

**UNIVERSIDAD PÚBLICA DE EL ALTO
ÁREA DE CIENCIAS AGRÍCOLAS, PECUARIAS
Y RECURSOS NATURALES
CARRERA DE INGENIERÍA AGRONÓMICA**



TESIS DE GRADO

**MORFOLOGÍA, FENOLOGÍA, RENDIMIENTO Y CALIDAD FÍSICA
DE SIETE CULTIVARES PROMISORIOS DE TRIGO HARINERO
(*Triticum aestivum* L.) EN LA ESTACIÓN EXPERIMENTAL DE
KALLUTACA**

Por:

Jenny Vilma Paco Mayta

EL ALTO – BOLIVIA

Abril, 2025

**UNIVERSIDAD PÚBLICA DE EL ALTO
ÁREA DE CIENCIAS AGRÍCOLAS, PECUARIAS
Y RECURSOS NATURALES
CARRERA DE INGENIERÍA AGRONÓMICA**

**MORFOLOGÍA, FENOLOGÍA, RENDIMIENTO Y CALIDAD FÍSICA DE SIETE
CULTIVARES PROMISORIOS DE TRIGO HARINERO (*Triticum aestivum* L.) EN LA
ESTACIÓN EXPERIMENTAL DE KALLUTACA**

*Tesis de Grado presentado
como requisito para optar el Título de
Ingeniera Agrónoma*

Jenny Vilma Paco Mayta

Asesores:

Lic. Ing. Félix Marza Mamani

.....

Lic. Ing. Soledad Chávez Vino

.....

Tribunal Revisor:

M.Sc. Lic. Ing. Luis Fernando Machicao Terrazas

.....

Lic. Ing. Vicky Ruth Villca Calle

.....

Dr. Lic. Ing. Francisco Mamani Pati

.....

Aprobada

Presidente Tribunal Examinador

.....



DEDICATORIA:

El presente trabajo de investigación está dedicado con amor, respeto y gratitud a mi familia que me brindó su apoyo incondicional durante toda la etapa de mi formación.

A mis queridos padres; Sr. Gonzalo Paco y Sra. Vilma Mayta, quienes estuvieron siempre presente en los momentos buenos y malos de mi vida.

AGRADECIMIENTOS

A Dios por darme las fuerzas y el coraje para realizar este sueño y por estar en cada momento de mi vida

A mis padres por inculcarme amor, respeto y gratitud, a mi familia que me brindó su apoyo incondicional durante toda la etapa de mi formación.

A mis hermanos Jeanette y Jonh que con sus palabras de aliento y buenos deseos me brindaron todo su apoyo para seguir con mis sueños.

A mis asesores Lic. Ing. Félix Marza Mamani, Lic. Ing. Soledad Chavez Vino docentes de la Carrera de Ingeniería Agronómica de la UPEA, por las sugerencias para el tema de tesis, el asesoramiento, guía y orientación durante el desarrollo del trabajo en campo y en la redacción final de la presente investigación.

A los miembros del Tribunal Revisor conformados por M.Sc. Lic. Ing. Luis Fernando Machicao Terrazas, Lic. Ing. Vicky Ruth Villca Calle y Dr. Lic. Ing. Francisco Mamani Pati, docentes de la Carrera de Ingeniería Agronómica; por su importante corrección permitieron la ejecución de la presente investigación.

A aquellas amistades, gracias por su colaboración en el trabajo de campo y su ayuda incondicional.

Y no menos importante a mi pequeña Lilo mi compañera inseparable, te amo infinitamente.

CONTENIDO

ÍNDICE DE TEMAS	i
ÍNDICE DE CUADROS	v
ÍNDICE DE FIGURAS	vii
ÍNDICE DE ANEXOS	viii
ABREVIATURAS	ix
RESUMEN	x
ABSTRACT	xi

ÍNDICE DE TEMAS

1. INTRODUCCIÓN	1
1.1. Antecedentes	2
1.2. Planteamiento del problema.....	2
1.3. Justificación	2
1.4. Objetivos.....	4
1.4.1. Objetivo general	4
1.4.2. Objetivos específicos	4
1.5. Hipótesis	4
2. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA.....	5
2.1. Origen y distribución del cultivo	5
2.2. Descripción y clasificación taxonómica	5
2.2.1. Descripción morfológica del trigo	5
2.2.2. Clasificación taxonómica.....	7
2.3. Ciclo vegetativo del cultivo	8
2.3.1. Germinación.....	8
2.3.2. Crecimiento de la plántula.....	9

2.3.3. Macollaje.....	9
2.3.4. Alargamiento del tallo o encañado	9
2.3.5. Buche o bota (Hoja bandera)	10
2.3.6. Espigado.....	10
2.3.7. Antesis	10
2.3.8. Estado lechoso del grano.....	11
2.3.9. Estado pastoso del grano.....	11
2.3.10. Madurez de cosecha.....	11
2.4. Calidad del grano de trigo	12
2.4.1. Calidad física y fisiológica	12
2.5. Importancia del trigo.....	12
2.5.1. Requerimientos edafoclimáticos.....	13
2.5.2. Requerimiento nutricional.....	13
2.5.3. Componentes de rendimiento	14
2.5.4. Rendimiento del cultivo de trigo (Bolivia).....	15
3. MATERIALES Y MÉTODOS	16
3.1. Localización	16
3.1.1. Ubicación geográfica.....	16
3.1.2. Características edafoclimáticas.....	17
3.2. Materiales	18
3.2.1. Material genético.....	18
3.2.2. Material de campo.....	18
3.2.3. Material de laboratorio.....	18
3.2.4. Material de gabinete.....	19
3.3. Metodología	19
3.4. Diseño experimental	22

3.4.1. Tratamientos de estudio.....	22
3.5. Variables de respuesta.....	23
3.5.1. Variables fenológicas.....	23
3.5.1.1. Variables morfológicas.....	24
3.5.2. Análisis estadístico.....	27
3.5.2.1. Análisis estadístico descriptivo.....	27
3.5.2.2. Análisis de varianza y la prueba de medias Duncan.....	27
3.5.3. Croquis del ensayo.....	28
4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	29
4.1. Variables climatológicas.....	29
4.2. Análisis descriptivo.....	30
4.3. Variables fenológicas.....	31
4.3.1. Días a la emergencia.....	31
4.3.2. Días a la floración.....	34
4.3.3. Días a la madurez.....	36
4.3.4. Días a grano lechoso.....	39
4.3.5. Días a grano duro.....	41
4.3.6. Precocidad.....	44
4.4. Variables morfológicas.....	46
4.4.1. Altura de planta.....	46
4.4.2. Longitud de hoja.....	47
4.4.3. Número de macollos por planta.....	49
4.4.4. Número de espigas por m ²	50
4.4.5. Número de espiguillas por espiga.....	52
4.4.6. Número de granos por espiga.....	53
4.4.7. Ancho de grano.....	56

4.4.8. Longitud de grano	58
4.5. Variables de rendimiento.....	60
4.5.1. Peso mil granos	60
4.5.2. Rendimiento de grano por planta	63
4.5.3. Peso hectolítrico.....	65
4.5.4. Rendimiento (kg/ha).....	67
5. CONCLUSIONES	71
6. RECOMENDACIONES	73
7. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS	74
8. ANEXOS.....	81

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1. Estadística descriptiva de variables fenológicas, morfológicas, rendimiento y calidad física de siete cultivares promisorios de trigo harinero en la Estación Experimental de Kallutaca.	30
Cuadro 2. Análisis de varianza para días a la emergencia	32
Cuadro 3. Prueba de promedios Duncan ($\alpha=0,05$) para días a la emergencia.....	32
Cuadro 4. Análisis de varianza para días a la floración.....	34
Cuadro 5. Prueba de promedios Duncan ($\alpha=0,05$) para días a la floración.....	35
Cuadro 6. Análisis de varianza para días a la madurez	37
Cuadro 7. Prueba de promedios Duncan ($\alpha=0,05$) para días a la madurez	37
Cuadro 8. Análisis de varianza para días a grano lechoso	39
Cuadro 9. Prueba de promedios Duncan ($\alpha=0,05$) para días a grano lechoso	40
Cuadro 10. Análisis de varianza para días a grano duro	42
Cuadro 11. Prueba de promedios Duncan ($\alpha=0,05$) para días a grano duro	42
Cuadro 12. Análisis de varianza para precocidad.....	44
Cuadro 13. Prueba de promedios Duncan ($\alpha=0,05$) para precocidad	45
Cuadro 14. Análisis de varianza para altura de planta.....	46
Cuadro 15. Análisis de varianza para longitud de hoja	48
Cuadro 16. Análisis de varianza para número de macollos	49
Cuadro 17. Análisis de varianza para número de espigas por m ²	51
Cuadro 18. Análisis de varianza para número de espiguillas por espiga	52
Cuadro 19. Análisis de varianza para número de granos por espiga.....	54
Cuadro 20. Prueba de Duncan para número de granos por espiga.....	54
Cuadro 21. Análisis de varianza para ancho de grano	56
Cuadro 22. Prueba de Duncan para ancho de grano	57
Cuadro 23. Análisis de varianza para longitud de grano.....	59

Cuadro 24. Prueba de Duncan para longitud de grano.....	59
Cuadro 25. Análisis de varianza para peso de 1000 granos.....	61
Cuadro 26. Prueba de Duncan para peso de grano 1000 granos.....	61
Cuadro 27. Análisis de varianza para rendimiento de grano por planta.....	63
Cuadro 28. Prueba de Duncan para rendimiento de grano por planta.....	64
Cuadro 29. Análisis de varianza para peso hectolítrico	65
Cuadro 30. Prueba de Duncan para peso hectolítrico	66
Cuadro 31. Análisis de varianza para rendimiento (kg/ha).....	68
Cuadro 32. Prueba de Duncan para rendimiento (kg/ha)	69

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.	Lugar de ubicación del trabajo de investigación	16
Figura 2.	Croquis del trabajo de investigación.....	28
Figura 3.	Registro del comportamiento climático durante el tiempo de la investigación (2021 – 2022).....	29
Figura 4.	Promedios de días a la emergencia	33
Figura 5.	Promedios de días a la floración	35
Figura 6.	Promedios de días a la madurez.....	38
Figura 7.	Promedios de días a grano lechoso	40
Figura 8.	Promedios de días a grano duro	43
Figura 9.	Promedios de precocidad.....	45
Figura 10.	Promedios de altura de planta.....	47
Figura 11.	Promedios de longitud de hoja.....	48
Figura 12.	Promedios para número de macollos.....	50
Figura 13.	Promedios de número de espigas por m ²	51
Figura 14.	Promedios de número de espiguillas por espiga	53
Figura 15.	Promedios de número de granos por espiga.....	55
Figura 16.	Promedios de ancho de grano	58
Figura 17.	Promedios de longitud de grano.....	60
Figura 18.	Promedios de peso de mil granos	62
Figura 19.	Promedios de rendimiento de grano por planta.....	65
Figura 20.	Promedios de peso hectolítrico	67
Figura 21.	Promedios de rendimiento (kg/ha)	69

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1. Preparación del terreno.....	82
Anexo 2. Material genético utilizado en la investigación.....	82
Anexo 3. Siembra de las líneas de trigo.....	82
Anexo 4. Toma de muestras de 5 plantas en cada unidad experimental con sus respectivos marbetes.	83
Anexo 5. Vista de las parcelas de trigo en la madurez fisiológica	83
Anexo 6. Cosecha de las parcelas experimentales de trigo	84
Anexo 7. Recolección de muestras en las parcelas de investigación	84
Anexo 8. Trillado y venteado.....	84
Anexo 9. Medidas de grano	85
Anexo 10. Peso de grano (1000 g).....	85
Anexo 11. Peso hectolitrico.....	86

ABREVIATURAS

CIMMYT	Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo
HI	Hectolítrico
INIAF	Instituto Nacional de Innovación Agropecuaria y Forestal
INE	Instituto Nacional de Estadísticas
Msnm	Metros sobre el nivel del mar
MDRyT	Ministerio de Desarrollo Rural y Tierras
PN	Programa Nacional
Tepoca	Variedad testigo y/o control

RESUMEN

La presente investigación se desarrolló en el Centro Experimental de Kallutaca perteneciente a la carrera Ingeniería Agronómica de la Universidad Pública de El Alto, el cual se encuentra en el municipio de Laja de la provincia Los Andes del departamento de La Paz, con el objetivo de caracterizar fenotípica y fenológicamente siete cultivares promisorios de trigo harinero además evaluar su productividad y calidad física. El material genético empleado en el presente estudio correspondió a siete líneas de trigo harinero: SBEGT302, SBEGT303, 315, 327, 437, 3082 y TROPICAL, provenientes del banco de germoplasma de la carrera Ingeniería Agronómica. El ensayo fue conducido en un Diseño de Bloques Completamente al Azar (DBCA), donde se consideró siete tratamientos (siete líneas de trigo harinero), distribuidas en 4 bloques y 4 repeticiones, el ensayo abarcó una superficie de 245 m², 28 unidades experimentales, cada unidad experimental de 5 m². Los resultados reflejaron diferencias significativas entre los cultivares en varios aspectos fenológicos. La variabilidad en días a la emergencia, floración, madurez, el desarrollo del grano lechoso y duro indica que algunos cultivares tienen un comportamiento superior bajo las condiciones específicas del estudio. Por otro lado, otros parámetros como la altura de planta, longitud de hoja, número de macollos, número de espigas por m² y número de espiguillas por espiga no mostraron diferencias significativas entre los cultivares. Los cultivares que mostraron diferencias notables en la cantidad de días necesarios para alcanzar el grano duro, fueron el cultivo SBEGT302 y SBEGT303 destacándose por su mayor tiempo requerido para la maduración. Por otro lado, respecto al rendimiento, la línea TROPICAL resaltó en rendimiento con un promedio de (70,9 g), seguida por las líneas 315 (68,3 g) y 437 (66,52 g), mientras que las líneas SBEGT303 (23,2 g) y SBEGT302 (17,58 g), obtuvieron los valores más bajos en el rendimiento de grano por planta. Estos datos son importantes para ajustar el manejo agrícola y para maximizar el rendimiento.

ABSTRACT

This research was developed at the Kallutaca Experimental Center belonging to the Agricultural Engineering degree of the Public University of El Alto, which is located in the municipality of Laja, in the province of Los Andes, in the department of La Paz. It is approximately 20 km from the government headquarters, with the aim of phenotypically and phenologically characterizing seven promising cultivars of bread wheat in addition to evaluating their productivity and physical quality. The genetic material used in this study corresponded to seven lines of bread wheat: SBEGT302, SBEGT303, 315, 327, 437, 3082 and TROPICAL from the germplasm bank of the Agricultural Engineering degree. The trial was conducted in a Completely Randomized Block Design (CRBD), where seven treatments (seven bread wheat lines) were considered, distributed in 4 blocks and 4 repetitions. The trial covered an area of 245 m², 28 experimental units, each experimental unit of 5 m². The results reflected significant differences between cultivars in several phenological aspects. The variability in days to emergence, flowering, maturity, and the development of the milky and hard grain indicates that some cultivars have a superior performance under the specific conditions of the study. On the other hand, other parameters such as plant height, leaf length, number of tillers, number of spikes per m², and number of spikes per spikelet did not show significant differences between cultivars. The cultivars that showed notable differences in the number of days needed to reach hard grain were the SBEGT302 and SBEGT303 cultivars, standing out for their longer time required for maturation. On the other hand, regarding yield, the TROPICAL line stood out in yield with an average of 70.9 g, followed by lines 315 (68.3 g) and 437 (66.52 g), while lines SBEGT303 (23.2 g) and SBEGT302 (17.58 g) obtained the lowest values in grain yield per plant. These data are important to adjust agricultural management and to maximize yield.

1. INTRODUCCIÓN

El trigo es uno de los cultivos más significativos a nivel global y desempeña un rol esencial en la alimentación de nuestro país, siendo una de las principales fuentes de energía. Sin embargo, la producción nacional solo cubre aproximadamente el 30% de la demanda interna y los rendimientos promedio, que oscilan entre 0,6 y 1,6 t/ha, se encuentran entre los más bajos de la región. A nivel mundial, el trigo es un grano de gran relevancia tanto para la economía como para la alimentación, lo que lo convierte en un componente fundamental en la dieta diaria de las familias bolivianas. De hecho, después de la papa, el trigo es la segunda fuente más importante de carbohidratos en el país. A pesar de su importancia, Bolivia sigue siendo deficitaria en la producción de trigo, lo que plantea un desafío significativo para la seguridad alimentaria (INIAF, 2012).

Marza (2015), señala que, en la última década, la producción de trigo en Bolivia ha variado entre 145,000 y 255,000 toneladas por año, cubriendo solo entre el 21% y el 36% de la demanda interna. El rendimiento nacional promedio oscila entre 0,9 y 1,4 t/ha, con diferencias notables entre regiones. En el oriente del país, los rendimientos son ligeramente superiores, variando entre 0,9 y 1,9 t/ha, mientras que, en las áreas de cultivo tradicional, estos se sitúan entre 0,7 y 0,9 t/ha. De manera consistente, el Instituto Nacional de Estadística (INE, 2023), reporta que en los últimos diez años (2013-2022), el rendimiento promedio de trigo a nivel nacional ha sido de 1,1 t/ha. Estas cifras reflejan la persistente diferencia entre la producción local y la demanda interna, subrayando la necesidad de mejorar tanto las prácticas agrícolas como la selección de cultivares más productivos, especialmente en las zonas tradicionales de cultivo.

Mejorar el rendimiento del cultivo de trigo requiere la implementación de diversas estrategias, entre las cuales destaca el análisis de los componentes de rendimiento. Esto implica estudiar las características morfológicas y fisiológicas cuya interacción puede optimizar el rendimiento final. A través del estudio de diferentes caracteres agronómicos y morfológicos, es posible identificar su influencia en la mejora del rendimiento. Por lo tanto, es fundamental comprender en profundidad el comportamiento y la influencia, tanto directa como indirecta, de estos caracteres agronómicos en el rendimiento, lo que permitirá una selección más efectiva de cultivares.

1.1. Antecedentes

Estudios realizados por Mamani y Blanco (2024), donde evaluaron la aptitud productiva de trece líneas elites de trigo harinero, las líneas elites con características agronómicas sobresalientes en el Altiplano Central de Bolivia, evaluadas en la Estación Experimental de Patacamaya, muestran un ciclo de vida de siete meses, de noviembre a mayo. Entre las once líneas estudiadas, la línea L-13 obtuvo el rendimiento más alto con 2,374 kg/ha. Otros grupos, incluyendo Tepoca-T89, INIAF-Tоторa-2014, L-14, L-15, y L-5, presentaron rendimientos intermedios, que oscilaron entre 2,066 y 1,557 kg/ha. Las bajas temperaturas en días específicos y la sequía durante noviembre, enero y abril afectaron significativamente las etapas críticas del cultivo, como la emergencia, floración y maduración. Sin embargo, el aumento gradual de las temperaturas hacia el final del ciclo tuvo un impacto positivo en el desarrollo del cultivo.

1.2. Planteamiento del problema

El rendimiento y la calidad física del trigo en Bolivia son insatisfactorios debido a una serie de factores naturales y tecnológicos que limitan la intensificación de la agricultura. Entre los factores naturales se encuentran el clima adverso, con déficit hídrico durante gran parte del año, heladas y granizadas, así como suelos deficientes en características físicas y químicas. Adicionalmente, el mal manejo de los suelos, que provoca erosión y baja fertilidad, contribuye al bajo rendimiento del cultivo.

La falta de tecnologías adecuadas para el manejo de cultivos y la ausencia de prácticas agrícolas actuales y eficientes impiden la superación de los desafíos naturales. Esto incluye la carencia de técnicas avanzadas de riego, control de plagas, y fertilización adecuada. Como resultado, el cultivo de trigo es limitado en las regiones afectadas, lo que provoca deficiencias nutricionales en vitaminas y minerales esenciales que este cereal podría aportar a la dieta de la población.

1.3. Justificación

El estudio busca identificar y caracterizar aquellos cultivares que puedan superar las limitaciones actuales en la producción de trigo y ofrecer mejores resultados en términos de rendimiento y calidad del grano. El rendimiento y la calidad del trigo en Bolivia son insuficientes para satisfacer la demanda interna debido a factores naturales adversos, como

déficit hídrico, heladas y suelos deficientes, así como la falta de tecnologías adecuadas en el manejo del cultivo. Estos problemas limitan la capacidad de producción y afectan la seguridad alimentaria del país.

El propósito de esta investigación es generar información valiosa sobre los cultivares de trigo que pueden adaptarse y rendir mejor en las condiciones específicas del Altiplano Central. Los resultados permitirán desarrollar estrategias de manejo más efectivas, seleccionar cultivares más promisorios y mejorar las prácticas agrícolas. Esto contribuirá a aumentar el rendimiento del trigo, optimizar su calidad física y reducir la dependencia de importaciones, apoyando así la autosuficiencia alimentaria del país. Esta investigación beneficiará principalmente a los agricultores bolivianos al proporcionarles cultivares más eficientes y técnicas mejoradas para aumentar su producción y rentabilidad. También ayudará a responsables de políticas y gestores agrícolas al ofrecer datos para desarrollar estrategias más efectivas en la producción de trigo.

1.4. Objetivos

1.4.1. Objetivo general

- Evaluar la productividad, calidad física, características fenotípicas y fenológicas de siete cultivares promisorios de trigo harinero (*Triticum aestivum* L.) en la Estación Experimental de Kallutaca.

1.4.2. Objetivos específicos

- Caracterizar fenológicamente los siete cultivares promisorios de trigo harinero.
- Comparar la productividad de los siete cultivares promisorios de trigo harinero.
- Evaluar la calidad física de siete cultivares promisorios de trigo harinero.

1.5. Hipótesis

- Ha: Los cultivares promisorios de trigo evaluados presentan un rendimiento y calidad física significativamente superiores en comparación con los cultivares tradicionales utilizados en el Altiplano Central.
- Ho: No hay diferencias significativas en el rendimiento y la calidad física del trigo entre los cultivares promisorios evaluados y los cultivares tradicionales utilizados en el Altiplano Central.

2. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

2.1. Origen y distribución del cultivo

El trigo (*Triticum aestivum* L.), tiene sus orígenes en la antigua Mesopotamia, una región que hoy comprende partes de Irak, Siria y Turquía, que es considerada la cuna de la agricultura. Este cereal, fue fundamental para el desarrollo de las primeras civilizaciones, fue uno de los primeros cultivos domesticados por el ser humano debido a su capacidad para proporcionar alimento de manera sostenible. En la actualidad, el cultivo de trigo ha trascendido su uso tradicional, convirtiéndose en una parte integral de las industrias agropecuarias, especialmente en países como Argentina y Uruguay. En estas naciones, el trigo no solo se cultiva para la producción de grano, sino que también se ha generalizado su uso en la producción de forraje, una práctica que contribuye significativamente a las industrias de carne y leche (Bainotti y Gómez, 2006).

Rimache (2008), señala que el trigo tiene su origen en la región de Asia comprendida entre los ríos Tigris y Éufrates, donde existen numerosas gramíneas silvestres que están relacionadas con este cereal. Desde el Medio Oriente, el cultivo del trigo se expandió en diversas direcciones. Las primeras variedades recolectadas por el ser humano hace más de doce mil años correspondían a *Triticum monococcum* y *Triticum dicoccum*, que se caracterizaban principalmente por sus espigas frágiles que se desintegraban al madurar.

Por su parte, Cevallos (2015), indica que el trigo llegó a América durante la conquista española, siendo un esclavo de Hernán Cortés quien lo cultivó por primera vez en México, tras encontrar tres granos de trigo entre su arroz. En Bolivia, la introducción del trigo coincide con la época colonial. La primera siembra de trigo en Sudamérica se atribuye a doña Inés Muñoz de Alcántara, quien la realizó en Perú en 1535.

2.2. Descripción y clasificación taxonómica

2.2.1. Descripción morfológica del trigo

El trigo es una planta anual herbácea que crece hasta 1.2 m de altura (Carrasco y Báez, 2005).

➤ **Raíz**

Presenta un sistema radicular fasciculado, también conocido como raíz en cabellera, compuesto por numerosas ramificaciones que, en su mayoría, se desarrollan hasta una profundidad de aproximadamente 25 cm. No obstante, algunas raíces pueden alcanzar profundidades de hasta un metro. El desarrollo del sistema radicular comienza en la fase de ahijamiento, caracterizándose por una baja ramificación en esta etapa inicial. El desarrollo completo de las raíces se considera alcanzado al finalizar el periodo de encañado (Carrasco y Báez, 2005).

➤ **Tallo**

El tallo del trigo es tipo hueco y se caracteriza por presentar seis nudos visibles. Su altura y firmeza son factores determinantes en la resistencia al encamado. Durante la fase vegetativa inicial, el tallo permanece contenido dentro de una masa celular localizada en el nudo de ahijamiento. Además, es responsable de la formación de brotes axilares, a partir de los cuales se desarrollan los tallos secundarios o macollos (Carrasco y Báez, 2005).

➤ **Hojas**

Las hojas del trigo son de forma lanceolada y están dispuestas de manera alterna en dos filas a lo largo del tallo. Cada hoja presenta una vaina que envuelve el entrenudo y un limbo alargado, de forma triangular, con borde liso. En la unión entre la vaina y el limbo se encuentra una estructura membranosa denominada lígula, cuya función es proteger los tejidos meristemáticos impidiendo que el agua de lluvia o los insectos los afecten (Mateo, 2005). La longitud de las hojas varía entre 15 y 25 cm, y su ancho oscila entre 1 y 5 cm, dependiendo de la variedad y condiciones de cultivo (Solano, 2011).

➤ **Inflorescencia**

Según Villarreal (2000), la inflorescencia del trigo es una espiga formada por espiguillas dispuestas de manera alternada sobre un eje central denominado raquis. Cada espiguilla contiene de dos a cinco florecillas que posteriormente darán origen al grano, el cual queda inserto entre la lema o cubierta externa del grano frecuentemente con una prolongación denominada barba o arista, y la palea, una envoltura más adherida al grano. Las florecillas laterales de cada espiguilla presentan además una tercera cubierta denominada gluma.

La espiga se compone de un raquis o eje central, constituido por nudos y entrenudos cortos, sobre el cual se disponen entre 20 y 30 espiguillas, en forma alternada y con una disposición que puede ser laxa o compacta. Cada espiguilla está compuesta por dos glumas que encierran varias flores, ubicadas sobre una raquilla, que también presenta nudos y entrenudos. Cada flor consta de dos glumillas o brácteas llamadas lemma y palea, tres anteras, un pistilo con estigma bífido y plumoso, y dos lodículos (López, 1990; Esquinas, 2006; Monar, 2007).

➤ **Fruto**

Para López (1990) y la FAO (2006), los granos de trigo son cariósides secos e indehiscentes, con forma ovalada o elíptica y extremos redondeados. Anatómicamente, el grano está compuesto por el pericarpio (envoltura del fruto), las envolturas de la semilla (testa y capa hialina), la capa de aleurona, el endospermo y el embrión o germen. El germen se localiza en la cara dorsal del grano, en uno de sus extremos, opuesto a la escobilla o mechón de pelos finos que son remanentes de las vellosidades estigmáticas. El endospermo constituye la mayor parte del grano, representando aproximadamente el 82 % del peso total, y actúa como reserva nutritiva para el embrión. El pericarpio, la testa y la capa de aleurona conforman en conjunto el salvado del trigo. El grano es rico en proteínas, entre las cuales destacan la gliadina y la glutenina, que al mezclarse con agua forman el gluten. El gluten facilita la elaboración de panes con el uso de levaduras.

2.2.2. Clasificación taxonómica

El término "trigo" se refiere al grupo de cereales, tanto cultivados como silvestres, que pertenecen al género botánico *Triticum*, integrado en la tribu Triticeae, dentro de la subfamilia Pooideae y la familia Poaceae (gramíneas). En esta misma tribu se incluyen otros cereales como la cebada y el centeno, mientras que la avena, aunque también pertenece a la subfamilia Pooideae, se agrupa en una tribu diferente. Entre las gramíneas más relevantes para la alimentación humana destacan el trigo, el arroz y el maíz, los cuales constituyen la base de la dieta mundial (FAOSTAT, 2013).

Según CONACYT (2019), el trigo pertenece a la familia de las gramíneas (Poaceae), y entre sus especies, el trigo harinero (*Triticum aestivum* L.) es el más ampliamente cultivado a nivel global, debido a sus características panificables. Su clasificación taxonómica es la siguiente:

Orden: Poales

Familia: Poaceae

Género: Triticum

Especie: Vulgare, aestivum

Nombre Científico: *Triticum aestivum* L.

2.3. Ciclo vegetativo del cultivo

El ciclo vegetativo de las plantas abarca su emergencia hasta su muerte, durante el cual atraviesan diversas transformaciones en su peso, forma y estructura. En este contexto, una fase fenológica se define como la aparición, transformación o desaparición notoria de órganos vegetativos o reproductivos. En el caso del trigo, algunas de las fases fenológicas más representativas son la germinación, el ahijamiento, el encañado, el espigamiento, la floración y la maduración.

Estas fases están reguladas por factores internos de la planta y por condiciones ambientales, y se desarrollan según el tiempo que requiere el cultivo para completar su evolución en cada etapa del ciclo biológico. El paso de una fase a otra implica una acumulación de energía fisiológica, la cual se expresa en unidades de tiempo, generalmente en días, desde la aparición del primer órgano involucrado hasta la finalización del desarrollo del último en esa misma fase (Mariscal, 1992, citado por Mollericona, 2013).

2.3.1. Germinación

Es la primera fase del ciclo fenológico del trigo, y se inicia cuando la semilla alcanza un nivel de humedad del 45%. En este punto, se activa el metabolismo de la semilla, lo que da lugar al alargamiento de la coleorriza, estructura que facilita el anclaje de la semilla al suelo y la absorción inicial de agua y nutrientes. Posteriormente, emerge el coleóptilo, que atraviesa la superficie del suelo y paralelamente, se forman las raíces seminales.

El proceso de germinación del trigo generalmente se completa entre los 8 y 15 días después de la siembra, dependiendo de las condiciones ambientales. La temperatura óptima para esta etapa oscila entre los 20 y 25 °C (López, 1990 citado por Yana, 2018).

2.3.2. Crecimiento de la plántula

El desarrollo de una planta comprende una serie de transformaciones cualitativas que implican la generación, diferenciación o desaparición de órganos vegetales, siguiendo una secuencia ordenada de fases fenológicas. En ciertos casos, estas fases pueden superponerse, dependiendo de factores tanto genéticos como ambientales. Una de las variables más influyentes en la velocidad de desarrollo es la temperatura del entorno en el que crece el cultivo. Esto implica que el tiempo requerido para completar cada etapa del desarrollo puede variar según las condiciones climáticas locales (Silva, 2015).

2.3.3. Macollaje

El macollaje ocurre cuando está por aparecer la cuarta hoja y el nudo de macollos comienza a engrosarse. En este punto, se pueden observar como si hubiera 4 o 5 nudos muy cercanos, cada uno asociado a una hoja específica. En la axila de cada una de estas hojas, se forma una yema axilar que origina un tallo secundario. A medida que las raíces secundarias se desarrollan, las raíces primarias detienen su crecimiento y adquieren una coloración marrón. La capacidad de macollaje depende de la variedad del cultivo, la aplicación de fertilizantes nitrogenados, la fecha de siembra y la temperatura, factores que determinan la duración del período de macollaje (Vigilio, 2019).

2.3.4. Alargamiento del tallo o encañado

El encañado es la etapa que inicia cuando todas las espiguillas, incluyendo la espiguilla terminal, están formadas en la espiga embrionaria. El tallo inicia su crecimiento sobre el meristemo de cada nudo, generando el entrenudo correspondiente. En el tallo principal se han expandido entre 7 y 12 hojas y ya se ha iniciado la diferenciación de las flores o formación de flósculos en las espiguillas centrales (Simón, 2022).

Durante la fase de encañado, el cultivo demanda altas dosis de nitrógeno, esenciales para la formación de nucleoproteínas en los núcleos de las células jóvenes. Debido a esta necesidad de nutrientes, especialmente de nitrógeno, se considera esta etapa como el segundo período crítico del cultivo, siendo el primero la fase de macollamiento (Vigilio, 2019).

2.3.5. Buche o bota (Hoja bandera)

El estado de buche o bota se manifiesta cuando la espiga ha completado su diferenciación dentro de la vaina de la hoja bandera, presentándose como una hinchazón visible, ya que la espiga está próxima a emerger. En este punto, los macollos comienzan a competir entre sí. Una vez que las aristas emergen de la vaina de la hoja bandera, el estado de bota finaliza. Durante las etapas de encañado y bota se define el número de florecillas por espiguilla que finalmente desarrollará la espiga (Rawson y Gómez, 2001).

2.3.6. Espigado

Según Rawson y Gómez (2001), el espigado es el proceso mediante el cual las espigas emergen, una vez que las flores han completado su desarrollo. Cada espiguilla puede albergar entre tres y cinco flores fértiles, de las cuales alrededor del 96% son polinizadas, las espiguillas formadas pueden contener entre dos y seis flores, de las cuales pueden ser fértiles de dos a cinco, dependiendo de la evapotranspiración. El espigado es una fase fenológica clave en la que se determina tanto el número de espigas fértiles por metro cuadrado como la cantidad de granos por espiga. Si durante esta etapa las temperaturas son elevadas, la planta concentra gran parte de su energía en la transpiración, lo que impacta negativamente en la producción de materia seca. Se estima que tres cuartas partes de la materia seca total se generan entre el macollaje y la floración. A los pocos días de la emergencia de la espiga se produce la autofecundación (cleistogamia) y luego aparecen las anteras (la Floración se identifica con la Antesis o emergencia de los estambres fuera de las espiguillas después de la fecundación) y comienza la formación de las cubiertas del grano (Martin, 2003).

2.3.7. Antesis

La antesis se presenta cuando las anteras emergen de las flores tras haber liberado el polen dentro de ellas, completando así el proceso de fecundación. Durante esta fase, las anteras pierden su color brillante, se marchitan y colapsan. Este evento se inicia en la parte central de la espiga y progresa hacia la base y la punta, en un periodo entre tres y cinco días. Las flores ubicadas cerca de la espiguilla central son fecundadas entre dos y seis días antes que las flores situadas en los extremos, lo que da lugar a granos usualmente más pesados en el centro de la espiga.

Durante la antesis, se define el número final de granos por espiga. En esta etapa también se intensifica el almacenamiento de compuestos orgánicos en el tallo, justo antes del inicio del llenado de grano, y coincide con la máxima expansión del área foliar. La fecundación exitosa y el cuajado de los granos son favorecidos por una elevada luminosidad y pueden verse seriamente afectados por el déficit hídrico. Asimismo, las temperaturas extremas, tanto elevadas como bajas, durante esta fase pueden inducir esterilidad floral (López, 1990 citado por Yana, 2018).

2.3.8. Estado lechoso del grano

López (1990) citado por Yana (2018), indica que de 16 a 18 días después de la fecundación, el grano ya está completamente formado, y solo necesita llenarse, por lo que el agua se vuelve crucial para el transporte de nutrientes. El almidón que se acumula en los granos proviene de la fotosíntesis realizada por las últimas hojas y la espiga, y también de la redistribución de fotosintatos y proteínas desde otras partes de la planta hacia la espiga. Al partir el grano en esta etapa, tiene una consistencia lechosa. Si durante este periodo las temperaturas son altas y están acompañadas de vientos fuertes y secos, el transporte de nutrientes se ve afectado, lo que impide que el grano acumule adecuadamente sus reservas, presentando un aspecto "escaldado" o "arrugado".

2.3.9. Estado pastoso del grano

En esta fase del desarrollo, el grano alcanza su tamaño máximo y finaliza la transferencia de nutrientes. Al cortarlo, presenta una textura pastosa, mientras su color verde comienza a cambiar a tonos crema o marrón. A medida que avanza el proceso, pierde humedad hasta volverse más firme, con un contenido de agua entre el 30 y 40%. En este punto, todas sus estructuras están completamente formadas y su peso es el máximo alcanzado (Simón, 2022).

2.3.10. Madurez de cosecha

Según Abbate y Divito (2017), en esta fase, la humedad del grano se reduce gradualmente del 30% hasta alcanzar aproximadamente el 14%, nivel óptimo para la madurez comercial. Durante este proceso, el sistema vascular de la espiga se obstruye y el pedúnculo obtiene un tono más oscuro, mientras que el grano desarrolla un color marrón dorado. Cabe

destacar que en las últimas etapas del desarrollo se define el peso de mil granos, un factor importante en el rendimiento del cultivo.

2.4. Calidad del grano de trigo

La calidad es un concepto dinámico, relativo y cambiante según el tiempo y las necesidades de los usuarios. De acuerdo con la Secretaría de Agricultura y Ganadería de México (2003), la calidad se define como "la capacidad de un producto para cumplir o superar las expectativas del cliente". En el caso del grano de trigo, su calidad depende de su capacidad para satisfacer los requerimientos de todos los actores involucrados en su producción y comercialización, desde los agricultores hasta los industriales y consumidores finales. Un grano de trigo de calidad no solo cumple con las normas y estándares técnicos, como su composición nutricional o su capacidad panadera, sino también con las demandas del mercado, las condiciones de almacenamiento y transporte, así como las necesidades específicas de los procesadores y consumidores.

2.4.1. Calidad física y fisiológica

La calidad física se refiere a la apariencia externa de la semilla, la cual está determinada por factores como el tamaño, peso volumétrico, brillo, pureza analítica y la ausencia de semillas de malezas comunes, nocivas o de otros cultivos (Castañeda, 2009). Se considera semilla de buena calidad cuando ésta presenta pureza varietal y física, alto desempeño fisiológico y libre de patógenos, atributos que determinan la germinación, vigor y longevidad (Bishaw, 2007; Goggi, 2008; Courbineau, 2012; ISTA, 2015). La calidad fisiológica se refiere a la capacidad para germinar, así como al vigor y algunos aspectos genéticos como la heterosis (Bewley, 2006). En este sentido, el vigor es la suma de las propiedades que determinan el nivel de actividad y capacidad de la semilla durante la germinación y emergencia de la plántula, de tal modo que las semillas de buen comportamiento se denominan de alto vigor y las de pobre comportamiento de bajo vigor (ISTA, 2005).

2.5. Importancia del trigo

La producción de trigo en Bolivia es fundamental tanto como insumo para la alimentación diaria como fuente de ingresos para muchas familias. No obstante, el país aún no es autosuficiente en este rubro, ya que solo cubre el 30% de la demanda interna, mientras que el 70% restante es importado, principalmente de Argentina (TIERRA, 2021). Los

departamentos con mayor producción de trigo son Cochabamba, Chuquisaca, Potosí y Santa Cruz, siendo esta última región la que aporta el 80% del total nacional. Además, según el INE, en los últimos 20 años se ha observado una ligera tendencia al crecimiento en las áreas de cultivo del país.

La demanda anual de trigo en Bolivia alcanza casi 800 mil toneladas, mientras que la producción nacional es de aproximadamente 300 mil toneladas. En 2017, Bolivia importó 480.443 mil toneladas de trigo, tanto en grano como en harina. Para 2018, las importaciones se redujeron a 350 mil toneladas, de las cuales 276 mil fueron en forma de harina y el resto en grano. Sin embargo, en 2019, las importaciones crecieron un 18% en grano y un 7% en harina entre enero y mayo, en comparación con el año anterior (Manzaneda, 2019).

2.5.1. Requerimientos edafoclimáticos

La temperatura adecuada para el crecimiento y desarrollo ideal del trigo está considerada de 10 y 24° C, por lo cual en invierno no debe ser muy fría ni muy elevada en primavera durante la época de maduración. En cuanto a la precipitación se observó que en años secos el trigo puede desarrollarse bien con 300 o 400 mm de lluvia, siempre y cuando la distribución de esta lluvia sea mayor en primavera y escasa en invierno.

El trigo requiere suelos profundos para un buen desarrollo del sistema radicular, los suelos arcillosos en los inviernos lluviosos conservan demasiada humedad, en general es recomendable que los suelos de secano tengan un buen drenaje. El trigo prefiere suelos neutros o algo alcalinos ya que en suelos acidas no prosperan (Fenalce, 2016)

2.5.2. Requerimiento nutricional

Ochoa, Pacuali y Quino (2007), Señalan que para un buen crecimiento el trigo requiere varios nutrientes, sobre todo los macronutrientes: oxígeno (O; cerca del 48% de la materia seca), carbono (C;42%), hidrógeno (H;6%), nitrógeno (N;2%), potasio (K), fósforo (P), calcio (Ca), magnesio (Mg) y azufre (S), estos elementos a lo largo de su crecimiento se van acumulando.

El trigo necesita también micronutrientes en pequeñas cantidades como: hierro, manganeso, boro, zinc, cobre, sodio, molibdeno, cloro, cobalto. Los primeros tres elementos (O, C y H) provienen del aire y agua, los restantes pueden ser manejados, en cierta medida ya sea por tratamientos en el suelo o del cultivo.

Rodríguez (2001), Indica que los nutrientes se clasifican en base a la cantidad que absorben las plantas, así se pueden clasificar en macronutrientes y micronutrientes. El nitrógeno, fósforo y potasio son macronutrientes primarios, estos pueden absorberse en grandes cantidades sin causar efectos nocivos.

2.5.3. Componentes de rendimiento

El rendimiento en el cultivo de trigo se ve influenciado por la herencia genética y todas las condiciones agroclimáticas que intervienen en el desarrollo de la planta; ambos factores quedan expresados por características morfológicas, entre ellas: el macollaje, el tamaño de la planta, la densidad de la espiga, el número de granos por espiguilla y el tamaño del grano (Mercado, 2024). Por su parte, el Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo (CIMMYT, 1982), informa que las futuras mejoras en el potencial de rendimiento del trigo estarán estrechamente relacionadas con ciertos procesos.

La capacidad de almacenamiento del trigo depende de varios factores: el número de espigas por unidad de área, la cantidad de espiguillas por espiga, el número de granos por espiguilla y el tamaño individual de los granos. La importancia relativa de estos factores varía considerablemente en función de las condiciones de crecimiento, las prácticas agronómicas empleadas, como la densidad de siembra, la aplicación de fertilizantes y el cultivar utilizado. La capacidad de almacenamiento del trigo se ajusta a las condiciones ambientales predominantes hasta casi alcanzar la madurez; por ejemplo, el nivel de radiación afecta la cantidad máxima de macollos. La relación entre el rendimiento de grano y sus componentes puede cambiar notablemente dependiendo de las condiciones ambientales durante los distintos estadios de desarrollo del cultivo. El componente dominante en el rendimiento puede ser el número de espigas, la cantidad de granos por espiga o el tamaño de los granos. Algunos cultivares pueden compensar un tamaño de grano reducido con una mayor cantidad de granos y espigas, logrando así una alta capacidad de almacenamiento (Vigilio, 2019).

Vásquez (1986) citado por Vigilio (2019), argumenta que el factor ecológico limita la producción de trigo en el país, ya que el 62 % del cultivo se desarrolla bajo condiciones de secano. Esto presenta problemas significativos para la cosecha, como sequías, heladas y excesos de lluvia. La solución propuesta incluye aumentar las áreas de cultivo en la costa, sin descuidar las de la sierra, promoviendo el cultivo como una opción de rotación y fomentando la promoción y extensión.

Vigilio (2019), señala que, en los trópicos, gran parte de los granos comestibles cosechados se pierde debido a sistemas inadecuados de manejo, almacenamiento y procesamiento. Se estima que estas pérdidas representan entre el 10% y el 25% de la cosecha. Las principales causas de estas pérdidas incluyen:

- Infestación de plagas de insectos durante el procesamiento post-cosecha.
- Pérdida de producción debido a la cosecha prematura.
- Niveles incorrectos de humedad durante el trillado, molido y pulverizado.
- Pérdidas físicas debido a malas técnicas de procesamiento, tanto preliminar como secundario.

2.5.4. Rendimiento del cultivo de trigo (Bolivia)

En Santa Cruz, el rendimiento del trigo oscila entre 1,2 y 1,4 toneladas por hectárea, mientras que en los valles andinos es de alrededor de 1,1 toneladas por hectárea (TIERRA, 2021; Correo del Sur, 2017). Estos rendimientos son bajos en comparación con otros países como Chile, donde se obtienen entre 2,5 y 4,5 toneladas por hectárea. La baja producción de trigo en Bolivia se debe a varios factores, entre ellos: a) poca superficie destinada al cultivo, b) bajos volúmenes de producción, c) bajos rendimientos agrícolas, y d) el rezago en la adopción de tecnologías para mejorar la producción de este cereal y otros alimentos (TIERRA, 2021).

3. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. Localización

3.1.1. Ubicación geográfica

La presente investigación se desarrolló en el Centro Experimental de Kallutaca perteneciente a la carrera Ingeniería Agronómica de la Universidad Pública de El Alto, el cual se encuentra en el municipio de Laja de la provincia Los Andes del departamento de La Paz. Esta aproximadamente a una distancia de 20 km de la Sede de Gobierno. Geográficamente, se encuentra situada entre $16^{\circ}26'19''$ y $16^{\circ}46'15.11''$ de latitud sur, $68^{\circ}19'49.18''$ y $68^{\circ}29'49.81''$ de longitud oeste, y a una altura de 3860 m.s.n.m. (Google Earth, 2023).

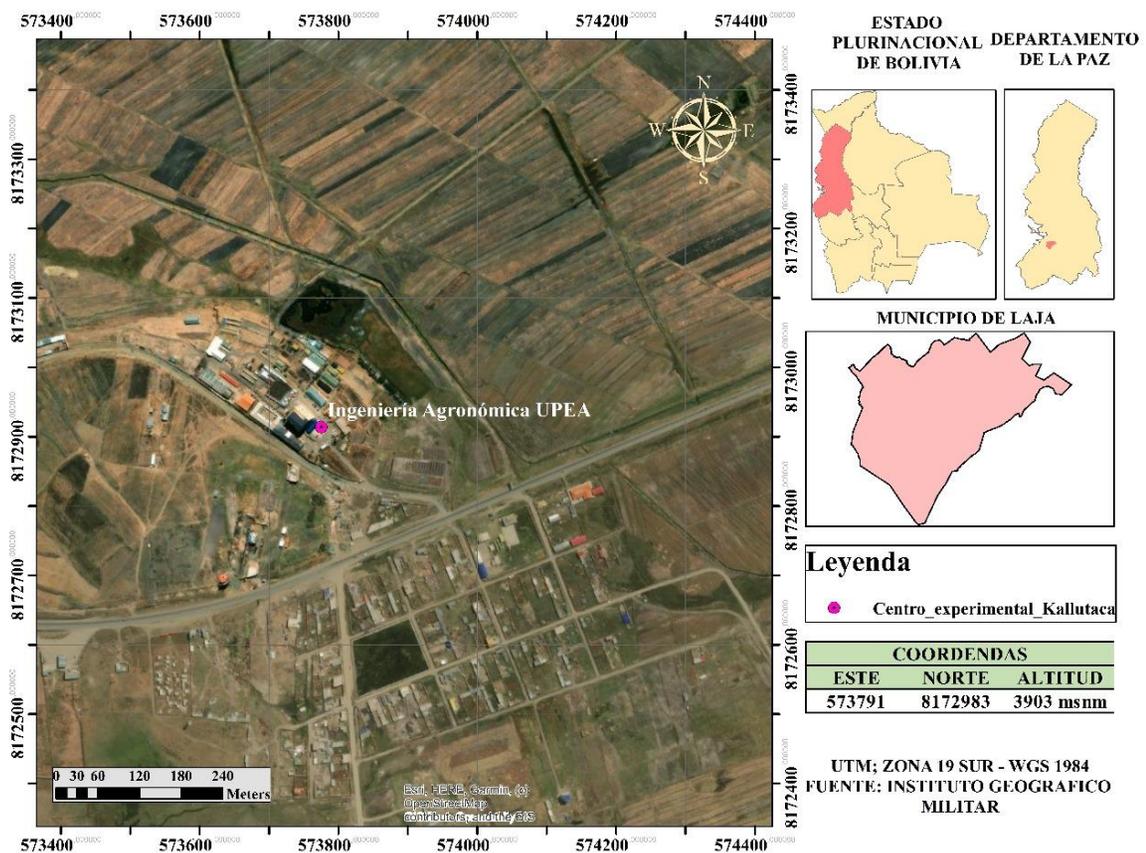


Figura 1. Lugar de ubicación del trabajo de investigación

3.1.2. Características edafoclimáticas

Clima

En el Centro Experimental Kallutaca, la temperatura media es de 7. 1° C, mínimas de -11° C en los meses de junio y julio, indicando temperaturas bajo cero, en los meses de noviembre y diciembre se observa el comportamiento de las temperaturas máximas de 21. 6° a 23. 3° C (Guarachi, 2011). El mismo autor indica que la humedad relativa en los meses de diciembre a marzo registra valores entre 64.5 a 71.0% (verano), en meses de junio a agosto se evidencian valores promedios de 40.0% (invierno).

Suelo

Los suelos del altiplano se han formado sobre un relleno cuaternario y sobre roca sedimentaria en las serranías inter altiplánicas, asimismo los suelos son de orden Entisol, de formación fluvio-lacustre con presencia de problemas de drenaje. La textura del suelo es franco arcilloso, con un pH de 7.4 (medianamente básico) y 2.75 a 4.4 % de materia orgánica (Guarachi, 2011).

Flora

La vegetación comprende dominantes pajonales de Chilliwa e Ichu sicuya (*Stipa ichu*), arbustos de añawuya (*Adesmia miraflorensis*) y kaylla (*Tetraglochin cristatum*); en las zonas más bajas se encuentran relictos de arbustos, sobre todo de la familia *Baccharis sp.* (*Thola*, *Añawaya*). Como cultivos se evidencia el desarrollo de papa (*Solanum tuberosum*), Oca (*Oxalis tuberosum*), granos andinos, leguminosas, forrajes como cebada (*Hordeum vulgare*), trigo (*Triticum aestivum*), etc. (Plan Territorial de Desarrollo Integral - Laja, 2016 - 2020).

3.2. Materiales

3.2.1. Material genético

El material genético que se utilizó para el presente estudio de investigación, corresponde a siete líneas provenientes del banco de germoplasma de la Carrera de Ingeniería Agronómica de la Universidad Pública de El Alto, las cuales se detallan a continuación:

Líneas:

- SBEGT302
- SBEGT303
- 315
- 327
- 437
- 3082
- TROPICAL

3.2.2. Material de campo

Las actividades en campo se realizaron con los siguientes materiales: cinta métrica de 100m para la delimitación del terreno, estacas de madera para la demarcación de las unidades experimentales, cuerdas, picotas, palas, rastrillo para el nivelado de terreno y apertura de surcos, etiquetas o marbetes para la identificación de plantas de trigo, flexómetro y vernier para medir las variables de la planta, cámara fotográfica para registro fotográfico de las actividades realizadas, cuaderno de registro, hoces, sobre manila para las muestras , yutes para la cosecha.

3.2.3. Material de laboratorio

Los materiales de laboratorio que se utilizaron fueron los siguientes: cuaderno de registro, vernier automático y balanza analítica.

3.2.4. Material de gabinete

Los materiales de gabinete que se utilizaron fueron los siguientes: computadora, impresora, papel bon, calculadora, hojas de registro, cámara fotográfica, bolígrafos, regla de 30cm, Microsoft office (Word, Excel, PowerPoint), paquetes estadísticos. Todos estos materiales fueron necesarios para plasmar los resultados en un documento final.

3.3. Metodología

- **Preparación del terreno**

La preparación del terreno comenzó con la roturación utilizando un tractor agrícola proporcionado por la Carrera de Ingeniería agronómica de la Universidad Pública de El Alto. Posteriormente, se realizó el rastreado, seguido del desterronado, el mullido y finalmente el nivelado, estas últimas tareas se llevaron a cabo en forma manual, para facilitar la germinación de las semillas.

- **Preparación de la semilla**

Se pesaron 24 gramos de semilla de cada línea utilizando una balanza analítica, luego se colocaron en pequeñas bolsas de plástico, cada una debidamente identificada. La cantidad de semilla preparada por accesión correspondió a una densidad de siembra de 100 kg *ha¹.

- **Delimitación del área experimental**

Se realizó la delimitación del área de trabajo, estableciendo los bloques, pasillos y la distancia entre surcos. Con la ayuda de un rastrillo, se eliminaron las malezas presentes en el suelo. Posteriormente, se efectuó el surcado de manera manual utilizando una picota, manteniendo una distancia de 25 cm entre surcos. Para garantizar la precisión, se siguieron las líneas trazadas en cada bloque, empleando estacas y cuerdas como guías.

- **Siembra**

La siembra se efectuó el 25 de septiembre de 2021. Se sembró en surcos en un área de trabajo de 245 m² (12.25 m de largo por 20 m de ancho), que se dividió en 4 bloques, separados por pasillos de 1 m de ancho. Cada bloque contó con 7 parcelas, y cada parcela tuvo 5 surcos, con una longitud de 0.25 m entre surcos y un espaciamiento de 0.5 m entre

ellos. La siembra se realizó de forma manual, distribuyendo la semilla en chorro continuo a lo largo de cada surco.

- **Marbeteo y registro de datos**

Esta actividad consistió en la identificación de 5 plantas seleccionadas al azar de cada línea una vez que alcanzaron una altura promedio de 20 cm. A cada una de estas plantas se le asignó un identificador para facilitar la evaluación de datos cuantitativos y cualitativos. Estas evaluaciones se realizaron por separado. La evaluación de variables fenológicas se llevó a cabo en todas las plantas de cada línea, registrando los días transcurridos desde la siembra hasta que las plantas alcanzaron las diferentes fases fenológicas. La caracterización de variables morfológicas se realizó en 5 plantas seleccionadas al azar de cada línea, en las cuales se tomaron datos de variables cuantitativas y cualitativas relacionadas con la planta, la espiga y el grano.

- **Labores culturales**

- a) **Riego:** Se aplicó riego día por medio después de la siembra para asegurar un mayor porcentaje de germinación en campo.
- b) **Deshierbe:** Se eliminó la maleza presente en las parcelas cada 15 días, con el fin de reducir la competencia por espacio, luz y nutrientes para el cultivo.
- c) **Aporque:** Esta actividad se realizó al inicio de la etapa de macollamiento. El aporque de las plantas se llevó a cabo para promover la generación de un mayor número de macollos y prevenir el acame debido a la acción del viento.

- **Cosecha y post cosecha**

La cosecha se llevó a cabo a medida que cada línea alcanzó la madurez fisiológica, y consistió en las etapas de segado, trillado y venteado, realizadas de manera consecutiva. La cosecha se realizó manualmente, cortando las plantas desde la base del cuello con una hoz, en dos fechas: el 9 de junio (primera cosecha) y el 23 de junio (segunda cosecha).

Asimismo, se recolectaron las muestras de cada parcela en sobres manila, separándolas del resto para su posterior evaluación después de la post cosecha.

La trilla se efectuó individualmente por línea, mediante el pisado y pulido manual, lo que permitió desprender el salvado del fruto. El venteado, también realizado manualmente, se llevó a cabo para eliminar las impurezas, obteniendo así un grano limpio. Toda la cosecha en la parcela de investigación se realizó de forma manual.

3.4. Diseño experimental

El presente estudio se realizó bajo el Diseño de Bloques Completamente al Azar (DBCA), donde se consideró siete tratamientos (siete líneas de trigo harinero), distribuidas en 4 bloques y 4 repeticiones.

Por lo que el modelo lineal aditivo (Ochoa, 2009), es el siguiente:

$$X_{ij} = \mu + \beta_j + \alpha_i + \varepsilon_{ij}$$

Dónde:

- X_{ij} = Una observación cualquiera
- μ = Media poblacional
- β_j = Efecto del j-ésimo bloque
- α_i = Efecto de la i-esima línea de trigo
- ε_{ijk} = Error experimental

3.4.1. Tratamientos de estudio:

- T_1 = SBEGT302 (Línea)
- T_2 = SBEGT303 (Línea)
- T_3 = 315 (Línea)
- T_4 = 327 (Línea)
- T_5 = 437 (Línea)
- T_6 = 3082 (Línea)
- T_7 = TROPICAL (Línea)

3.5. Variables de respuesta

3.5.1. Variables fenológicas

a) Días a la emergencia

Esta variable se evaluó diariamente a partir de la siembra, durante aproximadamente 15 días, hasta que se observó la emergencia del 50 % de las semillas sembradas. La determinación del porcentaje de emergencia se realizó de manera visual en cada unidad experimental de la parcela de investigación. Esta observación constante permitió un seguimiento preciso del proceso de germinación, asegurando que se capturaran los datos en el momento exacto en que la mayoría de las semillas emergieron.

b) Días a la floración

Se recopilaron datos desde el momento de la siembra hasta que el 50 % de las plantas alcanzaron la floración. La evaluación se realizó de manera visual, observando cuando las plantas completaron la etapa de espigamiento en cada unidad experimental.

c) Días a la madurez

Se evaluó el conteo desde la fecha de emergencia hasta que más del 50% de las plantas en cada unidad experimental alcancen la madurez de cosecha coloración amarillo oro, como indicador in situ. (que es cuando no se marca la impresión de la uña al apretar el grano de trigo) expresado en días.

d) Días a grano lechoso

Se realizó un muestreo diario de granos, extrayendo algunos granos de las espigas seleccionadas y presionándolos suavemente para verificar la presencia del líquido lechoso. Registrando la fecha en que se observó que el 50% de los granos muestreados han alcanzado el estado de grano lechoso.

e) Días a grano duro

Se realizó un muestreo diario de granos seleccionados de las espigas. Aplastando suavemente los granos entre los dedos; el estado de grano duro se alcanza cuando los

granos resisten el aplastamiento. Se registró la fecha en que se observó este estado en el 50% de los granos muestreados.

f) Precocidad

La variable "precocidad" en el cultivo de trigo se refiere a la rapidez con la que línea de trigo alcanza determinadas etapas de su desarrollo, desde la siembra hasta la madurez. Esta característica es importante para determinar la adaptación de las líneas a determinadas condiciones climáticas o ciclos de cultivo. La medición de la precocidad generalmente se basó en la observación de varios eventos fenológicos clave. Se calculó el número de días desde la siembra hasta la ocurrencia de cada evento fenológico clave. Este cálculo proporcionó un indicador de la precocidad para cada etapa del desarrollo del trigo. Se realizó observaciones diarias para detectar la ocurrencia de cada evento fenológico clave. Anotando la fecha en la que el 50% de las plantas en una unidad experimental alcanzaron cada evento.

3.5.1.1. Variables morfológicas

g) Altura de planta

La altura de la planta se midió en centímetros utilizando un flexómetro, desde la base de la planta hasta la parte inferior de la espiga, excluyendo las aristas y la espiga misma. Esta medición se realizó cuando las plantas alcanzaron la madurez fisiológica, esta variable se registró en cinco plantas marbeteadas al azar en cada unidad experimental.

h) Longitud de hoja

Se eligió las hojas más representativas del estado de crecimiento de la planta evitando hojas dañadas o enfermas, generalmente se seleccionó una hoja de la mitad de la planta para evitar la variabilidad entre hojas jóvenes y hojas viejas. Utilizando una regla se procedió a medir la longitud de la hoja desde la base del pecíolo (el punto de unión con el tallo) hasta la punta de la hoja.

Se aseguró de medir la longitud de la hoja en línea recta y no a lo largo de la curvatura de la hoja para obtener una medida precisa. Para obtener datos representativos, se midió varias hojas de diferentes plantas dentro de cada parcela.

d) Número de macollos por planta

Se contabilizó el número de macollos en cada planta. Para asegurarse de que el conteo sea preciso, se observó cuidadosamente la base de cada planta y se contó todos los brotes laterales. Calculamos el número promedio de macollos por planta en cada unidad experimental. Para esto, se sumó el número total de macollos contados y se dividió entre el número de plantas evaluadas.

e) Número de espigas por m²

Para obtener estos datos, se contó el número de espigas en un área de 1 m² en el centro de cada unidad experimental, cuando más del 50 % de las espigas habían alcanzado la madurez fisiológica completa.

f) Número de espiguillas por espiga

Se contabilizó el número de espiguillas en la espiga a partir del tallo principal, en términos de unidades numéricas, cuando cada unidad experimental alcanzó la madurez fisiológica en la parcela de investigación.

g) Número de granos por espiga

El número de granos por espiga para cada línea fue determinado, a partir del conteo de granos de al menos de diez espigas, tomados al azar del surco central evitando el efecto borde.

h) Ancho de grano

La variable se evaluó tomado al azar 10 granos por línea con la ayuda de un calibrador (vernier) se procedió a realizar las medidas y posteriormente sacar sus promedios respectivos, la unidad de medida fue en mm.

i) Longitud de grano

La variable se evaluó tomado al azar 10 granos por línea con la ayuda de un calibrador (vernier) se procedió a realizar las medidas de longitud y posteriormente sacar sus promedios respectivos, la unidad de medida fue en mm.

j) Peso de mil granos

El peso de mil granos de las líneas se determinó en el laboratorio, se realizó el conteo de mil granos sin separar grano alguno y a continuación se obtuvo el peso de las mismas en la balanza analítica de precisión.

k) Rendimiento de grano por planta

El rendimiento de grano por planta se determinó realizando el pesado de todos los granos que se obtuvo por planta por cada línea, la unidad de medida fue en g.

l) Peso hectolítrico

En un volumen 50ml, se procedió a depositar las semillas hasta el ras del vaso y con la ayuda de una regla se pasó por el borde para eliminar el exceso de semillas. Teniendo así el volumen de semillas seguidamente se pesó en la balanza el contenido de las semillas del respecto volumen.

$$\text{Peso Hectolítrico (kg /hL)} = \frac{\text{Peso del grano (kg)}}{\text{Volumen del recipiente (L)}} * 100$$

m) Rendimiento kg/ha

Una vez cosechado secado y trillado se procedió a la limpieza del trigo por venteado, con el fin de limpiar todas las impurezas, para obtener el peso total de granos encontrados por líneas, se obtuvo el rendimiento por unidad experimental transformado en Kg/ha.

3.5.2. Análisis estadístico

3.5.2.1. Análisis estadístico descriptivo

En esta etapa de estudio, se analizó el comportamiento de los diferentes tratamientos en relación con cada variable cuantitativa. Para ello se utilizaron diversas medidas estadísticas como la media, mediana que se emplearon para determinar la tendencia central de los datos, proporcionando un valor promedio representativo. La dispersión se evaluó mediante la desviación estándar, la varianza, el rango, el valor mínimo y máximo, lo que ayudo a comprender la variabilidad de los datos. Además, se examinó la distribución de los datos considerando el sesgo y la kurtosis, lo que permitió identificar si los datos se distribuían de manera simétrica o se presentaban asimetrías o curvas leptocúrticas, mesocúrticas y platicúrtica en su distribución.

3.5.2.2. Análisis de varianza y la prueba de medias Duncan

En función al modelo lineal aditivo (Ochoa, 2009), se realizó el análisis de varianza de las variables correspondientes en el ensayo, este análisis y la prueba de medias Duncan al 95% de confiabilidad se determinó con la ayuda del programa informático Software Estadístico (SPSS).

3.5.3. Croquis del ensayo

El croquis del experimento y las características del mismo:

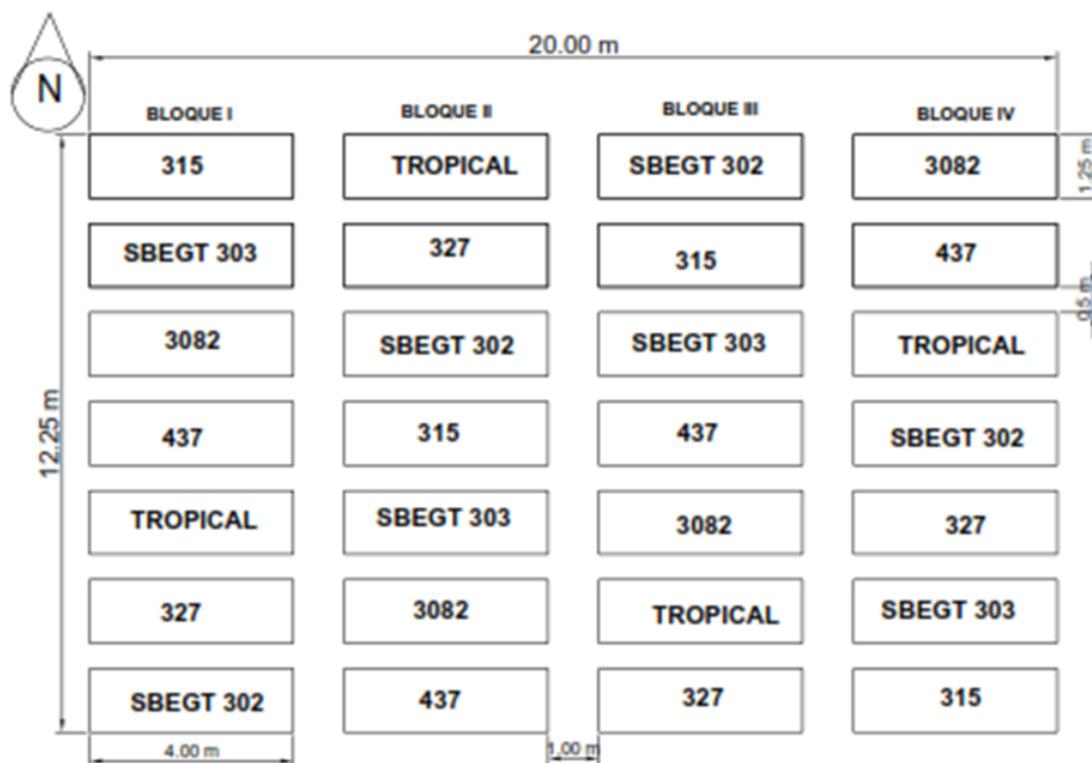


Figura 2. Croquis del trabajo de investigación

Área total	245 m ²
Pasillos entre bloques	1m
Pasillos entre U/E	0.5 m
Surcos por U/E	5
Densidad de siembra	100 kg/ha ⁻¹

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Variables climatológicas

La Figura 3, muestra el comportamiento de la temperatura durante el tiempo de estudio que tuvo lugar en la campaña agrícola 2021 - 2022, en el que se puede señalar que la temperatura máxima alcanzada fue 21° C que se registró en el mes de octubre y noviembre, por otra parte, los datos de temperaturas mínimas ocurrieron en los meses de abril y mayo de 2022 con valores de -8° C y -12° C respectivamente meses en el cual ya culminaba el desarrollo de la investigación. En la Figura 3 también se observa el registro de precipitación, donde las precipitaciones altas se presentaron en el mes de diciembre con un valor de 98 mm, los meses de ausencia de precipitación fue en los meses de mayo y junio de 2022.

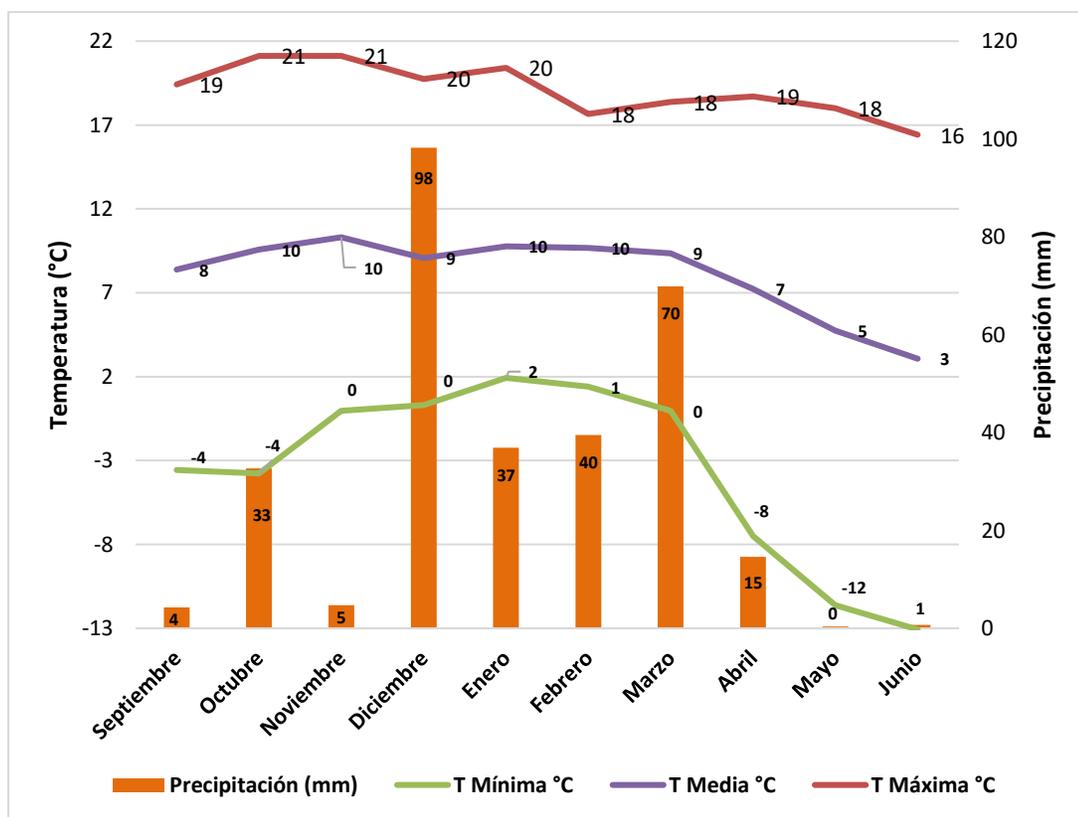


Figura 3. Registro del comportamiento climático durante el tiempo de la investigación (2021 – 2022)

En la etapa de siembra se tuvo una baja precipitación como se nota en la Figura 3, ya que se registró una precipitación de 4 mm y unas temperaturas mínimas de -4° C, el cual tuvo repercusiones en el desarrollo del cultivo ya que demoró más días en alcanzar los días a la

emergencia por falta de humedad en el suelo, que repercutió en las variables fenológicas del cultivo.

Al respecto Divito y García (2017), señalan que el proceso de germinación del trigo está influenciado tanto por las condiciones ambientales como por las prácticas de manejo. Para que la germinación ocurra de manera rápida, la temperatura del suelo debe oscilar entre 12° C y 25° C, aunque el proceso puede continuar a un ritmo más lento dentro de un rango de 4° C a 37° C, es común que la germinación se produzca en condiciones de temperatura subóptima. Además, es importante que el suelo cuente con la humedad adecuada para garantizar una emergencia rápida y uniforme del cultivo.

4.2. Análisis descriptivo

Los resultados de estadística descriptiva de las variables cuantitativas de cultivares promisorios de trigo harinero se muestra en el Cuadro 1, los resultados revelan las variaciones observadas mediante los parámetros estadísticos entre las características fenológicas, morfológicas y de rendimiento.

Cuadro 1. Estadística descriptiva de variables fenológicas, morfológicas, rendimiento y calidad física de siete cultivares promisorios de trigo harinero en la Estación Experimental de Kallutaca.

Variables	Rango	Mínimo	Máximo	Media	Desv. Estandar	Varianza	Asimetría	Curtosis
Fenológicos								
Días a la emergencia	7	15	22	19,57	2,395	5,735	-0,356	-1,179
Días a la floración	22	120	142	126,96	7,739	59,888	0,909	-0,778
Días a la madurez fisiológica	16	254	270	260,14	6,157	37,905	0,748	-1,141
Días a grano lechoso	19	125	144	132,43	7,330	53,735	0,493	-1,349
Días a grano duro	38	171	209	185,21	14,980	224,397	0,751	-1,178
Precocidad ^a	1	4	5	4,39	0,497	0,247	0,464	-1,928
Morfológicas								
Altura planta (cm)	18	102	120	109,40	4,663	21,739	0,114	-0,544
Longitud de hoja (cm)	11	19	30	24,68	2,253	5,075	-0,062	0,753
Número de macollos/planta	5	11	16	12,61	1,096	1,201	0,630	0,611
Número de espigas/m ²	624	508	1132	775,39	155,745	24256,618	1,091	1,220
Número de espiguillas/espiga	4	7	11	8,83	0,883	0,779	0,582	0,795
Número de granos/espiga	22	22	44	28,05	5,205	27,087	1,407	2,100

Ancho de grano (mm)	1	3	4	3,34	0,448	0,201	-0,781	-0,983
Longitud de grano (mm)	2	7	9	7,93	0,375	0,140	0,037	0,250
				Rendimiento				
Peso de 1000 granos (g)	34	7	41	30,24	10,485	109,945	-0,851	-0,757
Rendimiento grano/planta (g)	74	9	83	49,58	21,636	468,113	-0,387	-0,906
Peso hectolitro (g)	70	30	101	81,42	21,328	454,887	-1,223	0,066
Rendimiento (kg/ha)	2049	117	2166	1248,21	621,676	386481,212	-0,541	-0,778

^a = Muy tardío (1): muy precoz (5)

Entre las variables fenológicas se distingue la variable precocidad mostrando un valor promedio de 4 lo cual muestra tener un comportamiento precoz a muy precoz. En las características morfológicas como altura de planta con una media de 109,40 cm, número de macollos con 13,63, número de espigas por planta con un promedio de 11,98. En el aspecto de calidad física destacamos a longitud de grano y ancho de grano con 7,93 mm y 3,34 mm respectivamente. Las variables productivas de rendimiento destacamos a la variable de rendimiento de grano por planta con un valor promedio de 49,58 g y rendimiento por superficie con 1248,21 kg/ha. La mayoría de las variables, los valores de coeficiente de asimetría y curtosis no sobrepasaron el rango de ± 1 , lo que indica que las distribuciones de los cultivares están dentro de los parámetros de normalidad, a excepción de las variables número de espigas, número de espigas por planta y peso hectolítrico.

4.3. Variables fenológicas

4.3.1. Días a la emergencia

El Cuadro 2, muestra el análisis de varianza para días a la emergencia de siete cultivares promisorios de trigo, en el cual se evidencia diferencias significativas con una significancia ($p < 0,05$), lo que corresponde a un análisis de promedios Duncan. El coeficiente de variación muestra un valor de 10,53 %, y el coeficiente de determinación un valor de 50,6 %, el cual nos indica que los datos del estudio relevados en campo se encuentran dentro del margen de confiabilidad.

Cuadro 2. Análisis de varianza para días a la emergencia

FV	GL	SC	CM	F	p-valor Sig.
Bloque	3	0,571	0,19	0,045	0,987NS
Cultivar	6	77,857	12,976	3,056	0,031 *
Error	18	76,429	4,246		
Total	28	10880			
Total, corregido	27	154,857			
CV		10,53%			
R²		50,6%			

R² = Coeficiente de determinación; CV = Coeficiente de variación; * Significativo; NS = No significativo.

El análisis de varianza mostro diferencias significativas en las líneas promisorias de trigo, el Cuadro 3, muestra la prueba de promedios Duncan al 95 % de confiabilidad, con el objeto de identificar la significancia entre líneas promisorias de trigo.

Cuadro 3. Prueba de promedios Duncan ($\alpha=0,05$) para días a la emergencia

Cultivares	N	Subconjunto	
		1	2
315	4	17,00 a	
3082	4	17,75 a	
SBEGT302	4	19,00 a	19,00 b
SBEGT303	4	19,75 a	19,75 b
327	4	20,25 a	20,25 b
437	4		21,25 b
TROPICAL	4		22,00 b
Sig.		0,058	0,079

a. Utiliza el tamaño de la muestra de la media armónica = 4,000. b. Alfa = 0,05.

El Cuadro 3, indica las medias de las cultivares promisorias de trigo harinero para los días de emergencia, donde señalamos que las medias con una letra común no son significativamente diferentes ($\alpha < 0,05$), al mismo tiempo se puede señalar que el tratamiento que mostró menor promedio de número de días a la emergencia fue la línea 315 con un valor de 17 días. Por otra parte, la línea TROPICAL registró un promedio de 22 días a la emergencia siendo el tratamiento más longevo de las líneas evaluadas.

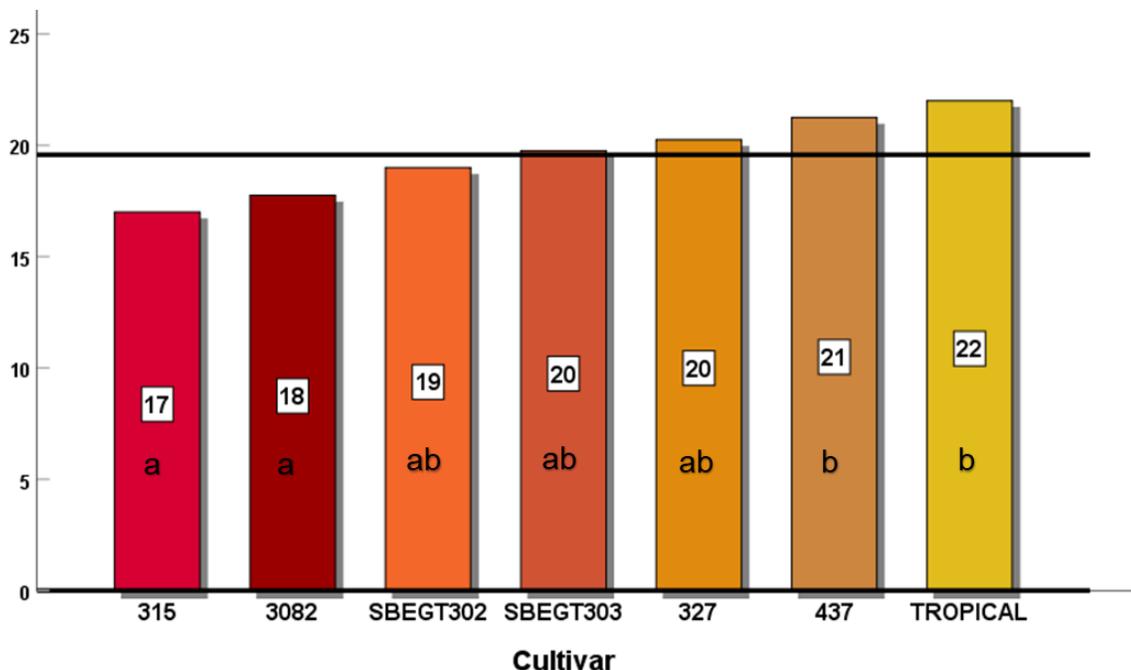


Figura 4. Promedios de días a la emergencia

La Figura 4, muestra los promedios de las líneas promisorias de trigo de la variable días a la emergencia, el promedio general determinada de la variable días a la emergencia tiene un valor de 19,57.

Estas diferencias significantes entre algunos cultivares puede deberse a factores ambientales tales como: humedad y temperatura del suelo, preparación del suelo y factores genéticos de cada cultivar. Miralles (2014), señala que para que se obtenga la emergencia de las plantas esta será dependiente del poder germinativo de las semillas, profundidad de siembra, humedad disponible en el suelo, la presencia de patógenos. A esto Igartua (1994), menciona que los factores genéticos influyen en la emergencia de las plantas de diversas maneras, no obstante, también influyen los factores ambientales.

Por su parte Tola (2017), en su tesis de investigación titulada “Evaluación del comportamiento agronómico de doce variedades de trigo (*Triticum aestivum* L.) en el municipio de Combaya del departamento de La Paz” registro valores promedios para días a la emergencia que fluctúan entre 6 a 11 días. A su vez Valdivia (2017), evaluó el comportamiento agronómico de once líneas elites de trigo en el municipio de Combaya, registró valores promedios de 7 a 12 días a la emergencia, indicando que los factores ambientales como precipitación favorecieron de gran manera el desarrollo de esta variable.

Los resultados determinados en el presente estudio oscilan entre 17 a 22 días a la emergencia, esta diferencia de valores con respecto del autor citado se debe a los factores ambientales como ser la precipitación ocurrida en los meses de investigación ya que en el periodo de la investigación demoró la época de lluvias corroborando este dato con el comportamiento climático presentado anteriormente, y aun así suministrando una cantidad de agua las características del suelo no permitió que pueda humedecer la semilla y proceder con las funciones fisiológicas para ocurrir la germinación y posteriormente la emergencia.

4.3.2. Días a la floración

En el Cuadro 4, podemos apreciar el análisis de varianza para días a la floración en el cual reflejamos diferencias altamente significantes ($p < 0,01$), para los cultivares promisorias de trigo harinero, el coeficiente de determinación R^2 tiene un valor de 97,1% y el coeficiente de variación de 1,27 % lo cual muestra que los datos se encuentran en los rangos aceptable de confiabilidad para experimentos de campo.

Cuadro 4. Análisis de varianza para días a la floración

FV	GL	SC	CM	F	p-valor Sig.
Bloque	3	16,393	5,464	2,122	0,133 NS
Líneas	6	1554,214	259,036	100,581	<0,001 **
Error	18	46,357	2,575		
Total	28	452975			
Total, corregido	27	1616,964			
CV		1,27 %			
R²		97,1 %			

R² = Coeficiente de determinación; CV = Coeficiente de variación; ** Altamente significativo; NS = No significativo

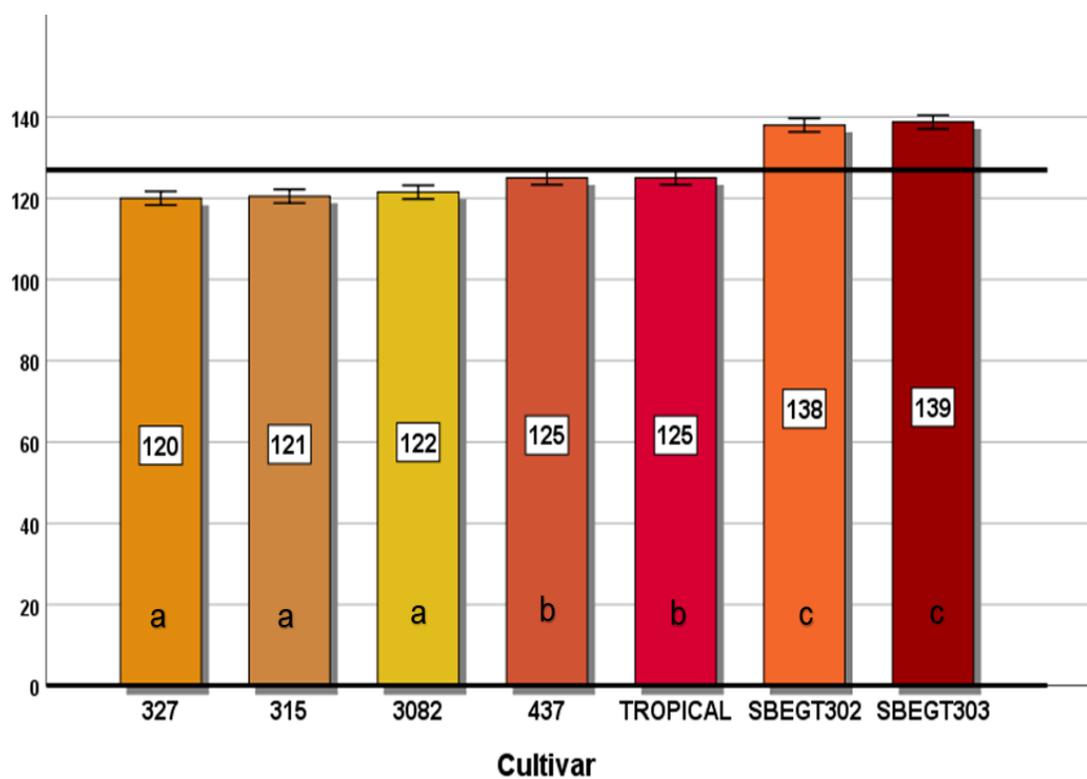
El Cuadro 5, muestra los valores promedios resultado de la prueba de Duncan ($\alpha < 0,05$), de días a la floración de los cultivares de trigo harinero, donde apreciamos que los cultivares 327, 315 y 3082 no son significantes entre sí, el mismo comportamiento sucede entre los cultivares 437 y TROPICAL así mismo entre los cultivares SBEGT302 y SBEGT303 son similares estadísticamente. Este comportamiento es de interés ya que posiblemente muestre un comportamiento en otras variables fenológicas evaluadas de interés en la investigación.

Cuadro 5. Prueba de promedios Duncan ($\alpha=0,05$) para días a la floración

Cultivares	N	Subconjunto		
		1	2	3
327	4	120,00 a		
315	4	120,50 a		
3082	4	121,50 a		
437	4		125,00 b	
TROPICAL	4		125,00 b	
SBEGT302	4			138,00 c
SBEGT303	4			138,75 c
Sig.		0,227	1	0,517

a. Utiliza el tamaño de la muestra de la media armónica = 4,000. b. Alfa = 0,05.

La Figura 5, muestra las diferencias de los promedios de días a la floración de los cultivares promisorios de trigo harinero, donde se refleja el comportamiento del promedio respecto al promedio general que tiene un valor de 126,96 días. Se evidencia tres notables grupos identificados con letras a, b y c los cuales son diferentes estadísticamente.

**Figura 5. Promedios de días a la floración**

Esta diferencia de valores promedios de días a la floración entre los grupos a, b y c principalmente se atribuye a las características genéticas de cada cultivar, al respecto Castillo & Silva (2004), afirman que la floración suele ser bastante variable y está significativamente afectada por la interacción de variedad de planta y las condiciones ambientales. Cuando la duración del día, la temperatura y el estado de crecimiento de la planta son óptimos, el tallo experimenta cambios fisiológicos que desencadenan el inicio de la floración.

Butron (2018), señala en una investigación denominada Estabilidad Fenotípica de Nueve Líneas Élites de Trigo Biofortificado en Seis Ambientes del Área Tradicional Triguera de Bolivia obtuvieron un valor promedio de 74,34 días para alcanzar a la floración, a su vez Yapu (2015), quien en su investigación de adaptabilidad de 21 líneas avanzadas precoces de trigo harinero en la estación experimental de Kallutaca, registró un valor promedio de 94,2 días para alcanzar la floración.

Los valores de días a la floración alcanzado en este estudio son de 126,96, valores que son superiores a los estudios de los autores mencionados, estos valores se pueden atribuir a los efectos climáticos extremos que ocurrió en el tiempo de la investigación, ya que se registró temperaturas de 0° C durante esta fase fenológica así también la baja precipitación afectó negativamente el desarrollo de la planta retrasando la floración. A esto Soto (2009), destaca que la temperatura regula la velocidad de desarrollo de numerosos organismos, los cuales necesitan acumular una cantidad específica de calor para avanzar de una etapa a otra en su ciclo de vida. Este calor acumulado se denomina tiempo fisiológico, y a menudo se mide en unidades conocidas como grados-día.

4.3.3. Días a la madurez

El Cuadro 6, hace énfasis al análisis de varianza de días a la madurez fisiológica, donde se evidencia diferencias altamente significantes para los cultivares promisorios de trigo harinero ($p < 0,01$), por lo cual se debe proceder con el análisis de promedios Duncan ($p < 0,05$), para identificar el cultivar de mejor comportamiento sobre esta variable. El coeficiente de determinación y coeficiente de variación muestran un valor de 97,8 % y 0,43 % respectivamente, lo cual reflejan que los valores se encuentran en un marco de uniformidad y confiabilidad.

Cuadro 6. Análisis de varianza para días a la madurez

FV	GL	SC	CM	F	p-valor Sig.
Bloque	3	1,714	0,571	0,462	0,713 NS
Cultivar	6	999,429	166,571	134,538	<0,001 **
Error	18	22,286	1,238		
Total	28	1895904			
Total, corregido	27	1023,429			
CV		0,43 %			
R²		97,8 %			

R² = Coeficiente de determinación; CV = Coeficiente de variación; ** Altamente significativo (p<0,01); NS = No significativo (p>0,05)

En el análisis de prueba de promedios Duncan (p<0,05), que muestra el Cuadro 7, indica el comportamiento de días a la madurez fisiológica de los cultivares, donde los cultivares 315, 327 y 3082, no muestran diferencias entre sí, no obstante, son diferentes estadísticamente con el resto de los cultivares. Los cultivares 437 y TROPICAL no muestran significancia entre sí, pero son diferentes con el resto de los cultivares evaluados. Y los cultivares SBEGT303 y SBEGT302 de igual manera no muestran significancia entre sí, sin embargo, son diferentes a los demás cultivares evaluados en el estudio. Por otra parte, podemos mencionar que estos últimos cultivares (SBEGT303 y SBEGT302) mostraron ser más tardío con respecto a los cultivares estudiados en la investigación.

Cuadro 7. Prueba de promedios Duncan ($\alpha=0,05$) para días a la madurez

Cultivar	N	Subconjunto		
		1	2	3
315	4	254,50 a		
327	4	255,00 a		
3082	4	255,50 a		
437	4		258,50 b	
TROPICAL	4		259,00 b	
SBEGT303	4			269,00 c
SBEGT302	4			269,50 c
Sig.		0,244	0,533	0,533

a. Utiliza el tamaño de la muestra de la media armónica = 4,000. b. Alfa = 0,05.

La Figura 6, hace referencia al gráfico de los promedios de los cultivares donde se aprecia que el tratamiento SBEGT302 y SBEGT303 mostraron mayor días en alcanzar la madurez fisiológica con un valor promedio de 268,50 y 269 días respectivamente, por otra parte, los

cultivares 315, 327 y 3082 mostraron un menor número de días para llegar a la madurez fisiológica con promedios de 254,50, 255 y 255,50 días respectivamente, considerandos como líneas precoces en llegar a la madurez fisiológica.

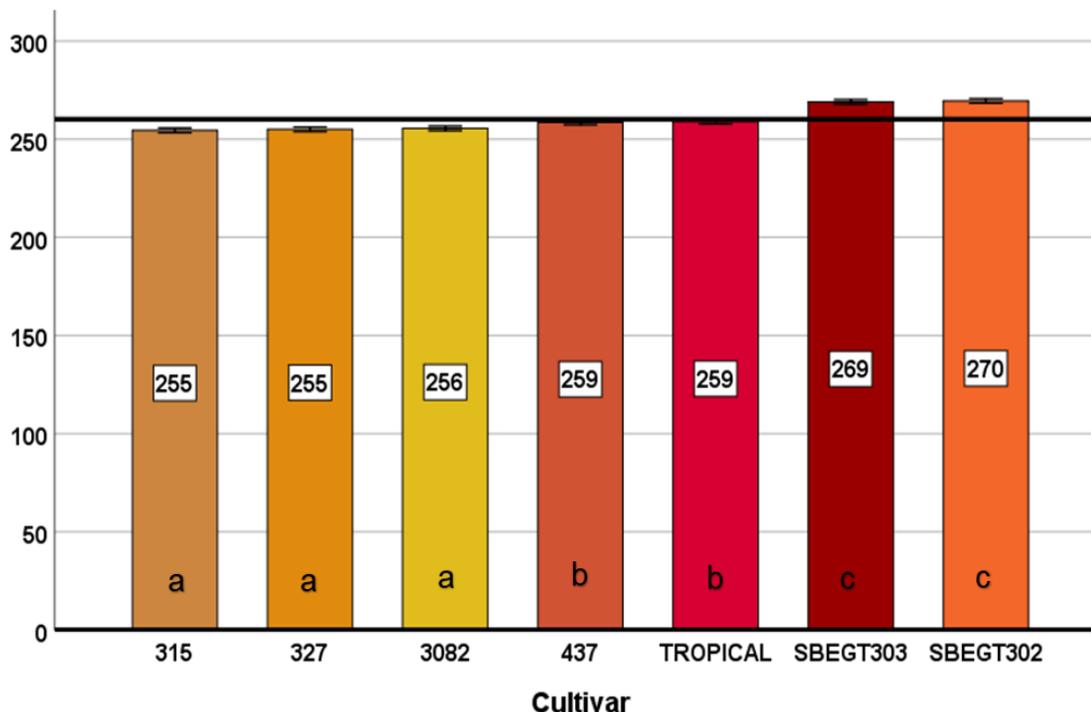


Figura 6. Promedios de días a la madurez

La madurez fisiológica en plantas se refiere al punto en el ciclo de vida de una planta en el que ha alcanzado el desarrollo completo necesario para la producción óptima de semillas o frutos. Varios factores influyen en la madurez fisiológica. La fluctuación de los valores de días a la madurez fisiológica entre los grupos a, b y c muestran un comportamiento similar a la fase fenológica de días a la floración, esto muestra que el tiempo de cada ciclo es característico y atribución de los diferentes cultivares de trigo harinero.

Por otra parte, Yapu (2015), en su estudio obtuvo un valor de promedio general de 203,9 días en alcanzar la madurez fisiológica, en el cual el autor considera que el tiempo largo tuvo que influir, los factores ambientales tales como la precipitación y temperaturas bajas. A su vez Tola (2017), reportó en su investigación y determinó valores que fluctúan entre 127 a 146 días para llegar a la fase de madurez fisiológica.

Los promedios de días para alcanzar la madurez fisiológica del estudio muestran un valor promedio de 260,14 días, valores que aparentemente son mayores a los de los autores

mencionados, esto se debe a los factores climáticos ya que en la región el clima se caracteriza como factores ambientales extremas. Según Castillo & Silva (2004), señalan que la madurez fisiológica depende de la edad de la planta y de los niveles de nitrógeno y humedad, pero su determinación es compleja e impredecible debido a la influencia de factores climáticos como la luz, la temperatura, la lluvia y la humedad. Se cree que las variaciones amplias en la temperatura diurna máxima y la mínima nocturna promueven una mayor concentración de sacarosa.

4.3.4. Días a grano lechoso

El análisis de varianza que se muestra en el Cuadro 8, muestra diferencias altamente significativas ($p < 0,01$), entre cultivares promisorias de trigo harinero para la variable grano lechoso, lo cual indica que al menos un cultivar es diferente, por lo tanto, corresponde a un análisis de prueba de medias Duncan. El coeficiente de determinación muestra un valor de 99,1 %, y un coeficiente de variación de 0,65 %, que indica la uniformidad de los datos relevados en campo y se encuentran en el rango de confiabilidad en experimentos de campo.

Cuadro 8. Análisis de varianza para días a grano lechoso

FV	GL	SC	CM	F	p-valor Sig.
Bloque	3	4,571	1,524	2,043	0,144 NS
Cultivar	6	1432,857	238,81	320,106	<0,001 **
Error	18	13,429	0,746		
Total	28	492496			
Total, corregido	27	1450,857			
CV		0,65 %			
R²		99,1 %			

R² = Coeficiente de determinación; CV = Coeficiente de variación; ** = Altamente significativo; NS = No significativo ($p > 0,05$)

En el Cuadro 9, se aprecia el análisis de prueba de promedios por el método Duncan con una efectividad del 95 %, en el cual se aprecia un comportamiento similar a las variables de días a la floración y días a la madurez fisiológica. Donde los cultivares SBEGT302 y SBEGT303, no muestran significancias ($p > 0,05$), entre sí, pero si con el resto, entre los cultivares TROPICAL Y 437, no se evidencio diferencias significativas entre sí ($p > 0,05$), no

obstante, es diferente con los demás cultivares evaluadas en la investigación. Los cultivares 315, 3082 y 327 no mostraron diferencias significativas ($p>0,05$), entre sí.

Cuadro 9. Prueba de promedios Duncan ($\alpha=0,05$) para días a grano lechoso

Cultivar	N	Subconjunto		
		1	2	3
315	4	125,00 a		
3082	4	125,50 a		
327	4	126,00 a		
TROPICAL	4		132,00 b	
437	4		133,00 b	
SBEGT302	4			142,50 c
SBEGT303	4			143,00 c
Sig.		0,138	0,119	0,424

a. Utiliza el tamaño de la muestra de la media armónica = 4,000. b. Alfa = 0,05.

En la Figura 7, se observa los valores promedios de días a grano lechoso, en el cual se hace referencia al valor de la media general que tiene un valor de 132,43 días. Los cultivares SBEGT303 y SBEGT302 alcanzaron 142 y 142,50 días respectivamente para alcanzar al estado grano lechoso, contrariamente los cultivares 315, 3082 y 327 mostraron un valor promedio de 125, 125,50 y 126 días para alcanzar esta fase fenológica.

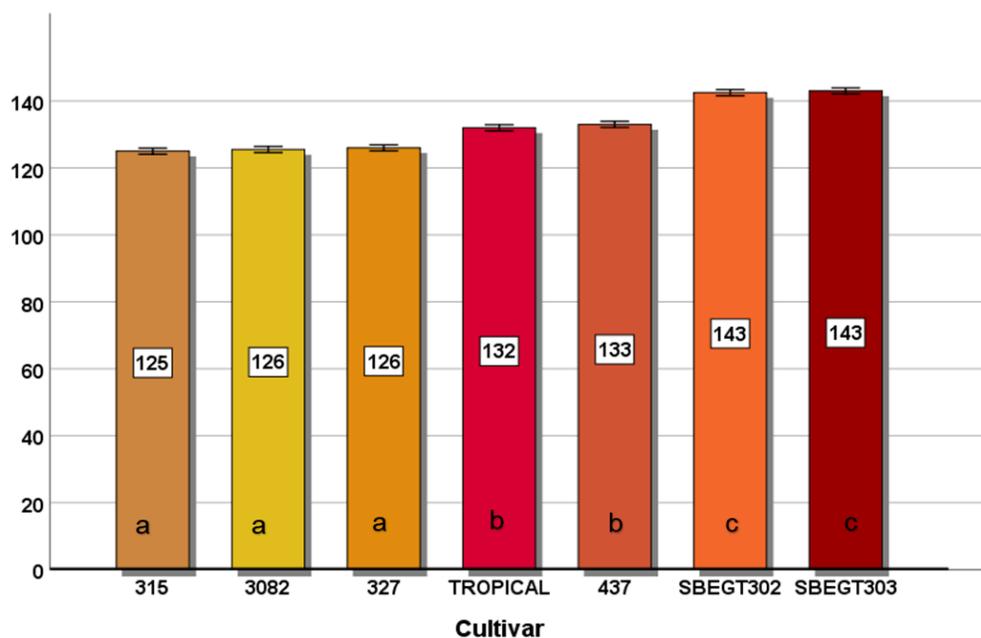


Figura 7. Promedios de días a grano lechoso

El comportamiento de los cultivares de días a grano lechoso refleja el mismo comportamiento que las variables DF y DM, ya que los tres grupos son conformados por los mismos cultivares mencionados en las variables citadas, de tal manera se resalta que el ambiente en el cual se desarrolló la investigación estuvo uniformizado en temperatura, precipitación y humedad relativa, se podría señalar que esta variación es causada por el factor genético de los cultivares que formaron los grupos a, b y c, a su vez Wang y Sun (2021), señalan que el desarrollo del grano de trigo es un proceso biológico importante para determinar el rendimiento y la calidad del grano, que está controlado por la interacción de factores genéticos, epigenéticos y ambientales. El desarrollo del grano de trigo ha sido ampliamente caracterizado a nivel fenotípico y genético.

Al respecto Divito y García (2017), basado en la escala de Zadoks (1974), señalan que el tiempo que demora desde la fase fenológica días a floración hasta días a grano lechoso oscila de 25 a 35 días.

Soto (2009), sostiene que el rendimiento tiene una relación positiva con la duración del período de llenado del grano; los factores genéticos, climáticos y de manejo que prolongan este período y mantienen la fotosíntesis activa son esenciales para contribuir al aumento del rendimiento final

4.3.5. Días a grano duro

El Cuadro 10, se muestra el análisis de varianza de días a grano duro de los cultivares promisorios de trigo harinero, en el que se evidencia diferencias altamente significativas ($p < 0,01$), entre cultivares. De tal manera se recomienda desarrollar una prueba de promedios por el método Duncan para determinar al cultivar de mejor comportamiento para esta variable. El coeficiente de determinación y el coeficiente de variación mostraron valores de 99 % y 1 % respectivamente, lo cual hace referencia a la uniformidad de los datos obtenidos en el relevamiento y nos indica que se encuentran en marco de confiabilidad para experimentos en campo.

Cuadro 10. Análisis de varianza para días a grano duro

FV	GL	SC	CM	F	p-valor Sig.
Bloque	3	24,429	8,143	2,381	0,103 NS
Cultivar	6	5972,714	995,452	291,014	<0,001 **
Error	18	61,571	3,421		
Total	28	966580			
Total, corregido	27	6058,714			
CV		1 %			
R²		99 %			

R²= Coeficiente de determinación; CV = Coeficiente de variación; ** Altamente significativo

En el Cuadro 11, se presenta el análisis de promedios Duncan con una efectividad del 95%, el cual revela que los cultivares SBEGT302 y SBEGT303 no presentan diferencias significativas entre ellos ($p>0,05$), aunque sí en comparación con otros cultivares. Los cultivares TROPICAL y 437 tampoco mostraron diferencias significativas entre sí ($p>0,05$), pero difieren respecto a los otros cultivares evaluados. El cultivar 327 muestra diferencias significativas con los demás cultivares. Además, los cultivares 315, 3082 no mostraron diferencias significativas entre ellos ($p>0,05$).

Cuadro 11. Prueba de promedios Duncan ($\alpha=0,05$) para días a grano duro

Cultivar	N	Subconjunto			
		1	2	3	4
3082	4	171, a			
315	4	172 a			
327	4		175,5 b		
TROPICAL	4			181,25 c	
437	4			181,75 c	
SBEGT303	4				206,75 d
SBEGT302	4				208,25 d
Sig.	B _{nv}	0,454	1	0,707	0,266

a. Utiliza el tamaño de la muestra de la media armónica = 4,000. b. Alfa = 0,05.

La Figura 8, ilustra los promedios de los cultivares, donde se observa que los tratamientos SBEGT302 y SBEGT303 alcanzaron la fase fenológica de grano duro en más días, con valores promedio de 208,25 y 206,75 días respectivamente. En contraste, los cultivares

3082 y 315 requirieron menos días para llegar a la madurez fisiológica de grano duro, con promedios de 171 y 172 días, respectivamente. El promedio general determinado muestra un valor de 185,21 días y es representado por una línea horizontal como referencia de los promedios de los cultivares.

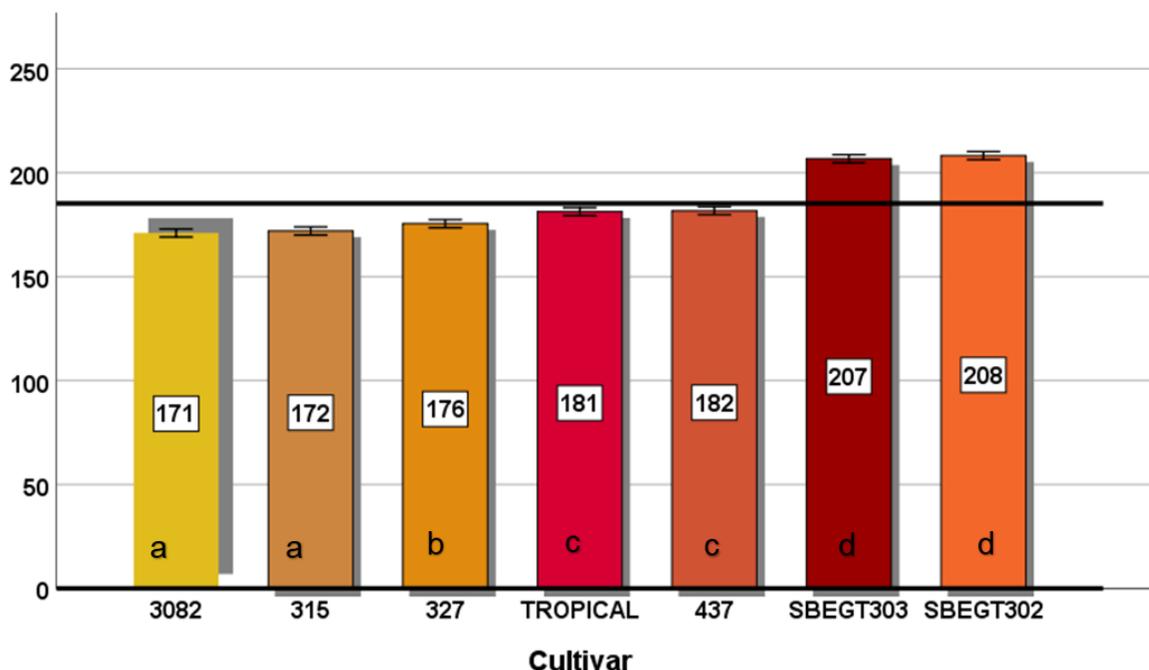


Figura 8. Promedios de días a grano duro

El tiempo que demora el trigo en alcanzar la fase fenológica de días a grano duro es una interacción de factores de características genéticas y ambientales ya que cada cultivar promisorio tienen distintos tiempos de desarrollo. Algunos fueron mejorados para madurar más rápido que otros. No obstante, las variaciones que los días a grano duro que mostraron los cultivares en el estudio se debe principalmente a las características genéticas ya que se proporcionó una homogeneidad en el aspecto ambiental y de manejo del cultivo.

Miralles (2014), afirma que la duración de las fases ontogenéticas del cultivo está controlada por tres factores clave: la temperatura, el fotoperiodo (duración del día) y la vernalización (necesidad de horas de frío). Asimismo, indica que comprender cómo responde el cultivo a estas variables ambientales permite evaluar la adaptabilidad de los distintos cultivares a las diversas áreas de producción.

4.3.6. Precocidad

El análisis de varianza presentado en el Cuadro 12, revela diferencias altamente significativas ($p < 0,01$) entre los cultivares promisorios de trigo harinero en relación con la variable precocidad, lo que sugiere que al menos uno de los cultivares es diferente. Por lo tanto, se procede a realizar un análisis de prueba de medias Duncan. El coeficiente de determinación es del 75,4 %, y el coeficiente de variación es del 6,88 %, lo que indica una uniformidad en los datos recogidos en el campo y asegura un rango de confiabilidad adecuado para experimentos de campo.

Cuadro 12. Análisis de varianza para precocidad

FV	GL	SC	CM	F	p-valor Sig.
Bloque	3	0,107	0,036	0,391	0,761 NS
Cultivar	6	4,929	0,821	9	<0,001 **
Error	18	1,643	0,091		
Total	28	547			
Total, corregido	27	6,679			
CV		6,88 %			
R²		75,4 %			

R² = Coeficiente de determinación; CV = Coeficiente de variación; ** = Altamente significativo; NS = No significativo

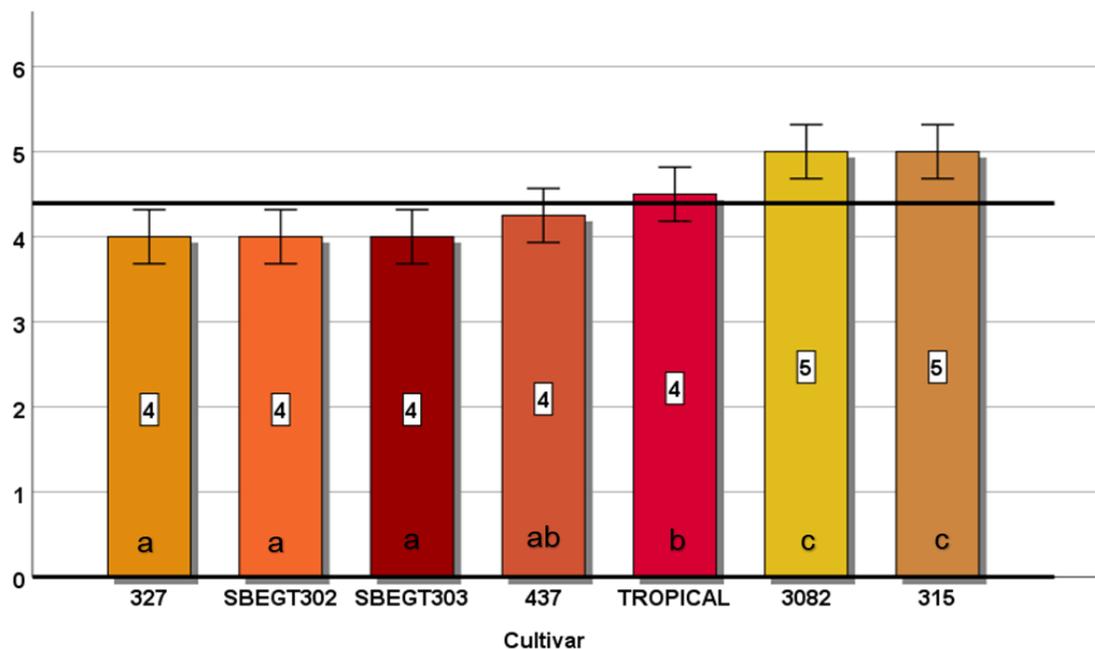
La prueba de promedios Duncan que se muestra en el Cuadro 13, revela el comportamiento de cada cultivar promisorios de harina de trigo de la variable precocidad, donde apreciamos que cultivares con una misma letra no son significativamente diferentes entre sí. Cabe señalar que los valores fluctúan entre 1 = muy tardío y 5 = muy precoz.

Cuadro 13. Prueba de promedios Duncan ($\alpha=0,05$) para precocidad

Cultivar	N	Subconjunto		
		1	2	3
327	4	4 a		
SBEGT302	4	4 a		
SBEGT303	4	4 a		
437	4	4,25 a	4,25 b	
TROPICAL	4		4,50 b	
3082	4			5 c
315	4			5 c
Sig.		0,297	0,257	1

a. Utiliza el tamaño de la muestra de la media armónica = 4,000. b. Alfa = 0,05.

La Figura 9 se refiere a los promedios de precocidad, donde se observa que los cultivares que integran el grupo c, que son los cultivares 3082 y 315 mostraron la categoría de muy precoz, por otra parte, los cultivares 327, SBEGT302 y SBEGT303, son cultivares que alcanzaron una categoría precoz.

**Figura 9. Promedios de precocidad**

La categorización que se observa en la Figura 9, es el resultado del comportamiento fenológico de los cultivares promisorios de trigo harinero, esta variabilidad entre cultivares es principalmente debido a las características genéticas de cada cultivar, a esto se adiciona genes de vernalización. Al respecto Divito y García (2017), señalan que el desarrollo se refiere a la secuencia de cambios morfológicos o fisiológicos que ocurren a lo largo del ciclo de vida del cultivo. Estos procesos son controlados por la genética y están influenciados por el entorno. Por tanto, el patrón de crecimiento y la progresión de las fases de desarrollo (fenología) pueden variar entre variedades y también dentro de las mismas, dependiendo de las condiciones ambientales.

Yapu (2015), en su estudio registró un valor promedio de precocidad de 2,6 categorizado como tardío, el autor atribuye este valor a los factores climáticos ocurridos en el periodo de investigación. Los valores que en el presente trabajo fluctuó de 4 a 5 (precoz a muy precoz).

4.4. Variables morfológicas

4.4.1. Altura de planta

En el Cuadro 14, se observa el análisis de varianza a la variable altura de planta, la cual muestra que ni los bloques ni los cultivares tuvieron un efecto significativo sobre la altura de las plantas en el presente ensayo, p-valor: 0,317 no se encontraron diferencias significativas (NS) entre los cultivares evaluados en términos de la altura de las plantas. Esto indica que los cultivares tienen un comportamiento similar en esta variable.

Cuadro 14. Análisis de varianza para altura de planta

FV	GL	SC	CM	F	p-valor Sig.
Bloque	3	64,079	21,360	1,048	0,395 NS
Cultivar	6	155,985	25,998	1,275	0,317 NS
Error	18	366,899	20,383		
Total	28	335725,111			
Total, corregido	27	586,963			
CV		2,76 %			
R²		37,5 %			

R² = Coeficiente de determinación; CV = Coeficiente de variación; NS = No significativo

En la Figura 10, se aprecia los promedios de los cultivares de altura de planta, los cuales mencionan que no hay diferencias estadísticas, concluyendo que todos los cultivares se comportan de similar manera.

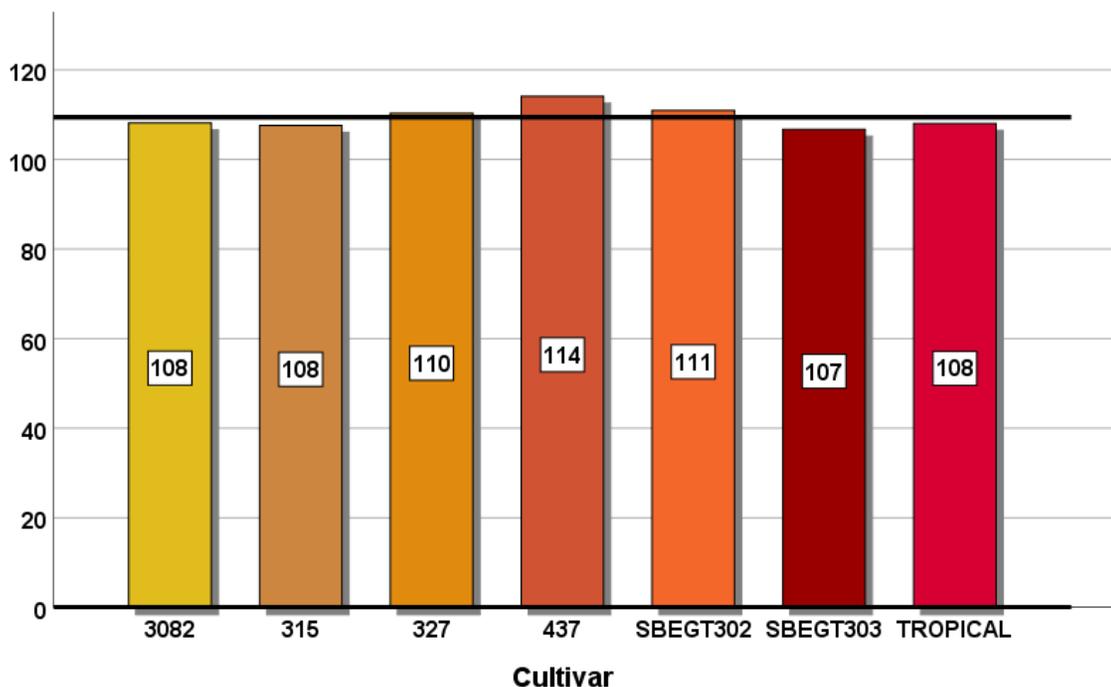


Figura 10. Promedios de altura de planta

Marza (2017), en un estudio denominado “Rendimiento y estabilidad fenotípica de diez variedades de trigo harinero en zonas trigueras de Bolivia” registraron un valor promedio de altura de planta de 71,7 cm. A su vez Butron (2018), quien evaluó la estabilidad fenotípica de nueve líneas élites de trigo biofortificado en seis ambientes del área tradicional triguera de Bolivia se reportó una media de altura de planta de 94 cm. La media general de nuestro estudio tiene un valor de 109,4 cm, valor que supera las medias de los autores mencionados.

4.4.2. Longitud de hoja

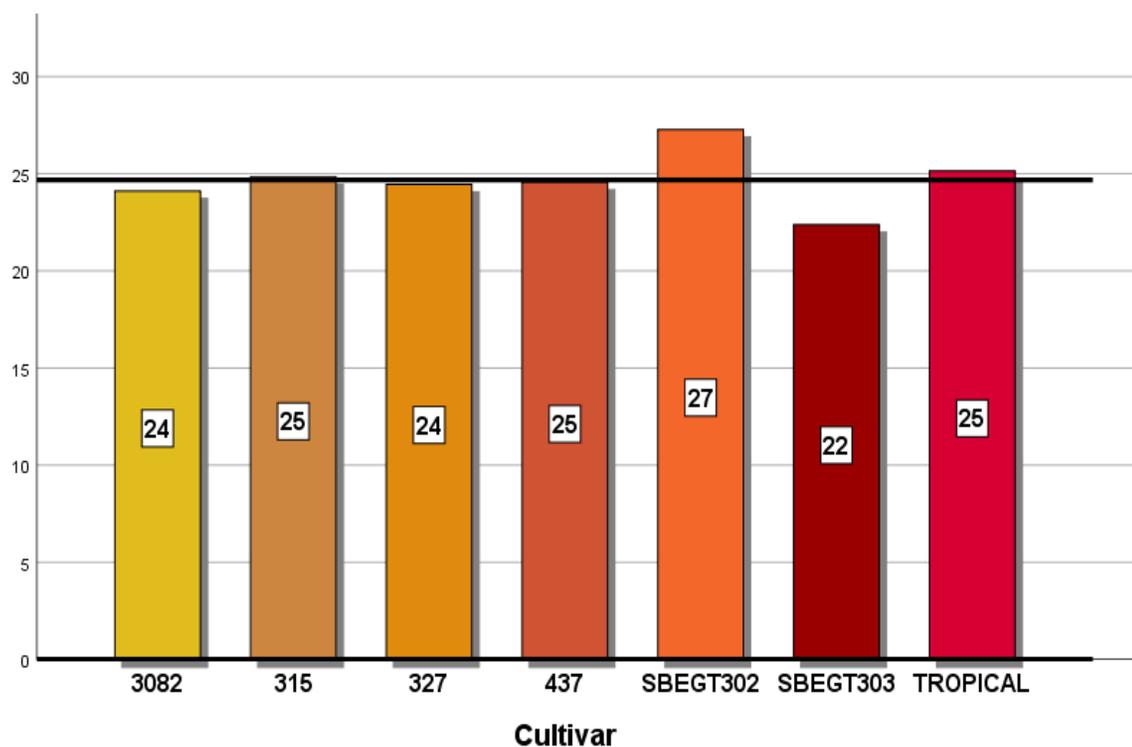
Para la variable longitud de hoja Cuadro 15, el análisis de varianza mostró que no existe diferencias significativas entre bloques tampoco entre cultivares ($p > 0,05$). El coeficiente de determinación muestra un valor de 46,9 %, que muestra la variabilidad debido a los cultivares, el coeficiente de variación tiene un valor de 8,14 %, el cual se encuentra en el margen de confiabilidad y que hubo una buena recolección de datos en campo.

Cuadro 15. Análisis de varianza para longitud de hoja

FV	GL	SC	CM	F	p-valor Sig.
Bloque	3	13,645	4,548	1,126	0,365 NS
Líneas	6	50,680	8,447	2,092	0,105 NS
Error	18	72,693	4,039		
Total	28	17189,910			
Total, corregido	27	137,018			
CV		8,14 %			
R²		46,9 %			

R² = Coeficiente de determinación; CV = Coeficiente de variación; NS = No significativo

La Figura 11, hace referencia al promedio de longitud de hoja en cm de diferentes cultivares promisorios de trigo harinero, donde apreciamos que los promedios no se alejan del promedio general que tiene un valor de 24,68 cm.

**Figura 11. Promedios de longitud de hoja**

4.4.3. Número de macollos por planta

El Cuadro 16, muestra el análisis de varianza de número de macollos, donde se aprecia que no hay diferencias significativas para bloque, tampoco así para cultivar ($p > 0,05$). De tal manera que se puede señalar que los diferentes cultivares promisorios de trigo harinero se comportan de manera similar en número de macollos. El coeficiente de determinación es 32,9 % y el coeficiente de variación tiene un valor de 8,71 %, valor que está en el rango de confiabilidad para experimentos en campo.

Cuadro 16. Análisis de varianza para número de macollos

FV	GL	SC	CM	F	p-valor Sig.
Bloque	3	5,340	1,780	1,474	0,255 NS
Líneas	6	5,334	0,889	0,736	0,627 NS
Error	18	21,740	1,208		
Total	28	4487,780			
Total, corregido	27	32,414			
CV		8,71 %			
R²		32,9 %			

R² = Coeficiente de determinación; CV = Coeficiente de variación; NS = No significativo

La Figura 12, presenta un análisis del promedio de número de macollos, de diversos cultivares promisorios de trigo harinero. En esta representación gráfica, se observa que las medias obtenidas para cada cultivar no muestran una variación significativa en comparación con el promedio general, el cual alcanza un valor de 12,61. Esto sugiere una notable uniformidad en número de macollos entre los cultivares analizados.

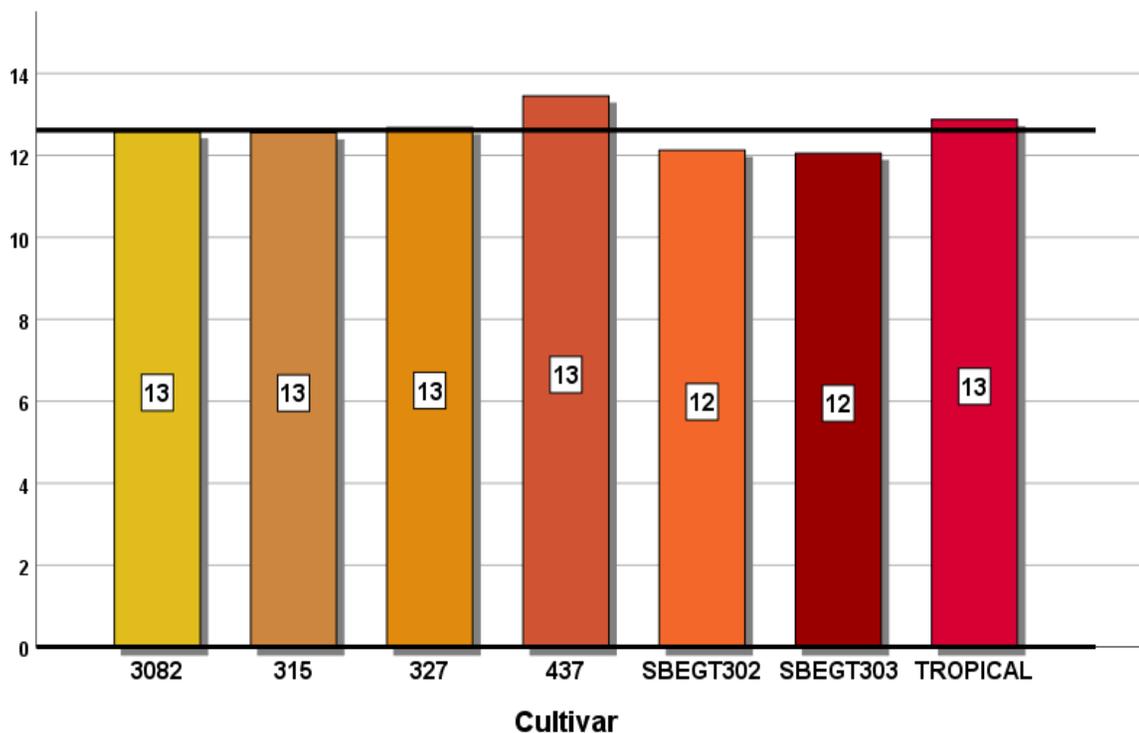


Figura 12. Promedios para número de macollos

Quispe (2016), en su estudio de “Adaptabilidad y estabilidad fenotípica de 50 genotipos de trigo harinero en cuatro localidades trigueras de Cochabamba” registró un valor promedio de número de macollos por planta de 4. A su vez Lipa (2016), realizó su investigación denominada Evaluación de doce líneas promisorias de trigo harinero en la comunidad Taramaya del municipio de Achacachi del departamento de La Paz” reportó un promedio 6,8 macollos por planta. El promedio general que se registró en la presente investigación lanza un valor de 12,61 macollos por planta, un dato que supera ampliamente a los datos de los autores señalados.

4.4.4. Número de espigas por m²

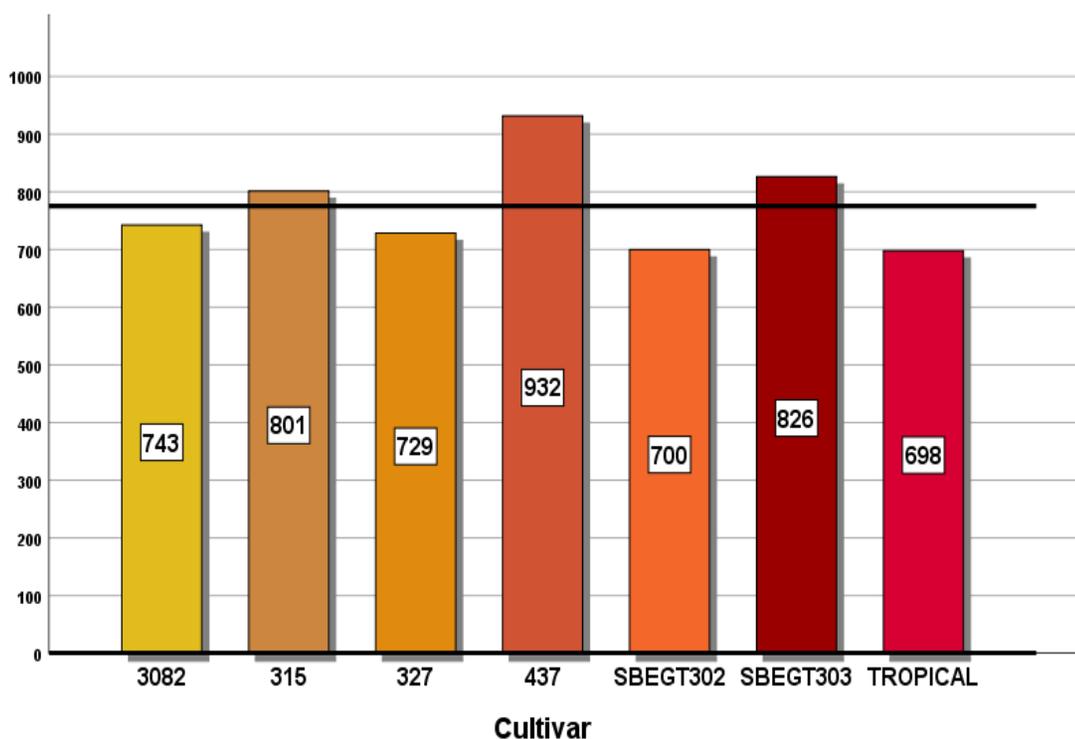
El Cuadro 17, presenta el análisis de varianza correspondiente al número de espigas por metro cuadrado, en el cual se observa que no existen diferencias significativas ni para bloque ni para cultivar ($p > 0,05$). Esto indica que los distintos cultivares promisorios de trigo harinero exhiben un comportamiento similar en cuanto a la variable mencionada. El coeficiente de determinación se sitúa en un 45,4 %, mientras que el coeficiente de variación es de 18,17%, un valor que se encuentra dentro del rango aceptable de confiabilidad para experimentos realizados en campo.

Cuadro 17. Análisis de varianza para número de espigas por m²

FV	GL	SC	CM	F	p-valor Sig.
Bloque	3	126724,679	42241,560	2,128	0,132 NS
Líneas	6	170934,929	28489,155	1,435	0,256 NS
Error	18	357269,071	19848,282		
Total	28	17489483,000			
Total, corregido	27	654928,679			
CV		18,17			
R²		45,4 %			

R² = Coeficiente de determinación; CV = Coeficiente de variación; NS = No significativo

En la Figura 13, podemos apreciar los valores promedios de los cultivares promisorios de trigo harinero, donde apreciamos que no hay diferencias estadísticas entre cultivares. El promedio general de número de espigas por m² tiene un valor de 775,39.

**Figura 13. Promedios de número de espigas por m²**

En esta investigación, el número de espigas formadas por metro cuadrado supera los resultados reportados por Marza (2014), en su estudio sobre la variabilidad fenotípica en el vivero SAWYT, donde se obtuvo un promedio de 161 espigas por metro cuadrado en 15 localidades diferentes. Limachi (2022), en la investigación denominada “Evaluación del rendimiento de ecotipo de trigo en los valles interandinos de Charazani, registro un promedio general de 297,6 espigas por metro cuadrado. Nuestros datos superan ampliamente a los autores mencionados alcanzando un valor de 775,39 espigas por m².

4.4.5. Número de espiguillas por espiga

En cuanto a la variable de número de espiguillas por espiga Cuadro 18, el análisis de varianza reveló que no hay diferencias significativas ni entre los bloques ni entre los cultivares ($p > 0,05$). El coeficiente de determinación indicó un valor del 31,9 %, reflejando la variabilidad atribuida a los cultivares, mientras que el coeficiente de variación fue de 10,68 %, lo cual se encuentra dentro del margen de confiabilidad, sugiriendo que la recolección de datos en campo fue adecuada.

Cuadro 18. Análisis de varianza para número de espiguillas por espiga

FV	GL	SC	CM	F	p-valor Sig.
Bloque	3	1,244	0,415	0,521	0,673 NS
Cultivar	6	5,473	0,912	1,147	0,376 NS
Error	18	14,318	0,795		
Total	28	2204,517			
Total, corregido	27	21,035			
CV		10,68 %			
R²		31,9 %			

R² = Coeficiente de determinación; CV = Coeficiente de variación; NS = No significativo

Por otra parte, en la Figura 14, mostramos los promedios de los cultivares de la variable número de espiguillas por espiga, en el cual se aprecia que existe un comportamiento uniforme estadísticamente.

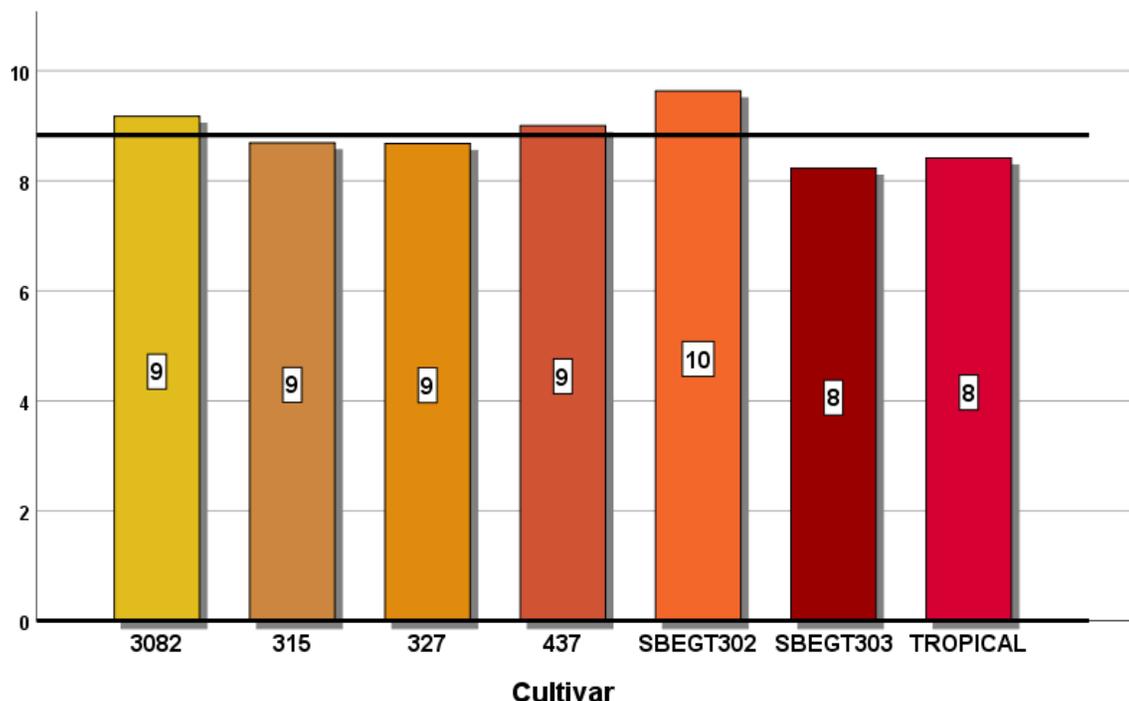


Figura 14. Promedios de número de espiguillas por espiga

Tola (2017), determinó en su estudio un promedio de 10,58 espiguillas por espiga en la evaluación del comportamiento agronómico de doce variedades de trigo en el municipio de Combaya. A su vez Butrón (2018), reportó en su investigación que tuvo el objetivo de identificar cultivares de trigo biofortificados de alta productividad en seis ambientes del área tradicional triguera de Cochabamba una media de 14,54 espiguillas por espiga. Los promedios del presente estudio se encuentran próximos a Tola (2017) y menores que Butrón (2018), esto se debe al factor climático ya que en la estación experimental Kallutaca donde se desarrolló el estudio se presentan temperaturas extremas, esto podemos corroborar con nuestro registro de temperaturas.

4.4.6. Número de granos por espiga

El Cuadro 19, presenta los resultados del análisis de varianza realizado para evaluar las diferencias en el número de granos por espiga entre las líneas de trigo harinero, según el valor para las líneas, el valor F (18,322) es significativo con un p-valor = 0,000, indicando diferencias estadísticamente significativas entre ellas. Con un coeficiente de variación (CV) de 8,56 %, se considera que el experimento tiene alta exactitud.

Cuadro 19. Análisis de varianza para número de granos por espiga

FV	GL	SC	CM	F	p-valor Sig.
Bloque	3	3,578	1,193	0,210	0,888 NS
Líneas	6	625,372	104,229	18,322	0,000
Error	18	102,399	5,689		
Total	28	22767,430			
Total, corregido	27	731,350			
CV	8.56 %				
R²	86 %				

R² = Coeficiente de determinación; CV = Coeficiente de variación; NS = No significativo

En el Cuadro 20, se observa la prueba de Duncan a número de granos por espiga donde el subconjunto 1 (327, 3082, SBEGT302, SBEGT303), el p-valor asociado a este grupo es 0,689, lo que indica que no existen diferencias significativas entre las medias de las líneas dentro de este subconjunto. Subconjunto 2 (TROPICAL, 315) presentan el p-valor de 0,580, lo que también confirma la similitud estadística de las líneas en este grupo. El subconjunto 3 con un p-valor de 1,000, mostrando que la línea 437 forma un subconjunto único, ya que su media es significativamente distinta de las demás.

Cuadro 20. Prueba de Duncan para número de granos por espiga

Líneas	N	Subconjunto		
		1	2	3
327	4	24,100		
3082	4	24,250		
SBEGT302	4	24,325		
SBEGT303	4	24,850		
TROPICAL	4		30,250	
315	4		31,200	
437	4			37,400
Sig.		0,689	0,580	1,000

La Figura 15, presenta a las líneas en estudio agrupadas en subconjuntos según sus medias marginales estimadas, donde el: Subconjunto 1 agrupa a las líneas con valores

bajos (327, 3082, SBEGT302, SBEGT303), mientras el subconjunto 2: Líneas con valores intermedios (TROPICAL y 315). Por último, los valores altos se encuentran en el subconjunto 3: Solamente la línea 437.

Según los datos obtenidos que se muestra en la Figura 15, la línea 437 presenta el mayor número de granos 37 granos por espiga en promedio. Esto sugiere como la línea con el mejor rendimiento en esta característica. Las Líneas 315 y TROPICAL: Muestran valores intermedios (31 y 30 respectivamente). Estas líneas también son prometedoras, aunque su rendimiento es inferior al de la línea 437. Por ultimo las líneas SBEGT303, SBEGT302, 3082 y 327: Presentan valores similares entre 24 granos en promedio, lo que indica un rendimiento significativamente inferior en comparación con las otras líneas.

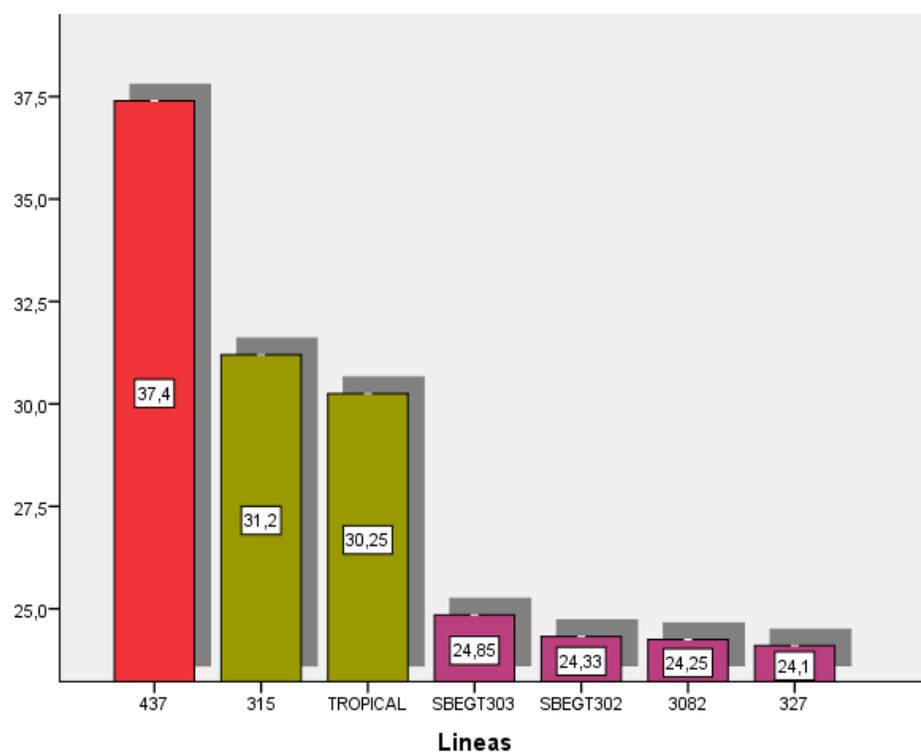


Figura 15. Promedios de número de granos por espiga

Según Limachi (2022), en su estudio sobre el rendimiento de ecotipo de trigo en los valles interandinos de Charazani, alcanzo una media de 56,19 granos por espiga con el ecotipo Arrocillo, como el valor más alto, seguido por el ecotipo Yuraj muru con 50,2 granos por

espiga y con el menor número de granos por espiga es el ecotipo Motacu con 28,9 granos, datos superiores comparado con el estudio presente.

De acuerdo con el estudio de Tapia (2017), en el comportamiento agronómico de catorce genotipos de trigo harinero halló diferencias significativas para la variable de número de granos por espiga donde las líneas L-140, L-331 y L-337 obtuvo de 32 a 34 granos por cada espiga evidenciando diferencias estadísticas superiores sobre los demás genotipos, valores similares al presente ensayo.

4.4.7. Ancho de grano

El Cuadro 21, muestra el análisis de varianza de la variable ancho de grano donde la significancia para bloques fue p-valor: 0,624 (NS, no significativo) lo que indica que no existen diferencias significativas entre los bloques, lo que muestra que no hubo influencia del diseño experimental sobre el ancho de grano. Respecto a las líneas en estudio se obtuvo p-valor: 0,000 lo que indica diferencias significativas en el ancho de grano, entre los genotipos evaluados.

Cuadro 21. Análisis de varianza para ancho de grano

FV	GL	SC	CM	F	p-valor Sig.
Bloque	3	0,046	0,015	0,598	0,624 NS
Líneas	6	4,909	0,818	31,956	0,000
Error	18	0,461	0,026		
Total	28	316,904			
Total, corregido	27	5,415			
CV	3,8 %				
R²	91 %				

R² = Coeficiente de determinación; CV = Coeficiente de variación; NS = No significativo

En el Cuadro 22, presenta la Prueba de Duncan que se utilizó para realizar una comparación de medias entre las líneas de trigo en cuanto al ancho de grano. El valor de significancia (Sig.) entre los subconjuntos muestra que es mayor a 0,05 en las comparaciones realizadas: Subconjunto 1: 0,412 (no significativo), subconjunto 2: 0,054 y subconjunto 3: 0,112 (no significativo). Esto indica que presentaron leves diferencias

numéricas de los anchos de grano entre los subconjuntos, pero los valores no alcanzan significancia estadística.

Cuadro 22. Prueba de Duncan para ancho de grano

Líneas	N	Subconjunto		
		1	2	3
SBEGT302	4	2,6475		
SBEGT303	4	2,7425		
327	4		3,3850	
437	4		3,5475	3,5475
TROPICAL	4		3,6350	3,6350
315	4		3,6375	3,6375
3082	4			3,7525
Sig.		0,412	0,054	0,112

En la Figura 16, se observa los promedios de anchos de grano donde: Las líneas 315, TROPICAL y 437 forman un grupo homogéneo con la categoría alta, mientras que la línea 327 se encuentra en el rango medio. Las líneas SBEGT303 y SBEGT302 conforman el rango bajo. Línea 3082, obtuvo el mayor valor de ancho de grano (3,8 mm), destacándose claramente sobre las demás. Las líneas 315 y TROPICAL, presentan valores de ancho de grano similares (3,6 mm), compartiendo el rango alto, pero ligeramente inferior a la línea 3082. Línea 437 presento un ancho de grano de 3,5 mm, muy cercano al de las líneas 315 y TROPICAL, indicando que se encuentra en el grupo intermedio-alto. La línea 327 con un valor de 3,4 mm, esta línea se encuentra en el rango intermedio, pero es ligeramente inferior a las demás mencionadas anteriormente. Por ultimo las Líneas SBEGT303 y SBEGT302, son las líneas con los menores valores de ancho de grano, con 2,7 mm y 2,6 mm respectivamente. Se ubican significativamente por debajo del resto de las líneas.

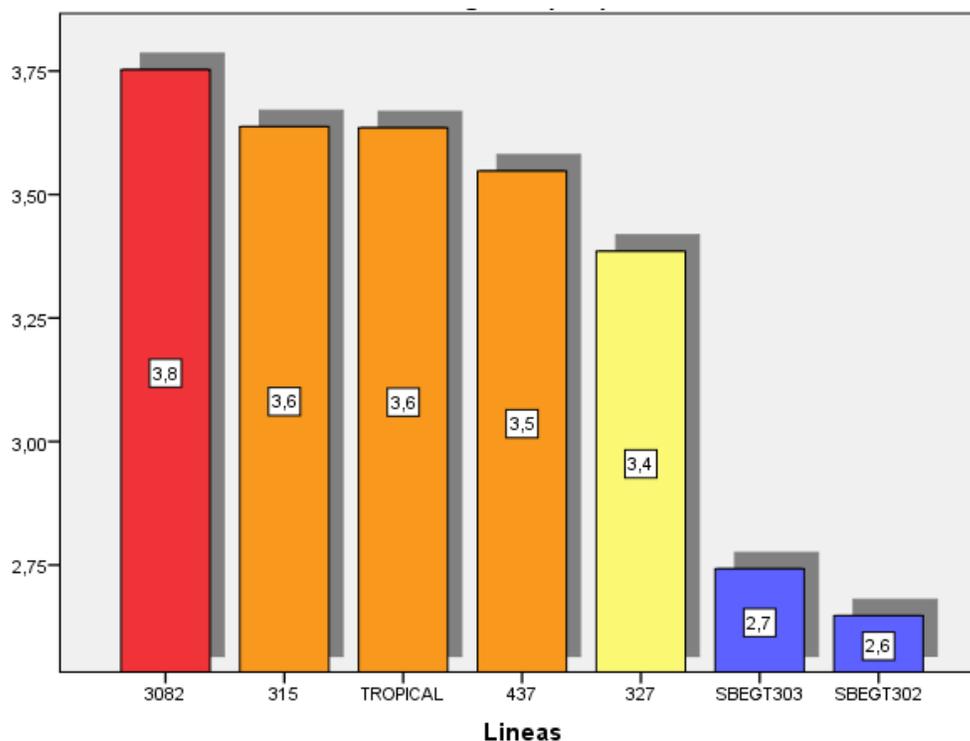


Figura 16. Promedios de ancho de grano

4.4.8. Longitud de grano

En el Cuadro 23, se observa los resultados del análisis de varianza para la variable longitud de grano en diferentes líneas de trigo, el efecto de las líneas es significativo el p-valor es menor a 0,05, indicando que existen diferencias significativas en la longitud del grano entre las líneas evaluadas, así mismo no presento diferencias significativas entre bloques. Con un CV de 2,9 %, indicando que la variabilidad relativa dentro del experimento es baja, reflejando precisión experimental.

Cuadro 23. Análisis de varianza para longitud de grano

FV	GL	SC	CM	F	p-valor Sig.
Bloque	3	0,521	0,174	2,076	0,139 NS
Líneas	6	1,763	0,294	3,514	0,018
Error	18	1,505	0,084		
Total	28	1763,932			
Total, corregido	27	3,790			
CV	2,9 %				
R²	60 %				

R² = Coeficiente de determinación; CV = Coeficiente de variación; NS = No significativo

La prueba de comparación múltiple de Duncan evaluó las diferencias en la longitud del grano entre las líneas de trigo que se muestran en el Cuadro 24, agrupándolas en subconjuntos según las medias marginales estimadas, donde el Subconjunto 1 (SBEGT303, SBEGT302, 327, 315, 3082, 437), con un valor Sig. de 0,061, indica que no hay diferencias significativas entre las líneas dentro de este grupo. Para el Subconjunto 2 (TROPICAL), el valor Sig. es 1,000, confirmando que no existen diferencias significativas adicionales dentro de este grupo.

Cuadro 24. Prueba de Duncan para longitud de grano

Líneas	N	Subconjunto	
		1	2
SBEGT303	4	7,5200	
SBEGT302	4	7,8325	
327	4	7,8725	
315	4	7,8950	
3082	4	7,9675	
437	4	7,9775	
TROPICAL	4		8,4350
Sig.		0,061	1,000

En la Figura 17, se observa los promedios estimados de la longitud de grano para las diferentes líneas de trigo evaluadas, así como también barras de error para indicar la

variabilidad de las estimaciones. La línea TROPICAL con mayor longitud de grano, con un promedio de grano (8,435 mm), destacándose sobre las demás líneas. Esto corrobora los resultados de la prueba de Duncan, donde TROPICAL fue clasificada en un subconjunto separado. Las líneas 437, 3082, 315, 327, SBEGT302 y SBEGT303 presentan longitudes de grano similares, todas agrupadas en el rango de 7,52 mm a 7,978 mm. La línea SBEGT303 tiene la menor longitud promedio (7,52 mm), seguida por SBEGT302 (7,833 mm).

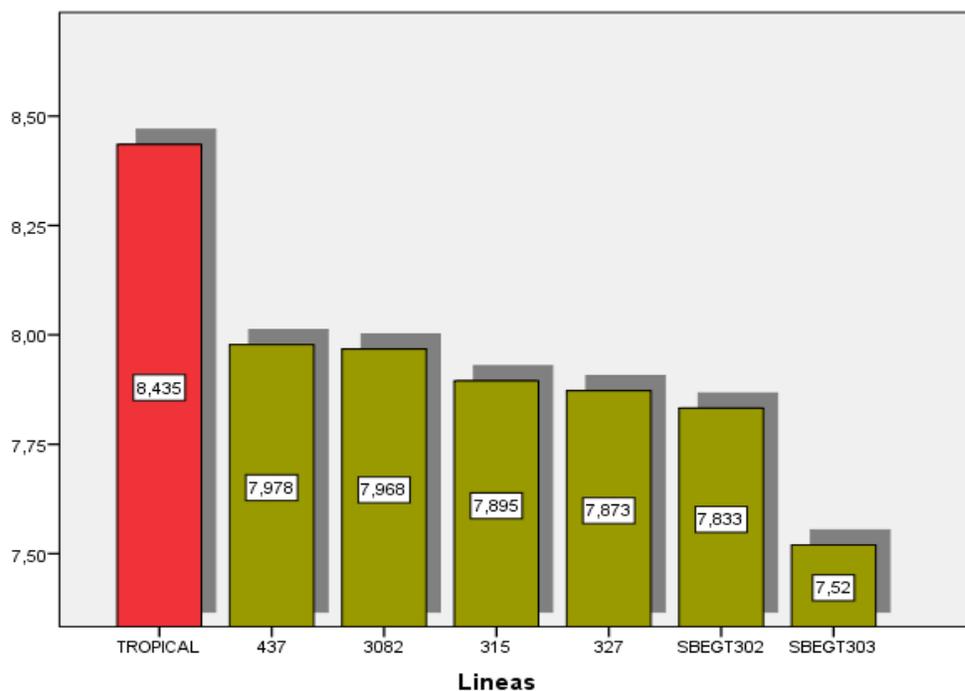


Figura 17. Promedios de longitud de grano

4.5. Variables de rendimiento

4.5.1. Peso mil granos

El Cuadro 25, presenta el análisis de varianza realizado a la variable peso de 1000 granos, donde el efecto del bloque no es significativo (p -valor = 0,367, NS), lo que indica que las diferencias entre los bloques no tienen un efecto estadísticamente significativo en el peso de 1000 granos, respecto al efecto del factor líneas es altamente significativo (p -valor = 0,000), con un valor F de 69,665 indicando que hay diferencias estadísticamente

significativas entre las líneas evaluadas. El CV 6,89 % indica una variabilidad relativa baja en el peso de 1000 granos, lo que demuestra que los datos tomados son confiables.

Cuadro 25. Análisis de varianza para peso de 1000 granos

FV	GL	SC	CM	F	p-valor Sig.
Bloque	3	22,727	7,576	1,121	0,367 NS
Líneas	6	2824,159	470,693	69,665	0,000
Error	18	121,618	6,757		
Total	28	28566,060			
Total, corregido	27	2968,504			
CV	6,89 %				
R²	95 %				

R² = Coeficiente de determinación; CV = Coeficiente de variación; NS = No significativo

El Cuadro 26, muestra la prueba de Duncan identificando grupos homogéneos de líneas en función del peso promedio de 1000 granos. Las líneas se agrupan en cuatro subconjuntos con diferencias significativas entre algunos grupos, aunque los subconjuntos reflejan diferencias entre las medias, los valores de significación (Sig.) no son muy pequeños, lo que indica que las diferencias no son extremadamente marcadas entre subconjuntos.

Cuadro 26. Prueba de Duncan para peso de grano 1000 granos

Líneas	N	Subconjunto			
		1	2	3	4
SBEGT302	4	13,900			
SBEGT303	4	15,850			
437	4		31,700		
327	4		34,575	34,575	
315	4			37,025	37,025
3082	4				38,650
TROPICAL	4				39,950
Sig.		0,303	0,135	0,199	0,148

Los resultados que se observan en la Figura 18, reflejan diferencias numéricas en el peso de 1000 granos entre las líneas evaluadas, lo que es consistente con el análisis de la prueba

de Duncan. Las líneas con barras de colores similares podrían compartir subconjuntos estadísticamente equivalentes según la prueba. Las líneas TROPICAL y 3082 presentan los valores más altos de peso promedio, con 39,95 g y 38,65 g, respectivamente, la línea 315 también muestra un alto rendimiento con 37,03 g. La línea 327 alcanza un peso promedio de 34,58 g, seguida por la línea 437 con 31,7 g, ubicándose en un rango intermedio. Las líneas SBEGT303 y SBEGT302 presentan los valores más bajos, con 15,85 g y 13,9 g, respectivamente. Según los resultados presentados las líneas TROPICAL, 3082, y 315 son las más prometedoras al seleccionar materiales genéticos con mayor peso promedio.

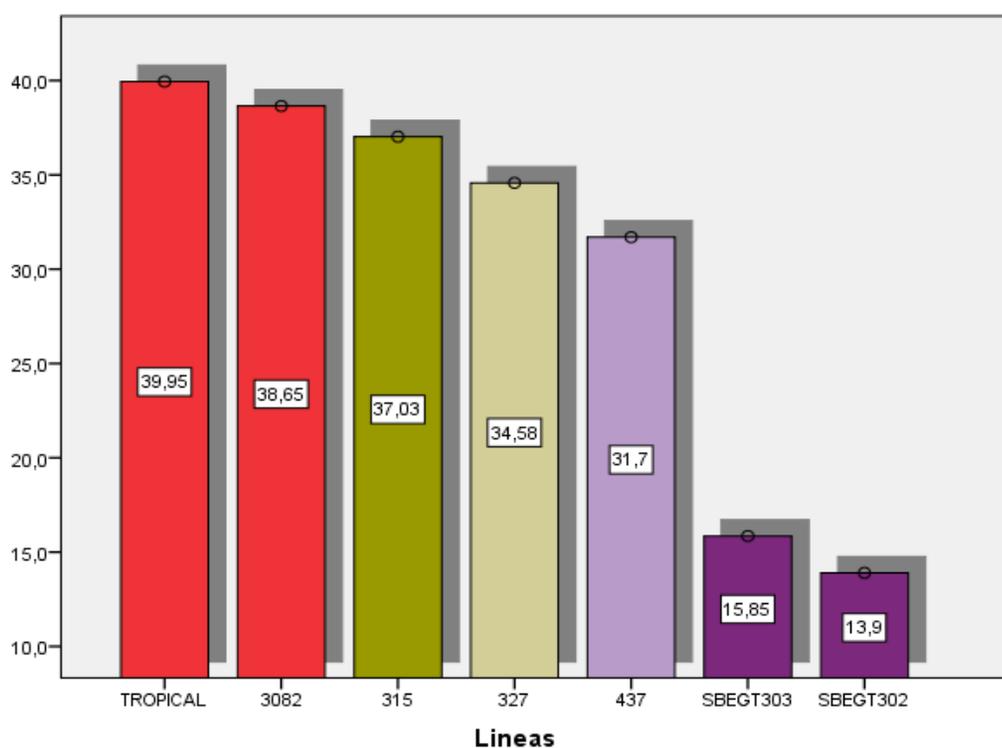


Figura 18. Promedios de peso de mil granos

En cuanto a la variable peso de mil granos, en el estudio comportamiento agronómico de catorce genotipos de trigo harinero Tapia, (2017) observó que un grupo compuesto por los genotipos L-122, L-140, L-333, L-337, L-415 y Tepoca se diferenció significativamente del resto. Estos genotipos presentaron un peso promedio de entre 39 a 40 g por 1000 granos, lo cual destaca su rendimiento superior en comparación con los demás genotipos evaluados, datos similares a las líneas TROPICAL y 3082 que se evaluaron en nuestro estudio.

De acuerdo con Balvi (2013), es posible identificar diferencias significativas en el peso de mil granos entre genotipos de trigo harinero. En su investigación, reportaron un valor promedio de 40 g, similar al obtenido en este ensayo. Estos datos refuerzan la consistencia de los resultados y sugiere que los genotipos mencionados poseen características genéticas y agronómicas favorables para la producción de trigo harinero.

El tamaño del grano suele estar determinado por la disponibilidad de agua y las condiciones de humedad presentes durante el proceso de llenado. Según Kosino (2013), el peso promedio de los granos de trigo varía entre 30 y 60 miligramos (equivalente a 30-60 gramos por cada 1000 granos), dependiendo tanto de la variedad como de las condiciones de cultivo.

4.5.2. Rendimiento de grano por planta

El Cuadro 27, expresa el análisis de varianza en el rendimiento de grano por planta entre las líneas evaluadas. Las líneas evaluadas presentan diferencias significativas p-valor: 0,000 en el rendimiento de grano por planta (p -valor $< 0,05$), Los bloques no presentaron diferencias significativas en el rendimiento, por lo que las diferencias observadas son atribuibles a las características genéticas de las líneas. El 13,47 % de CV indica la variabilidad moderada en los datos, lo que muestra que los resultados son confiables.

Cuadro 27. Análisis de varianza para rendimiento de grano por planta

FV	GL	SC	CM	F	p-valor Sig.
Bloque	3	85,567	28,522	0,411	0,747NS
Líneas	6	11304,222	1884,037	27,146	0,000
Error	18	1249,258	69,403		
Total	28	81464,020			
Total, corregido	27	12639,047			
CV	13,47 %				
R²	90 %				

R² = Coeficiente de determinación; CV = Coeficiente de variación; NS = No significativo

El Cuadro 28, presenta los valores de significación entre subconjuntos (0,352, 0,403 y 0,492), indicando que las diferencias entre líneas dentro de cada subconjunto no son

estadísticamente significativas. Sin embargo, las diferencias entre los subconjuntos son significativas, lo que explica la separación en tres grupos distintos. El subconjunto 1: Incluye las líneas SBEGT302 (17,575 g) y SBEGT303 (23,200 g), el subconjunto 2: Incluye las líneas 327 (47,750 g) y 3082 (52,800 g), subconjunto 3: Incluye las líneas 437 (66,525 g), 315 (68,300 g) y TROPICAL (70,900 g).

Cuadro 28. Prueba de Duncan para rendimiento de grano por planta

Líneas	N	Subconjunto		
		1	2	3
SBEGT302	4	17,575		
SBEGT303	4	23,200		
327	4		47,750	
3082	4		52,800	
437	4			66,525
315	4			68,300
TROPICAL	4			70,900
Sig.		0,352	0,403	0,492

En la Figura 19, se presentan los promedios estimados del rendimiento de las líneas (TROPICAL, 315, 437, 3082, 327, SBEGT303, y SBEGT302) en estudio. Las líneas que mostraron mejor rendimiento fueron TROPICAL (70,9 g) presenta el promedio estimado más alto, seguida de la línea 315 (68,3 g) y 437 (66,52 g). Entre las líneas con promedio intermedio se encuentra la línea 3082 (52,8 g) y línea 327 (47,75 g) presentan valores medios de rendimiento en comparación con las líneas superiores. Por ultimo las líneas SBEGT303 (23,2 g) y SBEGT302 (17,58 g) tienen los valores más bajos estas líneas están por debajo de las demás, indicando que no son las mejores opciones en términos de productividad.

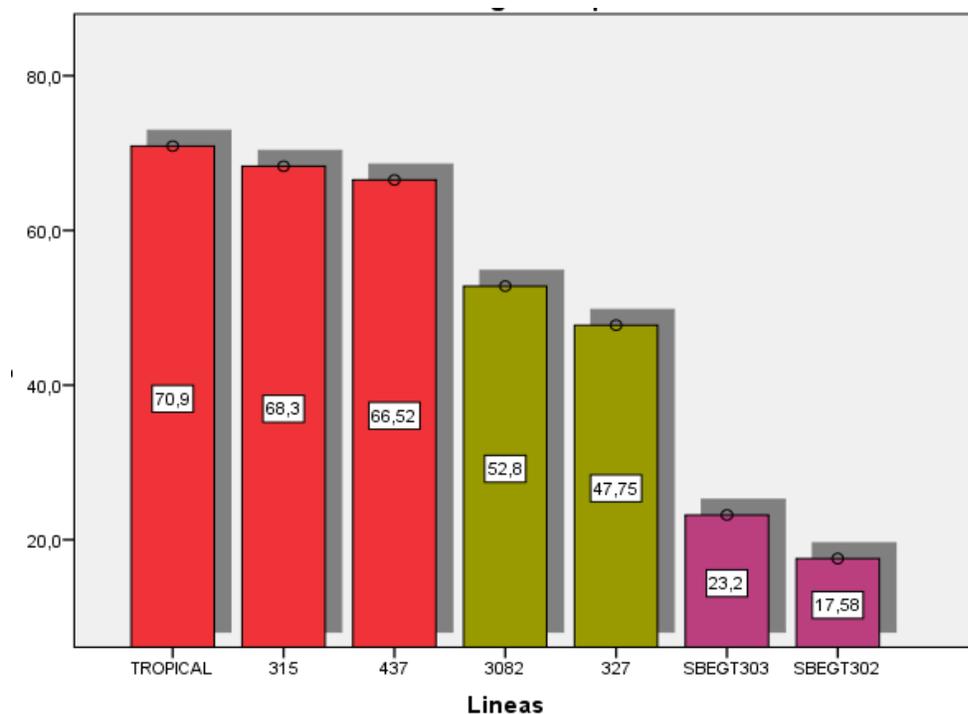


Figura 19. Promedios de rendimiento de grano por planta

4.5.3. Peso hectolítrico

En el Cuadro 29, muestra el análisis de varianza del peso hectolítrico entre diferentes líneas y bloques en el experimento. Donde se observa que las diferencias entre las líneas son estadísticamente significativas (p -valor = 0,000), lo que sugiere que el peso hectolítrico depende de las características genéticas de las líneas. En cuanto a los bloques no mostró un resultado significativo sobre el peso hectolítrico (p -valor = 0,571).

Cuadro 29. Análisis de varianza para peso hectolítrico

FV	GL	SC	CM	F	p-valor Sig.
Bloque	3	115,684	38,561	0,687	0,571NS
Líneas	6	11156,397	1859,400	33,142	0,000
Error	18	1009,866	56,104		
Total	28	197906,520			
Total, corregido	27	12281,947			
CV	7.37 %				
R²	91 %				

R² = Coeficiente de determinación; CV = Coeficiente de variación; NS = No significativo

El Cuadro 30, muestra los valores de significancia (Sig.) para cada subconjunto donde: el Subconjunto 1 (SBEGT302 y SBEGT303) Con sig.: 0,073 no hay diferencias estadísticamente significativas dentro de este subconjunto ($p > 0,05$). Así mismo el Subconjunto 2 (315 y 437) con sig.: 0,440 tampoco presenta diferencias significativas dentro de este subconjunto ($p > 0,05$). Las líneas del subconjunto 2 tienen pesos hectolitricos significativamente mayores que las del subconjunto 1 según los resultados mostrados en el Cuadro 30.

Cuadro 30. Prueba de Duncan para peso hectolítrico

Líneas	N	Subconjunto	
		1	2
SBEGT302	4	45,200	
SBEGT303	4	55,300	
315	4		91,300
327	4		92,100
TROPICAL	4		94,500
3082	4		95,600
437	4		95,950
Sig.		0,073	0,440

En la Figura 20, se observa los promedios obtenidos de la variable: peso hectolítrico del grano donde las líneas 437 (95,95), 3082 (95,6) y TROPICAL (94,5) presentan los valores más altos. Lo que sugiere como las líneas de mejor calidad, ya que un mayor peso hectolítrico generalmente indica granos más densos y compactos. Entre los promedios de peso hectolítrico intermedio se encuentran las líneas 327 (92,1) y 315 (91,3). Las líneas SBEGT303 (55,3) y SBEGT302 (45,2) reportaron los valores más bajos, lo que indica granos de menor densidad, lo cual podría afectar negativamente su calidad.

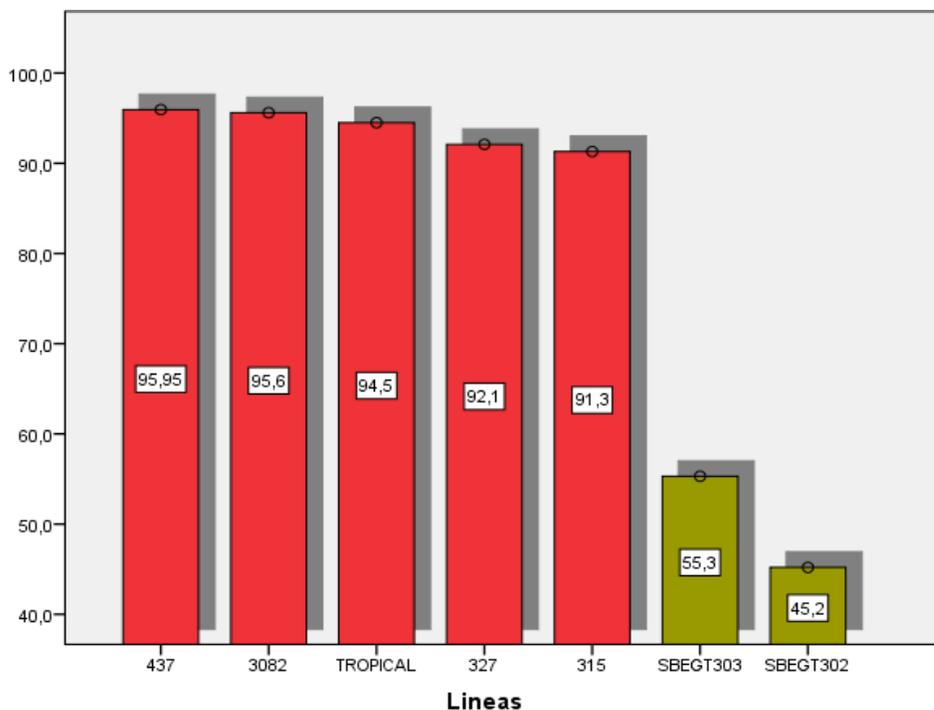


Figura 20. Promedios de peso hectolítrico

Laimé (2016), en su estudio de introducción de 12 líneas de trigo harinero realizado en el mismo municipio donde las líneas 3098 y 3125 son las que alcanzaron un valor de peso hectolítrico entre los 82 kg/hL y 80.6 kg/hL respectivamente, también se observó a la línea 3001 (tepoca t-89) que actúa como control (testigo) la cual presentó 74.6 kg/hL, cabe resaltar que las líneas 437 (95,95 kg/hL), 3082 (95,6 kg/hL) y TROPICAL (94,5 kg/hL) del presente estudio superan a los valores del estudio de Laimé.

Por otro lado, en el estudio sobre adaptabilidad de 12 líneas elite precoces de trigo harinero realizado en el municipio de La Paz por Apaza (2017) alcanza un peso hectolítrico de 72.7 kg/hL con la línea 349-19, seguido por la línea 309-20 con un peso hectolítrico de 70.62 kg/hL como los valores más altos, valores inferiores comparados con nuestro estudio. Este parámetro permite estimar con precisión la calidad física del grano y su rendimiento en la molienda. Su valor depende del cultivar, las condiciones de cultivo, la uniformidad de la muestra y diversos factores bióticos y abióticos (Goñi y Lafarga, 2009).

4.5.4. Rendimiento (kg/ha)

Este análisis de varianza realizado a la variable rendimiento (kg/ha) evalúa las diferencias entre las distintas líneas evaluadas que se muestran en el Cuadro 31, donde el factor líneas

tiene diferencias altamente significativas, p-valor: 0,000 ($p < 0,05$) en el rendimiento. Esto indica que hay diferencias significativas en el rendimiento entre las líneas evaluadas. Respecto al factor bloque no tiene un efecto significativo en el rendimiento ($p > 0,05$). Esto sugiere que la variación entre los bloques no afecta significativamente los resultados. El valor de CV fue de 22,83 % este valor indica que hay una moderada variabilidad en los datos, lo que refleja cierta dispersión en los rendimientos observados.

Cuadro 31. Análisis de varianza para rendimiento (kg/ha)

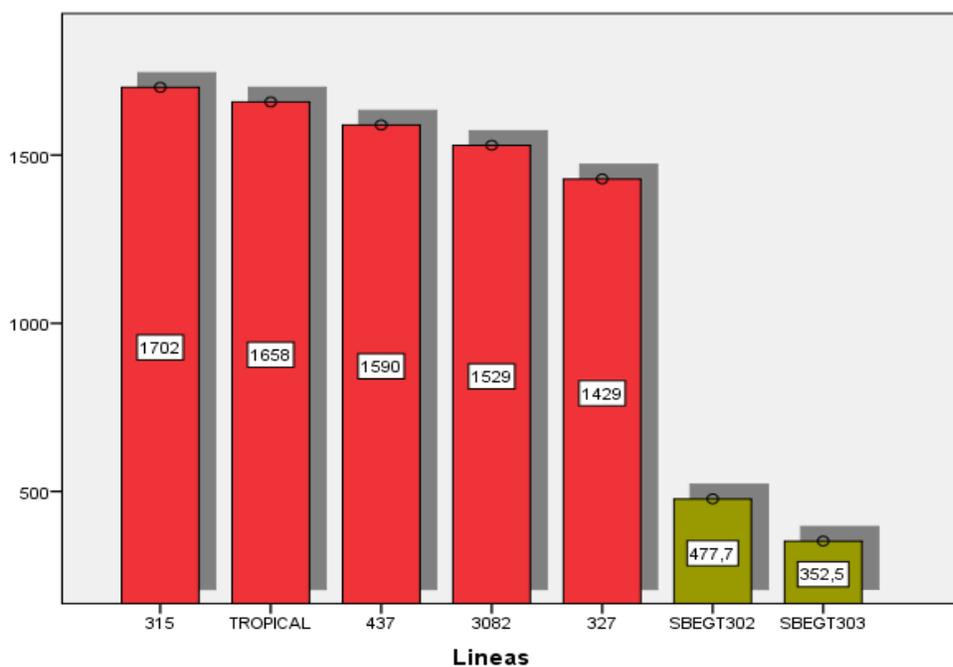
FV	GL	SC	CM	F	p-valor Sig.
Bloque	3	171098,429	57032,810	0,451	0,719 NS
Líneas	6	7989808,214	1331634,702	10,5	0,000
Error	18	2274086,071	126338,115	40	
Total	28	54060082,000			
Total, corregido	27	10434992,714			
CV	22.83 %				
R²	78 %				

R² = Coeficiente de determinación; CV = Coeficiente de variación; NS = No significativo

En el Cuadro 32, se presenta la prueba de Duncan la cual evalúa las diferencias en el rendimiento promedio entre las distintas líneas evaluadas, clasificándolas en subconjuntos según su aproximación estadística. La significancia para el subconjunto 1 fue de 0,624 lo que indica que no hay diferencias significativas entre las líneas dentro de este subconjunto ($p > 0,05$). En tanto la significancia para el subconjunto 2 fue de 0,342 lo que también muestra que no existen diferencias significativas entre las líneas dentro de este subconjunto ($p > 0,05$). Las diferencias entre los subconjuntos indican que las líneas pueden clasificarse en dos grupos: Líneas de bajo rendimiento (SBEGT303 y SBEGT302) y las líneas de alto rendimiento: (327, 3082, 437, TROPICAL y 315).

Cuadro 32. Prueba de Duncan para rendimiento (kg/ha)

Líneas	N	Subconjunto	
		1	2
SBEGT303	4	352,50	
SBEGT302	4	477,75	
327	4		1429,00
3082	4		1529,25
437	4		1589,50
TROPICAL	4		1658,00
315	4		1701,50
Sig.		0,624	0,342

**Figura 21. Promedios de rendimiento (kg/ha)**

Los valores obtenidos según la Figura 21, son relativamente inferiores comparados con el estudio de Yapu (2015), donde al comparar el comportamiento agronómico y los componentes de rendimiento de 21 líneas avanzadas precoces de trigo harinero, se identificaron genotipos que superaron al testigo la línea comercial Tepoca en características

agronómicas, morfológicas de espiga, calidad de grano y rendimiento en grano. Las líneas más destacadas en rendimiento de grano fueron 9-20S, 13-32E, 22-19S y 10-20S, con rendimientos de 2176, 2072, 1935 y 1904,8 kg·ha⁻¹, respectivamente.

Marza y Quispe (2013), en su estudio titulado Utilización de germoplasma de trigo del CIMMYT en INIAF, resalta que el rendimiento está influido por el número de granos por espiga, así como por otras variables como la altura de planta, el número de espigas por metro y el peso hectolítrico. En conjunto estos factores determinan que un incremento en sus valores contribuya a una mayor productividad por unidad de superficie.

5. CONCLUSIONES

Según los objetivos planteados y los resultados obtenidos en el presente estudio, permite sustentar las siguientes conclusiones:

- Los análisis de varianza revelaron diferencias significativas entre los cultivares en varios aspectos fenológicos. La variabilidad en días a la emergencia, floración, madurez, y el desarrollo del grano lechoso y duro, indica que algunos cultivares tienen un comportamiento superior bajo las condiciones específicas del estudio. Estos resultados subrayan la importancia de seleccionar cultivares adecuados para optimizar la productividad y calidad del trigo en la región.
- Por otro lado, parámetros como la altura de planta, longitud de hoja, número de macollos, número de espigas por m², y número de espiguillas por espiga no mostraron diferencias significativas entre los cultivares. Esto indica que, bajo las condiciones experimentales, estos factores no fueron determinantes para distinguir entre los cultivares evaluados, lo que sugiere una homogeneidad en estas características o una posible influencia de factores ambientales o de manejo que podrían haber enmascarado diferencias significativas.
- Los cultivares que mostraron diferencias notables en la cantidad de días necesarios para alcanzar el grano duro, fueron el cultivo SBEGT302 y SBEGT303 destacándose por su mayor tiempo requerido para la maduración. Estos datos son importantes para ajustar el manejo agrícola según las condiciones locales y mejorar la sincronización de la cosecha para maximizar el rendimiento.
- El análisis de las variables de rendimiento (peso de 1000 granos, rendimiento de grano por planta y peso hectolítrico) demostró que las características genéticas de las líneas evaluadas influyen significativamente en los resultados, mientras que el efecto de los bloques no mostró diferencias estadísticamente significativas. Esto indica que las diferencias observadas son atribuibles principalmente a las líneas evaluadas y no factores externos o ambientales dentro del diseño experimental. Peso de 1000 granos: líneas TROPICAL, 3082 y 315 destacaron por presentar los valores promedio más altos, de 39,95 g, 38,65 g y 37,03 g, respectivamente, lo que las convierte en materiales prometedores para la selección genética. Rendimiento de grano por planta: la línea TROPICAL también resaltó en rendimiento con un promedio de 70,9 g, seguida por las

líneas 315 (68,3 g) y 437 (66,52 g), mientras que las líneas SBEGT303 (23,2 g) y SBEGT302 (17,58 g) obtuvieron los valores más bajos. Peso hectolítrico: Las líneas con los mayores valores de peso hectolítrico fueron TROPICAL, 437 y 3082, mostrando diferencias significativas respecto a otras líneas, lo que corrobora su potencial para obtener granos de mayor densidad.

6. RECOMENDACIONES

En base a los objetivos, resultados y conclusiones del presente trabajo, se pueden formular las siguientes recomendaciones:

- Dado que se identificaron cultivares con un comportamiento superior en aspectos fenológicos como días a la emergencia, floración, madurez, y desarrollo del grano lechoso y duro, se recomienda priorizar estos cultivares para la siembra en la región. Estos cultivares han demostrado una capacidad notable para adaptarse a las condiciones específicas del estudio, lo que puede contribuir a una mayor productividad y calidad del trigo.
- Los cultivares SBEGT302 y SBEGT303, que requieren más tiempo para alcanzar el grano duro, deben ser considerados cuidadosamente según el calendario de cultivo de la región. Es recomendable ajustar el manejo agrícola para estos cultivares, asegurando que el periodo de maduración se alinee con las condiciones climáticas y los ciclos de cosecha.
- Se recomienda utilizar la información obtenida sobre la variabilidad en días a la madurez y el rendimiento, para ajustar las prácticas de manejo agrícola. Adaptar el calendario de siembra y cosecha a las características específicas de cada cultivar puede ayudar a maximizar el rendimiento y la calidad del trigo.
- Se sugiere planificar la cosecha con antelación para cultivares con mayor tiempo de maduración, como los SBEGT302 y SBEGT303, para evitar pérdidas debido a condiciones climáticas adversas.
- Se recomienda realizar investigaciones adicionales sobre cómo los factores ambientales y de manejo afectan las características fenotípicas y productivas de los cultivares. Esto ayudará a identificar las condiciones óptimas para cada cultivar y a mejorar las recomendaciones para su cultivo.

7. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- Abbate, P; Divito, A. 2017. Como crece y se desarrolla el cultivo de trigo.
- Apaza, C. 2017. Adaptabilidad de 12 líneas élite precoces de trigo harinero (*Triticum aestivum* L.) Kallutaca, Departamento de La Paz. Tesis de grado, Carrera de Ingeniería Agronómica. Universidad Pública de El Alto, El Alto, Bolivia. 28 p.
- Arteaga, J. 2007. Gobierno municipal de Laja. Trabajo dirigido. Lic. Arq. U.M.S.A. La Paz, Bolivia. 5-7 p.
- Bainotti, C; Gómez D. 2006. Evaluación de cultivares de trigo como doble propósito. INTA-EEA. P 3. Consulta: 2023. Sitio argentino de producción animal. Disponible en: http://inta.gob.ar/sites/default/files/scripttmpinta_evaluacin_de_cultivares_de_trigo_para_doble_pro.pdf.
- Balbi, CN; Rodriguez, E; Neiff, N. 2013. Tasa de crecimiento de espigas de Trigo (*Triticum aestivum*) en diferentes niveles de radiación incidentes en corrientes. Rendimiento y sus componentes. Argentina NEA. 14 p.
- Bishaw, Z.; Niane A. A. and Gan, Y. 2007. Quality seed production. In: lentil. An ancient crop for modern times. Yadav, S. S.; McNeil, D. and Stevenson, P. C. (Ed.). Springer. Dordrecht, the Netherlands. 349-383. pp.
- Bewley J. D., M. Black and P. Halmer. 2006. The Encyclopedia of Seeds: Science, Technology and Uses. CABI International Publishing. Wallingford, U. K. 828 p,
- Butrón, R., Marza, F., Gutiérrez, G., Quispe, F., Calderón, J., Maydana, A., & Pacsi, F. 2018. Estabilidad fenotípica de nueve líneas élites de trigo biofortificado en seis ambientes del área tradicional triguera de Bolivia. Revista de Investigación Agropecuaria y Forestal Boliviana-RIAFB, 5(10), 1-17.
- Carrasco, N.; Báez, A. 2005. Trigo: Manual de campo. INTA EEA Integrada Barrow. Tres Arroyos – Buenos Aires – Argentina. 125 p.
- Castañeda, M; López, C; Colinas, T; De León, J; Molina, M. y Hernández, A. 2009. Rendimiento y calidad de la semilla de cebada y trigo en campo e invernadero. Rev. Interciencia. 34:4.

- Castillo, R. & Silva, E. 2004. Fisiología floración y mejoramiento genético de la caña de azúcar en Ecuador. Ministerio de Agricultura y Ganadería. Guayaquil, Ecuador. 11 p.
- Cevallos, T. 2015. Trigo. Editorial Universitaria. UMSS – Cochabamba. – Bolivia. pp. 9- 11, 19 – 20.
- CONACYT. 2019. Trigo. CIBIOGEM. Consultado en marzo de 2024. Disponible en: <https://conacyt.mx/cibiogem/trigo>.
- Correo del Sur. 2017. Trigo: Producción bajó en 30% y promueven siete variedades.
- Courbineau, F. 2012. Markers of seed quality: from present to future. Seed science research. 22(S1): S61-S68. <https://doi.org/10.1017/S0960258511000419>.
- Divito, G. & García, F. 2017. Manual del Cultivo de Trigo. Instituto Internacional de Nutrición de Plantas. Buenos Aires, Argentina. 1 ed. 29 – 30 p.
- Esquinas, J. 2006. Diversidad Biológica. Sistema global de la FAO sobre recursos filogenéticas de la FAO. 15 p.
- FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura). 2006. Recuperar la diversidad del trigo. 23 p.
- FAOSTAT. 2013. FAOSTAT. Consultado en enero de 2023. Disponible en: <http://faostat.fao.org/site/339/default.aspx>.
- Fenalce. 2016. trigo (*triticum aestivum* L) requerimientos edafológicos . consultado de diciembre disponible <http://www.Fenalce.org/nueva/pg.php?pa=74>
- Goggi, A. S.; Caragea, P.; Pollak, L.; Andrews, G.; Vries, M. and Montgomery, K. 2008. Seed quality assurance in maize breeding programs: tests to explain variations in maize inbreeds and populations. Agron, J. 100(2):337-343. <https://doi.org/10.2134/agronj2007.0151>.
- Goñi J. & Lafarga A. 2009. Calidad de los trigos blandos en Navarra. Editorial ITGA. Navarra, España.

- Google Earth. 2023. (Programa informativo que muestra un globo virtual que permite visualizar múltiple cartografía, con base en la fotografía satelital). Consultado 10 agosto 2024. Disponible en: <http://www.google.es/intl/es/earth/index.html>.
- Guarachi, E. 2011. Balance hídrico en el cultivo de papa bajo condiciones de drenaje mixto en Suka Kollus. Tesis Lic. Ing. Agr. El Alto, BO. Universidad Pública de El Alto. 90 p.
- Igartua, E., Gracia, M. & Lasa, J. 1994. Caracterización y control genético de las respuestas de germinación-emergencia del sorgo granífero a la salinidad. *Euphytica* 76, 185–193 p <https://doi.org/10.1007/BF00022163> visitado en fecha: 08 de agosto de 2024.
- INE. (2023). Agricultura-INE. Producción campaña agrícola de verano, cultivo de trigo. 2013-2022. Disponible en <https://www.ine.gob.bo/index.php/estadisticaseconomicas/agropecuaria/agricultura-cuadros-estadisticos/>.
- INIAP (instituto Nacional de Innovación Agropecuaria y Forestal). 2012. Plan de Implementación del Programa Nacional de Trigo del Instituto Nacional de innovación Agropecuario y Forestal. La Paz, Bolivia. 40 p.
- ISTA, International Seeds Testing Association. 2005. International Rules for Seed Testing. International Seeds Testing Association. Zurich, Switzerland. 126 p.
- ISTA. 2015. International Seeds Testing Association. International rules for seed testing. Introduction to the ISTA rules. International seeds testing association. Zurich, Switzerland. 1-6 pp. <http://doi.org/10.15258/istarules.2015.i>.
- Kosino, P.; Bell, M.; Ceja, J.; Jones. J. 2013. Doctor Trigo: Densidad óptima de siembra. CIMMYT. (En Línea) Consultado: 22 diciembre 2023, <http://www.cimmyt.org/>.
- Laimé, E. 2016. Introducción de doce líneas de trigo harinero (*Triticum aestivum* L.) para zonas semiáridas en el altiplano norte. Tesis de grado, Carrera de Ingeniería Agronómica. Universidad Pública de El Alto, El Alto, Bolivia. 40 p.

- Limachi, J. 2022. Evaluación del rendimiento de ecotipos de trigo (*Triticum spp*) en los valles internadinos de Charazani, provincia Bautista Saavedra. Tesis de licenciatura. Universidad Mayor de San Andrés. La Paz, Bolivia. 58 p.
- Lipa, T. 2016. Evaluación de doce líneas promisorias de trigo harinero (*Triticum aestivum*) en la comunidad Taramaya del municipio de Achacachi del departamento de La Paz. Tesis de Licenciatura. Universidad Mayor de San Andrés. La Paz, Bolivia. 38 p.
- López L. 1990. Morfología, fisiología y ecología de los cereales; Cebada. Cultivos Herbáceos: Cereales. Mundi-Prensa. Madrid, España. p 80-125, 195-196.
- Mamani, G. & Blanco, W. 2024. Aptitud productiva de trece líneas élites de trigo harinero (*Triticum aestivum* L.) en la estación experimental patacamaya. *Revista de Investigación e Innovación Agropecuaria y de Recursos Naturales*, 11(2), 7-17
- Manzaneda, L. 2019. La producción local de trigo no cubre ni el 30% de la demanda. En Los Tiempos (26/04/2019).
- Mateo, B. J. 2005. Prontuario de agricultura "cultivos agrícolas"- trigo 1ra. Ed. Barcelona España: Aedos s. a., 88-89 p.
- Martin, G. 2003. Cultivo del trigo. Cátedra de Forrajes y Cereales – FAZ - UNT.
- Marza, F.; Quispe, F. 2013. Introducción de líneas avanzadas de trigo del CIMMYT en el altiplano de La Paz.
- Marza, F; Butrón, R; Quispe, F; Gutiérrez, G; Huallpa, B; Vaca, L; Jerez, E. 2015. Estabilidad en genotipos de trigo harinero en condiciones semiáridas. *Revista Científica de Investigación INFO-INIAF*, 1, 1-2. Disponible en:http://revistasbolivianas.umsa.bo/scielo.php?script=sci_arttext&pid=&lng=es&nr m=i so&tlng=
- Marza, F., Butron, R., Quispe, F., Gutiérrez, G. & Vaca, L. 2017. Rendimiento y estabilidad fenotípica de diez variedades de trigo harinero en zonas trigueras de Bolivia, 2015 – 2016. art. científ. Artículos originales. Instituto Nacional de Innovación Agropecuaria y Forestal. La Paz, Bolivia. 27 – 29 p.

- Marza, F.; Butrón, R.; Canelas, J.; Huallpa, B.; Tenorio, J.; Villegas R. y Gutiérrez G. 2014. Variabilidad fenotípica de 50 líneas de trigo adaptadas a condiciones semi-áridas. Inifolniaf, vol1. Cochabamba – Bolivia. Pp. 9-15.
- Mercado, A; Paiva, P; Chávez, M; Cáceres, B; Arriola, V; & Cáceres, B. 2024. Determinación de componentes de rendimiento de variedades de trigo locales e introducidas. Revista sobre estudios e investigaciones del saber académico, (18), e2024001-e2024001.
- Miralles, D., González, F., Abeledo, L., Serrago, R., Alzueta, I., García, G., de San Caledonio, R. y Valvo P. 2014. Manual de trigo y cebada para el cono sur procesos fisiológicos y bases de manejo. Ciencia y Tecnología para el Desarrollo. Buenos aires, Argentina. 48 p.
- Mollericon, P. 2013. Efecto de la fertilización nitrogenada y foliar en el cultivo de trigo (*Triticum aestivum* L.) en la localidad de Okinawa Dos (CETABOL) Santa Cruz de la Sierra Bolivia. Tesis Lic. Ing. Agr. UMSA. La Paz – Bolivia. pp. 36 – 60
- Monar, C. 2007. Informe Anual de Labores. INIAP. Guaranda, Ecuador. p. 22.
- Ochoa, R. 2009. Diseños experimentales. 1 ed. La Paz, Bolivia. 61 p.
- Ochoa, R.; Pascuali, J.; Quino, E, 2007. Fertilidad de suelos y nutrición vegetal. Universidad Mayor de San Andrés facultad de agronomía, carrera, Ingeniería Agronómica. La Paz- Bolivia pp.1-3
- Plan Territorial de Desarrollo Integral - Laja, 2016 - 2020. La Paz, Bolivia.
- Quispe, G. 2016. Adaptabilidad y estabilidad fenotípica de 50 genotipos de trigo harinero (*Triticum aestivum* L.) en cuatro localidades trigueras de Cochabamba. Tesis de licenciatura. Universidad Pública de El Alto. La Paz, Bolivia. 49 p.
- Rawson, HM; Gómez, H. 2001. Trigo Regado: Manejo del Cultivo. Ed. FAO, Roma. 108 p.
- Rimache, M. 2008. Cultivo del Trigo, Cebada y Avena. 1ra Edición ISAGRAF. Perú.10 p.
- Rodríguez, J. D. 2001 Fertilización de los cultivos. Ed. LOM. Santiago de Chile 75p.

- Simón, R. 2022. Trigo: Crecimiento y desarrollo: Etapa reproductiva y llenado del grano. En Cereales de invierno (Vol. 1, p. 442). Buenos Aires: Editorial de la Universidad Nacional de la Plata. (34-59).
- Silva, P. Matus, I. Madarlagá, R. Acvedo, E. (2011) criterios técnicos de cultivo de trigo candelena , Chile, Santiago 56p.
- Silva, E. 2015. Selección de líneas élite de trigo (*Triticum aestivum* L.) con adaptabilidad y alto potencial de rendimiento, en el altiplano central de Bolivia, Centro Experimental Agropecuario Condoriri. Tesis Lic. Ing. Agr. El Alto, BO. Universidad Pública de El Alto. 112 p.
- Solano, R. 2011. Cultivo de trigo (en línea). Consultado el 12 de jun. 2024. Disponible en: <http://es.scribd.com/doc/56691569/CULTIVO-DE-TRIGO#scribd>.
- Soto, F., Plana, R. & Hernández N. 2009. Influencia de la temperatura en la duración de las fases fenológicas del trigo harinero (*Triticum aestivum* ssp. *aestivum*) y triticale (*X Triticum secale Wittmack*) y su relación con el rendimiento. Cultivos tropicales. Vol. 30. La Habana, Cuba. 32 p.
- Tapia, A. 2017. Comportamiento agronómico de catorce genotipos de trigo harinero (*Triticum aestivum* L.) con tres densidades de siembra en la Estación Experimental de Kallutaca. Tesis de grado, Carrera de Ingeniería Agronómica, UPEA. El Alto, Bolivia. 45 p.
- TIERRA. 2021. Los pequeños productores de trigo. Aportes de los agricultores familiares del municipio de Mojocoya, Chuquisaca.
- Tola, C. 2017, Evaluación del comportamiento agronómico de doce variedades de trigo (*Triticum aestivum* L.), en el municipio de Combaya de la provincia Larecaja del departamento de La Paz. Tesis de licenciatura. Universidad Mayor de San Andrés. La Paz, Bolivia. 71 – 102 p.
- Valdivia E. 2017. Evaluación del comportamiento agronómico de once líneas élites de trigo (*Triticum aestivum* L.) en el municipio de Combaya de la provincia Larecaja del departamento de La Paz. Tesis de licenciatura. Universidad Mayor de San Andrés. La Paz, Bolivia. 53 – 89 p.

- Villarreal, M. 2000. Efectos de la Producción del Trigo (*Triticum aestivum* L.) en el Mundo, México y en la Región 5 Manantiales. Monografía Licenciatura. Repositorio institucional - Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. 86 p.
- Vigilio, A. 2019. Los abonos orgánicos, adaptación y rendimiento de trigo (*Triticum aestivum*) variedad Gavilan en condiciones edafoclimáticas de Hilauro Puquio Chavinillo 2017. Tesis para optar el título profesional de Ingeniero Agrónomo. Universidad Nacional Hermilio Valdizán, Facultad de Ciencias Agrarias, Escuela Profesional de Ingeniería Agronómica, Huánuco, Perú.
- Wang, Y., y Sun, G. 2021. Prospectiva molecular sobre el desarrollo del grano de trigo. *Critical Reviews in Biotechnology* , 43 (1), 38–49. Consultado 11 de agosto de 2024. Disponible en: <https://doi.org/10.1080/07388551.2021.2001784>
- Yana, E. 2018. *Identificación de genotipos de trigo harinero (Triticum aestivum ssp. aestivum) tolerantes a sequía empleando indicadores morfológicos y fisiológicos.* Tesis de Maestría en Mejoramiento Genético de Plantas, Universidad Nacional Agraria La Molina, Escuela de Posgrado, Lima, Perú. 6-9 p.
- Yapu, W. 2015. Adaptabilidad de 21 líneas avanzadas precoces de trigo harinero (*Triticum aestivum* L.) en la estación experimental de Kallutaca. Tesis de licenciatura. Universidad Pública de el Alto. La Paz, Bolivia. 36 p.

8. ANEXOS

Anexo 1. Preparación del terreno



Anexo 2. Material genético utilizado en la investigación.



Anexo 3. Siembra de las líneas de trigo.



Anexo 4. Toma de muestras de 5 plantas en cada unidad experimental con sus respectivos marbetes.



Anexo 5. Vista de las parcelas de trigo en la madurez fisiológica



Anexo 6. Cosecha de las parcelas experimentales de trigo



Anexo 7. Recolección de muestras en las parcelas de investigación



Anexo 8. Trillado y venteado



Anexo 9. Medidas de grano

Ancho de grano



Longitud de grano



Anexo 10. Peso de grano (1000 g)



Anexo 11. Peso hectolitrico