismo año (SIAP, 2021).

En el estado de Nuevo León, los principales municipios productores de trigo son: Cadereyta Jiménez, Los Ramones, Pesquería. También hay producción en Galeana, General Terán, Cerralvo, China, Anáhuac, Montemorelos, Doctor González y Aramberri. De los anteriores mencionados, destacó el municipio de Cadereyta Jiménez en el Año Agrícola 2020, con un volumen de producción de 4,918 T (SIAP, 2021).

Para poder mejorar las cosechas de trigo e incrementar su rendimiento es necesario adoptar medidas como ajustar las fechas de siembra, mejorar el manejo de drenaje de suelo, usar cultivares resistentes, realizar análisis de suelo, aportar materia orgánica y uso de coberturas (para mejorar la salud del suelo, cantidad de nutrientes disponibles y evitar la erosión) (Schiedung *et al.*, 2019). Además, se recomienda realizar rotación de cultivos para reducir la incidencia de plagas y enfermedades, y poder facilitar el control de malezas, utilizar fertilizantes para el crecimiento de raíces y tener disponibilidad de nutrientes (Nazu *et al.*, 2021).

En la predicción sobre el comercio mundial de trigo en el año 2021/22 se pronostica un 0.9 % de aumento en la producción lo que representa 770 millones de T gracias al incremento en el consumo dietético y el uso industrial. (FAO, 2021).

## 1.1. Hipótesis

### 1.1.1. General

- El comportamiento de las variables agronómicas y calidad tecnológica del trigo dependen de la especie y la variedad.

### 1.1.2. Específicas

- Existe diferencia en el comportamiento agronómico entre variedades de *Triticum aestivum* L. y *Triticum durum* L. considerando el ambiente en La Ascensión, Aramberri, Nuevo León.
- Existe diferencia entre las variedades de trigo harinero en la calidad tecnológica del pan.
- Existe diferencia entre variedades de trigo cristalino en la calidad tecnológica de pasta tipo espagueti.

## 1.2. Objetivos

### 1.2.1. Objetivo general

- Evaluar las variables agronómicas y calidad tecnológica de cuatro genotipos de *Triticum aestivum* L. y tres genotipos de *Triticum durum* L.

### 1.2.2. Objetivos específicos

- Determinar el comportamiento agronómico de las variedades de *Triticum aestivum* L. y *Triticum durum* L.
- Evaluar la calidad tecnológica de las harinas y el pan elaborado con las variedades de *Triticum aestivum* L.
- Estimar la calidad tecnológica de harinas y pasta elaboradas a partir de las variedades de *Triticum durum* L.

## 2. REVISIÓN DE LITERATURA

### 2.1. Producción de trigo

#### 2.1.1. Producción mundial

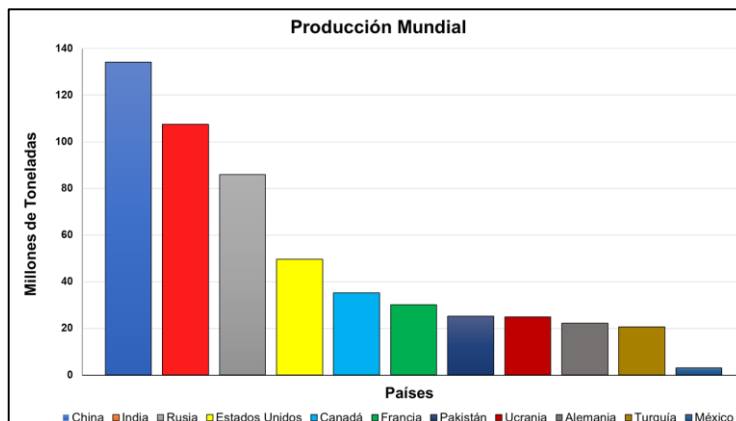
De acuerdo con datos de la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura, la producción mundial de trigo en los últimos cinco años se ha mantenido por encima de los 720 millones de T como se muestra en la Figura 1.

En el año 2020 la superficie cultivada fue de 219,006,893 ha., con un rendimiento de 3.47 T ha<sup>-1</sup>, y una producción total de 760.93 millones de T.



**Figura 1.** Producción mundial de trigo (SIAP, 2021).

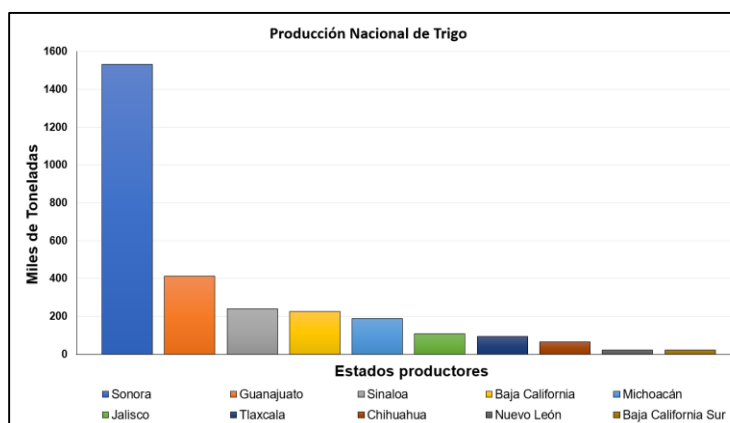
El principal país productor en el año 2020 fue China con 134.26 millones de T, seguido por la India, Rusia, Estados Unidos, Canadá, Francia, Pakistán, Ucrania, Alemania y Turquía ver Figura 2. En el ranking mundial, México se posicionó en el trigésimo tercer lugar, con una producción de 2,986,689 T (FAO, 2021).



**Figura 2.** Principales países productores de trigo (FAO, 2021).

### 2.1.2. Producción nacional

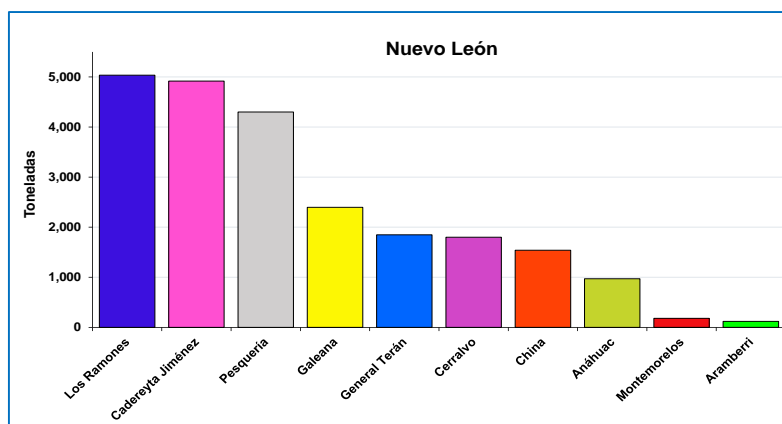
En México, los estados que aportan los mayores volúmenes de producción son: Sonora, Guanajuato, Sinaloa, Baja California, Michoacán, Jalisco, Tlaxcala, Chihuahua, Nuevo León y Baja California, donde el principal estado productor aporta un volumen de 1,532,757 T, mientras que el estado de Nuevo León se encuentra en el noveno lugar con un registro de producción de 23,149 T en el año 2020 como se muestra en la Figura 3 (SIAP, 2021).



**Figura 3.** Producción nacional de trigo (SIAP, 2021).

### 2.1.3. Producción estatal

En Nuevo León, los municipios productores de trigo son Los Ramones, Cadereyta Jiménez, Pesquería, Galeana, General Terán, Cerralvo, China, Anáhuac, Montemorelos y Aramberri. Donde el municipio de Los Ramones en el Año Agrícola 2020, aportó un volumen de 5,036 T, mientras el municipio de Aramberri aportó 120 T ver Figura 4 (SIAP, 2021).



**Figura 4.** Producción estatal de trigo (SIAP, 2021).

## 2.2. Descripción general del trigo.

### 2.2.1. Importancia del cultivo

El trigo es uno de los principales cultivos a nivel mundial, se distribuye en distintas regiones climáticas, ecológicas y geográficas de todo el mundo, siendo uno de los alimentos básicos para el consumo humano, la alimentación animal y las materias primas industriales (Le *et al.*, 2019). En la dieta humana es utilizado principalmente para la panificación debido a su excelente rendimiento de horneado, aunque esto depende de algunos factores genéticos, el tipo de trigo y la harina que se utilice para hacer el pan (Dziki *et al.*, 2014, Gill *et al.*, 2004). Además, también se usa en la



elaboración de pastas, las cuales aportan proteínas, vitaminas, minerales, fibra y algunos fitoquímicos (Groth *et al.*, 2020).

### 2.2.2. Clasificación taxonómica del trigo

Reino	Vegetal
División	Tracheophyta
Subdivisión	Pteropsidae
Clase	Angiospermae
Subclase	Monocotyledonae
Grupo	Glumiflora
Orden	Graminales
Familia	Poaceae
Tribu	Triticeae
Subtribu	Triticineae
Genero	Triticum
Especie	Aestivum, Durum, Turgidum, etc.

**Cuadro 1.** Clasificación taxonómica del trigo (Villarreal, 2014).

### 2.2.3. Morfología del trigo

#### Raíz

Dispone de un sistema radical fasciculado y tiene dos orígenes: las raíces primarias o seminales y por raíces secundarias o adventicias, las raíces primarias provienen de la germinación del embrión, las cuales son funcionales desde la nascencia hasta el comienzo del ahijamiento y constituida por una raíz principal y de 4 a 5 raíces laterales ver Figura 5 (Moreno, *et al.*, 2001).



**Figura 5.** Raíz del trigo. Fuente:  
[http://www7.uc.cl/sw\\_educ/cultivos/cereales/trigo/hojas.htm](http://www7.uc.cl/sw_educ/cultivos/cereales/trigo/hojas.htm).

Las raíces secundarias nacen del primer nudo del tallo, a partir del ahijamiento, para sustituir a las raíces primarias y cesando su emisión al iniciarse el encañado, aunque a veces puede prolongarse a fases posteriores. En general, el crecimiento radicular termina en el espigado e incluso se puede llegar a degenerar durante el proceso de formación del grano, aunque en condiciones óptimas de nutrientes y agua pueden continuar creciendo incluso en esta etapa, cumplen la función de sostén y absorción a las cuales se denomina sistema radical fibroso o fasciculado, la cantidad y el desarrollo de estas depende de la especie, variedad y circunstancias del medio (temperatura, humedad, suelo, profundidad de siembra etc.) (Mateo, 2005).

### **Tallo.**

El tallo del trigo es una caña con nudos y entrenudos la altura puede alcanzar hasta un metro de longitud, aunque según la especie esta puede variar, el número de tallos (macollos) también varía dependiendo del cultivar, la densidad y profundidad de siembra, las condiciones ambientales, así como de la humedad y fertilidad del suelo, cada tallo puede tener entre 5 y 7 nudos de los cuales solo en 4 se desarrollan hojas ya que los otros son entrenudos cortos y se encuentran cerca o debajo de la superficie

del suelo, el macollamiento es una característica deseable ya que estos pueden producir espigas o panículas y con esto aumentar el rendimiento en grano, en la Figura 6 se observan plantas de trigo (Lersten, 1987).

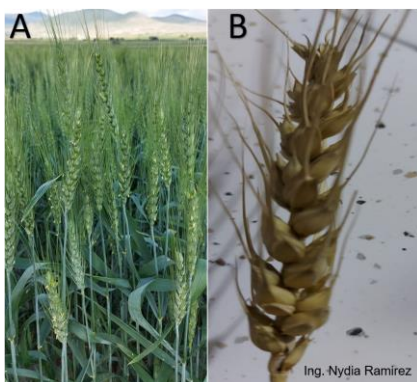


**Figura 6.** *Planta de trigo.*  
*Fuente: personal.*

### **Inflorescencia.**

Es una espiga, cuya estructura compuesta de un tallo central con nudos y entrenudos cortos llamado raquis. Cada entrenudo del raquis es angosto en la base y ancho en el ápice, sus márgenes presentan variabilidad en lo largo. La unidad de la espiga es la espiguilla que está en forma alterna y laxa o compacta llevando cada una de dos a cinco antecios dispuestos sobre una raquilla, cada uno de los antecios se compone de una lemma o glumela inferior. Cuando el trigo es aristado, las aristas se originan en la punta de los órganos sexuales, generalmente dos o tres flores son fértiles en cada espiguilla cada flor está compuesta por tres estambres con anteras alargadas que contienen polen y en el centro un pistilo con un solo ovario de dos estilos que están rematados en dos estigmas, así como dos pequeños órganos redondeados llamados

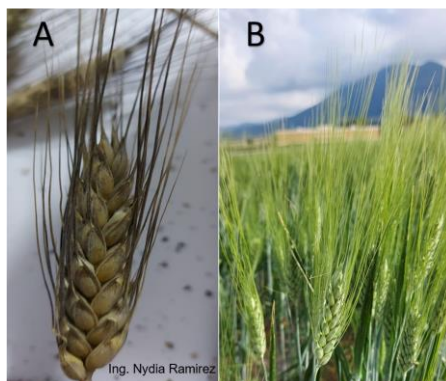
lodículos o glomélulas. En la antesis, las lodículos se hinchan afuera y con ellas se produce la apertura de la flor ver Figura 7. A y B (Moreno *et al.*, 2001).



**Figura 7.** A. Inflorescencia de trigo; B. Flores de trigo Fuente: Personal.

### Espiguilla

Está compuesta de dos brácteas estériles o glumas vacías y de dos o cinco flores, existen algunas diferencias entre las espigas de trigo ya que se pueden ver con diferente forma, largo, ancho y grado de compactación que, de acuerdo con su forma, reciben diferentes nombres como: fusiformes, oblongas, clavadas, elípticas, etc. Ver Figura 8. A y B (Moreno *et al.*, 2001).



**Figura 8.** A. Espiga de trigo madura; B. Espiga de trigo en campo. Fuente: Personal.

## Grano

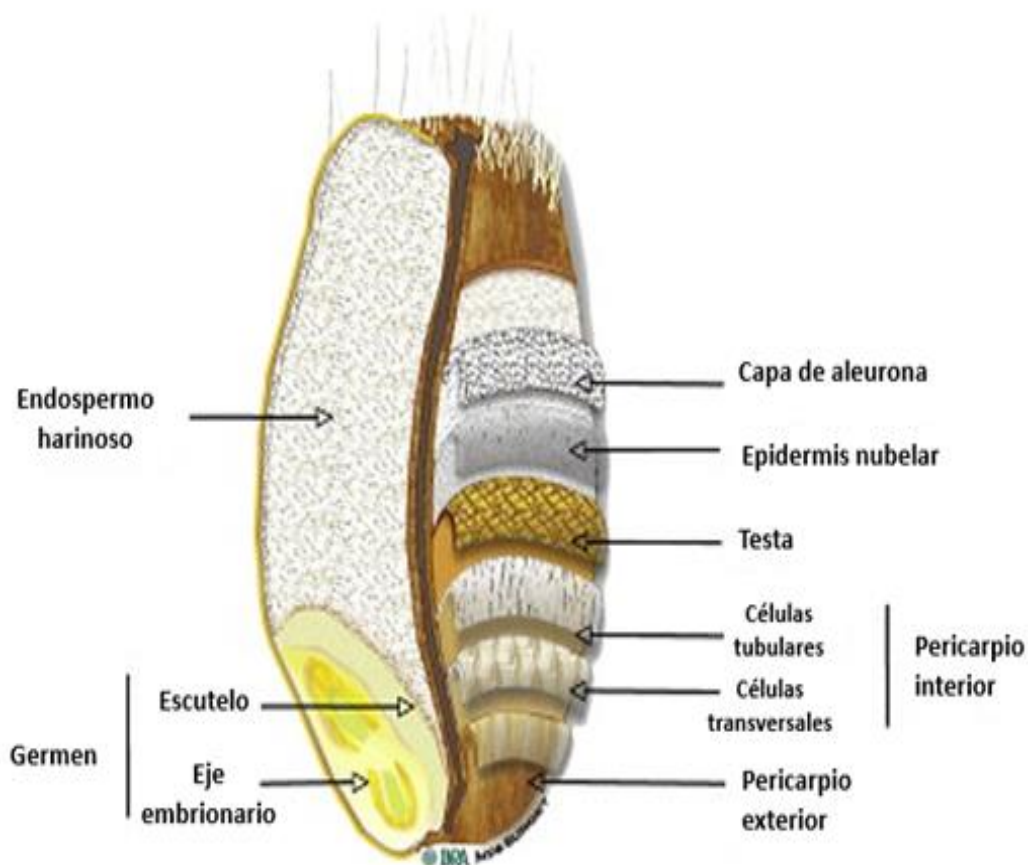
Los granos de trigo son redondos de la parte dorsal, en la parte ventral tiene un surco a lo largo (lado opuesto al germen), este surco abarca aproximadamente toda la longitud del grano y penetra casi a llegar al centro, estos surcos aparte que dificultan la separación del endospermo, constituyen un foco de contaminación de microorganismos y de polvo. El grano es de forma alargada con una semilla de 6 a 8 mm de largo y de 3 a 4 mm de ancho, aunque su tamaño puede variar dependiendo de la variedad y de la posición en la que se encuentre en la espiga, su textura y color también varía en gran medida dependiendo del tipo y presencia de los pigmentos de la cubierta de la semilla, puede ser color blanco o rojo (aunque hay algunos en color púrpura) el tipo y presencia de pigmentos puede ser manipulado genéticamente para obtener el color deseado ver Figura 9 (Salas, 2016).



**Figura 9.** Granos de trigo *Triticum aestivum* L. y *T. durum* L. Fuente: Personal.

Desde el punto de vista industrial el grano de trigo está dividido en tres partes fundamentales: cubiertas (salvado), endospermo y el germen (Figura 10). Las cubiertas son las que van a componer el salvado al momento de la separación de la molienda e integran entre el 13 y 17% del peso del grano en base seca, se dividen en

pericarpio externo e interno y aquí se puede localizar la capa de aleurona la cual es eliminada al momento de la molienda. El endospermo se encuentra en la parte central del grano tiene menor contenido de minerales y proteínas a comparación del salvado. El endospermo harinero es la parte más importante para efectos alimenticios el cual representa aproximadamente el 80% del grano en base seca. El germen se encuentra en la parte interna de la semilla y representa entre el 2 y 3.5% del grano, contiene un alto contenido de proteínas, grasas y vitaminas (Mir, 2016).



**Figura 10.** Anatomía del grano de trigo (Saulnier et al., 2012, modificado de Surget y Barron, 2005).

### 2.2.4. Desarrollo fenológico de la planta de trigo

Para evaluar la etapa del cultivo y describir los estados fenológicos de las plantas es común utilizar escalas fenológicas, en el caso del trigo la escala Zadoks describe el ciclo del cultivo en diez etapas con el código decimal lo que hace más fácil la detección del desarrollo y la fase en la que se encuentre para poder hacer una buena aplicación de nutrientes, suministro de agua y aplicación de herbicidas ver Figura 11 y Cuadro 2 para estado fenológico de cultivo de trigo (Zadoks *et al.*, 1974).

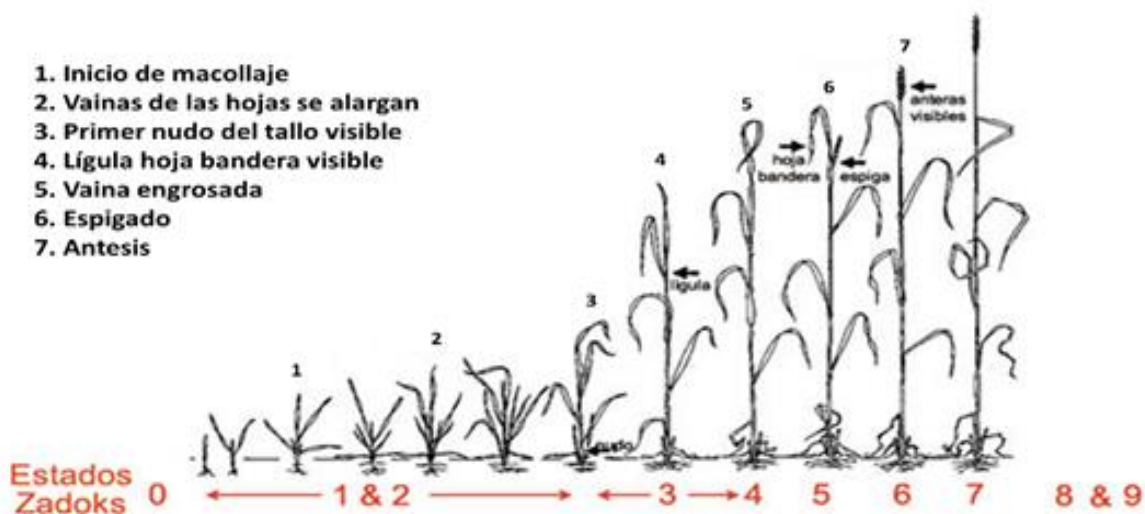


Figura 11. Escala Zadok (CIMMYT).

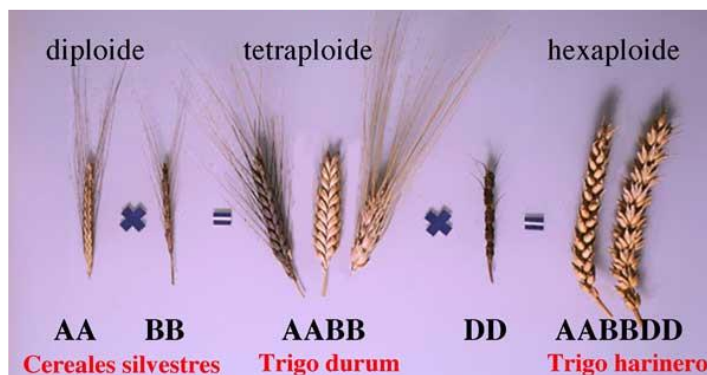
**Cuadro 2.** Desarrollo fenológico de la planta de trigo. Fuente: Tottman, 1987.

Código	Etapas de desarrollo	Descripción
0	Germinación	Inicio de la imbibición (absorción de agua hasta el crecimiento de la radícula).
1	Producción de hojas	Desplegamiento de la primera hoja.
2	Producción de macollos	Brote principal y macollaje
3	Producción de nudos del tallo principal (encañado)	Desde el primer nudo visible hasta la aparición de la hoja bandera.
4	Vaina engrosada	Extensión de la vaina de la hoja bandera hasta las primeras aristas visibles.
5	Espigado	Desde la primera espiguilla visible hasta la emergencia de inflorescencia completa.
6	Antesis	Desde que inicia la floración hasta que culmina.
7	Estado lechoso del grano	Grano lechoso de 3mm de largo y líquido transparente hasta grano lechoso tardío (contenido húmedo y pegajoso cuando se tritura).
8	Estado pastoso del grano	Grano suave contiene aproximadamente 50% de humedad el color verde se desaparece hasta grano duro.
9	Madurez	Grano duro con 30% de humedad aproximadamente.

### 2.2.5. Clasificación de las variedades comerciales

Las variedades de trigo cultivadas en la actualidad han evolucionado por diferenciación genómica como trigo tetraploide se menciona la especie *Triticum durum* L. ( $2n = 4x = 28$ ) con dos sub-genomas A, B (Caballero, 2005). El germoplasma Hexaploide del *Triticum aestivum* L. ( $2n = 6x = 42$ ) con tres sub-genomas, A, B, D, (Figura 12) se desarrolló mediante un número desconocido de cruas independientes que involucran padres tetraploides y diploides, dando como resultado el trigo con el cual se alimenta casi el 30% de la población mundial (Rangan *et al.*, 2017, Murphy *et al.*, 1997).





**Figura 12.** Evolución genética del trigo. Fuente: Rivero F. 2015.

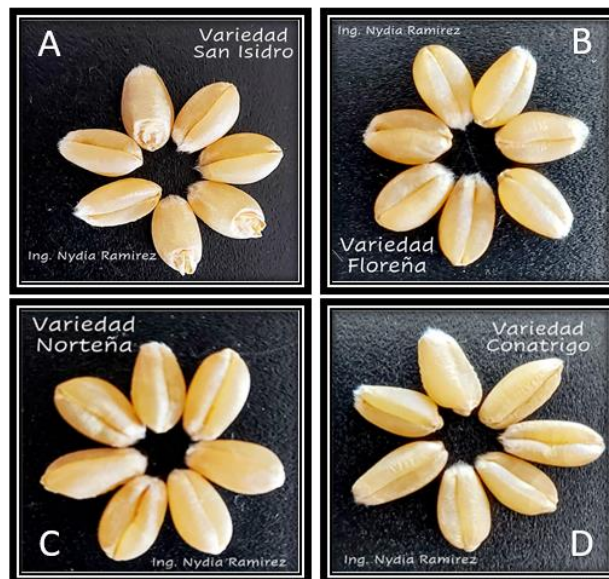
Dependiendo de su variedad botánica se clasifican en dos grupos: trigos duros y trigos blandos. Los trigos duros se caracterizan por tener un grano duro, largo y estrecho, con los extremos un poco en forma de punta. Tienen un peso elevado y dan lugar a harinas gruesas, arenosas y fáciles de comer, con gran cantidad de gluten, son utilizados en la fabricación de macarrones, espagueti y otras pastas alimenticias ver Figura 13 (Polo, 2010).



**Figura 13.** Granos de trigo (*Triticum durum* L.). Fuente: personal.

Los trigos blandos son de forma ovalada con extremos redondeados donde se encuentra el germen y al otro lado un mechón de finos pelos llamado pincel, con la molienda del grano se produce la harina la cual es utilizada en la producción de panes,

tortillas, pastas, galletas, atoles, papillas, obleas y pasteles ver Figura 14 (Rodríguez-González *et al.*, 2011).



**Figura 14.** Granos de trigo (*Triticum aestivum* L.) A. T1 H, B. T2 H, C. T3 H, D. T4 H. Fuente: Personal.

Según Mateo (2005) las características que difieren entre trigos duros y blandos o harineros se basa en la cubierta de grano ya que el trigo duro tiene una cubierta más fina y de color claro, en monogástricos se presenta una mayor digestibilidad de proteínas (trigo blando 10% y trigo duro 15%) y almidón, tiene poca elasticidad, gluten normal, con mayor aptitud para producir pastas duras con aspecto agradable y de fácil secado, por el contrario el trigo blando o harinero tiene mayor producción en grano, mayor resistencia al encamado, predomina el almidón, mayor rendimiento en pan (kg pan/kg harina).

Clasificación de trigo de acuerdo a sus características de textura del endospermo y la fuerza de gluten.

I = Grano fuerte (gluten fuerte y extensible)

II = Grano medio fuerte (gluten medio fuerte y extensible)

III = Suave (gluten débil tenaz poco extensible)

IV = Grano corto y tenaz (gluten tenaz poco extensibles)

V = Grano Cristalino (gluten medio fuerte a fuerte y tenaz)

El grupo I es utilizado en los procesos mecanizados de panificación donde la masa debe de tolerar el intenso trabajo a la que es sometida para la elaboración de pan de caja, el grupo II son aptos para la producción semi mecanizado y manual de pan hecho a mano y pasteles, el grupo III y IV al mezclarlos con el grupo I y II se utilizan para hacer galletas, repostería, tortillas y buñuelos, el grupo V es utilizado en la industria para realizar pastas y alimento para consumo animal siendo este grupo el que tiene mayor rendimiento en producción y T ha<sup>-1</sup> como se muestra en el Cuadro 3 (SIAP 2021, Peña *et al.*, 1998).

**Cuadro 3.** Producción de trigo de acuerdo a las características de textura del endospermo. Fuente: SIAP. 2021.

Grano de trigo	Área cosechada	Producción (T)	Rendimiento (T ha <sup>-1</sup> )	Valor en producción (miles de pesos)
Grano fuerte	178,591.35	993,197.10	5.56	4,713,530.92
Grano medio fuerte	3,772.20	8,042.17	2.13	37,215.23
Grano suave	195,192.41	779,011.97	3.99	3,739,221.86
Grano corto y tenaz	7,785.88	13,534.04	1.74	56,352.32
Grano cristalino	175,939.95	1,192,903.96	6.78	5,803,960.48
<b>Total</b>	<b>561,281.79</b>	<b>2,986,689.24</b>	<b>5.32</b>	<b>14,350,280.8</b>

### **2.2.6. Condiciones edafoclimáticas para el establecimiento del trigo**

El cultivo se siembra a una profundidad de 3 a 6 cm, a una distancia entre hileras de 15 a 20 cm, requiere de una capa arable de al menos 20 cm, con un pH entre 7 y 8.5, aunque resiste pH de 5 a 7 ya que los cereales con suelos moderadamente ácidos crecen muy bien, prefiere suelos pesados(arcillosos) ya que este cereal en este tipo de suelos es el que rinde mejor, la temperatura media en el verano debe de ser de 13°C, durante la floración no debe de alcanzar los 30°C ya que puede causar esterilidad completa en esta etapa (Villarreal, 2014).

### **2.2.7. Enfermedades (Royas)**

El trigo puede ser afectado por algunas enfermedades, la mayoría de ellas de origen fúngico, como la roya de la hoja *Puccinia recondita*, la roya amarilla *Puccinia striiformis* y la roya del tallo *Puccinia graminis* f. sp. *tritici*. Se ha estimado que las pérdidas en el rendimiento de grano pueden ser hasta de 80% en variedades susceptibles, el deterioro en la calidad se debe a que el grano afectado queda chupado, disminuyendo radicalmente el peso hectolítrico, cuya característica está estrechamente relacionada con la producción y calidad de la harina (Ramírez *et al.*, 2016).

De acuerdo con Carrasco (2009), las características de los diferentes tipos de roya son los siguientes:

Roya de la hoja (*Puccinia recondita*) se presentan pústulas pequeñas pulverulentas anaranjadas o café anaranjadas en la cara superior de la hoja. Aparece desde el macollaje hasta la espigazón en forma uniforme en el lote cuando tiene las condiciones favorables de temperaturas de alrededor de 20 °C, días soleados y formación de rocío durante varias horas. Produce una disminución de rendimiento, menor número de

granos por espiga y menor calidad. Es una enfermedad de importancia moderada-alta (Figura 15).



**Figura 15.** Roya de la hoja (*Puccinia recondita*). Fuente: Senasica 2015.

Roya amarilla o estriada (son pústulas de color amarillo limón, que se disponen en forma lineal sobre las hojas (estrías). Asimismo, pueden producirse sobre las glumas. Aparece desde el macollaje hasta la espigazón, con temperaturas de 10 a 15 °C, elevada humedad del ambiente, días ventosos y rocíos fuertes. Son necesarias 6 h de agua libre sobre la superficie foliar para la producción de reinfecciones continuas. Produce una disminución de rendimiento, menos granos por espiga, menor llenado de granos y disminución de calidad. Es una enfermedad de moderada-alta importancia (Figura 16).



**Figura 16.** Urediniosporas de Roya amarilla o estriada (*Puccinia striiformis* f. sp. tritici) y síntomas de la hoja. Fuente (Raupp, 2019).

Roya del tallo (*Puccinia graminis* f. sp. tritici) aparece principalmente en los tallos y las vainas foliares, aunque las hojas y espigas también pueden verse infectadas. El hongo rompe la epidermis y es de color café rojizos. Las pústulas son grandes, ovales o alargadas con residuos de epidermis a los lados. Los daños se observan en el haz y en el envés de las hojas, al final del ciclo del cultivo. Se desarrolla a temperaturas más altas (30 °C es la óptima) que las otras royas del trigo, razón por la cual se constituye como una enfermedad del periodo reproductivo. La enfermedad se ve favorecida por la siembra de cultivares susceptibles, siembras en alta densidad, altas dosis de nitrógeno ver Figura 17.



**Figura 17.** Roya del tallo (*Puccinia graminis* f. sp. Tritici). Fuente: (Seling, 2015).

### 2.2.8. Requerimientos nutricionales del trigo

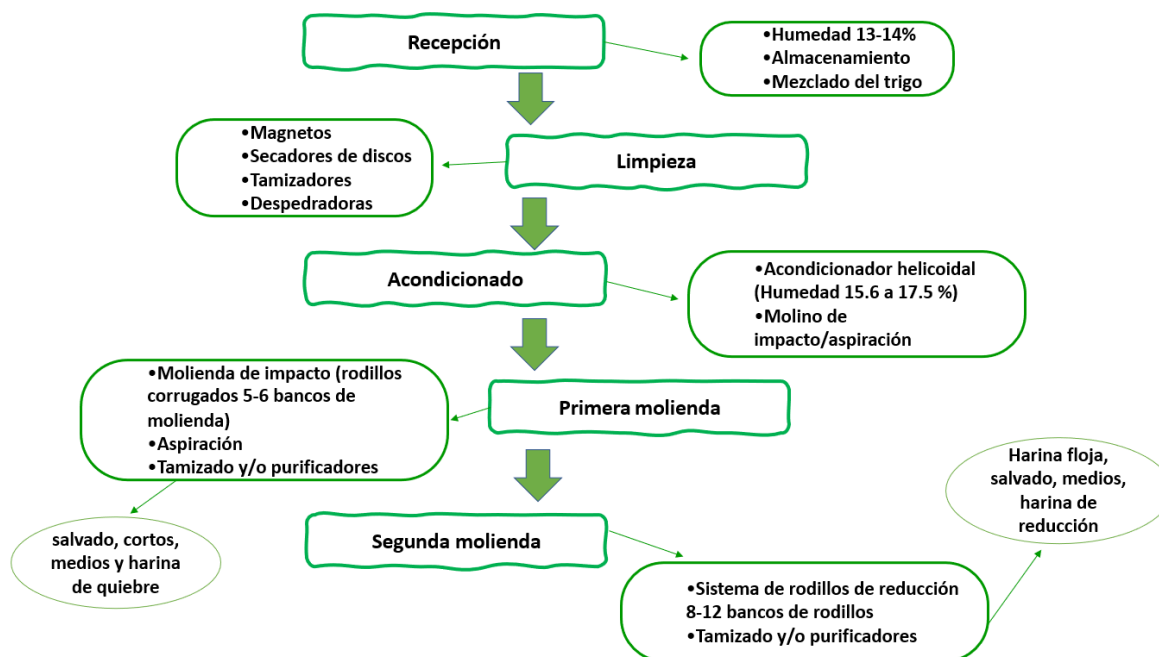
El rendimiento del cultivo de trigo en una región determinada es la resultante de la interacción entre factores ecológicos, tecnológicos y genéticos, pero en muchos casos, los rendimientos potenciales del cultivo no se alcanzan debido a la nutrición deficiente, y su manejo a través de la fertilización, constituyéndose en uno de los limitantes de la producción de trigo. En el siguiente Cuadro se muestran los requerimientos de macronutrientes, nutrientes secundarios y micronutrientes para rendimientos de trigo (García, 2004).

**Cuadro 4.** Requerimiento nutrimental del trigo (García, 2004).

<b>Nutriente</b>	<b>Requerimiento Kg/T grano</b>
Nitrógeno	30
Fósforo	5
Potasio	19
Calcio	3
Magnesio	3
Azufre	4.5
Boro	0.025
Hierro	0.137
Manganeso	0.070
Zinc	0.052
Cobre	0.010

### 2.2.9. Procesamiento industrial del trigo (producción de harina).

Se puede considerar harina panificable o panadera a aquella que tiene almidón, electrolitos, agua, gluten. Las propiedades panificables dependen de la capacidad de absorber el agua del hidrogel, lo que depende de la forma de maduración del trigo y el acondicionamiento de la harina lo anterior se observa en la Figura 18 y 19 (Mendoza, 2013).



**Figura 18.** Diagrama de flujo de las etapas de producción industrial de la harina.  
Fuente: Serna-Saldívar, 1996.

Etapas del proceso de la producción de harina de trigo en la industria:

1. Recepción del grano de trigo. En esta etapa es de suma importancia tener definidas las características físicas y parámetros establecidos para el análisis fitosanitario y organoléptico del grano. Si no cumple con las condiciones de calidad puede ser rechazado o determinar el procedimiento a seguir para ser almacenado, las características físicas que determinan la calidad del grano son: olor, temperatura, contenido de impurezas, contenido de humedad la cual debe de estar entre 13-14%, cantidad de granos defectuosos, estado sanitario (Olán *et al.*, 2012).
2. Limpieza de los granos. Esta se lleva a cabo a través de corrientes de aire para eliminar la paja, el polvo, los granos vanos y plumas de aves. Tamizadores para



separar los granos por su forma y volumen. Magnetos para eliminar piezas de metal y separadores de disco para eliminar granos de otras semillas como sorgo, avena, malezas, etc. (Seghezzo y Molfese, 2006).

3. Acondicionamiento. El objetivo principal es producir un cambio en las características mecánicas de los tejidos del grano. Al grano de trigo se le adiciona una cantidad de agua por medio de humidificadores con dosificación de agua y sistema de rociado con lo que se aumenta uniformemente la humedad de 15.5-17.5%, dando un tiempo de reposo de 12-18 h para mejorar su comportamiento tecnológico en la molienda. Este proceso facilita la separación de las cubiertas externas, aumenta el rendimiento de harina y disminuye el gasto de energía influyendo en el rendimiento de la molienda y la calidad de la harina (Osella *et al.*, 2006).
4. Primera molienda. Es el proceso de rotura a través de cilindros corrugados que trabajan a diferentes velocidades desgarrando y triturando el grano separando por medio de tamices y separadores de aire al endospermo, del salvado y el germen del grano (Kim y Flores, 1999). A medida en que va avanzando el proceso de rotura, los cilindros presentan una menor separación entre ellos y las ranuras van siendo menores, los trozos de endospermo son enviados a la segunda molienda (Seghezzo y Molfese, 2006).
5. Segunda molienda. Se utilizan rodillos lisos para reducir las partículas del endospermo y eliminar las últimas partículas de salvado y germen, cada juego de rodillos es seguido por un sistema de tamices donde se obtiene harina blanca estándar, con características físicas, químicas y nutricionales diferentes. El

salvado y germen se remueven y son enviados al punto apropiado para su posterior procesamiento (Barrera *et al.*, 2012).

6. Blanqueo. Comúnmente se añaden blanqueadores como peróxido de Benzoilo o gas de cloro con el fin dar un cambio de color a los pigmentos amarillos y obtener una harina blanca en más corto tiempo (Villanueva-Flores, 1993).
7. Maduración. La calidad (funcional) de la harina también requiere de largo tiempo de almacenamiento para mejorar por lo que es necesario la utilización de agentes maduradores o mejoradores como bromuro de potasio, yodato de potasio, azodicarbonamida, peróxido de calcio y ácido ascórbico para acelerar el tiempo de maduración o mejoramiento funcional de la harina (Villanueva-Flores, 1993).
8. Enriquecimiento y/o fortificación. Al final de la molienda se suele adicionar algunos químicos para enriquecer y mejorar la calidad de la harina enriquecedores con vitaminas (Tiamina vitamina B1, riboflavina vitamina B2 y niacina) y minerales (Calcio y hierro), además de enzimas (O'Donnell, 2016). Fortificación con vitaminas (ácido fólico, vitamina A y D) y opcionalmente se agregan aditivos (Moreno-Araiza *et al.*, 2020).
9. Empacado. Se utiliza un tubo-cernidor para obtener una harina fina, un separador magnético para eliminar cualquier metal en el producto final y al final se separa por medio de un para empacar el producto en costales o a granel en silos (Osella *et al.*, 2006).



**Figura 19.** Proceso industrial de la harina. Fuente:  
<http://www.flourmillplant.com/Useful-Links/Wheat-Milling-Process.html>

### 2.2.10. Pruebas de calidad en la harina de trigo

En la industria alimentaria el trigo tiene diversos usos ya que puede ser utilizado en la elaboración de pan, galletas, pastas, etc., utilizando distintas variedades según lo que se requiera producir ya que la variedad de trigo que se considera de buena calidad para la elaboración de pan no lo es para realizar galletas, esto se debe a que tienen distintas características de calidad de grano y deben de ser específicas para cada grupo de producto (panificación, repostería, galletas y pastas), siendo diferentes entre sí tanto en la calidad de procesamiento, formulación y producto terminado (humedad, textura, densidad y sabor), por lo tanto para seleccionar una variedad de trigo que sea de calidad debemos considerar el tipo de producto que se desea obtener y el proceso que se llevará para su elaboración (Peña, 1998).

La harina de trigo es la materia prima fundamental en la preparación del pan, por lo que debe ajustarse a algunos parámetros de calidad. Entre ellos destaca la fuerza de la masa que se elabora con esa harina (fuerza de la harina) la cual depende de la cantidad y calidad de su gluten (Mesas y Alegre, 2002).

#### **2.2.11. Prueba de color.**

Es una de las pruebas de calidad más utilizadas en el manejo de postcosecha y en el proceso de alimentos para la industria e investigación. La medición de color se ha utilizado como medida indirecta de otros atributos de calidad (defectos sensoriales, nutricionales, pigmentación y de sabor) ya que es más simple, rápido y se correlaciona con las características fitoquímicas. Se puede medir en términos de longitud e intensidad de onda. En el sistema de color CIELAB, el parámetro  $L^*$  mide la luz va desde negro (0) a blanco (100), el parámetro  $a^*$  mide la coloración desde verde (-) / rojo (+), el parámetro  $b^*$  va desde la coloración azul (-) / amarillo (+) (Pathare *et al.*, 2012). La variable más importante en el caso de la harina es  $L^*$ , ya que nos indica el nivel de blancura del producto. Se considera una buena calidad en harina un valor de  $L^*$  al menos de 90, sin embargo, valores de  $L^*$  arriba de 95 se considera una excelente calidad (Montoya-Lopez *et al.*, 2012). En este sentido, Oliver *et al.*, (1992) llevó a cabo mediciones de  $L^*$  en harinas obtenidas a partir de trigo blanco de primavera, utilizando diferentes marcas comerciales de colorímetros. Los datos obtenidos por estos autores indican que hay mínimas variaciones entre las mediciones realizadas con las diferentes marcas comerciales de colorímetros. El valor medio de  $L^*$  al medir con un instrumento de la marca Micromatch modelo 2000 fue de 90.60 con rangos de valores desde 90.00 hasta 91.75, por otro lado, al utilizar un equipo de la marca comercial

Hunterlab modelo D25-9SM el valor medio resulto de 91.73 con rangos de valores de 90.95 hasta 92.95 y por último al utilizar la marca Minolta modelo CR 200 obtuvieron un valor medio de 91.33 con valores desde 90.35 hasta 92.55.

### 2.2.12. Falling Number (Número de caída).

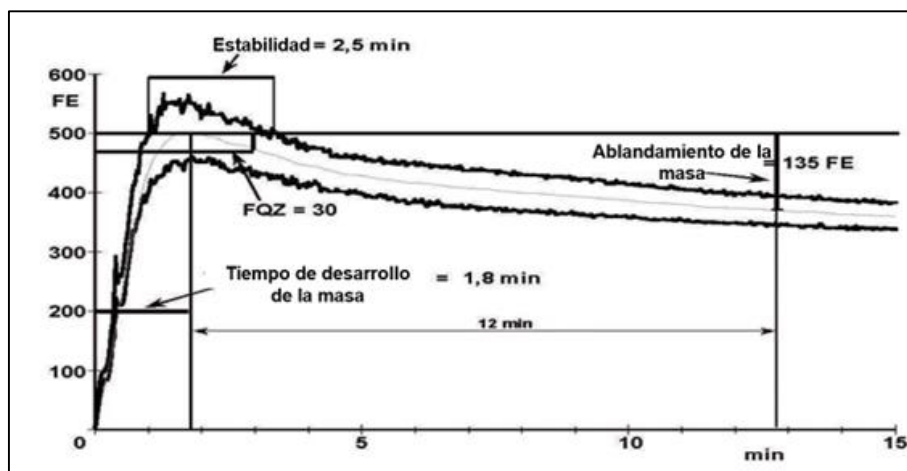
Es una de las características de calidad más importante del trigo. Determina la actividad alfa-amilasa de harina de trigo y la documentación de daños por brotación en granos (Wang *et al.*, 2008).

**Cuadro 5.** Rangos de valores de Falling Number (Kweon, M. 2010).

<b>Falling Number (Segundos)</b>	<b>Indicador de daño por brotación</b>
Numero de caída > 300	Sin daño por brotación
300 > Numero de caída > 200	Algunos daños por brotación
200 > Numero de caída	Daño severo por brotación

### 2.2.13. Farinógrafo de Brabender.

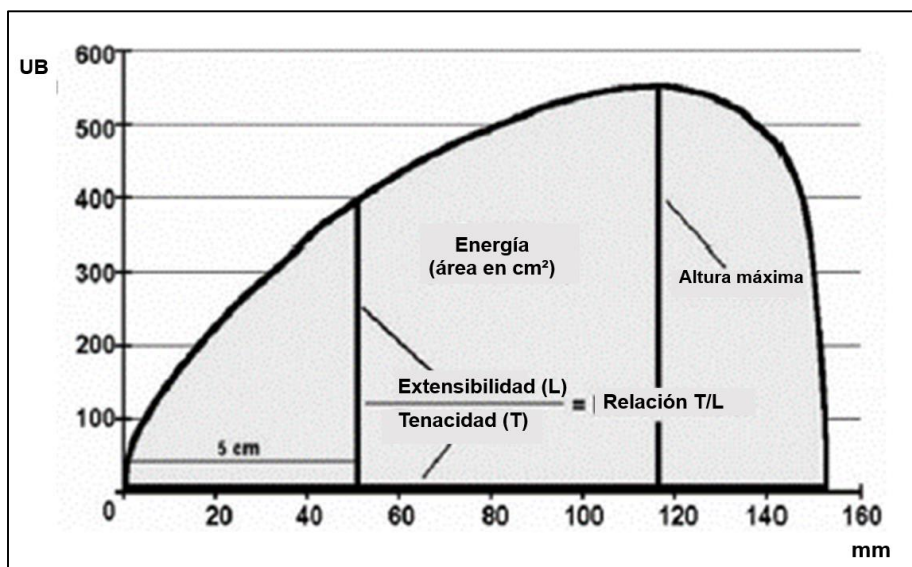
Este método permite analizar las propiedades de mezclado de la harina. Mide la resistencia de la masa en unidades Brabender, registrándose en una gráfica llamada Farinograma donde en el eje X representa el tiempo donde un centímetro equivale a un minuto (una línea por cada 30 seg y marcas horizontales cada 20 unidades Brabender) el eje Y representa las unidades farinográficas (U.F.) o unidades Brabender (U.B.) como se muestra en la Figura 20. Se pueden obtener parámetros como: porcentaje de absorción de agua requerido para obtener una consistencia de 500 UB, tiempo de desarrollo o amasado, estabilidad, la resistencia (estabilidad del amasado), el grado de ablandamiento o debilitamiento de la masa (Nuñez y Castillo, 2010).



**Figura 20.** Esquema de lectura de Farinógrafo de Brabender. Fuente: Brabender 2014.

#### 2.2.14. Extensibilidad de la masa

Este método permite determinar los cambios que sufre la masa respecto a la capacidad de resistencia a la tensión hasta llegar a romperse. La tenacidad (T) mide la resistencia a la deformación y la extensibilidad (L) mide la viscosidad de la masa, dándonos como resultado una gráfica con una curva donde el eje de las Y representa las unidades de fuerza (UB) donde muestra la altura máxima y el eje de las X la longitud o extensibilidad (mm) y el área bajo la curva representa la fuerza que tiene la masa dependiendo del contenido de gluteninas y gliadinas como se muestra en la Figura 21. Se pueden realizar análisis con diferentes tiempos de reposo de la harina y distintas condiciones de amasado (Mohebbi *et al.*, 2018).



**Figura 21.** Extensograma. Fuente: Abbasi *et al.*, 2012

### 2.2.15. Propiedades nutricionales del trigo.

El trigo es utilizado para satisfacer la mayoría de las necesidades nutricionales de las personas ya que se encuentra entre los cultivos que se utilizan como alimentos básicos, ya que es fuente de carbohidratos, proteínas (aproximadamente de 8 a 2 %), microelementos, fibra dietética, vitaminas, compuestos no proteicos como celulosa, hemicelulosa, polifenoles y minerales (Miller *et al.*, 2011, Zheng *et al.*, 2021).

**Cuadro 6.** Composición química de diferentes granos de trigo.

	Trigo duro	Trigo blanco duro	Trigo blanco suave	Trigo invierno rojo duro	Trigo invierno rojo suave	Unidad
Humedad	10.9	9.57	10.4	13.1	12.2	g/100g
Proteína	13.7	11.3	10.7	12.6	10.4	g/100g
Lípidos totales (grasa)	2.47	1.71	1.99	1.54	1.56	g/100g
Ceniza	1.78	1.52	1.54	1.57	1.68	g/100g
Carbohidratos	71.1	75,9	75.4	71.2	74.2	g/100g
Fibra, dieta total	---	12.2	12.7	12.2	12.5	g/100g
Energía	339	342	340	327	331	kcal
Energía	1420	1430	1420	1370	1380	kJ

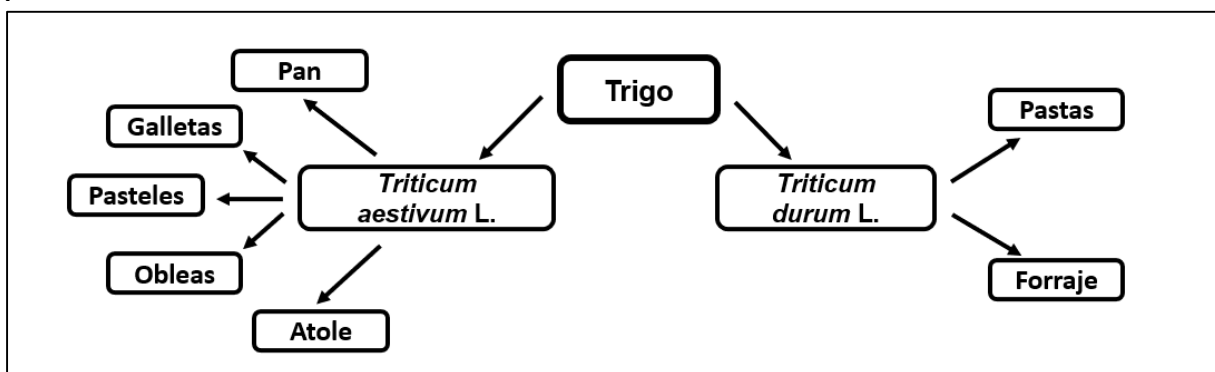
**Cuadro 7.** Contenido de minerales.

Minerales	Trigo duro	Trigo blanco duro	Trigo blanco suave	Trigo invierno rojo duro	Trigo invierno rojo suave	Unidad
Calcio (Ca)	34	32	34	29	27	mg/100g
Hierro (Fe)	3.52	4.56	5.37	3.19	3.21	mg/100g
Magnesio (Mg)	144	93	90	126	126	mg/100g
Fosforo (P)	508	355	402	288	493	mg/100g
Potasio (K)	431	432	435	363	397	mg/100g
Sodio (Na)	2	2	2	2	2	mg/100g
Zinc (Zn)	4.16	3.33	3.46	2.65	2.63	mg/100g
Cobre (Cu)	0.553	0.363	0.426	0.434	0,45	mg/100g
Manganeso (Mn)	3.01	3.82	3.41	3.98	4.39	mg/100g
Selenio (Se)	89.4	----	----	70.7	----	µg

**Cuadro 8.** Contenido de vitaminas trigo duro.

Tiamina	0.419	mg/100g
Riboflavina	0.121	mg/100g
Niacina	6.74	mg/100g
Ácido pantoténico	0.935	mg/100g
Vitamina B-6	0.419	mg/100g





**Figura 22.** Productos elaborados a base de trigo.

**Cuadro 9.** Composición química de productos elaborados a base de trigo.

Nombre	Pan	Sopa	Salvado	Unidad
Humedad	35.2	85.7	9.9	g/100g
Energía	274.0	67.0	216.0	kcal
Proteína	10.7	1.5	15.6	g/100g
Lípidos totales (grasa)	4.5	2.7	4.3	g/100g
Carbohidratos	47.5	9.2	64.5	g/100g
Fibra, dieta total	4	0.4	42.8	g/100g
Azúcares	5.7	0.3	0.4	g

**Cuadro 10.** Contenido de minerales de productos finales a base de trigo.

Minerales	Pan	Sopa	Salvado	Unidad
Calcio (Ca)	125	6	73	mg/100g
Hierro (Fe)	3.6	0.62	10.6	mg/100g
Magnesio (Mg)	41	5	611	mg/100g
Fósforo (P)	129	17	1010	mg/100g
Potasio (K)	141	28	1180	mg/100g
Sodio (Na)	473	286	2	mg/100g
Zinc (Zn)	1.04	0.1	7.27	mg/100g
Cobre (Cu)	0.148	0.028	0.998	mg/100g
Selenio (Se)	28.8	3.5	77.6	µg

### 3. MATERIALES Y MÉTODOS

#### 3.1. Localización de los Experimentos

Campus agrícola experimental de la Facultad de Agronomía (FA) Unidad La Ascensión, Universidad Autónoma de Nuevo León (UANL) ubicado en Carretera a Sandia km. 2, Ejido La Ascensión, en el municipio de Aramberri, en el sur del estado de Nuevo León, México. Las coordenadas geográficas son: 24° 19.5' Latitud Norte y 99° 54.5' Longitud Oeste con una altitud de 1963 msnm., con una temperatura y precipitación promedio anual de 19.9°C y 425 mm, respectivamente (INEGI, 2017 y Leal, J., 2012). En la Figura 23 se pueden observar las temperaturas promedio semanales que se presentaron durante el ciclo del cultivo.

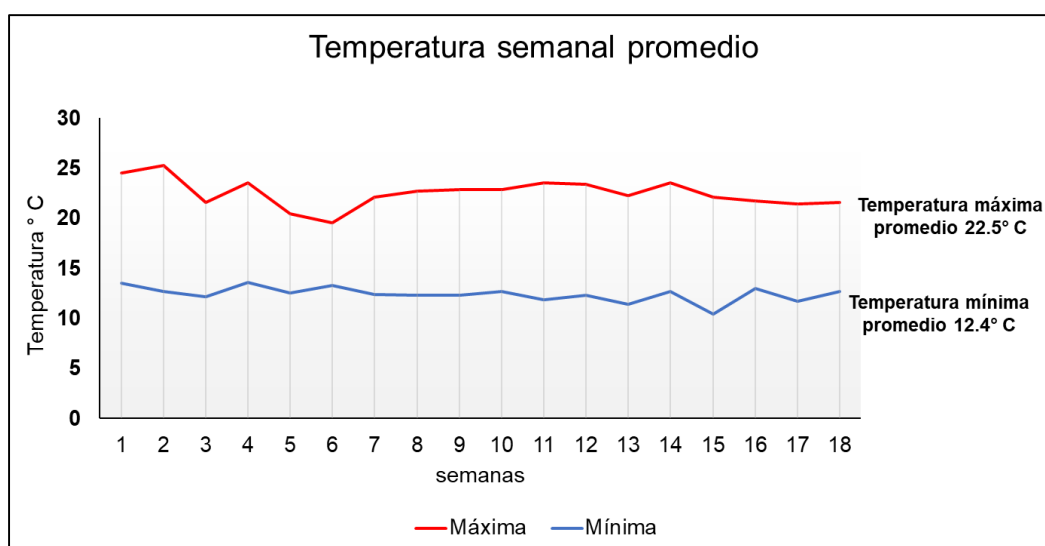


Figura 23. Temperatura semanal donde el 1 corresponde a la semana de inicio desde la siembra hasta la semana 18 que corresponde a la cosecha.

### 3.2. Material genético:

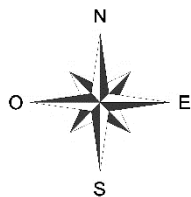
Las variedades de *Triticum aestivum* L. que se establecieron en el experimento son las siguientes: La Floreña NL M-2012, San Isidro NL M-2012, Norteña F-2007, Conatrigo F-2015. Las variedades de *Triticum durum* L., Conasist C-2015, Barobampo C-2015 y Anatoly C-2011.

### 3.3. Diseño Experimental

En el presente estudio los tratamientos se distribuyeron en un diseño de bloques al azar con 4 repeticiones. La superficie total de terreno utilizada fue de 400 m<sup>2</sup>. Cada unidad experimental constó de cuatro surcos de 5 m de largo, con una separación entre surco de 0.45 m, con un área de 9 m<sup>2</sup> cada una, y dejando dos metros de distancia entre cada repetición; el tamaño de la parcela útil fue de 2 surcos centrales por 3 m de largo, con un área de 2.7 m<sup>2</sup>. Los tratamientos se pueden observar en el Cuadro 11 y en la Figura 24 se puede observar el croquis de la distribución de los tratamientos en el terreno de experimentación.

**Cuadro 11.** Tratamientos evaluados.

Tratamientos	<i>Triticum aestivum</i> L.	Tratamientos	<i>Triticum durum</i> L.
T1 H	San Isidro NL M-2012 (testigo)	T1 M	Conasist C-2015 (testigo)
T2 H	La Floreña NL M-2012	T2 M	Barobampo C-2015
T3 H	Norteña F-2007	T3 M	Anatoly C-2011
T4 H	Conatrigo F-2015		



CAMINO							
I	T1 M	T1 H	T3 H	T2 H	T4 H	T2 M	T3 M
II	T4 H	T1 H	T2 H	T3 M	T2 M	T1 M	T3 H
III	T2 H	T3 M	T2 M	T3 H	T1 H	T4 H	T1 M
IV	T2 M	T3 H	T1 H	T1 M	T2 H	T3 M	T4 H

**Figura 24.** Mapa del diseño experimental en campo

### 3.4. Preparación del terreno para la siembra

Se realizó dando un paso de arado con la finalidad de romper la capa superficial, incorporar materia orgánica, exponer al calor larvas y huevecillos de plagas, estructuras reproductivas de patógenos, favorecer el intercambio gaseoso y la infiltración del agua a mayor profundidad. Seguido de un paso de rastra y cruza con la finalidad de dejar una cama de siembra más manejable para el adecuado establecimiento del cultivo.

La siembra se realizó el día 25 de mayo del 2021 de forma manual con una densidad de siembra de 100 kg de semilla ha<sup>-1</sup>.

Se aplicaron tres riegos de auxilio, utilizando un sistema de riego por aspersión. Se realizaron dos fertilizaciones con Maxi-Grow Excel a una dosis de 2 mL por litro de agua (25 L de agua), el control de malezas se realizó dando una aplicación con Fito Amina a una dosis de 2 L ha<sup>-1</sup> (35 L de agua), cuando la planta tenía de 10 a 20 cm de altura, después el control se realizó de forma manual.

### **3.5. Variables agronómicas**

Las variables relacionadas con rendimiento de grano y otras variables agronómicas se determinaron de acuerdo con lo establecido por (Treviño-Ramírez, 2005) de la siguiente manera:

#### **3.5.1. Altura de la planta (cm)**

Esta medición se realizó con un flexómetro desde la base del tallo hasta la punta de la inflorescencia cuando la floración superó el 50 %, seleccionando 10 plantas representativas de cada parcela.

#### **3.5.2. Longitud de la espiga (cm)**

Cuando la planta estaba en fase de maduración fisiológica se seleccionaron 10 plantas representativas de cada unidad experimental, se utilizó una regla para medir desde la base de la espiga hasta la espiguilla terminal sin tomar en cuenta las aristas.

#### **3.5.3. Número de espiguillas por espiga**

Se seleccionaron 10 espigas representativas de cada tratamiento y de cada repetición y se contó el número de espiguillas que tenía cada una de las espigas.

#### **3.5.4. Madurez fisiológica**

Se determinó en días contando desde el día de la siembra hasta cuando el grano obtuvo la madurez adecuada con un porcentaje entre un 13 y 15 % de humedad.

#### **3.5.5. Número de granos por espiga**

Se seleccionaron 10 espigas al azar de cada parcela experimental, las cuales se desgranaron manual e individualmente para poder contar cada uno de sus granos.

### **3.5.6. Rendimiento del grano por hectárea ( $t\ ha^{-1}$ )**

Se realizó cortando un metro lineal de los surcos centrales de cada parcela y cada repetición, realizando el cálculo para  $10,000\ m^2$ . Para la separación del grano se utilizó una trilladora manual y se pesó el grano en una balanza digital, por último, se registraron los datos obtenidos.

### **3.5.7. Peso de mil semillas (g)**

Del grano obtenido de cada muestra se contarán mil semillas y se pesaron en una balanza digital y registrando los datos.

### **3.5.8. Rendimiento de forraje por hectárea ( $t\ h^{-1}$ )**

Se corto un metro lineal de uno de los surcos centrales de cada unidad experimental, guardando el forraje con grano en bolsas de papel las cuales se rotularon para su identificación, posteriormente se llevaron al laboratorio para realizar el pesaje, el cual se llevó a cabo con una báscula digital, del dato obtenido se hizo la estimación para una hectárea.

### **3.5.9. Cosecha**

La cosecha se llevó a cabo cuando el grano de trigo tenía entre un 12 y 14 % de humedad, se cortaron los 4 surcos de trigo de cada variedad y de cada repetición, cada unidad experimental se guardó y etiquetó en bolsas de papel llevándolas al laboratorio para continuar con las evaluaciones y la trilla, la cual se realizó con una trilladora eléctrica.

### **3.5.10. Humedad del grano**

Para la detección de humedad de grano se utilizó un medidor STEINLITE RCT y RCT-B, para esta prueba se pesaron 250 g de grano de trigo de cada unidad experimental, al tener las muestras pesadas se siguieron las instrucciones del fabricante donde se habría de encender el aparato y dar un tiempo de 5 min, realizar la calibración y vaciar la muestra de grano, cuando la muestra fue vaciada en la tolva se da un tiempo de un minuto para poder tomar la temperatura del grano, una vez que se tomó la temperatura se oprime el botón que lleva la tolva para que el grano caiga a la celda de determinación de humedad, se giró el botón hacia el círculo blanco TEST y se toma la lectura, se giró el botón para bajar la muestra a la charola donde puede ser retirada, Para el resultado final de porcentaje de humedad se tomaron los datos de correlación de la tabla sumando el dato de corrección de temperatura de acuerdo con el manual utilizando la siguiente fórmula.

$$\%H = \%M + T \text{ } ^\circ\text{F}$$

Donde %H es el porcentaje de humedad en que se encuentra el grano, %M es el porcentaje que marca el determinador de humedad y T °F es el factor de corrección con base a la temperatura en grados Fahrenheit.

### **3.6. Molienda**

Para la molienda del grano se consideró un kilogramo de grano libre de impurezas, utilizando un molino experimental eléctrico. La molienda se llevó a cabo haciendo pasar el material en dos ocasiones por el molino. Posteriormente, cada muestra se hizo pasar por un tamiz de pruebas físicas con malla # 30 (595 µm).



### 3.7. Rendimiento de harina.

Se llevo a cabo por diferencia de peso separando el salvado de la harina retenido en el tamiz utilizando la siguiente fórmula:

$$x(\%) = 100 - \left( \frac{P_i - P_f}{P_i} \right) \times 100$$

Donde X es el porcentaje de harina, Pi es el peso inicial de la harina molida aun con salvado y Pf es el peso final de la harina sin salvado.

### 3.8. Color de la harina.

Se llevo a cabo con un colorímetro CR-20 de la marca Minolta. La harina de trigo se colocó en una caja Petri donde se tomaron los valores de las coordenadas de  $L^*$  (Luminosidad),  $a^*$ ,  $b^*$ ,  $C^*$  (Cromaticidad) y  $H^*$  (tono o ángulo hue), dando cinco disparos en la muestra al centro de la caja.

### 3.9. Extensibilidad de la masa

Se utilizó un Texturómetro de la marca Stable Micro Systems modelo TA.XT. Plus, con el kit de extensibilidad de masa y gluten de Kieffer. Para esta prueba se utilizaron 10 g de harina, 0.2 g de sal y 7 mL de agua para cada unidad experimental, mezclando los ingredientes y dejándolos reposar en la prensa durante 30 min para tomar la primera lectura, posteriormente la masa se volvió a prensar durante 30 min para continuar con la segunda toma de datos, volviendo a dejar en reposos durante 30 min más para tomar la tercera toma de datos de fuerza expresada en N y distancia expresada en mm. Los datos y graficas se guardaron por medio de un software.

### 3.10. Evaluación tecnológica del pan.

#### 3.10.1. Formulación y elaboración del pan.

La formulación base para la elaboración del pan consistió en 200 g de harina, 6 g de levadura y 5 g de sal. Previo al inicio del experimento se llevó a cabo una prueba de desarrollo de la masa considerando la cantidad de agua óptima para cada variedad de grano. Quedando de la siguiente manera para T1 H 140 mL, T3 H 145 mL para T2 H y T4 H 150 mL.

Al tener la formulación y los tiempos de fermentación y de horneado se continuo con la elaboración de los panes de los 4 tratamientos de trigo harinero (*Triticum aestivum* L.). Los ingredientes se mezclaron durante 1 min en una batidora eléctrica de pedestal Kitchen Aid KSM7586PSR a velocidad 1. Posteriormente se continuó el amasado durante 10 min a velocidad 4. La masa se dividió manualmente en porciones de 85 g poniendo cuatro piezas por molde de cada tratamiento y de cada repetición, llevándolos a fermentación durante 30 min a una temperatura aproximada de 35.5°C.

Para el horneado se utilizó un horno de gas con sistema eléctrico de la marca Century con una temperatura de 200°C durante 30 min. Una vez terminado el horneado el pan se llevó a enfriamiento a temperatura ambiente, para posteriormente llevar a cabo las pruebas de altura, pérdida de humedad, textura y color.

Altura del pan. Para la medición de la altura se utilizó un vernier marca Westward modelo 2ZA59, 2ZA61.

### 3.10.2. Pérdida de peso durante el horneado.

Esta se realizó por diferenciación de peso tomando el peso inicial de la masa y el peso del pan en frío a temperatura ambiente, utilizando una balanza digital de la marca Medidata con la siguiente fórmula.

$$x(\%) = \frac{P_i - P_f}{P_i} \times 100$$

Donde X es el porcentaje de la pérdida de peso, Pi es el peso inicial de la masa y Pf es el peso final del pan horneado y enfriado a temperatura ambiente.

### 3.10.3. Textura del pan.

La evaluación de la dureza del pan se determinó utilizando un Texturómetro Universal de la marca Stable Micro Systems modelo TA.XT. Plus. Con un plato de compresión de 75 mm de diámetro. Se consideró como distancia total de compresión un 30 % de la altura de la pieza de pan. Para esta prueba se utilizó una pieza de pan colocándola debajo de la parte central del plato de compresión registrando los datos en la gráfica, midiendo la fuerza en Newtons expresándose como el esfuerzo máximo requerido para comprimir la pieza de pan.

### 3.10.4. Color del pan.

Se llevó a cabo con un colorímetro CR-20 de la marca Minolta, el pan se colocó sobre un papel para tomar las lecturas de  $L^*$ ,  $a^*$ ,  $b^*$ ,  $C^*$ ,  $H^*$ , tomando 3 lecturas (extremos y centro de la pieza) sobre la corteza del pan.

### **3.11. Evaluacion tecnológica de pasta tipo espagueti**

#### **3.11.1. Formulación y elaboración de pasta tipo espagueti**

Para la elaboración de la pasta se utilizaron las harinas de los trigos Conasist C-2015, Barobampo C-2015 y Anatoly C-2011. Mezclando cada unidad experimental en la maquina elaboradora de pastas de la marca Nutripasta modelo PM-01, mezclando durante 14 min. una taza de harina (230 g), 5 g de sal, 2 huevos y agua hasta completar 75 mL de líquido, al tener realizada la pasta esta se metió a un desecador de la marca Hamilton Beach modelo 32100A a una temperatura de 65°C durante un tiempo de 3 h con 30 min.

#### **3.11.2. Color de la pasta**

Se llevó a cabo con un colorímetro CR-20 de la marca Minolta tomando los valores de las coordenadas de  $L^*$ ,  $a^*$ ,  $b^*$ ,  $C^*$  y  $H^*$ , dando tres disparos en cada una de las muestras.

#### **3.11.3. Fracturabilidad**

Por cada unidad experimental de *Triticum durum* L. se tomaron tres trozos de pasta seca de 7 cm, la fuerza necesaria para fracturar la pasta se midió mediante un Texturómetro Universal de la marca Stable Micro Systems modelo TA.XT. Plus, utilizando el accesorio de flexión para espagueti. Los datos y las gráficas se tomaron mediante un software.

#### **3.11.4. Corte**

Se realizó mediante un Texturómetro Universal de la marca Stable Micro Systems modelo TA.XT. Plus. Con una cuchilla plana tipo guillotina. Utilizando tres piezas de

pasta de cada unidad experimental la cual fue previamente cocida durante siete min a una temperatura promedio de 92.5° C.

### **3.12. Análisis Estadístico**

El análisis estadístico de los datos obtenidos de las variables evaluadas se realizó utilizando el paquete informático de Diseños Experimentales FAUANL Versión 1.7 (Olivares, 2016). La comparación de los tratamientos se realizó con el modelo del diseño bloques completos al azar. La comparación múltiple de medias fue realizada mediante la prueba de Tukey ( $p \leq 0.05$ ).

## 4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 4.1. Trigos harineros (*Triticum aestivum* L.)

La altura y número de hojas por planta son variables que están relacionadas con el rendimiento y por lo tanto son variables de importancia. Los intervalos encontrados en la variable altura de planta de los genotipos harineros analizados variaron desde 73.63 hasta 66.58 cm de altura. El número de hojas muestra rangos de 3.58 a 3.98, sin embargo, no muestran diferencia estadística entre tratamientos. Estos resultados comparados con el estudio de Noriega *et al.* (2019) se encuentra por debajo de los rangos en altura de planta ya que sus resultados muestran rangos entre 84 y 105 cm de altura en trigos harineros cultivados en Celaya Guanajuato.

El número de macollos por planta muestra rangos de 2.60 y 4.48 con diferencia estadística significativa ( $p \leq 0.05$ ) entre los tratamientos. El tratamiento con mayor cantidad de macollos es el T4 H diferenciándose de los demás tratamientos de trigo harinero. Lo que coincide con Huanca *et al.* (2016) quienes reportan resultados similares con un promedio de cuatro macollos por planta.

Los datos obtenidos en la longitud de la espiga nos indican rangos desde 9.00 hasta 11.10 cm. Se encontró diferencia estadística significativa ( $p \leq 0.05$ ) entre los tratamientos. El mayor nivel de longitud de la espiga se encontró en el tratamiento T4 H con una longitud promedio de 11.10 cm por debajo de lo reportado por Plana *et al.* (2006) quienes tienen resultados en longitud de 13.74 a 15 cm en trigos harineros.

Los datos obtenidos en número de espiguillas por espiga nos indican rangos desde 15.33 hasta 18.78, mostrando diferencia estadística significativa ( $p \leq 0.05$ ) entre tratamientos de trigo harinero. El mayor nivel de número de espiguillas por espiga se encontró en el tratamiento T4 H con una media de 18.78 espiguillas. Estos resultados, están por debajo de lo reportado por Ortega *et al.* (2004) quienes muestran resultados entre 19 y 22 espiguillas por espiga en un estudio realizado a trigos harineros.

Los datos obtenidos en número de granos por espiga nos indican rangos desde 42.10 hasta 55.65 con diferencia estadística significativa ( $p \leq 0.05$ ) entre tratamientos. El mayor nivel de granos por espiga se encontró en el tratamiento T4 H y el de menor rango T3 H. Estos resultados son similares a los reportados por Solis-Moya *et al.* (2004) donde obtuvieron de 42 a 57 granos por espiga.

Los resultados obtenidos (media  $\pm$  desviación estándar) de las variables altura de planta, número de hojas, número de macollos por planta, longitud de la espiga, número de espiguillas por espiga, número de granos por espiga se muestran en el Cuadro 12.

**Cuadro 12.** Resultados obtenidos de tratamientos evaluados en las variables altura de planta, número de hojas por planta, número de macollos por planta, longitud de la espiga, número de espiguillas por espiga y número de granos por espiga.

Tratamientos	AP	n° HP	n° MP	LE	n° EE	n° GE
T1 H	73.63 $\pm$ 1.16 <sup>a</sup>	3.58 $\pm$ 0.22 <sup>a</sup>	3.08 $\pm$ 0.33 <sup>a</sup>	9.63 $\pm$ 0.30 <sup>b</sup>	15.98 $\pm$ 0.43 <sup>b</sup>	43.50 $\pm$ 2.85 <sup>b</sup>
T2 H	74.30 $\pm$ 5.45 <sup>a</sup>	3.79 $\pm$ 0.41 <sup>a</sup>	2.68 $\pm$ 0.22 <sup>a</sup>	9.06 $\pm$ 0.31 <sup>b</sup>	15.33 $\pm$ 1.19 <sup>b</sup>	44.98 $\pm$ 4.16 <sup>b</sup>
T3 H	70.93 $\pm$ 10.72 <sup>a</sup>	3.88 $\pm$ 0.13 <sup>a</sup>	2.60 $\pm$ 0.44 <sup>a</sup>	9.00 $\pm$ 0.27 <sup>b</sup>	15.70 $\pm$ 1.56 <sup>b</sup>	42.10 $\pm$ 3.16 <sup>b</sup>
T4 H	66.58 $\pm$ 4.92 <sup>a</sup>	3.90 $\pm$ 0.15 <sup>a</sup>	4.48 $\pm$ 0.44 <sup>a</sup>	11.10 $\pm$ 0.38 <sup>a</sup>	18.78 $\pm$ 0.91 <sup>a</sup>	55.65 $\pm$ 7.13 <sup>a</sup>

AP= altura de planta (cm), n° HP= número de hojas por planta, n° MP= número de macollos por planta, LE= longitud de la espiga (cm), n° EE= número de espiguillas por espiga, n° GE= número de granos por espiga.

Los datos obtenidos en la variable peso de mil granos nos indican rangos desde 48.25 hasta 55.75 g, mostrando diferencia estadística significativa ( $p \leq 0.05$ ) entre tratamientos. Los resultados obtenidos por Martínez-Cruz *et al.* (2020) en esta variable están alrededor de 43 g en la variedad Temporalera M87 cultivada en Celaya Guanajuato bajo condiciones de riego.

El rendimiento de grano por hectárea de trigos harineros muestra un rango de 4.62 hasta 6.42 T ha<sup>-1</sup>, sin embargo, no se encontraron diferencias significativas ( $p \geq 0.05$ ) entre tratamientos. La variedad con mayor rendimiento de grano fue T4 H lo cual coincide con el alto nivel que presenta en longitud de la espiga, espiguillas por espiga y granos por espiga. Estudios de Suaste-Franco *et al.* (2013) han mostrado un rendimiento de 4.73 a 6.16 T ha<sup>-1</sup> en siembras realizadas en surcos, lo cual es similar a lo encontrado en el presente estudio. En un estudio realizado por Martínez-Cruz *et al.* (2020) presentó un rendimiento mayor con valores superiores a las 8.5 T ha<sup>-1</sup> en la variedad Pavón F76.

Los datos obtenidos en Forraje seco por hectárea nos indican rangos desde 9.35 hasta 12.25 T ha<sup>-1</sup>, sin mostrar diferencia estadística significativa ( $p \geq 0.05$ ) entre tratamientos. De acuerdo con Fernández-Sosa (2015) condiciones como alto vigor de la variedad y un ambiente favorable, repercuten en el peso seco por plántula incrementándolo.

En cuanto a la variable días a madurez comercial los datos analizados nos arrojan rangos entre los 111.75 a los 118 días, encontrando diferencia significativa ( $p \leq 0.05$ ) entre los tratamientos. Donde el tratamiento T2 H destacó por obtener la menor cantidad de días para llegar a la madurez, seguido del tratamiento testigo T1 H. Santa-



Rosa *et al.* (2016) muestran resultados similares en cultivares de trigo sembrados en condiciones de temporal sembrados en la localidad de Coatepec, México.

En el Cuadro 13 se muestran los resultados de las variables peso de mil granos, rendimiento de grano por hectárea, rendimiento de forraje por hectárea y días a madurez fisiológica.

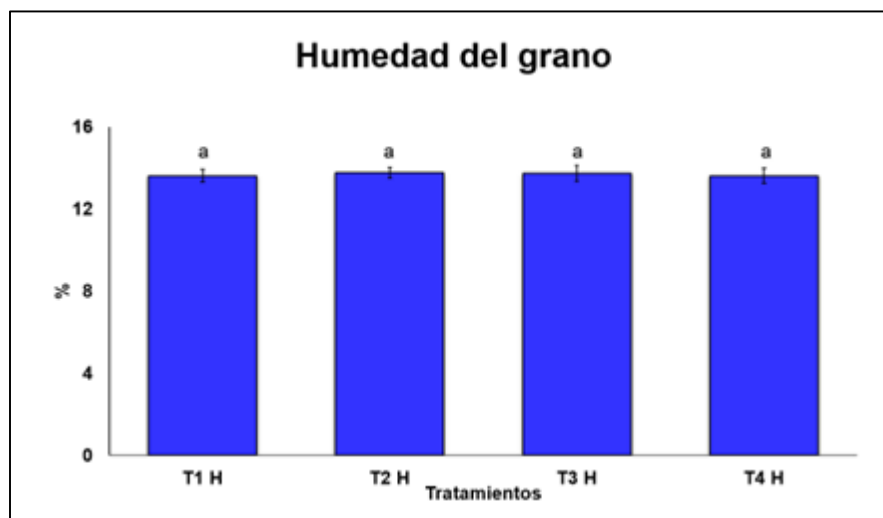
**Cuadro 13.** Resultados obtenidos en peso de mil granos, forraje por hectárea, rendimiento de grano por hectárea y días a madurez fisiológica de los tratamientos evaluados.

Tratamientos	PMG	FH	GH	DMF
<b>T1 H</b>	48.25±2.37 <sup>b</sup>	9.35±2.43 <sup>a</sup>	4.89±1.15 <sup>a</sup>	116.75±1.26 <sup>b</sup>
<b>T2 H</b>	49.75±3.84 <sup>b</sup>	11.76±0.64 <sup>a</sup>	5.04±1.21 <sup>a</sup>	111.75±1.26 <sup>a</sup>
<b>T3 H</b>	56.75±2.54 <sup>a</sup>	9.73±1.14 <sup>a</sup>	4.62±1.01 <sup>a</sup>	117.00±0.82 <sup>b</sup>
<b>T4 H</b>	51.25±0.99 <sup>ab</sup>	12.25±1.30 <sup>a</sup>	6.42±1.29 <sup>a</sup>	118.00±0.82 <sup>b</sup>

PMG= peso de mil granos (g), FSH = forraje por hectárea (T ha<sup>-1</sup>), GH = rendimiento de grano por hectárea (T ha<sup>-1</sup>), DMC= días a madurez comercial.

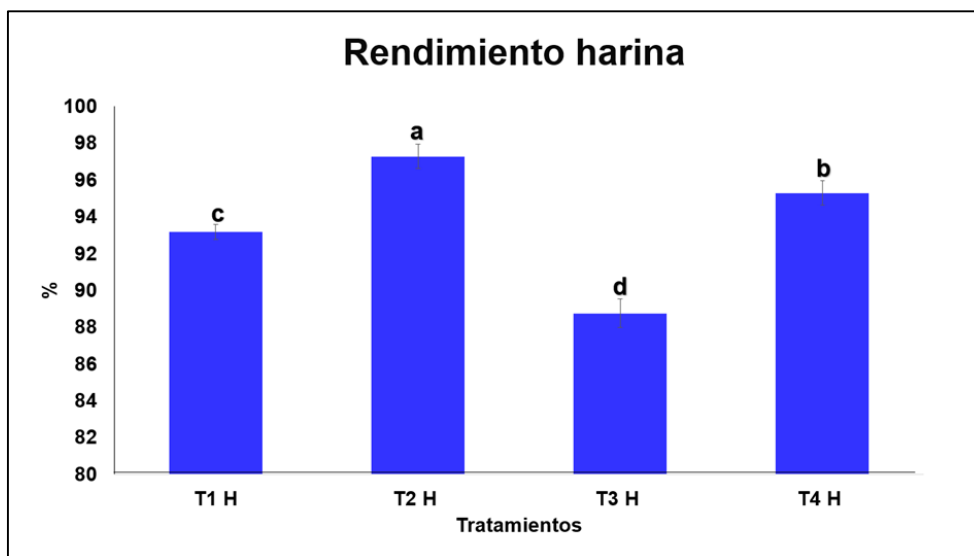
La humedad y temperatura del grano son variables de gran importancia ya que influyen en el rendimiento industrial por lo que, en este trabajo se tomó la temperatura del grano obteniendo una temperatura de 78°F en todos los tratamientos y una humedad que va desde 13.61 hasta 13.76 %, como se muestra en la Figura 25 sin presentar diferencia significativa ( $p \geq 0.005$ ) entre tratamientos. Siendo el tratamiento T2 H el que obtuvo mayor porcentaje de humedad, seguido del T3 H el cual se encontraba con un 13.76 %, mientras que el T1 H y T4 H tenían un porcentaje de humedad similar de 13.61 % siendo estos dos tratamientos los que tuvieron menor porcentaje de humedad de grano.

De acuerdo con Blanco *et al.* (2019), la humedad de trigo debe de tener un porcentaje de 13.5 % al recibirlo para almacén. Sin embargo, Castillo y Chamorro (2009) mencionan que los rangos óptimos de humedad del grano para tener calidad panadera de la harina de trigo es de 13 a 15 %, por lo que nuestros granos están entre estos rangos para el almacenaje y la producción de harina.



**Figura 25.** Porcentaje de humedad del grano de trigo harinero

El porcentaje de rendimiento de la harina se presentan en la Figura 26 esta variable muestra rangos desde 88.75 hasta 97.28 con diferencia estadística significativa ( $p \leq 0.05$ ) entre los tratamientos. El tratamiento con mayor rendimiento fue T2 H con 97.28, seguido por T4 H con un 95.28 %, mientras que el T1 H rindió 93.16 % y el tratamiento con menor rendimiento fue T3 H con 88.75 %, aunque este valor resulto ser el valor más bajo en este trabajo de investigación presenta un valor promedio mayor a lo reportado por Ponce *et al.* (2016) donde trabajó con la variedad INIA-418 y obtuvo un rendimiento de 58.55 %.







**Figura 26.** Porcentaje de rendimiento de harina

En cuanto a la medición del índice de color de la harina en el parámetro de Luminosidad  $L^*$  se registraron valores desde 83.49 hasta 88.74 donde el tratamiento T4 H fue la que presentó el valor más alto encontrando diferencia significativa ( $p \leq 0.05$ ) entre tratamientos, en el factor  $a^*$  los rangos obtenidos fueron desde 2.64 hasta 3.53 encontrando diferencia estadística significativa entre tratamientos ( $p \leq 0.05$ ), mientras que el factor  $b^*$  presento rangos desde 11.10 hasta 13.43 mostrando diferencia estadística entre tratamientos ( $p \leq 0.05$ ), en cuanto al factor de Croma  $C^*$  los datos obtenidos mostraron rangos desde 11.41 hasta 13.75 con diferencia significativa ( $p \leq 0.05$ ) entre tratamientos siendo el tratamiento T3 H el que obtuvo mayor valor. El factor del ángulo Hue  $H^*$  presentó valores desde 75.15 hasta 76.56 con diferencia significativa ( $p \leq 0.05$ ) entre tratamientos los cuales se pueden observar en el Cuadro 14.

Estos rangos son diferentes a los que reporta Montoya *et al.* (2012) donde evalúa el color en harinas de trigo comerciales con un blanqueamiento previo (comúnmente se añaden blanqueadores como peróxido de Benzoilo o gas de cloro con el fin de dar un cambio de color a los pigmentos amarillos y obtener una harina blanca en más corto tiempo) (Villanueva-Flores, 1993), obteniendo un promedio en luminosidad  $L^*$  de 92.01 y un promedio de  $C^*$  de 9.79, valores promedio en  $h^*$  de 86.74 estas lecturas fueron tomadas con un colorímetro HunterLab. Por lo que la comparación de  $L^*$  en este trabajo y el de Montoya *et al.* (2012) nuestros resultados están por debajo con un 3.87 %.

En cuanto a la variable  $L^*$  Oliver *et al.* (1992) llevaron a cabo mediciones en harinas obtenidas a partir de trigo blanco de primavera, utilizando las dos marcas de colorímetros. Obteniendo datos donde se muestra que existe mínimas variaciones entre las mediciones realizadas. El valor medio de  $L^*$  con un instrumento de la marca Hunterlab modelo D25-9SM el valor medio resultó de 91.73 con rangos de valores de 90.95 hasta 92.95 y al utilizar la marca Minolta modelo CR 200 obtuvieron un valor medio de 91.33 con valores desde 90.35 hasta 92.55.

**Cuadro 14.** Color en harinas obtenidas de trigos harineros (*Triticum aestivum* L.) cultivados en La Ascensión, Aramberri, Nuevo León.

Tratamiento	$L$	$a$	$b$	$C$	$H$	Vista
T1 H	86.69±0.50 <sup>b</sup>	2.88±0.13 <sup>bc</sup>	11.38±0.21 <sup>b</sup>	11.74±0.21 <sup>b</sup>	75.91±0.34 <sup>ab</sup>	
T2 H	86.43±0.39 <sup>b</sup>	2.94±0.11 <sup>b</sup>	11.38±0.19 <sup>b</sup>	11.75±0.20 <sup>b</sup>	75.50±0.36 <sup>b</sup>	
T3 H	83.49±0.56 <sup>c</sup>	3.53±0.13 <sup>a</sup>	13.43±0.19 <sup>a</sup>	13.78±0.09 <sup>a</sup>	75.15±0.40 <sup>b</sup>	
T4 H	88.74±0.15 <sup>a</sup>	2.64±0.05 <sup>c</sup>	11.10±0.17 <sup>b</sup>	11.41±0.19 <sup>b</sup>	76.56±0.11 <sup>a</sup>	

\*Letras iguales significa que no hay diferencia significativa entre tratamientos.

Rodriguez-Sandoval *et al.* (2005) describe la textura como un factor importante ya que de ello depende la aceptación y aprobación del consumidor hacia los alimentos. Las propiedades texturales de un alimento son el grupo de características físicas que dependen de los elementos estructurales del material y se relacionan con la deformación, de integración y flujo por la aplicación de una fuerza. Una propiedad importante del alimento que se asocia con la textura es su comportamiento reológico por lo que al realizar este análisis en la variable extensibilidad de la masa los resultados de fuerza a los 30 min no presentaron diferencia estadística significativa entre tratamientos obteniendo datos desde 0.17 N hasta 0.25 N, mientras que a los 60 min en la segunda toma de datos si se presentó diferencia estadística significativa donde el T1 H requirió una fuerza de 0.42 N a diferencia del T4 H el cual requirió de 0.30 N, en la tercera toma de datos a los 90 min se tomaron lecturas desde 0.39 hasta 0.65 donde el T1 H muestra diferencia estadística con los tratamientos T2 H y T4 H lo cual se puede observar en el Cuadro 15.

**Cuadro 15.** Extensibilidad de la masa de trigo harinero (*Triticum aestivum* L.).

	Fuerza (N)		
	30 min	60 min	90 min
T1 H	0.25±0.06 <sup>a</sup>	0.42±0.09 <sup>a</sup>	0.65±0.10 <sup>a</sup>
T2 H	0.25±0.04 <sup>a</sup>	0.37±0.02 <sup>ab</sup>	0.52±0.07 <sup>b</sup>
T3 H	0.23±0.05 <sup>a</sup>	0.32±0.06 <sup>ab</sup>	0.53±0.08 <sup>ab</sup>
T4 H	0.17±0.02 <sup>a</sup>	0.30±0.03 <sup>b</sup>	0.39±0.04 <sup>c</sup>
	Distancia (mm)		
	30 min	60 min	90 min
T1 H	75.13±12.49 <sup>ab</sup>	68.22±21.15 <sup>a</sup>	42.21±4.14 <sup>b</sup>
T2 H	61.29±17.67 <sup>ab</sup>	48.70±8.88 <sup>b</sup>	36.46±3.17 <sup>b</sup>
T3 H	57.97±18.19 <sup>b</sup>	61.53±7.00 <sup>ab</sup>	41.81±6.69 <sup>b</sup>
T4 H	76.10±14.57 <sup>a</sup>	67.34±8.05 <sup>ab</sup>	65.06±9.38 <sup>a</sup>

\*Letras iguales significa que no hay diferencia significativa entre tratamientos.

Un buen promedio de altura y textura del pan es posible debido a que el trigo tiene un grupo de proteínas (gliadinas y gluteninas) que en presencia de agua se hidratan e interaccionan para formar el gluten, este permite que la masa retenga el gas producido durante la fermentación. Para este caso un gluten fuerte y extensible permite la preparación de masas con buena capacidad de retención de gas durante la fermentación, las cuales pueden expandirse dando origen a panes con un alto volumen, miga suave y esponjosa Robles-Sosa *et al.* (2005). En el Cuadro 16 se presentan los resultados de altura (mm), porcentaje de pérdida de peso durante el horneado y dureza del pan (N) donde los tratamientos no mostraron diferencia significativa ( $p \geq 0.05$ ) sin embargo se puede observar que el tratamiento T3 H es el que presenta mayor promedio en las tres variables evaluadas alcanzando 52.19 mm de altura, 12.50 % de pérdida de peso durante el horneado y 33.26 N de dureza de pan.

Los resultados obtenidos en la pérdida de peso durante el horneado se encuentran dentro de los valores que reporta Calvo-Carrillo *et al.* (2020) quien obtuvo una pérdida del 11.84 % en pan echo a base de harina de trigo. Mientras que Vega *et al.* (2015) reportan una cantidad mayor de pérdida de peso en el horneado la cual fue del 15.54 %.

**Cuadro 16.** Altura, pérdida de peso durante el horneado y dureza del pan elaborado a partir de harina de trigos harineros (*Triticum aestivum* L.) cultivados en La Ascensión, Aramberri, Nuevo León.

Tratamientos	Altura (mm)	Pérdida de peso (%)	Dureza (N)
T1 H	49.66±0.39 <sup>a</sup>	10.74±1.30 <sup>a</sup>	31.88±0.79 <sup>a</sup>
T2 H	49.91±0.43 <sup>a</sup>	11.03±1.30 <sup>a</sup>	31.86±1.93 <sup>a</sup>
T3 H	52.19±2.13 <sup>a</sup>	12.50±0.29 <sup>a</sup>	33.26±0.18 <sup>a</sup>
T4 H	49.47±2.39 <sup>a</sup>	10.15±1.30 <sup>a</sup>	32.43±6.69 <sup>a</sup>





\*Letras iguales significa que no hay diferencia significativa entre tratamientos.

El color de la corteza de pan

El color de la corteza del pan se desarrolla durante el horneado del pan y está asociado con la reacción de caramelización dando como resultado una corteza crujiente y brillante.

La medición de color del pan nos arrojó los siguientes resultados para el factor  $L^*$  el T4 H presentó el mayor rango de luminosidad, croma y ángulo hue, tomando en cuenta lo descrito por Mohamed *et al.* (2012) el valor de  $L^*$  (luminosidad, brillantez) es uno de los parámetros más importantes de color ya que este puede causar un impacto directo en el valor comercial. Este tratamiento también presentó los menores rangos en el factor  $a^*$  al igual que en el factor  $b^*$  ofreciendo una tonalidad a la vista más clara a comparación de el T1 H quien mostro una tonalidad más oscura. Estos resultados se presentan en el Cuadro 17. Otros autores como Domínguez *et al.* (2019) reportan valores similares a los de nuestra investigación con una luminosidad de 67.80 en pan de caja a base de harina de trigo.

**Cuadro 17.** Color de la corteza de pan.

Tratamiento	<i>L</i>	<i>a</i>	<i>b</i>	<i>C</i>	<i>H</i>	Vista
T1 H	65.43±2.38 <sup>b</sup>	7.94±1.77 <sup>a</sup>	24.25±1.96 <sup>ab</sup>	25.53±2.39 <sup>ab</sup>	72.04±2.51 <sup>a</sup>	
T2 H	65.43±0.33 <sup>b</sup>	7.99±0.82 <sup>a</sup>	25.29±1.46 <sup>a</sup>	26.55±1.62 <sup>a</sup>	72.50±0.75 <sup>a</sup>	
T3 H	67.54±0.78 <sup>ab</sup>	7.14±0.36 <sup>a</sup>	23.14±0.58 <sup>ab</sup>	24.25±0.62 <sup>ab</sup>	72.80±0.47 <sup>a</sup>	
T4 H	68.55±0.09 <sup>a</sup>	6.05±0.51 <sup>a</sup>	21.93±1.03 <sup>b</sup>	22.76±1.13 <sup>b</sup>	74.63±0.56 <sup>a</sup>	

\*Letras iguales significa que no hay diferencia significativa entre tratamientos.

#### 4.2. Trigos cristalinos (*Triticum durum* L.)

Los resultados obtenidos en las variables altura de planta, número de hojas por planta, número de macollos por planta, longitud de la espiga, número de espiguillas por espiga y número de granos por espiga se pueden observar en el Cuadro 18.

La altura de la planta en trigos cristalinos nos muestra rangos de 62.53 hasta 67.68 cm. Sin presentar diferencia significativa entre tratamientos ( $p \geq 0.05$ ). Mostrando altura por debajo de las registradas por Noriega *et al.* (2019) los cuales reportan que la Variedad Anatoly C2011 obtuvo una altura de 94 cm en Celaya Guanajuato a temperaturas entre 18 y 20°C. Por otro lado, Barriga (1974) reporta una altura similar a la de nuestro estudio con 64 cm en cultivares de Pilote x Mex 63.

El número de hojas muestra rangos de 3.75 a 4.18, sin embargo, no muestran diferencia estadística entre tratamientos ( $p \geq 0.05$ ). Siendo el tratamiento T3 M el que obtiene mayor cantidad de hojas por tallo. Lo que concuerda con Miralles (2004) quien señala que la planta de trigo tiene de 3 a 4 hojas.

De acuerdo con Masle (1985) el amacollamiento, es un proceso importante ya que determinará el número de espigas que se producirán en la planta por lo que se tomó



el dato de macollos por planta y obteniendo rangos de 3 hasta 3.23. Sin mostrar diferencia significativa ( $p \geq 0.05$ ) entre los tratamientos.

Para la variable longitud de la espiga los rangos obtenidos van desde 4.51 hasta 6.41 cm. Indicando diferencia estadística significativa ( $p \leq 0.05$ ) entre los tratamientos. En cuanto al número de espiguillas por espiga nos indican rangos desde 13.05 hasta 13.93. Sin mostrar diferencia estadística ( $p \geq 0.05$ ) significativa entre tratamientos. El tratamiento que presentó mayor nivel de longitud de la espiga y número de espiguillas por espiga fue el T3 M. Solis-Moya *et al.* (2012), reporta de 7 a 8 cm en la longitud de la espiga y de 15 a 19 espiguillas por espiga en la variedad Anatoly C2011. Los resultados reportados por estos autores en estas dos variables son superiores a los obtenidos en nuestro estudio.

Los datos obtenidos en número de granos por espiga nos indican rangos desde 40.35 hasta 43.68. Sin mostrar diferencia estadística significativa ( $p \geq 0.05$ ) entre tratamientos.

**Cuadro 18.** Resultados obtenidos de tratamientos evaluados en las variables altura de planta, número de hojas por planta, número de macollos por planta, longitud de la espiga, número de espiguillas por espiga y número de granos por espiga.

Tratamientos	AP	n° HP	n° MP	LE	n° EE	n° GE
T1 M	65.95±6.65 <sup>a</sup>	3.94±0.41 <sup>a</sup>	3.23±0.42 <sup>a</sup>	4.90±0.56 <sup>b</sup>	13.05±1.03 <sup>a</sup>	40.35±5.65 <sup>a</sup>
T2 M	62.53±4.68 <sup>a</sup>	3.78±0.55 <sup>a</sup>	3.20±0.36 <sup>a</sup>	4.51±0.14 <sup>b</sup>	13.08±0.55 <sup>a</sup>	43.68±4.25 <sup>a</sup>
T3 M	67.68±4.83 <sup>a</sup>	4.16±0.24 <sup>a</sup>	3.00±0.70 <sup>a</sup>	6.41±0.39 <sup>a</sup>	13.93±0.22 <sup>a</sup>	42.38±3.56 <sup>a</sup>

AP= altura de planta (cm), n° HP= número de hojas por planta, n° MP= número de macollos por planta, LE= longitud de la espiga (cm), n° EE= número de espiguillas por espiga, n° GE= número de granos por espiga.

El peso de mil granos es un parámetro importante para seleccionar variedades con buena calidad física y fisiológica. Los datos obtenidos nos indican rangos desde 52.25 hasta 60.00 g. Indicando diferencia estadística significativa ( $p \leq 0.05$ ) entre tratamientos. El mayor nivel se encontró en el tratamiento T3 M. González (2009), reportó pesos de 49.61 g en trigo cristalino de la variedad Camacho, bajo condiciones de riego en la comunidad de Madrid España, lo cual coincide con los valores obtenidos en el presente estudio en el T2 M.

El rendimiento de grano por hectárea de trigos cristalinos muestra un rango de 3.75 hasta 5.70 T. Indicando diferencias significativas entre tratamientos ( $p \leq 0.05$ ) de trigo cristalino. Estudios realizados por Valenzuela-Antelo *et al.* (2018), reportan rendimiento de la variedad Conasist C2015 de 3.21 T ha<sup>-1</sup> en condiciones de riego reducido en el Bajío de México y 4.48 T ha<sup>-1</sup> dando riego completo en el norte de Mexico, Anatoly C2011 hasta de 6.99 T ha<sup>-1</sup> en condiciones de riego completo en el Noreste de México y rendimientos iguales en la variedad Barobampo C2015 bajo condiciones de riego reducido, quien reporta rendimientos similares en el norte en condiciones de riego completo.

Los datos obtenidos en Forraje por hectárea nos indican rangos desde 6.85 hasta 10.07 T, sin mostrar diferencia estadística significativa ( $p \geq 0.05$ ) entre tratamientos. Siendo el T3 M quien obtuvo el mayor rendimiento. Estudios realizados por Castañeda-Saucedo *et al.* (2009) en cultivo de trigo bajo invernadero reportan cantidades promedio de 8.11 T en verano y 11.90 T en el ciclo invierno-primavera.

En la variable días a madurez fisiológica los datos analizados nos arrojan rangos entre los 111 a los 119.25 días. Encontrando diferencia significativa ( $p \leq 0.05$ ) entre los

tratamientos. El tratamiento T2 M tardó 119.25 días a diferencia de lo reportado por Villaseñor-Mir *et al.* (2020) donde esta variedad tarda 121 días en llegar a madurez fisiológica.

Los resultados de Peso de mil granos, forraje por hectárea, rendimiento de grano por hectárea y días a madurez fisiológica se pueden observar en el Cuadro 19.

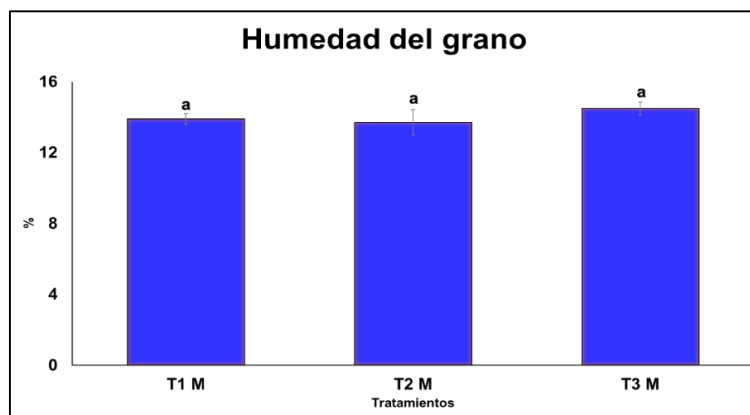
**Cuadro 19.** Peso de mil granos, forraje por hectárea, rendimiento de grano por hectárea y días a madurez fisiológica.

Tratamientos	PMG	FH	GH	DMF
T1 M	52.25±2.72 <sup>ab</sup>	6.85±1.73 <sup>a</sup>	3.75±0.12 <sup>b</sup>	118.00±0.82 <sup>a</sup>
T2 M	49.25±2.23 <sup>b</sup>	6.97±0.88 <sup>a</sup>	4.22±0.41 <sup>ab</sup>	119.25±0.50 <sup>a</sup>
T3 M	60.00±2.10 <sup>a</sup>	10.07±2.05 <sup>a</sup>	5.70±1.33 <sup>a</sup>	111.00±1.15 <sup>b</sup>

PMG= peso de mil granos (g), FSH = forraje por hectárea (T ha<sup>-1</sup>), GH = rendimiento de grano por hectárea (T ha<sup>-1</sup>), DMC= días a madurez comercial.

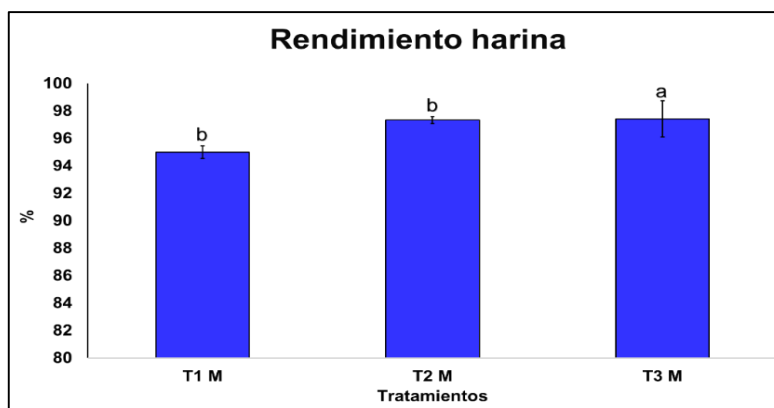
Los resultados de humedad de grano en los tratamientos de *Triticum durum* L. nos arrojan resultados entre 13 y 15 % sin mostrar diferencia estadística significativa ( $p \geq 0.05$ ), estos resultados se muestran en la Figura 27. Donde el T2 M presento un 13.72 %, seguido del tratamiento T1 M el cual tenía un 13.91 %, siendo el T3 M el que obtuvo un porcentaje mayor de 14.49 %.

Mellado y Pedreros en el año 2005 reportan porcentajes entre el 12 y 17 % de humedad de grano de trigo de primavera Domo - INIA, midiendo la humedad después de la aplicación de herbicidas postcosecha. Nuestros resultados se encuentran dentro del rango de lo reportado por estos autores.



**Figura 27.** Humedad del grano de trigo

En cuanto al rendimiento de harina se obtuvieron resultados desde 94.99 hasta 97.41 % mostrando diferencia estadística entre tratamientos ( $p \leq 0.05$ ) como se observa en la Figura 28, siendo el tratamiento T1 M el que presentó menor rendimiento seguido del tratamiento T2 M quien obtuvo rendimiento de 97.32 % muy similar al tratamiento T3 M. Hevia *et al.*, 2003 obtuvieron un rendimiento promedio de harina de 46.9 % en seis cultivares trigos de primavera sembrados bajo tres ambientes, este promedio es menor de lo alcanzado en el presente trabajo.






**Figura 28.** Porcentaje de rendimiento de harina de *Triticum durum* L.

En el Cuadro 20 se presentan los resultados encontrados en las tonalidades de la harina de trigo macarronero donde se encontró diferencia estadística significativa entre

los tratamientos ( $p \leq 0.05$ ), para el factor  $L^*$  se obtuvieron valores de 81.78 hasta 84.96, en el eje del rojo-verde  $a^*$  los valores van desde 3.75 a 4.88, en el eje amarillo-azul  $b^*$  se presentaron valores desde 19.73 hasta 22.83, estos valores en el sistema CIE LAB a la vista nos muestran unas tonalidades oscuras obteniendo una tonalidad mas oscura el tratamiento T1 M ya que fue el o que presento los mayores valores para  $a^*$ ,  $b^*$ ,  $C^*$  y el menor valor en  $H^*$ . Los valores de  $C^*$  corresponden al grado de saturacion al obrtener mayor valor en el factor  $a^*$  y  $b^*$  proporciona mayor valor de  $C^*$  en este caso el T1 M presento el mayor valor el cual fue de 23.31, mientras que el T3 M fue el que presento el menor valor de  $C^*$ .

**Cuadro 20.** Diferencias de color en la harina de *Triticum durum* L.

Tratamiento	$L$	$a$	$b$	$C$	$H$	Vista
T1 M	81.78±0.61 <sup>b</sup>	4.88±0.13 <sup>a</sup>	22.83±0.81 <sup>a</sup>	23.31±0.77 <sup>a</sup>	77.93±0.22 <sup>b</sup>	
T2 M	84.96±0.36 <sup>a</sup>	3.96±0.06 <sup>b</sup>	20.68±0.16 <sup>b</sup>	21.01±0.13 <sup>b</sup>	79.18±0.21 <sup>a</sup>	
T3 M	83.36±0.77 <sup>c</sup>	3.75±0.19 <sup>b</sup>	19.73±0.89 <sup>b</sup>	20.08±0.92 <sup>b</sup>	79.29±0.09 <sup>a</sup>	

\*Diferentes letras entre columnas significa que existe diferencia estadística significativa.

En cuanto al análisis de textura de la masa de trigos *Triticum durum* L. se presentó diferencia estadística entre tratamientos ( $p \leq 0.05$ ), en la primera toma de datos en la variable fuerza sin presentar diferencia estadística en cuanto a la distancia, estos valores se encontraron entre 0.14 N de fuerza con una distancia de 23.20 min hasta 0.26 N a una distancia de 25.74 N. Estos resultados se pueden observar en el Cuadro 21.

Vazquez-Lara *et al.*, 2009 obtuvieron una extensibilidad desde 27.88 hasta 83.37 mm en harina de 10 líneas de trigo, nuestro tratamiento T1 M se encuentra dentro de este rango sin embargo para los demás tratamientos estos se encuentran por encima de los valores que obtuvimos esta diferencia se puede deber a que ellos dieron 45 min de reposo en su harina y en nuestro trabajo se dejó por un tiempo de 30 min.

**Cuadro 21.** Extensibilidad de la masa.




<b>Fuerza (N)</b>			
	30 min	60 min	90 min
T1 M	0.14±0.01 <sup>b</sup>	0.24±0.03 <sup>a</sup>	0.31±0.08 <sup>a</sup>
T2 M	0.17±0.03 <sup>b</sup>	0.29±0.02 <sup>a</sup>	0.43±0.03 <sup>a</sup>
T3 M	0.26±0.05 <sup>a</sup>	0.39±0.10 <sup>a</sup>	0.55±0.15 <sup>a</sup>
<b>Distancia (mm)</b>			
	30 min	60 min	90 min
T1 M	23.20±1.37 <sup>a</sup>	28.57±6.58 <sup>a</sup>	32.22±8.90 <sup>a</sup>
T2 M	23.81±1.78 <sup>a</sup>	25.99±3.71 <sup>a</sup>	22.69±2.55 <sup>a</sup>
T3 M	25.74±3.80 <sup>a</sup>	27.22±6.11 <sup>a</sup>	24.94±4.90 <sup>a</sup>

\*Letras iguales significa que no hay diferencia significativa entre tratamientos.

El color de la pasta es un factor importante de calidad ya que, al observar una buena tonalidad, más deseable será consumir el producto en este parámetro los valores fueron  $L^* = 60.85$ ,  $a^* = 6.85$ ,  $b^* = 23.36$  en el tratamiento T3 M mientras que el T1 M los resultados fueron  $L^* = 64.98$ ,  $a^* = 6.78$ ,  $b^* = 22.61$  sin mostrar diferencia estadística significativa entre tratamientos, pero si diferencia de color a la vista los cuales se pueden observar en el Cuadro 22. Wahanik *et al.* (2021) Obtuvieron resultados de  $L^* = 46.25$ ,  $a^* = 11.37$  y  $b^* = 23.43$  siendo menor en cuanto a luminosidad, mayor en el factor  $a^*$  y similares en el factor  $b^*$  en pastas echas a base de harina de trigo integral y harina

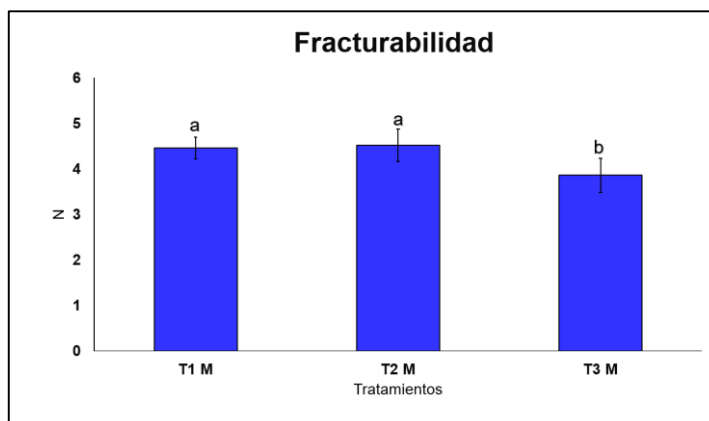
refinada (*Triticum aestivum* L.) a una relación de 70:30. Sicignano *et al.* (2015) encontraron que a una alta temperatura de secado (60-80°C) la pasta promueve un daño por excesivo calor, correlacionándolo con un daño en un mal sabor y color además de reducir su valor nutricional, obteniendo los mejores resultados en pastas secas a una temperatura de 40-60°C durante la primera parte del secado para reducir la humedad de la pasta y después aumentando la temperatura de secado de 60-80°C para que esto no influya el color de la pasta.

**Cuadro 22.** Color de pasta.

Tratamiento	<i>L</i>	<i>a</i>	<i>b</i>	<i>C</i>	<i>H</i>	Vista
T1 M	64.98±2.86 <sup>a</sup>	6.78±0.23 <sup>a</sup>	22.61±1.27 <sup>a</sup>	23.61±1.25 <sup>a</sup>	73.29±0.92 <sup>a</sup>	
T2 M	64.29±0.99 <sup>a</sup>	7.15±0.29 <sup>a</sup>	23.34±1.35 <sup>a</sup>	24.4±1.38 <sup>a</sup>	72.94±0.60 <sup>a</sup>	
T3 M	60.85±1.63 <sup>a</sup>	6.85±0.53 <sup>a</sup>	23.36±0.70 <sup>a</sup>	24.35±0.86 <sup>a</sup>	73.75±0.70 <sup>a</sup>	

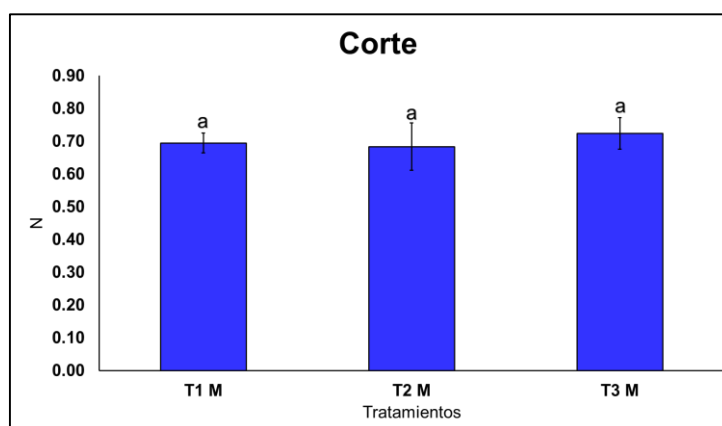
\*Letras iguales significa que no hay diferencia significativa entre tratamientos.

El análisis de los resultados de fracturabilidad de la pasta seca mostró que existe diferencia estadística entre los tratamientos ( $p \leq 0.05$ ). Los valores para esta variable, fueron de 3.86 N, 4.46 N y 4.52 N para los tratamientos T3 M, T1 M y T2 M los tratamientos que registraron la menor y mayor resistencia para fracturarse respectivamente. Analizando estos resultados en terminos de porcentaje existe una diferencia del 15.54 % entre los tratamientos T3 M y T1 M y un 17.09 % con relación entre los tratamientos T3 M y T2 M (ver Figura 29).



**Figura 29.** Fracturabilidad de pasta seca.

El análisis de textura en pasta cocida (fuerza de corte) requirió de una fuerza de 0.68 a 0.72 N sin mostrar diferencia estadística significativa entre tratamientos ( $p \geq 0.05$ ). Siendo el tratamiento T2 M el que requirió menor fuerza de corte en la pasta cocida mostrando resultados promedio de 0.68 N seguido del tratamiento T1 M con 0.69 N y el T3 M con una fuerza de 0.72 N (ver Figura 30).



**Figura 30.** Fuerza requerida al corte en pasta cocida



En un estudio realizado por Cuomo *et al.* en el año 2022, en el cual se llevó a cabo la elaboración de la pasta utilizando semolina de trigo duro en combinación con ingredientes obtenidos a partir de los residuos de la producción de cerveza de los cuales uno contenía altos niveles de proteína y el otro alto niveles de fibra, utilizándose el primero en concentraciones de 10 y 20 % y el segundo en concentraciones de 5 y 10 %.

En la evaluación de los tratamientos en una prueba de flexión se registraron valores de dureza de espagueti que van desde 0.42 hasta 0.60 N, lo cual se encuentra muy por debajo de los resultados obtenidos en este experimento. La diferencia de los resultados obtenidos por estos autores comparados a los de nuestro trabajo se debe principalmente a que utilizaron las piezas de espagueti en su forma comercial que generalmente es de 25 a 30 cm de longitud mientras que en el presente experimento las piezas evaluadas tenían una extensión de 7 cm.

En otro estudio realizado por Biernacka *et al.* En el año 2018, se evaluaron la resistencia a la flexión en espagueti seco y la fuerza de corte en espagueti cocido. Las pastas se elaboraron utilizando semolina de 9 marcas comerciales. Los resultados obtenidos para la prueba de flexión en el espagueti seco indican valores desde 0.52 N hasta 1.52 N de nueva cuenta las diferencias de los valores obtenidos por estos autores en comparación a los del presente trabajo se deben a la extensión de las piezas medidas en el experimento que fue de 12 cm.

Los resultados obtenidos para la fuerza de corte de espagueti cocido realizado por estos autores reportaron valores desde 0.52 N hasta 1.65 N. Los resultados de la

presente investigación coinciden con los del estudio mencionado anteriormente ya que el rango alcanzado en esta misma prueba fue de 0.68 N a 0.72 N.

## 5. CONCLUSIONES

Con respecto a los trigos harineros el T4 H (Conatrigo F-2015) resultó tener mejor comportamiento respecto al tratamiento testigo T1 H (San Isidro NL M-2012) en cuanto a macollaje, longitud de la espiga, número de espiguillas por espiga, número de granos por espiga, rendimiento de grano por hectárea y forraje seco por hectárea, el T2 H (Floreña NL M-2012) obtuvo mayor altura de planta y requiere 5 días menos para llegar a madurez comercial a diferencia del tratamiento testigo, el T3 H (Norteña F-2007) tuvo mayor producción de hojas y resultó 15 % mayor en peso de mil granos comparado con el tratamiento testigo T1 H.

El color de la harina presenta tonos más amarillos, ya que es una harina sin proceso de blanqueamiento, lo que nos da un aspecto de harina integral, sin embargo, no todos los tratamientos presentaron el mismo tono de color, tal es el caso del tratamiento T4 H (Conatrigo F-2015) quien presentó una tonalidad más clara. En cuanto a la altura del pan y pérdida de humedad al horneado el tratamiento T3 H (Norteña F-2007) fue el que presentó mayor valor y el tratamiento T4 H (Conatrigo F.2015) el que obtuvo los menores valores. En los atributos de textura y color del pan el tratamiento T1 H (San Isidro NL M-2012) fue el que requirió menor fuerza para calcular la dureza de la pieza de pan, mientras que el tratamiento T2 H (Floreña NL M-2012) el que presentó una tonalidad más oscura en su corteza. Todos los tratamientos tuvieron diferente comportamiento en las pruebas, mostrando algunas cualidades diferentes relacionadas al rendimiento, color de la harina, a la suavidad y el color del pan.

Respecto a los trigos cristalinos el tratamiento T3 M (Anatoly C-2011) alcanzó mayor altura de planta, generó mayor número de hojas, longitud de la espiga, número de espiguillas por espiga, peso de mil granos, rendimiento de grano por hectárea, rendimiento de forraje seco por hectárea, humedad del grano y es más precoz a comparación del tratamiento testigo T1 M (Conasist C-2015) el cual resultó ser el más bajo en cuanto a número de espiguillas por espiga, número de granos por espiga y rendimiento de grano por hectárea.

En cuanto a la calidad de la harina el T3 M (Anatoly C-2011) obtuvo mayor rendimiento en comparación con el tratamiento T1 (Conasist C-2015) siendo este tratamiento el que presento una tonalidad más oscura y el T2 (Barobampo C-2015) el que presento una tonalidad más

clara-amarilla. Para el caso de la extensibilidad de la masa tuvieron un comportamiento similar en cuanto a la distancia mostrando diferencia los tratamientos T1 (Conasist C-2015) y T2 (Barobampo C-2015) en la primera toma de datos respecto a la fuerza que requirieron para llegar a la ruptura de esta.

En el color de la pasta mostraron similitud de tonalidades, mientras que en la fuerza que requirieron para fracturarse las pastas el tratamiento T2 M (Barobampo C-2015) requirió de mayor fuerza para llegar a romperse y menor fuerza para el corte en la pasta cocida.

## 6. BIBLIOGRAFÍA

- Abbasi, H., Ardabili, S. M. S., Emam-Djomeh, Z. A. H. R. A., Mohammadifar, M. A., Zekri, M., & Aghagholizadeh, R. (2012). Prediction of extensograph properties of wheat-flour dough: artificial neural networks and a genetic algorithm approach. *Journal of texture studies*, 43(4), 326-337.
- Barrera, G. N., Bassi, E., Reyes Martínez, R. J., Leon, A. E., & Ribotta, P. D. (2012). Efectos de diferentes fracciones de harinas de trigo pan obtenidas con molino industrial sobre la calidad de galletitas dulces. *Agriscientia*, 29(2), 69-79.
- Barriga, P. (1974). Índice de cosecha de trigo de primavera. *Agro sur*, 2 (1), 17-20.
- Biernacka, B., Dziki, D., Rozylo, R., Mis, A., Romankiewicz, D., & Krzysiak, Z. (2018). Relationship between the properties of raw and cooked spaghetti—new indices for pasta quality evaluation. *International agrophysics*, 32(2).
- Blanco-Valdes, Y., Durañona, H., & Acosta-Roca, R. (2016). Efecto de la temperatura y la humedad en la conservación de granos de maíz en silos metálicos refrigerados. *Cultivos Tropicales*, 37(4), 105-114.
- Brabender 2014. Farinograma para evaluar las propiedades de la masa (tiempo de desarrollo de la masa, estabilidad, ablandamiento de la masa). Recuperado de: <https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Farinogramm.png>
- Caballero García, L. (2005). Variabilidad para proteínas de reserva de trigo espelta de origen español.

- Calvo-Carrillo, M. D. L. C., López-Méndez, O. X., Carranco-Jáuregui, M. E., y Marines, J. (2020). Evaluación fisicoquímica y sensorial de un pan tipo baguette utilizando harinas de trigo (*Triticum spp*) y chícharo (*Pisum sativum L.*). *Biotecnia*, 22(3), 116-124.
- Camara-Salim, I., Almeida-Garcia, F., Gonzalez-Garcia, S., Romero-Rodriguez, A., Ruiz-Nogueiras, B., Pereira-Lorenzo, S., ... & Moreira, M. T. (2020). Life cycle assessment of autochthonous varieties of wheat and artisanal bread production in Galicia, Spain. *Science of the Total Environment*, 713, 136720.
- Carrasco, N. (2009). *Trigo: manual de campo* (No. 633.11). Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (Argentina).
- Castañeda-Saucedo, M. C., López-Castañeda, C., León, C. D., Teresa, M., Molina Moreno, J. C., & Hernández-Livera, A. (2009). Rendimiento y calidad de la semilla de cebada y trigo en campo e invernadero. *Interciencia*, 34(4), 286-292.
- Castillo, G. M. V., y Chamorro, R. A. M. (2009). Evaluación de algunas características fisicoquímicas de harina de trigo peruano en función a su calidad panadera. *Revista de Investigación Universitaria*, 1(1).
- Cuomo, F., Trivisonno, M. C., Iacovino, S., Messia, M. C., & Marconi, E. (2022). Sustainable re-use of brewer's spent grain for the production of high protein and fibre Pasta. *Foods*, 11(5), 642.
- Domínguez Zárata, P. A., García Martínez, I., Güemes-Vera, N., Totosaus, A., & Pássaro Carvalho, C. P. (2019). Textura, color y aceptación sensorial de

tortillas y pan producidos con harina de ramón (*Brosimum alicastrum*) para incrementar la fibra dietética total. *Ciencia y Tecnología Agropecuaria*, 20(3), 699-719.

Dziki, D., Różyło, R., Gawlik-Dziki, U., & Świeca, M. (2014). Current trends in the enhancement of antioxidant activity of wheat bread by the addition of plant materials rich in phenolic compounds. *Trends in Food Science & Technology*, 40(1), 48-61.

FAO Nota informativa sobre la oferta y la demanda de cereales | Situación Alimentaria Mundial | Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. (2021). Recuperado de: <http://www.fao.org/worldfoodsituation/csdb/es/#:~:text=El%20pron%C3%B3stico%20de%20la%20FAO,de%20la%20producci%C3%B3n%20de%202019>.

Fernández-Sosa, R., Carballo-Carballo, A., Villaseñor-Mir, H. E., & Hernández-Livera, A. (2015). Calidad de la semilla de trigo de temporal en función del ambiente de producción. *Revista mexicana de ciencias agrícolas*, 6(6), 1239-1251.

García, F. O. (2004). *Avances en el Manejo Nutricional del Cultivo de Trigo*. In Actas Congreso "A Todo Trigo". FCEGAC. Mar del Plata (pp. 13-14).

Gill, B. S., Appels, R., Botha-Oberholster, A. M., Buell, C. R., Bennetzen, J. L., Chalhoub, B., ... & Sasaki, T. (2004). A workshop report on wheat genome sequencing: International Genome Research on Wheat Consortium. *Genetics*, 168(2), 1087-1096.

- González, Á. (2009). Aplicación del medidor portátil de clorofila en programas de mejora de trigo y cebada. *Agroecología*, 4, 111-116.
- Groth, S., Wittmann, R., Longin, CFH y Böhm, V. (2020). Influencia de la variedad y el lugar de cultivo en los contenidos de carotenoides y vitamina E de 184 variedades diferentes de trigo duro (*Triticum turgidum* ssp. *durum*) en Alemania. *Investigación y tecnología alimentaria europea*, 246 (10), 2079-2092.
- Hevia, F., Mellado, M., Wilckens, R., Berti, M., & Jofré, S. (2003). Rendimiento de harina y aptitud panadera de seis cultivares de trigo de primavera sembrado en tres ambientes. *Agro Sur*, 31(2), 38-46.
- Huanca, N., Quispe, G., & Marza, F. (2016). Evaluación de 15 genotipos de trigo harinero (*Triticum aestivum* L.), a través de análisis de estabilidad. *Revista Científica de Investigación INFO-INIAF*, 1, 63.
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI). (2018) mapa digital de México V6.3.0.
- Kim, Y. S., & Flores, R. A. (1999). Determination of bran contamination in wheat flours using ash content, color, and bran speck counts. *Cereal chemistry*, 76(6), 957-961.
- Kweon, M. (2010). Falling number in wheat-How is it calculated and what does it mean to producers? Meera Kweon. USDA. ARS. Soft Wheat Quality Lab. Wooster. OH., USA.



- Lara, F. V., Amat, S. V., Rubio, A. R. I., Baviera, J. M. B., Meló, R. G., & Peñuelas, R. C. (2017). Efecto de la sustitución de harina de trigo con harina de avena, maíz y sorgo sobre las propiedades reológicas de la masa, texturales y sensoriales del pan. *Investigación y Ciencia*, 25(71), 19-26.
- Le, T. D. Q., Alvarado, C., Girousse, C., Legland, D., & Chateigner-Boutin, A. L. (2019). Use of X-ray micro computed tomography imaging to analyze the morphology of wheat grain through its development. *Plant Methods*, 15(1), 1-19.
- Leal, J. (2012). Estudio climático de dos invernaderos en el estado de Nuevo León, México. *Ciencia UANL*, Año 15, No. 58, 81-88.
- Lersten, N.R. (1987). Morphology of anatomy of the wheat plant. In: wheat and wheat improvement (ed.E.G. Heyne). *Agronomy No 13*. América Society of Agronomy Wisconsin 33-76.
- Martinez-Cruz, E., Espitia-Rangel, E., Villaseñor-Mir, H., & Santa-Rosa, R. (2020). La productividad del trigo harinero bajo diferentes condiciones de riego. *Revista mexicana de ciencias agrícolas*, 11(6), 1349-1360.
- Masle, J. (1985). Competition among tillers in winter wheat: consequences for growth and development of the crop. In *Wheat growth and modelling* (pp. 33-54). Springer, Boston, MA.
- Mateo, B. (2005). *Prontuario de agricultura. Cultivos agrícolas*. Mundi-Prensa Libros. México. 88-89 p.

- Mazid, A., Amegbeto, K. N., Keser, M., Morgounov, A. I., Peker, K., Bagci, A., ... & Yaktubay, S. (2009). Adoption and impacts of improved winter and spring wheat varieties in Turkey.
- Mellado, M., & Pedreros, A. (2005). Efecto de herbicidas aplicados durante la madurez del grano de trigo en el rendimiento y calidad del grano. *Agricultura Técnica*, 65(3), 312-318.
- Mendoza, M. V. (2013). Evaluación agroindustrial de tres variedades pre comerciales de trigo. *Ciencia y tecnología*, (13), 117-132.
- Mesas, J. M., & Alegre, M. T. (2002). The bread and its processing *CYTA-Journal of Food*, 3(5), 307-313.
- Miller, F.P., Vandome, A.F., Mcbrewster, J., (2011). History of Bread. Alphascript Publishing.
- Mir, L. R. (2016). Influencia de la textura del grano de trigo (*Triticum aestivum* L.) sobre la calidad industrial de galletitas dulces y crackers (Doctoral dissertation, EEA Marcos Juárez).
- Miralles, D. (2004). Consideraciones sobre ecofisiología y manejo de Trigo. *Información técnica de trigo. Campaña*, 1-7.
- Mohammed, A., Maxime, S.G. y Joyce, I.B. 2012. Pea, Lentil and Chickpea Protein Application in Bread Making. *Journal of Food Research*. 1 (4): 160-173.

- Mohebbi, Z., Homayouni, A., Azizi, M. H., & Hosseini, S. J. (2018). Effects of beta-glucan and resistant starch on wheat dough and prebiotic bread properties. *Journal of food science and technology*, 55(1), 101-110.
- Montoya-López, J., Giraldo-Giraldo, G. A., & Lucas-Aguirre, J. C. (2012). Determinación del índice de blancura en harina de trigo comercial. *Vitae*, 19(1), S415-S416.
- Moreno, I., Ramírez, A., Plana, R., & Iglesias, L. (2001). El cultivo del trigo. Algunos resultados de su producción en Cuba. *Cultivos Tropicales*, 22(4), 55-67.
- Moreno-Araiza, O., Torres-Chávez, P. I., Ramírez-Wong, B., Magaña-Barajas, E., Montaña-Leyva, B., Medina-Rodríguez, C. L., & Delgado-Rodríguez, J. (2020). Calidad proteica en las fracciones de molienda de rodillos de trigo (*T. aestivum*) a nivel comercial. *Biotechnia*, 22(3), 53-60.
- Murphy, J. P., Griffey, C. A., Finney, P. L., & Leath, S. (1997). Agronomic and grain quality evaluations of *Triticum aestivum* × *Aegilops tauschii* backcross populations. *Crop science*, 37(6), 1960-1965.
- Nazu, S. B., Khan, M. A., Saha, S. M., Hossain, M. E., & Rashid, M. H. A. (2021). Adoption of improved wheat management practices: An empirical investigation on conservation and traditional technology in Bangladesh. *Journal of Agriculture and Food Research*, 4, 100143.
- Noriega-Carmona, M. A., Cervantes-Ortiz, F., Solís-Moya, E., Andrio-Enríquez, E., Rangel-Lucio, J. A., Rodríguez-Pérez, G., ... & García-Rodríguez, J. G. (2019).

Efecto de la fecha de siembra sobre la calidad de semilla de trigo en el Bajío, México. *Revista fitotecnia mexicana*, 42(4), 375-384.

Núñez, D., & Castillo, P. (2010). Estudio de la factibilidad técnica y económica de una sustitución parcial de harina de trigo por harinas de otros cereales aplicado a la industria de la galletera. *Guayaquil, Ecuador: Facultad de Ingeniería mecánica y ciencias de la producción (ESPOL)*.

O'Donnell, K. (2016). *Manual de producción de panadería*. Xlibris Corporation.

Olán, M. D. L. O., Espitia-Rangel, E., López-Sánchez, H., Villaseñor-Mir, H. E., Peña-Bautista, R. J., & Herrera-Hernández, J. (2012). Calidad física de grano de trigos harineros (*Triticum aestivum* L.) mexicanos de temporal. *Revista mexicana de ciencias agrícolas*, 3(2), 271-283.

Olivares, E. (2016). Paquete computacional de Diseños Experimentales Versión 1.7. Facultad de Agronomía, U.A.N.L, Gral. Escobedo, N.L, México, s.p.

Oliver, J. R., Blakeney, A. B., & Allen, H. M. (1992). Measurement of Flour Color in Color Space Parameters. *American Association of Cereal Chemists*, 69(5):546-551.

Ortega, D., Manera, G., Astolfi, G., Argenti, R., & Maich, R. (2004). Progreso genético en trigo cultivado en seco. *Agriscientia*, 21(2), 89-92.

Osella, C. A., Sánchez, H. D., González, R. J., & De La Torre, M. A. (2006). Molienda de trigo: Ensayos comparativos de escala industrial con planta piloto. *Información tecnológica*, 17(3), 33-39.

- Pathare, P. B., Opara, U. L., & Al-Said, F. A. J. (2012). Colour measurement and analysis in fresh and processed foods: a review. *Food and bioprocess technology*, 6(1), 36-60.
- Peña, R. J., Ortíz-Monasterio, J. I., & Sayre, K. D. (1998). Estrategias para mejorar (o mantener) la calidad panadera en trigo de. *Explorando altos rendimientos de trigo*, 289.
- Peña-Bautista, RJ, Hernández-Espinosa, N., Jones, M., Guzmán, C., 2017. A base de trigo Alimentos: su importancia mundial y regional en el suministro de alimentos, la nutrición y la salud. *Cereal Foods World*, págs..231 – 249. Serie del CIMMYT sobre carbohidratos, trigo, cereales y salud.
- Plana, R., Álvarez, M., & Varela, M. (2006). Evaluación de una colección del género *Triticum*: trigo harinero (*Triticum aestivum ssp aestivum*), trigo duro (*Triticum turgidum ssp. durum*) y triticale (*X Triticum secale Wittmack*) en las condiciones del occidente de Cuba. *Cultivos Tropicales*, 27(4), 49-52.
- Polo Indurain, Í. (2010). Evaluación de variedades de triticale para distintos aprovechamientos: granos, forraje y biomasa energética y estudio comparativo con variedades de trigo.
- Ponce, J., Málaga, J., Huamani, A., & Chuqui, S. (2016). Optimización de la concentración de la  $\alpha$ -amilasa y lactosuero en el mejoramiento de las características tecnológicas, nutricionales y sensoriales del pan francés. *Agroindustrial Science*, 6(2), 185-194.

- Ramírez Vázquez, J., Hortelano Santa Rosa, R., Villaseñor Mir, H. E., López Herrera, E., Martínez Cruz, E., & Espitia Rangel, E. (2016). Evaluación de variedades y líneas uniformes de trigo harinero de temporal en Valles Altos. *Revista mexicana de ciencias agrícolas*, 7(3), 655-667.
- Rangan, P., Furtado, A., & Henry, R. J. (2017). The transcriptome of the developing grain: a resource for understanding seed development and the molecular control of the functional and nutritional properties of wheat. *BMC genomics*, 18(1), 1-9.
- Raupp, W. J. (2019). Annual wheat newsletter. Vol. 65. Kansas Agricultural Experiment Station, Kansas State University, Manhattan. 35.
- Robles-Sosa, S. D., Peña-Bautista, R. J., & Fuentes-Dávila, G. (2005). Efecto de la molienda de trigo harinero (*Triticum aestivum* L.) y trigo duro (*Triticum durum* Desf.) sobre la germinación de teliosporas de *Tilletia indica* mitra.
- Rodríguez-González, R. E., Ponce-Medina, J. F., Rueda-Puente, E. O., Avendaño-Reyes, L., Paz Hernández, J. J., Santillano-Cazares, J., & Cruz-Villegas, M. (2011). Genotype-environment interaction to the yield stability in wheat in Mexicali, BC, México region. *Tropical and subtropical agroecosystems*, 14(2), 543-558.
- Rodriguez-Sandoval, E., Fernández-Quintero, A., & Ayala-Aponte, A. (2005). Reología y textura de masas: Aplicaciones en trigo y maíz. *Ingeniería e investigación*, 25(1), 72-78.

Rivero F. (2015). Poliploidía. Recuperado de <http://fernandorivero2punto0.blogspot.com/2015/03/> .

Salas Nuncio, D. (2016). “*Características generales del trigo blando y trigo duro y para que se utiliza*” Por. <http://repositorio.uaaan.mx:8080/xmlui/bitstream/handle/123456789/8225/12686%20SALAS%20NUNCIO%2c%20DAVID.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Santa-Rosa, R., Espitia, E., Martínez, E., Villaseñor, H., Huerta, J., & Mariscal, L. (2016). Productividad y calidad industrial de trigos harineros en relación a enfermedades. *Agrociencia*, 50(8), 1027-1039.

Saulnier, L., Guillon, F., & Chateigner-Boutin, A. L. (2012). Cell wall deposition and metabolism in wheat grain. *Journal of Cereal Science*, 56(1), 91-108.

Seghezzo, M. L. y Molfese, E. R. (2006). Calidad en trigo pan. Boletín Técnico N°41. Centro Regional Buenos Aires Sur: Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA).

Seling, T. I. (2015). Genetic analysis of the *Puccinia graminis* f. sp. *tritici* and *Puccinia triticina* populations in southern Africa (Doctoral dissertation, University of the Free State).

Senasica (2015). Nueva cepa de Roya de la hoja del trigo en Australia. Recuperado el 24 de noviembre del 2022 de <https://prod.senasica.gob.mx/ALERTAS/inicio/pages/single.php?noticia=251>.

Serna Saldívar, S. R. O. (1996). *Química, almacenamiento e industrialización de los cereales*. (1. edición.). México, Distrito Federal. 224-235 p.

- Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP) (2021). Avance de siembras y cosechas 2020. México. Recuperado el 2 de mayo del 2022 de [http://infosiap.siap.gob.mx:8080/agricola\\_siap\\_gobmx/ResumenProducto.do](http://infosiap.siap.gob.mx:8080/agricola_siap_gobmx/ResumenProducto.do).
- Sicignano, A., Di Monaco, R., Masi, P., & Cavella, S. (2015). From raw material to dish: pasta quality step by step. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 95(13), 2579-2587.
- Solis-Moya, E., Hernandez-Martínez, M. H., Borodanenko, A., Aguilar-Acuña, J. L., & Grajeda-Cabrera, Ó. A. (2004). Duración de la etapa reproductiva y el rendimiento de trigo. *Revista Fitotecnia Mexicana*, 27(4), 323-332.
- Solís-Moya, E., Huerta-Espino, J., Villaseñor-Mir, H. E., Pérez-Herrera, P., Ramírez-Ramírez, A., & de la Cruz-González, M. D. L. (2012). Anatoly C2011, nueva variedad de trigo cristalino para siembras en El Bajío y el norte de México. *Revista mexicana de ciencias agrícolas*, 3(4), 821-827.
- Suaste-Franco, M., Solís-Moya, E., Ledesma-Ramírez, L., de la Cruz-Gonzalez, M., Grageda-Cabrera, O., & Báez-Pérez, A. (2013). Efecto de la densidad y método de siembra en el rendimiento de grano de trigo (*Triticum aestivum* L.) en El Bajío, México. *Agrociencia*, 47(2), 159-170.
- Surget, A., & Barron, C. (2005). Histologie du grain de blé. *Industries des céréales*, (145), 3-7.
- Tottman, D. R. (1987). The decimal code for the growth stages of cereals, with illustrations. *Annals of applied biology*, 110(2), 441-454.



- Treviño-Ramírez, J. E. 2005. Metodología para detectar resistencia a la roya de la corona (*Puccinia coronata* Cda.) en avena (*Avena sativa* L.) mediante técnicas in vivo e invitro. Tesis doctoral FAUANL. (No. SB191. A8 T74 2005).
- Valenzuela-Antelo, J. L., Bénitez-Riquelme, I., Villaseñor-Mir, H. E., Huerta-Espino, J., Lobato-Ortiz, R., Bueno-Aguilar, G., & Vargas-Hernández, M. (2018). Comparación del rendimiento de trigos harineros y cristalinos a través de diferentes ambientes de riego. *Revista fitotecnia mexicana*, 41(2), 159-166.
- Vásquez-Lara, F., Camacho-Casas, M. A., Granados-Nevárez, M. C., Silva-Espinoza, B. A., & Islas-Rubio, A. R. (2009). Propiedades reológicas y composición proteica: parámetros de calidad en harinas de líneas experimentales de trigo. *Biotecnia*, 11(2), 29-36.
- Vega Castro, Ó. A., De Marco, R., & Di Risio, C. (2015). Propiedades físicas y sensoriales de un pan fresco, con la adición de las enzimas lacasa, xilanasa y lipasa. *Revista EIA*, (24), 87-100.
- Villanueva Flores, R. (1993). Aditivos para las harinas de trigo. *Ingeniería Industrial*, (006), 27-33.
- Villarreal Ruiz, M. (2014). *Efectos de la producción del trigo (Triticum aestivum L.) en el mundo, México y en la región 5 manantiales* (no. sb 191. w5. v54 2000.).
- Villaseñor-Mir, H. E., Huerta-Espino, J., Rosa, H. S., Martínez-Cruz, E., Rodríguez García, M. F., Solís-Moya, E., Alvarado-Padilla, J., Barbón-García, A., Chávez-Villalba, G., Cortinas-Escobar, H., Osario-Alcalá, L., Espitia-Rangel, E., Martínez-Medina, J. & Ireta-Moreno, J. (2020). Barobampo C2015, nueva

variedad de trigo cristalino para áreas de riego en México. *Revista fitotecnia mexicana*, 43(2), 245-247.

Wahanik, A. L., Neri-Numa, I. A., Pastore, G. M., Felisberto, M. H. F., Campelo, P. H., & Clerici, M. T. P. S. (2021). Technological and antioxidant characteristics of pasta with whole wheat flour and natural colored concentrates. *Research, Society and Development*, 10(3), e7110312072-e7110312072.

Wang, J., Pawelzik, E., Weinert, J., Zhao, Q., & Wolf, G. A. (2008). Factors influencing falling number in winter wheat. *European Food Research and Technology*, 226(6), 1365-1371.

Zadoks, JC, Chang, TT y Konzak, CF (1974). Un código decimal para las etapas de crecimiento de los cereales. *Investigación de malezas*, 14 (6), 415-421.

Zheng, L., Liu, J., Liu, R., Xing, Y., & Jiang, H. (2021). 3D printing performance of gels from wheat starch, flour and whole meal. *Food Chemistry*, 356, 129546.