

UNIVERSIDAD MAYOR DE SAN ANDRÉS
FACULTAD DE AGRONOMÍA
CARRERA DE INGENIERÍA AGRONÓMICA



TESIS DE GRADO

APTITUD PRODUCTIVA DE TRECE LÍNEAS ELITES DE TRIGO HARINERO
(*Triticum aestivum* L.) EN LA ESTACIÓN EXPERIMENTAL PATACAMAYA

RODRIGO GROVER MAMANI VARGAS

LA PAZ – BOLIVIA

2024

UNIVERSIDAD MAYOR DE SAN ANDRÉS

FACULTAD DE AGRONOMÍA

CARRERA DE INGENIERÍA AGRONÓMICA

**APTITUD PRODUCTIVA DE TRECE LÍNEAS ELITES DE TRIGO HARINERO
(*Triticum aestivum* L.) EN LA ESTACIÓN EXPERIMENTAL PATACAMAYA**

Tesis de Grado presentado como requisito

para optar el Título de Ingeniero en

Ingeniería Agronómica

RODRIGO GROVER MAMANI VARGAS

ASESOR (ES):

Ing. M.Sc. Medardo Wilfredo Blanco Villacorta

Ing. Roberto Butrón Ticona†.....

TRIBUNAL EXAMINADOR:

Ing. Freddy Carlos Mena Herrera

Ing. María Eugenia Cari Mamani

Ing. M. Sc. Marcelo Tarqui Delgado

APROBADA

Presidente tribunal examinador:



CONTENIDO GENERAL

DEDICATORIA.....	I
AGRADECIMIENTOS.....	II
ÍNDICE GENERAL.....	III
ÍNDICE DE TABLAS.....	VIII
ÍNDICE DE FIGURA.....	IX
ÍNDICE DE ANEXO.....	XIII
RESUMEN	XVII
SUMMARY.....	XVIII

DEDICATORIA:

Dedicado con mucho cariño a mis padres : Humberto Mamani Mamani y Julia Vargas Calcina. A mis hermanas Maritza Mabel Mamani Vargas y Zulma Miriam Mamani Vargas.

AGRADECIMIENTOS

Inicialmente al señor padre celestial el que me ciñe de fuerza al ser mi guía y llenarme de bendiciones a lo largo de la vida.

Al Ing. Msc. Medardo Wilfredo Blanco Villacorta docente de la Facultad de Agronomía, director de la Estación Experimental Patacamaya, por su asesoramiento, trato excelente, mejorables opiniones, apoyo en la orientación y el término del Trabajo de investigación.

Al Ing. Roberto Butrón Ticona jefe de investigaciones (INIAF) que en paz descanse (†) profesional investigador del Instituto Nacional de Innovación Agropecuaria y Forestal (INIAF) por su asesoramiento, paciencia y por accederme en la utilización del material genético de trigo harinero procedente del PN-Trigo sumado a la ayuda en la estimación del material del trabajo.

Mi gratitud también se extiende hacia el Ing. José Luis Acarapi cuyas recomendaciones han sido invaluable en este proceso.

Al INIAF-La Paz por la entrega del material biológico por medio del programa Nacional de trigo.

Dejo a constancia de imperioso reconocimiento a mi casa superior de estudios la Facultad de Agronomía UMSA al darme las facilidades y por ende obtener los objetivos propuestos, continuar logrando metas en mi profesión y por la oportunidad de formarme como ingeniero agrónomo.

Es propicia la oportunidad de agradecer a los profesionales de la facultad por brindarme los conocimientos y sus experiencias impartidas en las aulas universitarias que sirvieron bastante en el aprendizaje y la finalización de mis estudios, demostrándome que la carrera es vital dentro de la sociedad de nuestro país.

No quiero olvidar de agradecer a mi familia, amistades y demás allegados de confianza que de alguna manera se involucraron y me apoyaron en la realización de la investigación.

ÍNDICE GENERAL

1.	INTRODUCCIÓN.....	1
1.1.	Planteamiento del problema.....	2
1.2.	Justificación.....	2
2.	OBJETIVOS.....	2
2.1.	Objetivo General.....	2
2.2.	Objetivos Específicos.....	2
2.3.	Hipótesis.....	3
3.	REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA.....	3
3.1.	Antecedentes investigativos.....	3
3.2.	Marco conceptual.....	3
3.2.1.	Origen.....	3
3.2.1.1.	El comienzo y la evolución del cultivo y mejoramiento del trigo.....	3
3.2.2.	Taxonomía.....	4
3.2.3.1.	Características generales.....	4
3.2.3.1.1.	Raíz.....	5
3.2.3.1.2.	Tallo.....	5
3.2.3.1.3.	Inflorescencia.....	5
3.2.3.1.4.	Granos.....	5
3.2.3.2.	Variedades del cultivo de trigo.....	5
3.2.3.3.	Época de siembra.....	5
3.2.3.3.1.	Trigo de invierno.....	5
3.2.3.3.2.	Trigo común de primavera.....	6
3.2.3.4.	Requerimientos edafoclimáticos.....	6
3.2.3.4.1.	Temperatura.....	6
3.2.3.4.2.	Suelo.....	6
3.2.3.4.3.	Humedad.....	6
3.2.3.4.4.	Precipitación.....	6
3.2.3.4.5.	Densidad de siembra.....	7
3.2.4.	Enfermedades.....	7

3.2.4.1. Piricularia (<i>pyricularia grisea</i>).....	7
3.2.4.2. Royas	7
3.2.4.2.1. Roya lineal (<i>Puccinia striiformis</i> f. sp. <i>tritici</i>).....	7
3.2.4.2.2. Roya de la hoja (<i>Puccinia triticina</i>).....	8
3.2.4.2.3. Roya del tallo (<i>Puccinia graminis</i> f sp. <i>tritici</i>)	9
3.2.4.3. Daños por helada	9
3.2.5. Plagas del trigo	10
3.2.5.1. Pulgón amarillo	10
3.2.5.2. Gusano Cogollero (<i>Spodoptera frugiperda</i>).....	11
3.2.6. Mejoramiento genético de trigo en Bolivia	12
4. LOCALIZACIÓN	12
4.1. Ubicación geográfica	12
5. MATERIALES Y MÉTODOS	14
5.1. Materiales.....	14
5.2. Metodología.....	14
5.2.1. Flujograma del trabajo experimental en campo	14
5.2.2. Muestreo de suelo.....	16
5.2.3. Preparación del terreno.....	16
5.2.4. Delimitación	17
5.2.5. Siembra.....	18
5.2.6. Control de malezas	18
5.2.7. Aplicación de riego.....	19
5.2.8. Etiquetado y registro de datos	20
5.2.9. Fertilización con Urea y Aplicación de Biol	21
5.2.10. Cosecha.....	22
5.2.11. Trillado y venteado.....	23
5.3. Diseño experimental.....	24
5.3.1. Modelo de Análisis Estadístico	24
5.3.2. Distribución de los tratamientos	24
5.3.3. Factores de estudio.....	25

5.3.4.	Variables de respuesta	25
5.3.4.1.	Variables fenológicas.....	25
5.3.4.1.1.	Días a la emergencia.....	25
5.3.4.1.2.	Días a espigamiento.....	26
5.3.4.1.3.	Días a la floración.....	26
5.3.4.1.4.	Días a la maduración.....	26
5.3.4.2.	Variables agronómicas.....	26
5.3.4.2.1.	Altura de planta.....	26
5.3.4.2.2.	Longitud de espiga.....	26
5.3.4.2.3.	Longitud de arista.....	26
5.3.4.3.	Variables fisiológicas.....	27
5.3.4.3.1.	Área foliar.....	27
5.3.4.3.2.	Área de grano.....	27
5.3.4.4.	Variables de rendimiento.....	27
5.3.4.4.1.	Número de plantas por metro lineal.....	27
5.3.4.4.2.	Número de espiguillas por espiga.....	27
5.3.4.4.3.	Número de espigas por metro cuadrado.....	27
5.3.4.4.4.	Número de granos por espiga.....	27
5.3.4.4.5.	Peso de 1000 granos.....	28
5.3.4.4.6.	Rendimiento final del cultivo.....	28
5.3.4.5.	Variable de calidad.....	28
5.3.4.5.1.	Peso hectolítrico.....	28
5.3.5.	Datos meteorológicos.....	28
5.3.6.	Recolección de datos.....	28
5.3.7.	Procesamiento de datos.....	29
5.3.8.	Análisis estadístico.....	29
5.3.8.1.	Análisis estadístico descriptivo.....	29
5.3.8.2.	Análisis de las varianzas con la prueba de Bartlett y Levene.....	29
5.3.8.3.	Análisis multivariado.....	30
5.3.8.4.	Análisis de componentes principales.....	30
6.	RESULTADOS.....	30

6.1.	Aspectos climáticos	30
6.1.1.	Temperatura y precipitación.....	31
6.1.2.	Análisis físico y químico del suelo.....	32
6.2.	Análisis descriptivo	33
6.2.1.	Variables cuantitativas	33
6.2.2.	Análisis de varianza	35
6.3.	Prueba de promedios	36
6.3.1.	Variables agronómicas.....	36
6.3.1.1.	Altura de planta.....	36
6.3.1.2.	Longitud de espiga	38
6.3.1.3.	Longitud de arista	39
6.3.2.	Variables fenológicas	40
6.3.2.1.	Días a la emergencia.....	40
6.3.2.2.	Días a espigamiento	41
6.3.2.3.	Días a la floración	42
6.3.2.4.	Días a la madurez.....	43
6.3.3.	Variables fisiológicas.....	45
6.3.3.1.	Área foliar	45
6.3.3.2.	Área de grano.....	46
6.3.4.	Variables de rendimiento	47
6.3.4.1.	Número de plantas por metro lineal.....	47
6.3.4.2.	Número de plantas por metro cuadrado	48
6.3.4.3.	Número de espiguillas por espiga.....	49
6.3.4.4.	Número de espigas por metro cuadrado	51
6.3.4.5.	Número de granos por espiga	52
6.3.4.6.	Peso de mil granos	53
6.3.4.7.	Rendimiento.....	55
6.3.5.	Variables de calidad.....	56
6.3.5.1.	Peso hectolítrico	56
6.4.	Análisis multivariado.....	58
6.4.1.	Análisis de correlación múltiple (r)	58
6.4.2.	Análisis de componentes principales	60

6.5.	Ranking de rendimiento.....	64
7.	CONCLUSIONES.....	65
8.	RECOMENDACIONES	66
9.	BIBLIOGRAFÍA.....	68
10.	ANEXO	76

ÍNDICE DE TABLAS

TABLA 1. Detalle del material introducido del centro internacional de mejoramiento de Maíz y Trigo identificado por su propósito en los respectivos años.....	12
TABLA 2. Materiales de trabajo usado en la investigación.....	14
TABLA 3. Material de estudio.....	25
TABLA 4. Análisis físico químico del suelo.....	32
TABLA 5. Optimización de la nutrición del suelo a través del análisis del suelo	33
TABLA 6. Estadística descriptiva de trece líneas elites de trigo harinero, evaluados en la Estación Experimental de Patacamaya, gestión agrícola 2022-2023.....	34
TABLA 7. Análisis de varianza de trece líneas elites de trigo harinero, evaluados en la Estación Experimental de Patacamaya, durante la gestión agrícola 2022-2023.	36

ÍNDICE DE FIGURA

FIGURA 1. <i>Pyricularia</i> (<i>Pyricularia grisea</i>) presente en Santa cruz	7
FIGURA 2. <i>Roya lineal</i> (<i>Puccinia striiformis</i> f. sp. <i>tritici</i>).....	7
FIGURA 3. <i>Roya de la hoja</i> (<i>Puccinia triticina</i>).....	8
FIGURA 4. <i>Roya del tallo</i> (<i>Puccinia graminis</i> f. sp. <i>tritici</i>).....	9
FIGURA 5. <i>Daños por helada en la parcela de investigación</i>	10
FIGURA 6. <i>Pulgón amarillo</i> (<i>Metopolophium dirhodum</i>)	10
FIGURA 7. <i>Presencia de Gusano Cogollero</i> (<i>Spodoptera frugiperda</i>)	11
FIGURA 8. <i>Ubicación geográfica del ensayo, en la Estación Experimental Patacamaya, en la aptitud productiva de trece líneas elites de trigo harinero (Triticum aestivum L.) durante la gestión agrícola 2022-2023.</i>	13
FIGURA 9. <i>Flujograma de investigación de la aptitud productiva de trece líneas elites de trigo harinero (Triticum aestivum L.) en la Estación Experimental Patacamaya, durante la gestión agrícola 2022-2023</i>	15
FIGURA 10. <i>Extracción de la muestra de suelo</i>	16
FIGURA 11. <i>Preparación del suelo con arado de disco</i>	17
FIGURA 12. <i>Delimitación del área de estudio</i>	17
FIGURA 13. <i>Siembra de las trece líneas elites de trigo harinero</i>	18
FIGURA 14. <i>Control de malezas de hojas anchas</i>	19
FIGURA 15. <i>Suelo húmedo a capacidad de campo, favoreciendo la germinación</i>	20
FIGURA 16. <i>Marbete, seguimiento y monitoreo del ensayo</i>	21

FIGURA 17. <i>Corrección de la deficiencia de nutrientes para el desarrollo del cultivo....</i>	22
FIGURA 18. <i>Cosecha del trigo de cada unidad experimental de manera independiente</i>	23
FIGURA 19. <i>Maquinaria básica para separar los granos de las espigas en el cultivo de trigo</i>	24
FIGURA 20. <i>Datos diarios de Precipitación acumulada (mm), (Tmax) Temperatura máxima promedio (°c), (Tmin) Temperatura mínima promedio (°c), (Tmed) Temperatura media en la aptitud productiva de trece líneas elites de trigo harinero en la Estación Experimental Patacamaya, gestión agrícola 2022-2023</i>	31
FIGURA 21. <i>Prueba de promedios duncan para la variable altura de planta de trece líneas elites de trigo harinero.</i>	37
FIGURA 22. <i>Prueba de promedios Duncan para la variable longitud de espiga de trece líneas elites de trigo harinero.</i>	38
FIGURA 23. <i>Prueba de promedios Duncan para la variable longitud de arista de trece líneas elites de trigo harinero.</i>	39
FIGURA 24. <i>Prueba no paramétrica Friedman para la variable días a la emergencia de trece líneas elites de trigo harinero.</i>	40
FIGURA 25. <i>Prueba no paramétrica Friedman para la variable días a espigamiento de trece líneas elites de trigo harinero.</i>	42
FIGURA 26. <i>Prueba no paramétrica Friedman para la variable días a floración de trece líneas elites de trigo harinero.</i>	43

FIGURA 27. Prueba no paramétrica Friedman para la variable días a la madurez de trece líneas elites de trigo harinero.....	44
FIGURA 28. prueba de promedios duncan para la variable área foliar de trece líneas elites de trigo harinero.	45
FIGURA 29. Prueba de promedios Duncan para la variable área de grano de trece líneas elites de trigo harinero.....	46
FIGURA 30. Prueba de promedios Duncan para la variable número de plantas por metro lineal de trece líneas elites de trigo harinero.	47
FIGURA 31. Prueba de promedios Duncan para la variable número de plantas por metro cuadrado de trece líneas elites de trigo harinero.....	48
FIGURA 32. Prueba de promedios Duncan para la variable número de espiguillas por espiga de trece líneas elites de trigo harinero.....	50
FIGURA 33. Prueba no paramétrica Friedman para la variable número de espigas por metro cuadrado de trece líneas elites de trigo harinero.....	51
FIGURA 34. Prueba de promedios Duncan para la variable número de granos por espiga de trece líneas elites de trigo harinero.....	53
FIGURA 35. Prueba no paramétrica Friedman para la variable peso de mil granos de trece líneas elites de trigo harinero.....	54
FIGURA 36. Prueba de promedios Duncan para la variable rendimiento de trece líneas elites de trigo harinero.....	55
FIGURA 37. Prueba de promedios Duncan para la variable peso hectolítrico de trece líneas elites de trigo harinero.....	57

FIGURA 38. *Matriz de coeficiente de correlación múltiple para la aptitud productiva de trece líneas elites de trigo harinero (triticum aestivum L.) evaluados en la Estación Experimental Patacamaya, durante la gestión agrícola 2022-2023*58

FIGURA 39. *Gráfico de Sedimentación de los componentes principales de acuerdo a varianza acumulada en el estudio para la aptitud productiva de trece líneas elites de trigo harinero (Triticum aestivum L.) evaluados en la Estación Experimental Patacamaya gestión agrícola 2022-2023.*61

FIGURA 40. *Análisis Biplot de los componentes principales para la aptitud productiva de trece líneas elites de trigo harinero (Triticum aestivum L.) evaluados en la Estación Experimental Patacamaya gestión agrícola 2022-2023.....*62

FIGURA 41. *Rankin de rendimiento para la aptitud productiva de trece líneas elites de trigo harinero (Triticum aestivum L.) evaluados en la Estación Experimental Patacamaya gestión agrícola 2022-2023.....*64

ÍNDICE DE ANEXO

ANEXO 1. <i>Cruza e historial de selección de las trece líneas elites de trigo harinero, en la Estación Experimental Patacamaya</i>	76
ANEXO 2. <i>Cálculo de la cantidad de semilla para cada unidad experimental</i>	76
ANEXO 3. <i>Procedimientos de calibración y dosificación para el control efectivo de malezas</i>	77
ANEXO 4. <i>Cuadro de precipitaciones y temperaturas mensuales durante los últimos diez años (2013-2022) en la Estación Experimental Patacamaya</i>	77
ANEXO 5. <i>Caculo del balance hídrico para el cultivo de trigo</i>	78
ANEXO 6. <i>Cuadro de precipitaciones y temperaturas mensuales durante el ciclo del cultivo en la Estación Experimental Patacamaya, durante la gestión agrícola 2022-2023</i>	79
ANEXO 7. <i>Resultados del Análisis físico químico del suelo</i>	79
ANEXO 8. <i>Procedimiento para interpretación del análisis del suelo y déficit de fertilización</i>	80
ANEXO 9. <i>Croquis del ensayo, en la Estación Experimental Patacamaya, durante la gestión agrícola 2022-2023</i>	83
ANEXO 10. <i>Figura panorámica de la zona de estudio en la Estación Experimental Patacamaya</i>	83
ANEXO 11. <i>Prueba de Bartlett para Homocedasticidad de varianzas para las variables: valor p con un nivel de significancia predeterminado al 0.05</i>	84

ANEXO 12. Prueba de Shapiro-Wilks para verificar la distribución normal de las variables: valor p con un nivel de significancia predeterminado al 0.05	85
ANEXO 13. Independencia de datos para la variable altura de planta.....	86
ANEXO 14. Independencia de datos para la variable longitud de espiga	86
ANEXO 15. Independencia de datos para la variable longitud de arista	87
ANEXO 16. Independencia de datos para la variable días a la emergencia	87
ANEXO 17. Independencia de datos para la variable días a espigamiento	88
ANEXO 18. Independencia de datos para la variable días a floración	88
ANEXO 19. Independencia de datos para la variable días a la madures.....	89
ANEXO 20. Independencia de datos para la variable área foliar	89
ANEXO 21. Independencia de datos para la variable área de grano	90
ANEXO 22. Independencia de datos para la variable número de plantas por metro lineal	90
ANEXO 23. Independencia de datos para la variable número de planta por metro cuadrado	91
ANEXO 24. Independencia de datos para la variable número de espiguillas por espiga.	91
ANEXO 25. Independencia de datos para la variable número de espigas por metro cuadrado.....	92
ANEXO 26. Independencia de datos para la variable número de granos por espiga.....	92
ANEXO 27. Independencia de datos para la variable peso de mil granos.....	93

ANEXO 28. <i>Independencia de datos para la variable rendimiento.....</i>	93
ANEXO 29. <i>Independencia de datos para la variable peso hectolítrico</i>	94
ANEXO 30. <i>Planilla de registro de variables para trece líneas elites de trigo harinero en la Estación Experimental Patacamaya gestión agrícola 2022-2023.....</i>	94
ANEXO 31. <i>Gastos que se realizaron durante las actividades de todo el ciclo agrícola</i>	95
ANEXO 32. <i>Fotografía de muestreo de suelo en la parcela de la Estación Experimental Patacamaya durante la gestión agrícola 2022-2023</i>	96
ANEXO 33. <i>Fotografía de la preparación del área de estudio para trece líneas elites de trigo harinero en la Estación Experimental Patacamaya gestión agrícola 2022-2023</i>	96
ANEXO 34. <i>Fotografía de la delimitación del área de estudio para trece líneas elites de trigo harinero en la Estación Experimental Patacamaya gestión agrícola 2022-2023</i>	97
ANEXO 35. <i>Fotografía de la siembra del material genético de trece líneas elites de trigo harinero en la Estación Experimental patacamaya durante la gestión agrícola 2022-2023</i>	97
ANEXO 36. <i>Fotografía de riego por aspersión y gravedad en el ensayo de las trece líneas elites de trigo harinero en la Estación Experimental Patacamaya gestión agrícola 2022-2023.....</i>	98
ANEXO 37. <i>Fotografía de fertilización: aplicación de Biol y urea en el ensayo de trece líneas elites de trigo harinero en la Estación Experimental Patacamaya gestión agrícola 2022-2023.....</i>	98

ANEXO 38. <i>Fotografías sobre Control de malezas con aplicación de herbicida para hojas anchas en el ensayo de la Estación Experimental Patacamaya gestión agrícola 2022-2023</i>	99
ANEXO 39. <i>Fotografía de colocado de letreros en las cuarenta y cinco unidades experimentales</i>	99
ANEXO 40. <i>Fotografía de la toma de datos de las variables en estudio en la Estación Experimental Patacamaya gestión agrícola 2022-2023</i>	100
ANEXO 41. <i>Fotografía de la evaluación participativa (día demostrativo de parcela) con la visita de la institución INIAF-PN-Trigo en la Estación Experimental Patacamaya gestión agrícola 2022-2023</i>	100
ANEXO 42. <i>Fotografía de la cosecha del material genético en la Estación Experimental Patacamaya gestión agrícola 2022-2023</i>	101
ANEXO 43. <i>Fotografía de la evaluación de la variable rendimiento y peso hectolítrico gestión agrícola 2022-2023</i>	101

RESUMEN

En Bolivia, el rendimiento nacional es de 0.9 a 1.4 t*ha⁻¹, siendo más alto en el oriente de 0.9 a 1.9 t*ha⁻¹, que en el área tradicional con rendimientos de 0.7 a 0.9 t*ha⁻¹. Diferentes estudios muestran en la categoría de líneas elite provenientes del PN-Trigo-INIAF y el CIMMYT rendimientos entre 1899 kg*ha⁻¹ a 4944 kg*ha⁻¹. Sin embargo, la región del Altiplano Central del Departamento de La Paz presenta condiciones adversas que se traducen en baja fertilidad y por ende bajos rendimientos, en comparación a otras regiones por tanto el trigo se cultiva poco. El objetivo de la investigación fue identificar 1) líneas elites con características agronómicas sobresalientes para el componente de rendimiento bajo condiciones agro meteorológicas del Altiplano Central de Bolivia y 2) correlaciones entre variables agronómicas, fenológicas, fisiológicas, de rendimiento y calidad en las trece líneas elites de trigo harinero. La investigación fue realizada en la Estación Experimental de Patacamaya, la metodología consistió en el muestreo de suelo, preparación del terreno, delimitación, siembra, control de malezas, aplicación de riego, etiquetado y registro de datos, fertilización con Urea y aplicación de Biol, cosecha, trillado y venteado. Se usaron materiales de: campo, gabinete, instrumentos, insumos y maquinaria pesada. Se aplicó un diseño de bloques completamente al azar donde se consideró quince tratamientos (trece líneas más 2 variedades testigos) 3 repeticiones y 3 bloques. Las variables evaluadas fueron Variables fenológicas, agronómicas, fisiológicas, rendimiento y calidad. Como resultado principal se consideró las correlaciones más importantes con relación al rendimiento. Para el análisis de componentes principales se puede identificar variables altamente correlacionadas como ser rendimiento, número de espigas por metro cuadrado, altura de planta y número de granos por espiga que conforman un grupo relacionado a productividad. En conclusión, para estas características destacan los genotipos L-13, Tepoca-T89, INIAF-Totora-2014 con rendimientos de: 2374, 2066, 1969 Kg*ha⁻¹ como los más promisorios. Por lo tanto, es posible cultivar el trigo tomando medidas de prevención y adaptación para garantizar la viabilidad de la producción en esta región, la colaboración entre diferentes actores como: la investigación, desarrollar estrategias de diversificación de variedades elites, gestión del agua eficiente para abordar desafíos para una agricultura sostenible en el altiplano.

SUMMARY

In Bolivia, national yields range from 0.9 to 1.4 t*ha⁻¹, being higher in the east from 0.9 to 1.9 t*ha⁻¹, than in the traditional area with yields from 0.7 to 0.9 t*ha⁻¹. Different studies show yields in the category of elite lines from PN-Trigo-INIAF and CIMMYT between 1899 kg*ha⁻¹ to 4944 kg*ha⁻¹. However, the Central Altiplano region of the Department of La Paz has adverse conditions that result in low fertility and therefore low yields, compared to other regions, so wheat is grown very little. The objective of the research was to identify 1) elite lines with outstanding agronomic characteristics for the yield component under agro-meteorological conditions of the Central Altiplano of Bolivia and 2) correlations between agronomic, phenological, physiological, yield and quality variables in the thirteen elite lines of flour wheat. The research was carried out at the Patacamaya Experimental Station, the methodology consisted of soil sampling, field preparation, delimitation, sowing, weed control, irrigation application, labeling and data recording, fertilization with Urea and Biol application, harvesting, threshing and venting. Field and cabinet materials, instruments, inputs and heavy machinery were used. A completely randomized block design was applied with fifteen treatments (thirteen lines plus 2 control varieties), 3 replications and 3 blocks. The variables evaluated were phenological, agronomic, physiological, yield and quality variables. The most important correlations in relation to yield were considered as the main result. Principal component analysis can identify highly correlated variables such as yield, number of ears per square meter, plant height and number of grains per ear that form a group related to productivity. In conclusion, for these characteristics the genotypes L-13, Tepoca-T89, INIAF-Totora-2014 with yields of: 2374, 2066, 1969 Kg*ha⁻¹ stand out as the most promising. Therefore, it is possible to grow wheat by taking prevention and adaptation measures to ensure the viability of production in this region, collaboration between different actors such as: research, develop strategies for diversification of elite varieties, efficient water management to address challenges for sustainable agriculture in the altiplano.

1. INTRODUCCIÓN

Según Marza et al., (2015) el cereal más cultivado en el mundo es el trigo (*Triticum aestivum* L.), actualmente es el alimento más estable e importante para una población de cerca de dos billones (36% de la población mundial). Por otro lado Donley, (2023) en un pronóstico actualizado, la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO) estimó la producción de trigo de 2022 en 794 millones de toneladas.

El trigo (*Triticum aestivum* L.) es una especie anual que se cultiva bajo condiciones semiáridas y bajo riego, en nuestro país se constituye en la principal fuente de energía de la dieta alimentaria (Quispe et al., 2016).

Marza et al., (2015) describen que en Bolivia en los últimos diez años, la producción ha oscilado entre 145 a 255 mil t*año⁻¹ satisfaciendo el 21 al 36 % de la demanda interna, el rendimiento nacional es de 0.9 a 1.4 t*ha⁻¹, siendo más alto en el oriente de 0.9 a 1.9 t*ha⁻¹ que en el área tradicional que se obtiene rendimientos de 0.7 a 0.9 t*ha⁻¹, en esa misma línea el Instituto Nacional de Estadística INE, (2023) menciona que en los últimos diez años (2013-2022) el rendimiento nacional de trigo oscila en 1.1 t*ha⁻¹.

Paucara, (2018) indica que las investigaciones deben orientarse a la evaluación y confirmación de nuevas variedades de trigo destinadas a aumentar el rendimiento y la adaptabilidad en diversas regiones con diferentes altitudes, para beneficio de los agricultores.

Frente a los eventos naturales y desafíos climáticos, se vio la necesidad de realizar esta investigación para identificar genotipos de trigo con capacidades de adaptación al clima y factores estresantes como sequías, heladas a través del Programa Nacional de Trigo (PN-TRIGO) del Instituto Nacional de Innovación Agropecuaria y Forestal (INIAF).

En ese sentido se busca nuevas variedades de alto rendimiento como una alternativa que superen la barrera de los 1,4 t*ha⁻¹, que permita a los productores optimizar su potencial productivo coadyuvando de esta manera a la política nacional de seguridad y soberanía alimentaria.

1.1. Planteamiento del problema

La región del Altiplano Central del Departamento de La Paz presenta condiciones adversas y una serie de factores naturales que limitan la agricultura debido al clima, déficit hídrico durante la mayor parte del año con presencia de heladas, granizadas y suelos deficientes en sus características físicas, químicas y biológicas que se traducen en baja fertilidad, además a esto se suma rendimientos bajos, en sus diferentes cultivos, por lo tanto, el trigo se cultiva poco en estas regiones.

1.2. Justificación

Frente a las problemáticas citadas, se pretende identificar genotipos que muestren mejores características de adaptabilidad a las condiciones climáticas de la localidad Patacamaya donde se estableció el estudio, a través de la evaluación de trece líneas elites de trigo harinero (*Triticum aestivum* L.) y dos variedades como testigo, por otro lado se requiere observar el rendimiento óptimo de las diferentes líneas en la localidad de Patacamaya, esto durante la gestión agrícola de verano 2022-2023.

La incorporación de diferentes variedades fortalece las condiciones económicas, sociales, ambientales y pueden constituirse una alternativa factible para aplicarla en sus tierras por el productor de la región.

2. OBJETIVOS

2.1. Objetivo General

- Evaluar la aptitud productiva de trece líneas elites de trigo harinero (*Triticum aestivum* L.) en la Estación Experimental Patacamaya.

2.2. Objetivos Específicos

- Identificar líneas elites con características agronómicas sobresalientes para el componente de rendimiento bajo condiciones agro meteorológicas del Altiplano Central de Bolivia.
- Identificar correlaciones entre variables agronómicas, fenológicas, fisiológicas, de rendimiento y calidad en las trece líneas elites de trigo harinero.

2.3. Hipótesis

H0: Entre las trece líneas elite de trigo harinero no presentan diferencias significativas en las variables agronómicas, fenológicas, fisiológicas, rendimiento y calidad.

HA: Entre las trece líneas elite de trigo harinero presentan diferencias significativas en al menos una de las variables agronómicas, fenológicas, fisiológicas rendimiento y calidad.

3. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

3.1. Antecedentes investigativos

ANAPO, (2014) menciona que el diagnóstico del plan de implementación del Programa Nacional del Trigo, fue de aproximadamente 100.000 familias en el área andina que se dedican al cultivo de trigo, siendo esencial para la alimentación rural en diversas formas como lagua, chaque, tostado, entre otros, por lo tanto, es un cultivo de gran relevancia para la población.

3.2. Marco conceptual

3.2.1. Origen

Mendoza y Chuquicahua, (2018) describen que las primeras formas de trigo recolectadas por el hombre datan desde hace más de doce mil años. Las más antiguas evidencias arqueológicas del cultivo de trigo vienen de Siria, Jordania, Turquía e Irak. La palabra “trigo” proviene del vocablo latino *Triticum*, que significa “quebrado”, “triturado” o “trillado”, haciendo referencia a la actividad que se debe realizar para separar el grano de trigo de la cascarilla que lo recubre.

3.2.1.1. El comienzo y la evolución del cultivo y mejoramiento del trigo.

A fines del siglo XIX, Vilmorin en Francia y Rimpau en Alemania entre otros mejoradores, hicieron importantes aportes en el desarrollo de genotipos superiores de trigo por hibridación artificial o selección, motivados por Darwin (Venske et al., 2019).

Villaseñor Mir et al., (2021) indica que el mejoramiento genético del trigo en México comenzó en 1944 en el Campo Experimental Valle de México, dirigido por el Dr. Norman E. Borlaug donde sus investigaciones llevaron al desarrollo de las primeras variedades de trigo en 1948. Estas variedades demostraron resistencia a la roya del tallo y en la década de 1960, se logró reducir el tamaño de la planta. Estas variedades cuando se cultivaron en África, India y Pakistán, desencadenaron la “revolución verde”, un avance que le valió al Dr. Borlaug el Premio Nobel de la Paz, también menciona que en 1974 se establecieron tres programas de mejora genética del trigo en México: Noroeste, Bajío y temporal. El Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo (CIMMYT) tuvo un papel central hasta 2020, han pasado 76 años y se han desarrollado 154 generaciones de trigo, situando al programa nacional como uno de los más activos en el mundo.

Yara, (2023) señala que: a través de los años los agricultores siguieron seleccionando en sus campos las plantas que mostraban propiedades favorables, como facilidad de cosecha, buen rendimiento y los nuevos trigos empezaron a dominar.

El trigo está centrado fundamentalmente en dos especies: el trigo (*Triticum aestivum* L.) ($2n=6x=42$, AABBDD) y el trigo duro tetraploide (*Triticum turgidum*) sub sp, *turgidum* var. durum Desf. ($2n=4x=28$, AABB). Ambos han ido reemplazando en los últimos 5.000 años al primitivo *einkorn* (Peng et al., 2011 citado por Borroso, 2017).

3.2.2. Taxonomía

3.2.3. Trigo (*Triticum aestivum* L.)

3.2.3.1. Características generales

Según CONACYT, (2019) el trigo pertenece a la familia de las gramíneas (*Poaceae*), el trigo harinero llamado (*Triticum aestivum* L.), es el cereal panificable más cultivado en el mundo con la siguiente clasificación taxonómica.

Orden: Poales

Familia: Poaceae

Género: *Triticum*

Especie: Vulgare, *aestivum*

Nombre científico *Triticum aestivum* L.

3.2.3.1.1. Raíz

El trigo posee una raíz fasciculada es decir con numerosas ramificaciones las cuales alcanzan en su mayoría una profundidad de 25 cm, llegando algunas de ellas hasta un metro de profundidad (Camacho,1981 citado por Arteaga y Silva, 2015).

3.2.3.1.2. Tallo

El tallo del trigo de tipo herbáceo es una caña hueca con 6 nudos que se alargan hacia la parte superior alcanzando entre 0.5 a 2 metros de altura (Mateo, 2005 citado por Arteaga y Silva, 2015).

3.2.3.1.3. Inflorescencia

La inflorescencia es una espiga compuesta por un raquis (eje escalonado) o tallo central de entrenudos cortos, sobre el cual van dispuestas 20 a 30 espiguillas en forma alterna y laxa o compacta, llevando cada una nueve flores (Estrada et al., 2014).

3.2.3.1.4. Granos

Los granos son cariósides que presentan forma ovalada con sus extremos redondeados, a lo largo de la cara ventral del grano hay una depresión (surco): una invaginación de la aleurona. El pericarpio y la testa juntamente con la capa aleurona conforman el salvado de trigo (Mateo, 2005 citado por Arteaga y Silva, 2015).

3.2.3.2. Variedades del cultivo de trigo

InfoAgro, (2014) menciona que se distingue variedades en función de su ciclo:

- Variedades de otoño o de ciclo largo.
- Variedades de primavera o de ciclo corto.

3.2.3.3. Época de siembra

3.2.3.3.1. Trigo de invierno

Trigo de invierno tradicionalmente se siembra en otoño y se cosecha aproximadamente 11 meses después, único en el aspecto que tiene que ser vernalizado, que necesita pasar por un periodo de temperaturas bajas para poder florear (Yara, 2022).

3.2.3.3.2. Trigo común de primavera

Su desarrollo varía entre 120 a 180 días dependiendo del clima, requieren temperaturas entre 7 y 18 °C durante 5 a 15 días para inducir la floración (Yara, 2022).

3.2.3.4. Requerimientos edafoclimáticos

3.2.3.4.1. Temperatura

La temperatura ideal para el crecimiento y desarrollo del trigo está entre 10 y 24 °C (Soto, 2009 citado por Manangón, 2014).

3.2.3.4.2. Suelo

Requiere de suelos sueltos con buen drenaje y con un pH de entre 5,5 y 7 y no soporta los terrenos arenosos con acidez elevada (TRAXCO, 2017).

En cuanto a textura, el trigo se da muy bien en suelos francos arcillosos o arcilla poco densa. Los suelos arenosos son poco fértiles, y las arcillas densas por sus condiciones físicas son difíciles de trabajar (Martínez, 1976).

3.2.3.4.3. Humedad

Requiere una humedad relativa de entre el 40 y el 70 %; desde la espigamiento hasta la cosecha es la época que tiene mayores requerimientos (SAGARPA, s. f.).

Por otro lado Martínez, (1976) menciona que se debe considerar factores muy importantes como la permeabilidad y la pendiente, que se deben descartarse los suelos que tienen mala permeabilidad por que se inundan.

3.2.3.4.4. Precipitación

El trigo se desarrolla bien con 300 o 400 mm, siempre que la distribución sea adecuada, comúnmente se cultiva en regiones de 400 a 750 mm anuales (Butron, 2022). Gómez et al., (2022) describe que el cambio climático ha reducido gravemente la producción de trigo en los últimos años debido a patrones de precipitación impredecibles.

3.2.3.4.5. Densidad de siembra

Se recomienda para el cultivo densidades de 60 a 200 kg*ha⁻¹ y con riego de 90 a 250 kg*ha⁻¹. La densidad de siembras más recomendada para los ciclos cortos, para lograr el óptimo rendimiento a secano es de 120 kg*ha⁻¹ de semilla (Tola, 2017).

3.2.4. Enfermedades

3.2.4.1. Piricularia (*pyricularia grisea*)

Butron et al., (2022) mencionan que presenta lesiones en toda la parte aérea de la planta, blanqueamiento de la espiga desde el punto de la infección del raquis, afecta después de la fase de floración y en la fase vegetativa, principalmente en las zonas tropicales del departamento de Santa Cruz ver Figura 1.

Figura 1.

Piricularia (Pyricularia grisea) presente en Santa cruz



Nota: Fotografía (A, B) Infección en el raquis de la espiga (Butron et al., 2022).

3.2.4.2. Royas

3.2.4.2.1. Roya lineal (*Puccinia striiformis f. sp. tritici*)

Garofalo et al., (2011) indican que se manifiesta posterior al macollamiento hasta 70-90 días. La roya amarilla también ataca a la espiga, a esta enfermedad también se la conoce como "polvillo" o "roya" y se desarrolla a temperaturas entre, 10 y 15 °C, con una elevada humedad ambiental ocasionada por lluvia o rocío ver Figura 2.

Figura 2.

Roya lineal (Puccinia striiformis f. sp. tritici)



Nota: Fotografía (A, B) síntomas en hojas tomado de (Butron et al., 2022).

3.2.4.2.2. Roya de la hoja (*Puccinia triticina*)

El daño principal de este patógeno se refleja en la hoja en forma de pústulas de color café naranjado de forma circular o elíptica por lo general dispuesta sin orden sobre el haz superior de las hojas (Butron et al., 2022).

Por otra parte Wegulo y Byamukama, (2012), indican que ataca desde el macollamiento hasta la maduración que causan una reducción del número y el tamaño de los granos ver Figura 3.

Figura 3.

Roya de la hoja (Puccinia triticina)



Nota: Fotografía (A, B) Daño principal en hojas y síntomas tomado de (Butron et al., 2022)

3.2.4.2.3. Roya del tallo (*Puccinia graminis* f. sp. *tritici*)

Carrasco et al., (2009) describen que aparece principalmente en los tallos, vainas foliares, hojas, espigas. Los síntomas más comunes son sobre los tallos, donde producen pústulas alargadas, los uredos rompen la epidermis y son de color café rojizo, se desarrolla a temperaturas más altas (30 °C es la óptima) que las otras royas del trigo ver Figura 4.

Por otra parte Butron et al., (2022) describen que la distribución de esta enfermedad se ubica principalmente en los valles mesotérmicos del departamento de Santa Cruz y en la zona tradicional de los valles de los departamentos de Cochabamba, Chuquisaca, Tarija y Potosí.

Figura 4.

Roya del tallo (Puccinia graminis f. sp. tritici)



Nota: Fotografía (A, B) Pústulas en el tallo y síntomas en tallos y hojas (Butron et al., 2022)

3.2.4.3. Daños por helada

El umbral de temperaturas por debajo del cual se producen daños por efecto térmico según etapa de desarrollo se tiene: macollaje (-11 °C), encañazon (-4 °C), espiga embuchada (-2 °C), espigazón (-1 °C), floración (-1 °C) (Magra et al., 2005) ver Figura 5.

Figura 5.

Daños por helada en la parcela de investigación



Nota: Fotografía (A) Daño provocada por la helada en la fase de macollamiento

3.2.5. Plagas del trigo

3.2.5.1. Pulgón amarillo

Flores y Balbi, (s.f.) describen que está dada por la pérdida de clorofila, como también por la pérdida de superficie fotosintética debido a la cobertura que colonizan las deyecciones azucaradas como se muestran en la Figura 6.

Figura 6.

Pulgón amarillo (*Metopolophium dirhodum*)



Nota: Fotografía (A, B) Daño en las hojas posterior a la emergencia (Butron et al., 2022) y presencia del pulgón amarillo (TodoAgro, 2011).

Las especies de pulgones más comúnmente encontradas en el cultivo de trigo y de cereales forrajeros son el pulgón verde de los cereales, el amarillo de los cereales, el de la espiga, el de la raíz de cereales y el ruso del trigo. Las cuatro primeras especies son transmisoras del virus del enanismo. (Imwinkelried et al., 2009).

Las precipitaciones abundantes condicionan el desarrollo de colonias de pulgones, por crear un ambiente favorable para la proliferación (Saluso, 2023).

3.2.5.2. Gusano Cogollero (*Spodoptera frugiperda*)

Butron et al., (2022) describen que es un insecto defoliador que ocasionan perdidas hasta un 33% y en la fase de macollamiento hasta 16%, sus larvas son activas de día y de noche, consumen brotes tiernos y meristemos de crecimiento ver Figura 7.

Maciej Serda et al., (2013) mencionan que la mayoría de los agricultores son tomados por sorpresa cuando el gusano cogollero golpea sus cultivos, esta plaga es especialmente difícil de controlar debido a las siguientes razones:

Las larvas realizan el daño, pero los adultos aseguran la rápida propagación de la plaga, ya que pueden volar hasta $100 \text{ Km} \cdot \text{día}^{-1}$ si son empujadas por el viento.

Las fuertes infestaciones provocan daños severos a los cultivos reduciendo el rendimiento en niveles superiores al 30% (Intagri, 2016).

La plaga se reproduce a una velocidad rápida, ya que la hembra puede poner hasta $1844 \text{ huevos} \cdot \text{hembra}^{-1}$ (Barros et al., 2010 citado por Maciej Serda et al., 2013).

Figura 7.

Presencia de Gusano Cogollero (Spodoptera frugiperda)



Nota: Fotografías (A, B) Daño en la espiga en la fase del llenado de grano

3.2.6. Mejoramiento genético de trigo en Bolivia

Marza et al., (2017) menciona que se tiene una red de ensayos a nivel nacional que va generando información e identificando la presión ambiental sobre los genotipos. En su tercer año de evaluación de actividades operativas, el PN-TRIGO acumulo un total de 4354 líneas material que se detalla en la Tabla 1.

En los últimos cuatro años, INIAF ha probado aproximadamente 10.000 líneas genéticas puestas a disposición por el CIMMYT y ha evaluado su adaptabilidad a diferentes ambientes de producción en el país (Obreque, 2016).

Tabla 1.

Detalle del material introducido del Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo identificado por su propósito en los respectivos años.

Propósitos de los viveros	Abreviatura	Año de introducción		
		2011	2012	2013
Ensayo de rendimiento de trigo para zonas semiáridas	SAWYT	50	50	50
Ensayo de rendimiento para la selección de variedades elite	ESWYT	50	50	50
Vivero de selección de trigo para zonas semiáridas	SAWSN	145	108	219
Vivero Internacional de Selección de Trigo Harinero	IBWSN	296	350	329
Vivero de selección de trigo para zonas húmedas	HRWSN	52	123	119
Ensayo de rendimiento de trigo para zonas húmedas	HRWYT	40	50	40
Vivero de selección para roya del tallo	STEMRRSN	129		200
Ensayo de rendimiento en Biofortificados	HPYT	50		
Vivero Internacional de rendimiento de trigo duro	IDYN		50	
Ensayo para piricularia -trigo harinero	Seeds of Discovery		1581	
Vivero de evaluación para tolerancia a calor	HTWSN			121
Vivero internacional de evaluación para septoria	ISEPTON			52
Total		812	2362	1180

Nota: Propósitos de los viveros tomados por (Marza et al., 2017).

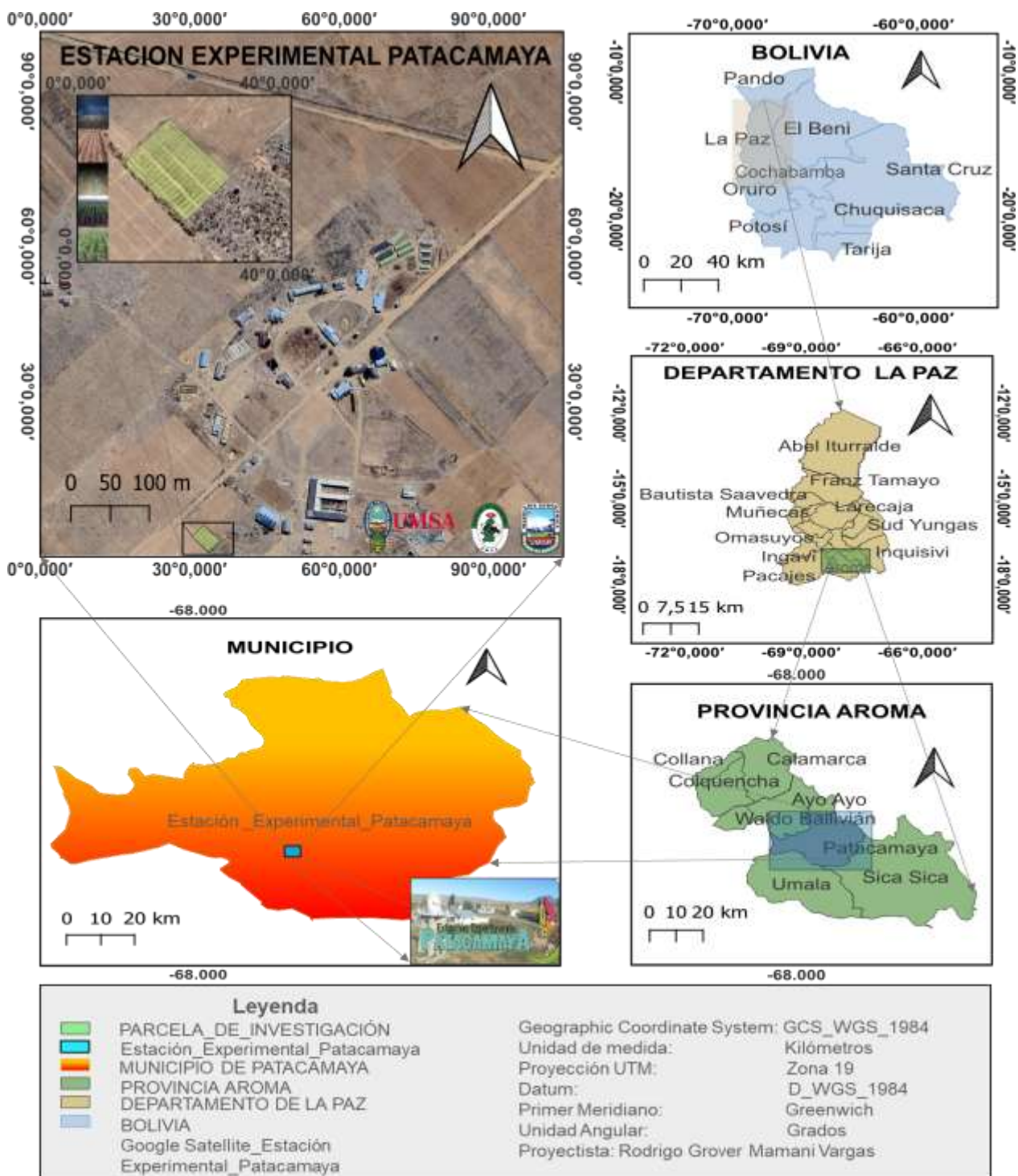
4. LOCALIZACIÓN

4.1. Ubicación geográfica

Este presente trabajo de investigación se realizó en la campaña agrícola 2022-2023 en la Estación Experimental Patacamaya, perteneciente a la Facultad de Agronomía, Carrera de Ingeniería Agronómica ver Figura 8.

Figura 8.

*Ubicación geográfica del ensayo en la Estación Experimental Patacamaya, en la aptitud productiva de trece líneas elites de trigo harinero (*Triticum aestivum* L.) durante la gestión agrícola 2022-2023*



Nota: Elaboración propia.

Se encuentra ubicada en la Provincia Aroma, municipio de Patacamaya, a 104 km de la sede de gobierno, geográficamente se sitúa en coordenadas 17° 55' 48" de latitud sur y 67° 57' 56" de longitud oeste, a una altitud de 3787 m.s.n.m. (Google Earth, 2022).

5. MATERIALES Y MÉTODOS

5.1. Materiales

Los materiales que se utilizaron en actividades de la investigación fueron de campo, gabinete, instrumentos de medición, insumos y maquinaria básica ver Tabla 2.

Tabla 2.

Materiales de trabajo usado en la investigación

Campo	Gabinete	Instrumentos	Insumos	Maquinaria
Picota	Laptop	Vernier	Semillas	Tractor
Estacas	Tablero	Flexo	Fertilizantes	Venteadora
Rastrillo	Impresora	Marco de 1m ²	Urea	Trilladora
Mangueras	Hojas Bon	Balanza de precisión	Fosfato diamónico	Fumigadora
Aspersores	Programas Estadísticos	Planilla de registro	Herbicida	
Callapos	Cámara de celular	Scanner de semilla	Agua	
Alambre de púas	App Field Book	Sobres	Biol	
Alicate	Calendario			

Nota: semillas (material genético de estudio consistió en trece líneas elites y 2 testigos Tepoca-T89 y INIAF-Totora-2014 perteneciente al Programa Nacional de Trigo (PN-TRIGO) del Instituto Nacional de Innovación Agropecuaria y Forestal (INIAF) historial genético detallada en Anexo 1).

5.2. Metodología

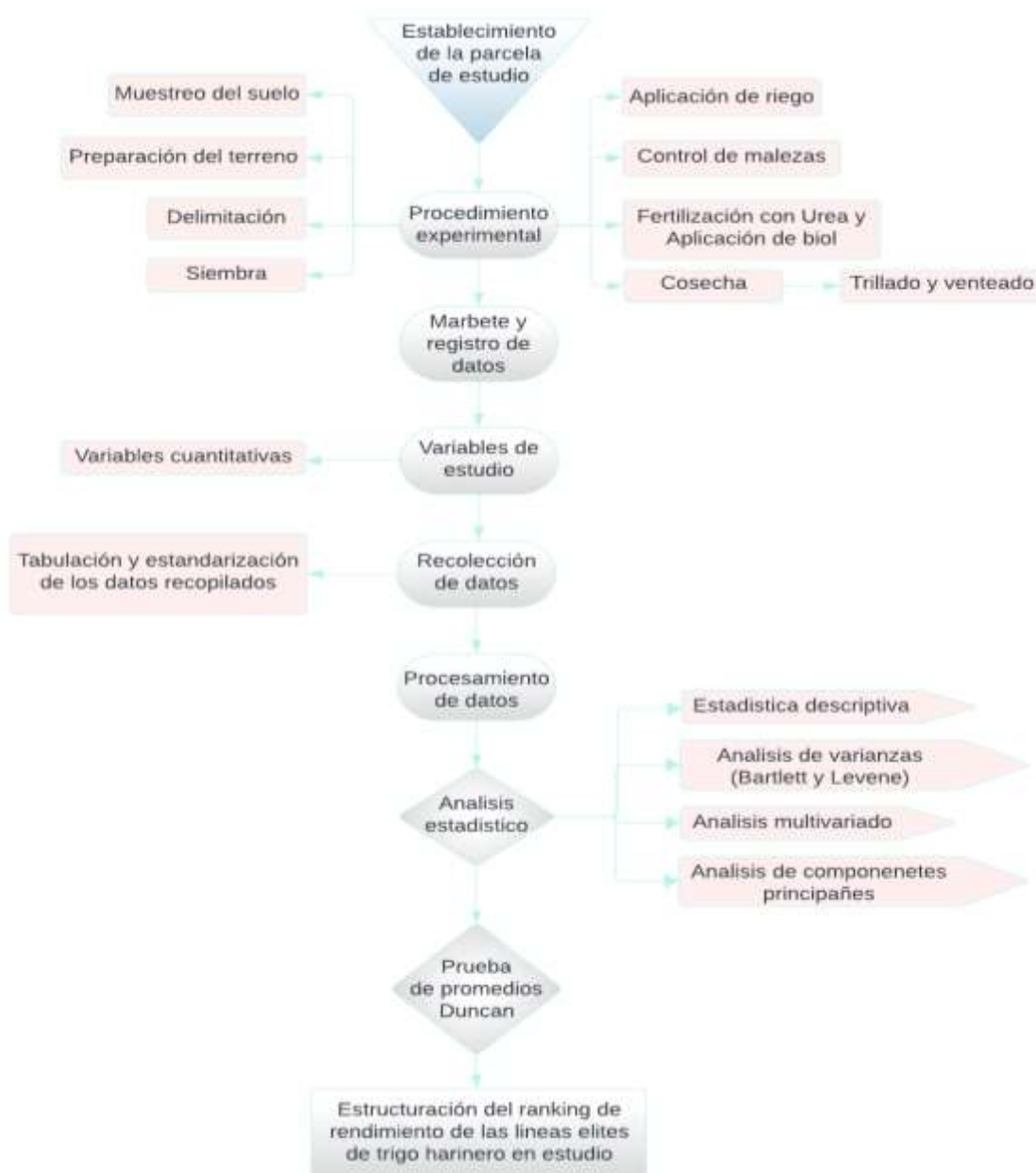
5.2.1. Flujograma del trabajo experimental en campo

Vargas-Rodríguez et al., (2016) describen que el diagrama de flujo o flujograma resalta la parte de un proceso, indica ciertos componentes, por otro lado Guía, (2023) menciona que los diagramas de flujo son herramientas importantes para visualizar y entender cómo fluye la información en un sistema que trabaja en conjunto para transformar y transmitir información en cada paso del proceso.

Fullana y Grande, (s. f.) mencionan que en los trabajos de investigación se debe analizar procesos, métodos y lenguajes para entender el procedimiento de la investigación, para las futuras investigaciones ver Figura 9.

Figura 9.

Flujograma de investigación de la aptitud productiva de trece líneas elites de trigo harinero (*Triticum aestivum* L.) en la Estación Experimental Patacamaya, durante la gestión agrícola 2022-2023



Nota: elaboración propia

5.2.2. Muestreo de suelo

Se realizó el muestreo del suelo correspondiente en la Estación Experimental Patacamaya, donde se estableció el ensayo.

Como indica Priale, (2016) se tomó muestras dentro del área de estudio, siguiendo el protocolo pertinente a una profundidad 20 cm, una sola muestra homogénea de 1 kg para su análisis en el laboratorio de suelos de la Facultad de Agronomía ver Figura 10.

Figura 10.

Extracción de la muestra de suelo



Nota: Fotografía de la muestra del suelo

5.2.3. Preparación del terreno

El trabajo de campo inicio con riego del área, la preparación del suelo consistió en el arado con disco con la finalidad de romper y aflojar el suelo.

Luego de un día de espera se nivelo rastrando el suelo tres veces de izquierda a derecha y de derecha a izquierda donde se buscó la homogeneidad en el área de estudio ver Figura 11.

Aguirre et al., (2016) Indican que la topografía del suelo influye en la variabilidad de rendimientos al afectar la disposición de minerales, materia orgánica y agua.

Figura 11.

Preparación del suelo con arado de disco



Nota: Fotografía que muestra el proceso de romper y aflojar el suelo

5.2.4. Delimitación

Inicialmente se delimito el área de trabajo, los bloques, pasillos y la distancia entre surcos. Con la ayuda del rastrillo se separó las malezas del suelo, posteriormente se empezó con el surcado con una picota de manera manual 25 cm entre surcos, siguiendo la línea remarcada en cada bloque empleadas con estacas y cordel ver Figura 12.

Figura 12.

Delimitación del área de estudio



Nota: Fotografía que muestra la delimitación del área de estudio

5.2.5. Siembra

La siembra se realizó de forma manual distribuyendo la semilla a chorro continuo, cada surco en 12 g de semilla y por unidad experimental a 60 g, con 2.99 Kg de semilla para un área de 249.2 m² los cálculos detallados en Anexo 2.

La densidad de siembra es de 120 Kg*ha⁻¹ recomendada por (PROINPA, 2010 citado por Tola, 2017).

Posteriormente las semillas son cubiertas con Fosfato Diamónico en 10 g cada surco ver Anexo 8. Esta fertilización se realizó para la emergencia debido al déficit de nutrientes como se muestra en la Figura 13.

Ramírez y Moreno (2001), indican que numerosos factores influyen en el rendimiento del trigo, como el tipo de suelo, fertilización, fecha de siembra, variedad, densidad de siembra y las condiciones climáticas.

Figura 13.

Siembra de las trece líneas elites de trigo harinero



Nota: Fotografía (A, B) siembra de forma manual cada surco, en 12 gramos de semilla

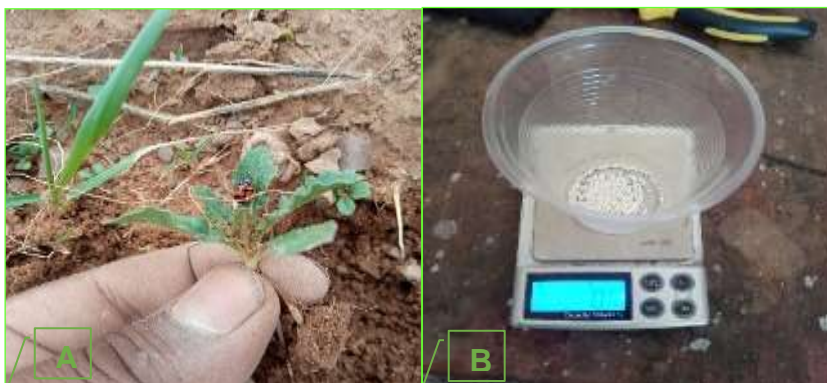
5.2.6. Control de malezas

Se empleo herbicida selectivo para hoja ancha metsulfuron-metil en tres dosis de 0.199-0.224-0.249 g*mochila⁻¹ en 20 lts de agua de manera gradual en sus diferentes fases, para evitar malezas como kikuyo (*Pennisetum clandestinum*), Raigras anual (*Lolium*

multiflorum), quinua silvestre o ajara (*Chenopodium quinoa willd.*), el total aplicado es de aproximadamente de 0.6728≈0.7 g, ver Figura 14.

Figura 14.

Control de malezas de hojas anchas



Nota: Fotografía (A) control de maleza de hoja ancha (B) metsulfuron-metil dosis recomendada

Para el producto metsulfuron-metil la dosis recomendada es de 8-10 g*ha⁻¹ como indica (InsuAgro, s. f.), para el cálculo de las dosis a aplicar se basó en el cálculo de calibración y dosificación en cultivos anuales y frutales de Ruiz Diaz, (2017) procedimiento que se muestra en Anexo 3.

Por otra parte Todea, (2022) indica que un herbicida comúnmente empleado es el metsulfuron-metil específico post emergente, recomendado para el control de malezas de hojas anchas en cultivos invernales como trigo y cebada.

Kenmore y Valverde, (s. f.) indican que es importante enfatizar la necesidad de utilizar otros métodos para evitar la dependencia del agricultor en la aplicación de herbicidas y los problemas asociados de resistencia y otros.

5.2.7. Aplicación de riego

Se llevo a cabo un riego inicial después de la siembra para garantizar que el suelo estuviera húmedo a capacidad de campo. Los riegos se dieron acorde a la necesidad del cultivo de acuerdo al balance hídrico detallada en Anexo 5.

Se realizó el riego por aspersión, gravedad en las etapas de macollamiento, floración, embuchado y llenado de grano según la necesidad del cultivo durante 92,2 min sobre todo en las fechas de cero precipitaciones ver Figura 15.

La aplicación del riego se realizó por las tardes a partir de (17:00 pm) y noches a partir de (20:00 pm) para evitar la pérdida de agua debido a la evaporación durante el día, siguiendo la metodología propuesta por (Pereira et al., 2010).

Según Parodi y Romero (1991), para obtener altos rendimientos de trigo en Perú se requiere $5000 \text{ m}^3 \cdot \text{ha}^{-1}$ de riego o una precipitación anual de 600-800 mm.

En Argentina, para rendimientos elevados, se necesitan más de $4000 \text{ m}^3 \cdot \text{ha}^{-1}$ (INIA, 1991 citado por Jara Valenzuela, 1993).

Figura 15.

Suelo húmedo a capacidad de campo, favoreciendo la germinación



Nota: Fotografía (A) Suelo húmedo por riego por aspersión, (B) las hojas se alargan y son erectas por el riego

5.2.8. Etiquetado y registro de datos

Se etiquetó cinco plantas aleatoriamente en cada unidad experimental y un total de 225 para todo el ensayo con marbetes plastificados, que permitió la identificación, seguimiento y monitoreo preciso de cada planta etiquetada a lo largo de su ciclo, lo que

facilito la recolección de datos esenciales para la investigación, traducidas como variables de estudio como se muestra en la Figura 16.

Figura 16.

Marbete, seguimiento y monitoreo del ensayo



Nota: Fotografía (A) Marbete de plantas, (B) toma de datos.

5.2.9. Fertilización con Urea y Aplicación de Biol

La fertilización se basó en la interpretación del análisis de suelo donde se aplicaron $87.452 \text{ Kg} \cdot \text{ha}^{-1}$ de urea para corregir la deficiencia de nutrientes en el suelo que son fundamentales para el crecimiento, principalmente para la formación de proteínas fotosintéticas en hojas y tallos, lo que contrarrestó el estrés causado por las bajas temperaturas por debajo de los cero grados centígrados y las heladas extensas.

Esta fertilización adicional se suministró para ayudar al cultivo a través del suelo en sus propiedades físicas, químicas y biológicas, se aplicó en una proporción de 75 g de Urea en cada unidad experimental en dos lapsos de tiempo cada 15 días en una proporción de 37.5 g al boleto ver Figura 17.

Los cálculos son detallados en base a la interpretación del análisis de suelo Anexo 8; siguiendo la metodología propuesta por Garofalo et al., (2011) para un sitio a secano con escasas precipitaciones.

Figura 17.

Corrección de la deficiencia de nutrientes para el desarrollo del cultivo



Nota: Fotografía (A) Fertilización del cultivo con Urea, (B) Aplicación de Biol

Como se muestra en la Figura 17 B, se aplicó 2 litros de Biol para una mochila de 20 litros de agua como indica (CENDA, 2019).

Para contrarrestar daños y ayudar al cultivo después de la helada, la aplicación del Biol se realizó en catorce ocasiones solo en las que se presentaron heladas en sus distintas etapas fisiológicas como: macollamiento, floración, encañado, espigamiento, llenado de grano. Se aplicó por aspersión con una mochila fumigadora directamente al cultivo en estudio a partir de 17:30 pm en adelante para mayor eficiencia y evitar la evaporación.

El Biol es un abono natural generado, producto de la descomposición anaeróbica de diferentes desechos orgánicos (Zegers M et al., 2023).

5.2.10. Cosecha

La madurez fisiológica de la última línea fue a los 157 días, la cosecha de la parcela de investigación se realizó de forma manual.

Se cosechó a los 175 días, cuando más del 50% del color del follaje tornó en amarillo oro y que al apretar el grano con las uñas de la mano este no se deforme, se realizó el corte con la ayuda de una tijera para no perder los granos como se muestra en la Figura 18.

Figura 18.

Cosecha del Trigo de cada unidad experimental de manera independiente



Nota: Fotografía (A, B) cosecha del trigo

Siguiendo la metodología propuesta por Garofalo et al., (2011) el corte se realizó desde la parte del pedúnculo de la planta, las cuales fueron embolsadas de manera independiente y separadas de cada bloque y tratamiento para su posterior trillado.

Limachi, (2022) indica que la cosecha se efectúa manualmente, considerando la madurez al observar el color dorado a blanquecino de las plantas y la firmeza de los granos al apretarlos. Las muestras se llevaron en bolsas plásticas y luego se secaron en tauqueados.

5.2.11. Trillado y venteado

Para el trillado y venteado se llevó a cabo métodos mediante el uso de herramientas simples como maquinaria básica (trilladora y venteadora) de la institución (INIAF) para separar los granos de la espiga, que permitió la obtención de granos de manera eficiente ver Figura 19.

Kunkulberga et al., (2019) menciona que la recolección de trigo en campos extensos se lleva a cabo mediante cosechadoras, que recogen, trillan y separan el grano. Son utilizadas en regiones urbanas, donde la agronomía esta semi industrializada, que tiene grandes capacidades de trabajo (Castro y Mejía, 2022).

Figura 19.

Maquinaria básica para separar los granos de las espigas en el cultivo de trigo



Nota: Fotografías (A) Trilladora, (B) venteadora

5.3. Diseño experimental

El presente estudio se realizó bajo el Diseño de Bloques Completamente al Azar (DBCA), donde se consideró quince tratamientos, trece líneas elites de trigo harinero, 2 variedades como testigo, 3 repeticiones y 3 bloques.

5.3.1. Modelo de Análisis Estadístico

$$Y_{ij} = \mu + \beta_j + \alpha_i + e_{ij}$$

Donde:

Y_{ij} = una observación

μ = media general

β_j = efecto aleatorio del j-ésimo bloque

α_i = efecto fijo del i-ésimo líneas elite

e_{ij} = efecto del error experimental

5.3.2. Distribución de los tratamientos

El trabajo de investigación bajo el Diseño de Bloques Completamente al Azar (DBCA) genero quince tratamientos que se distribuyeron aleatoriamente en cada bloque formando un total de cuarenta y cinco unidades experimentales.

5.3.3. Factores de estudio

Conformado por trece líneas elite de trigo harinero y 2 variedades como testigo (Tepoca-T89, INIAF-Totora -2014), la semilla fue provista por el Programa Nacional de Trigo (PN-TRIGO) del Instituto Nacional de Innovación Agropecuaria y Forestal (INIAF) ver Tabla 3.

Tabla 3.

Material de estudio

Tratamiento	Descripción
T1	Tepoca -T89
T2	INIAF-Totora-2014
T3	L3
T4	L4
T5	L5
T6	L6
T7	L7
T8	L8
T9	L9
T10	L10
T11	L11
T12	L12
T13	L13
T14	L14
T15	L15

Nota: Elaboración propia (2023).

5.3.4. Variables de respuesta

5.3.4.1. Variables fenológicas

5.3.4.1.1. Días a la emergencia

Esta variable se evaluó desde la siembra a los 12 días aproximadamente por observación diaria hasta que haya alcanzado a emerger el 50 % de las semillas sembradas, la operacionalización del porcentaje fue de manera visual en cada unidad experimental de la parcela de investigación.

5.3.4.1.2. Días a espigamiento

Se registro desde el día que se sembró hasta el día que alcanzo el 50% de espigamiento en la etapa de desembuchado o estado de bota, la operacionalización fue de manera visual en cada unidad experimental.

5.3.4.1.3. Días a la floración

Se tomaron datos desde la siembra hasta que el 50 % de las plantas alcanzaron la floración, la operacionalización fue de manera visual cuando terminaron la etapa de espigamiento en cada unidad experimental.

5.3.4.1.4. Días a la maduración

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.

5.3.4.2. Variables agronómicas

5.3.4.2.1. Altura de planta

Se realizó la medición de la altura de planta en centímetros, con un flexo desde la base de la planta hasta la parte inferior de la espiga, excluyendo las aristas y la misma espiga, al alcanzar la madurez fisiológica, en todas las plantas muestreadas de cada unidad experimental.

5.3.4.2.2. Longitud de espiga

Para la obtención de los datos se realizó la medición en centímetros, con un vernier todas las espigas muestreadas desde el punto de inserción hasta la punta de la espiga excluyendo la arista, cuando espigaron más del 50% de cada unidad experimental.

5.3.4.2.3. Longitud de arista

Se realizó la medición en centímetros, con un vernier desde el final de la espiga hasta el final de la arista. De todas las plantas muestreadas de cada unidad experimental, cuando alcanzaron la madurez fisiológica en campo.

5.3.4.3. Variables fisiológicas

5.3.4.3.1. Área foliar

Para la obtención del dato se realizó la medición en centímetros cuadrados con un vernier midiendo la hoja larga y la parte ancha de la hoja bandera antes del espigamiento con un factor de corrección de 0.81 solo en las plantas marveteados.

5.3.4.3.2. Área de grano

Esta variable fue determinada en el laboratorio para ello se empleó un instrumento de medición llamado scanner analizador de semilla para medir en mm², sin discriminación alguno de grano después de la etapa de trillado.

5.3.4.4. Variables de rendimiento

5.3.4.4.1. Número de plantas por metro lineal

Para la obtención de los datos de esta variable se realizó el conteo de plantas por metro lineal en (m) con un instrumento de medida llamada flexómetro en la finalización de la emergencia y antes que macollen, aproximadamente a los 30-40 días.

5.3.4.4.2. Número de espiguillas por espiga

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

5.3.4.4.3. Número de espigas por metro cuadrado

Para la obtención de estos datos se realizó el conteo de las espigas correspondientes a un m² al centro de la unidad experimental, cuando las espigas alcanzaron completamente en más del 50 % de madurez fisiológica

5.3.4.4.4. Número de granos por espiga

para obtener el dato se determinó realizando el conteo de todos los granos de cada una de las espigas, estimada en unidades numéricas, cuando logro la madurez fisiológica en las plantas muestreadas

5.3.4.4.5. Peso de 1000 granos

Después de la cosecha y trillado, se realizó la medición de peso de 1000 unidades de grano, medida en gramos de cada unidad experimental mediante un scanner analizador de semilla.

5.3.4.4.6. Rendimiento final del cultivo

Después de la cosecha, trillado y venteado de los granos, haciendo un peso en general por cada unidad experimental se obtuvo diferentes resultados, transformados en unidades de $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$, mismo que se realizó con una balanza analítica en gramos, posteriormente estas fueron transformadas a $\text{Kg}\cdot\text{ha}^{-1}$.

5.3.4.5. Variable de calidad

5.3.4.5.1. Peso hectolítrico

Para la obtención de los datos se utilizó un scanner analizador de semillas, una tabla de semilla y una balanza especial de peso, posteriormente este valor se colocó al programa y esta me convertido a peso hectolítrico ya registrado en tabla, obteniendo los resultados en $\text{kg}\cdot\text{hl}^{-1}$.

5.3.5. Datos meteorológicos

Los datos meteorológicos que se registraron durante el desarrollo del ensayo fueron obtenidos de la Estación Experimental de Patacamaya por un dispositivo que se encargó de registrar y pronosticar los cambios en las diferentes variables de temperatura y precipitación llamada Pachasol.

5.3.6. Recolección de datos

Para la recopilación de datos en esta investigación, se desarrolló un cuaderno de campo con las variables cuantitativas para todo el ciclo de vida del cultivo. Este instrumento se diseñó previamente para asegurar una recopilación de datos precisa y coherente. Contiene secciones que abarcaban desde la fase inicial, hasta la madurez del cultivo, permitiendo registrar datos sobre variables como emergencia, número de plantas por metro lineal, número de plantas por metro cuadrado, altura de planta, longitud de espigas, etc ver Anexo 30. Esta metodología permitió que se capturara una amplia gama de

información importante para el estudio, lo que facilitó el análisis y la obtención de resultados significativos.

5.3.7. Procesamiento de datos

Los datos recopilados en el cuaderno de campo se introdujeron a una hoja de cálculo Excel diseñada, posteriormente se realizó el análisis estadístico utilizando programas como: RStudio donde se desarrolló una observación minuciosa para evitar datos atípicos. Consecutivamente los datos evaluados se introdujeron al programa utilizando los paquetes Agror, Agricolae, Ggplot2, ACP, etc. Para obtener resultados significativos de todas las variables recolectadas durante la investigación.

5.3.8. Análisis estadístico

5.3.8.1. 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, moda, 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 ayudó a comprender la variabilidad de los datos. Además, se examinó la distribución de los datos considerando el sesgo y la curtosis, 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. Estos análisis proporcionaron una comprensión completa del comportamiento de las líneas elites de trigo harinero en estudio en relación con las variables cuantitativas analizadas.

5.3.8.2. Análisis de las varianzas con la prueba de Bartlett y Levene

Ezequiel et al., (2016) puntualiza que para determinar la homocedasticidad y verificar si la hipótesis es nula en las varianzas entre tratamientos se realiza la prueba Bartlett y Levene donde se calcula el valor p. Si el valor p es mayor que un nivel de significancia predeterminado (0.05) se rechaza la hipótesis alterna y se acepta la hipótesis nula lo que indica que las varianzas son iguales a las demás, ya que determina si se cumplen los supuestos necesarios para realizar de manera adecuada las pruebas

ANOVA. Las variables que fueron rechazadas y no cumplen los supuestos fueron: días a espigamiento, días a floración, número de espigas por metro cuadrado, por lo tanto, Bartlett rechaza estas variables ver Anexo 11.

Para las variables rechazadas se exploró la prueba de medias no paramétricas de Friedman para un mejor análisis ver Anexo 12.

5.3.8.3. Análisis multivariado

En el análisis de correlación múltiple, se evaluó la asociación entre dos variables utilizando el coeficiente de correlación que varía de (-1 a +1). De acuerdo con Tito L y Hidalgo, (2003) para datos biológicos el parámetro que se manejó es de 0.4 para el cultivo de trigo donde me indica un grado de asociación aceptable. El análisis de regresión múltiple predijo el rendimiento a partir de variables explicativas y lógicas, seleccionando variables relevantes y descartando las irrelevantes. Estos análisis fueron fundamentales para comprender las relaciones entre variables.

5.3.8.4. Análisis de componentes principales

Se realizó el análisis de componentes principales (ACP), para explorar la relación entre las variables cuantitativas, identificando los componentes principales que explican la mayor variabilidad en los datos.

En conclusión, el ACP proporciona una visión clara de las relaciones entre las variables cuantitativas en los tratamientos y destaca las variables clave que influyen en el rendimiento del grano traducido en productividad.

6. RESULTADOS

6.1. Aspectos climáticos

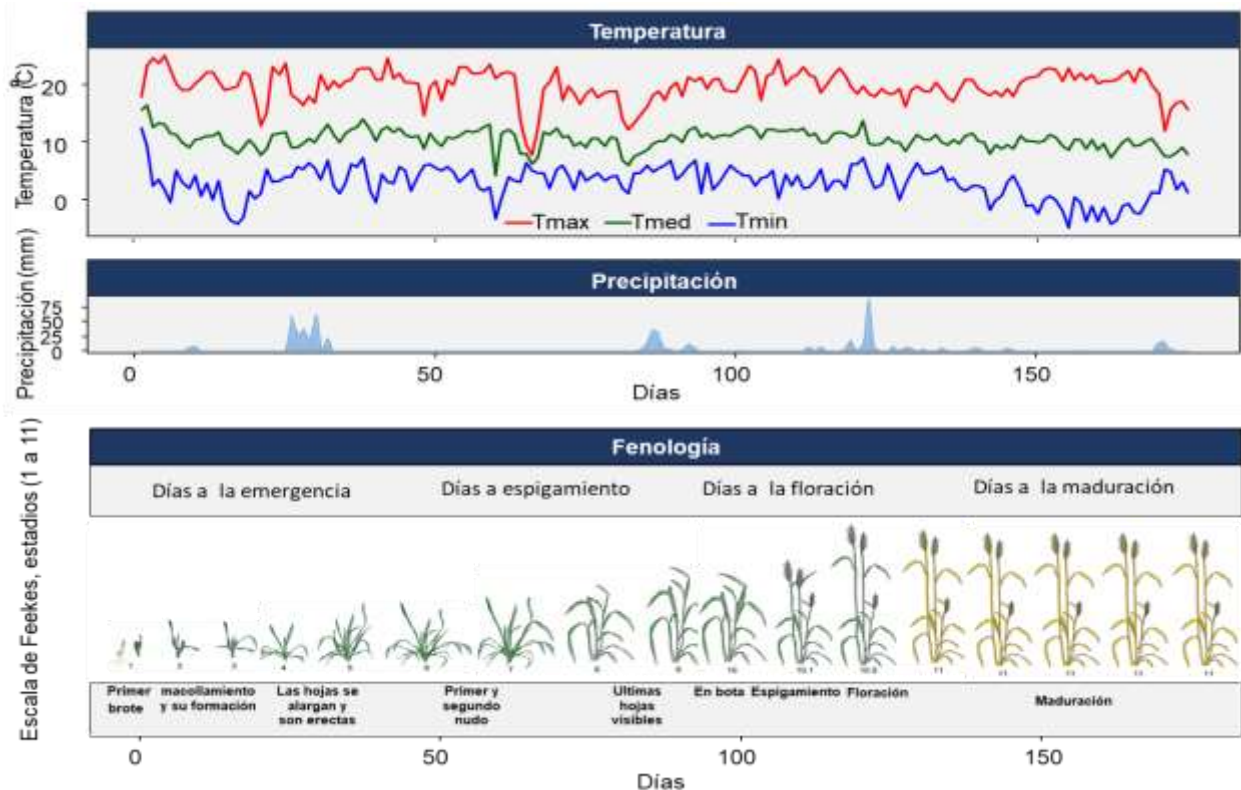
Durante el ciclo agrícola 2022-2023, que abarco desde noviembre de 2022 hasta mayo de 2023, se registraron un total de 619.22 mm datos registrados por la estación meteorológica pachasol. Estas precipitaciones pluviales se distribuyeron de manera crítica a lo largo de los siete meses. Las temperaturas durante el ciclo vegetativo del cultivo fueron factores determinantes para la emergencia y desarrollo. Los datos totales y generales fueron para Tmax 24.94 °C, Tmed 10.45 °C y la Tmin -5.05 °C. ver Anexo 6.

6.1.1. Temperatura y precipitación

Se presenció una variación relativa y extrema de las temperaturas a lo largo del ciclo, desde noviembre del 2022 hasta abril de 2023 que fue la fecha donde se dejó de tomar datos destacándose que hubo momentos en que las temperaturas cayeron por debajo de 0 °C. y máximas de 25 °C. Las heladas afectaron principalmente en los días 17, 18, 34, 40, 60, 127, 143, 148 y 159 días, causando daños significativos debido a que las plantas se encontraban en las etapas de desarrollo como emergencia, floración, y maduración. Sin embargo, a medida que avanzaba el desarrollo del ciclo del cultivo, las temperaturas mejoraban causando un impacto positivo para el cultivo en estudio ver Figura 20.

Figura 20.

Datos diarios de Precipitación acumulada (mm), (Tmax) Temperatura máxima promedio (°C), (Tmin) Temperatura mínima promedio (°C), (Tmed) Temperatura media en la aptitud productiva de trece líneas elites de trigo harinero en la Estación Experimental Patacamaya, gestión agrícola 2022-2023.



Nota: Elaboración propia en base a datos diarios de la Estación Agrometeorológica Pachasol

En Anexo 6, muestra registros de precipitaciones medias siendo los meses de noviembre, diciembre, enero, febrero, marzo, abril con: 17.3, 234.78, 0.7, 119.84, 183.96, 23.66 mm y precipitación máxima diaria de hasta 75 mm a los 120 días respectivamente ver Figura 20. Sin embargo, se destacó un déficit hídrico durante los meses de noviembre, enero, abril cuando se requiere una mayor cantidad de agua para la emergencia y llenado de grano, lo que llevo a realizar riegos complementarios en treinta y uno ocasiones. Se experimento granizada ocurrida el 9 de marzo de 2023 durante el ciclo de desarrollo de mayor importancia, causando daños en la etapa de floración. El ciclo del cultivo estuvo marcado por la poca variabilidad de precipitaciones en sus distintas etapas del ciclo del cultivo como en la emergencia, llenado de grano, en los meses de noviembre, enero, abril que impactaron de alguna manera en la producción ver Anexo 6, a comparación de los últimos diez años ver Anexo 4 registrados por (Nasa, 2023).

6.1.2. Análisis físico y químico del suelo

El suelo en el que se llevó a cabo la investigación se caracteriza por un Ph de 6.52 y valores de conductividad eléctrica de $0.10 \text{ mmhos} \cdot \text{cm}^{-1}$, además se registraron contenidos de nutrientes en el suelo, incluyendo Calcio, Magnesio y Potasio intercambiable en cantidades de 10.51, 2.10, 1.08 $\text{meq} \cdot (100\text{g} \cdot \text{S})^{-1}$; además de 0.24, 2.14, 1.24 % de Nitrógeno total, Materia orgánica, Carbono Orgánico con fósforo disponible de 30.40 ppm como se muestra en la siguiente Tabla 4.

Tabla 4.

Análisis físico químico del suelo

Parámetros	Unidad	Resultado
Densidad Aparente	$\text{g} \cdot \text{cm}^{-3}$	1.379
pH en H ₂ O relación 1:5		6.52
Conductividad eléctrica en agua 1:5	$\text{mmhos} \cdot \text{cm}^{-1}$	0.10
Calcio intercambiable	$\text{meq} \cdot (100\text{gS})^{-1}$	10.51
Magnesio intercambiable	$\text{meq} \cdot (100\text{gS})^{-1}$	2.10
Potasio intercambiable	$\text{meq} \cdot (100\text{gS})^{-1}$	1.08
Nitrógeno total	%	0.24
Materia orgánica	%	2.14
Carbono Orgánico	%	1.24
Fósforo disponible	ppm	30.40

Nota: Resultados de laboratorio de suelos Facultad de Agronomía

El diagnóstico de estos resultados nos dice que se trata de un suelo muy bajo en conductividad eléctrica e indica que se trata de un suelo pobre, con una baja actividad iónica y por ende una pobreza en nutrientes.

El pH es muy ligeramente ácido, bajo contenido de materia orgánica y nitrógeno total deseable, nivel bajo de fósforo para cereales de secano y contenido medio de potasio, presentan cationes Ca y Mg con una relación Ca/Mg de 5.005 recomendable entre 4 a 6 como indica (Agroestrategias, s. f.). La recomendación básica de nutrientes que demanda el cultivo de trigo se basa en los señores Rodríguez et al., (2001) para suelos arcillosos, lo que indica que esta interpretación del análisis del suelo proporciona información verídica sobre la oferta de macronutrientes del suelo. Con base a estos resultados, se determinó el déficit de fertilización para tomar decisiones como se muestra en la tabla 5.

Tabla 5.

Optimización de la nutrición del suelo a través del análisis del suelo

Nutrientes	N(Kg*ha ⁻¹)	P ₂ O ₅ (Kg*ha ⁻¹)	K ₂ O(Kg*ha ⁻¹)
Demanda del cultivo	104	62	40
Oferta del suelo	16.548	16	23.2
Déficit de fertilización	87.452	46	16.8

Nota: Procedimiento detalla en Anexo 8.

6.2. Análisis descriptivo

Para facilitar el análisis de las variables se identificaron diecisiete variables cuantitativas, información en la que se ha estructurado una matriz básica de datos para su análisis.

6.2.1. Variables cuantitativas

La estadística descriptiva para variables cuantitativas evaluadas en trece líneas elites de trigo harinero, en relación al rendimiento la media alcanzada fue 1564,83 Kg*ha⁻¹, con una desviación estándar ±473,14 presentando un máximo de 2540,6 y un mínimo de 787,06 Kg*ha⁻¹, mostrando una amplia variación entre las líneas de trigo harinero. Las variables que más contribuyeron sobre la productividad fueron: número de espigas por metro cuadrado, con una media de 272,67 espigas, con un rango de variación de 173 a

395 espigas por metro cuadrado. En tanto a número de espiguillas por espiga la media fue 13,64 unidades los cuales varían entre 11 y 17 espiguillas por espiga, consecutivamente la variable número de granos por espiga con media de 39,87 granos donde el mínimo es 20 y el máximo es de 54 granos. En cuanto a la variable de calidad, la media del peso hectolítrico alcanzada fue de 59,2 kg*hl⁻¹, con rango de variación entre 51,3 y 71,1 kg*hl⁻¹. Todas las variables se encuentran dentro de los parámetros de normalidad, cuanto a las medidas de distribución (Asimetría y curtosis), excepto el comportamiento de estas variables (días a emergencia, Días a floración y Días a espigamiento y número de espigas por metro cuadrado) resultaron ser muy superiores al coeficiente de medidas de distribución (Asimetría y curtosis) excedieron ± 1 , indicando que la distribución de las variables estuvieron fuera de los parámetros de normalidad debida a las condiciones extremas del lugar para estas variables ver Tabla 6.

Tabla 6.

Estadística descriptiva de trece líneas elites de trigo harinero, evaluados en la Estación Experimental Patacamaya, gestión agrícola 2022-2023.

Variable	Media	D.E.	Var	CV	Mín	Máx	Mediana	Asimetría	Kurtosis
AP [£]	56.32	6.59	42.52	11.71	42.8	71.2	56.4	0.24	-0.47
LE [£]	8.77	0.99	0.96	11.28	7.08	11	8.52	0.58	-0.31
LA [£]	6.27	0.81	0.64	12.93	4.44	8.06	6.24	0.25	-0.17
DE1 ^θ	15.69	4.54	20.17	28.95	7	21	17	-0.54	-1
DESP1 ^θ	94.27	7.08	49	7.51	77	101	97	-1.12	0.26
DF ^θ	113.27	7.08	49	6.25	96	120	116	-1.12	0.26
DM1 ^θ	142.84	16.25	258.09	11.37	114	162	143	-0.16	-1.47
AF [Ⓜ]	10.68	3.48	11.81	32.54	4.87	19.73	10.28	0.58	-0.02
AG [Ⓜ]	13.86	0.64	0.39	4.58	12.8	15.6	13.9	0.41	-0.06
NPML [§]	28.89	6.9	46.54	23.88	17	44	29	0.35	-0.57
NPM [§]	115.56	27.6	744.69	23.88	68	176	116	0.35	-0.57
NEE [§]	13.64	1.33	1.74	9.78	11	17	14	0.28	-0.16
NEM [§]	272.67	64.92	4120.53	23.81	173	395	264	0.37	-1.02
NGE [§]	39.87	7.34	52.65	18.41	20	54	40	-0.35	-0.09
PMG [§]	25.56	3.85	14.49	15.06	20.5	34.9	24.6	0.83	-0.09
RDTO [¢]	1564.83	473.14	218891.33	30	787.06	2540.6	1518.82	0.28	-0.75
PH ^Ɔ	59.2	4.43	19.17	7.48	51.3	71.1	59.2	0.56	0.18

Nota: D.E.=Desviación estándar, Var=Varianza, CV=Coeficiente de Variación, Min=Mínimo, Max=Máximo, £=cm, §=Unidades, θ=días; Ⓜ=cm², ¢=g, Ɔ=kg/hl, ¤=kg/ha, DE1=Días a emergencia, NPM=Número de plantas por metro cuadrado, NPML=Número de plantas por metro lineal, DF= Días a floración, AP= Altura de planta, AF= Área foliar, NEM= Numero de espigas por metro cuadrado, LE= Longitud de espigas,

DESP1= Días a espigamiento, NEE= Número de espiguillas por espiga, NGE= Número de granos por espiga, LA= Longitud de la arista, DM1= Días a la madurez, PMG= Peso de mil granos, PH= Peso hectolítrico, AG=Área de grano, RDTO= Rendimiento.

6.2.2. Análisis de varianza

En general se observa que no hay diferencias significativas entre los diferentes bloques, en las variables (NPM[§], NPML[§], NGE[§], AG[§], PH[∅]). Sin embargo, hubo seis excepciones notables (AP[£], AF[£], NEE[§], LE[£], LA[£], RDTO[©]) que mostraron diferencias significativas y altamente significativas entre los bloques.

Esto indica que ciertos factores o gradientes de variación relacionados con la ubicación o el manejo de cada bloque tuvieron un impacto en estas variables.

Las diferencias significativas y altamente significativas que se observan en relación con los tratamientos indican que tuvieron un efecto en la producción de trigo, sin embargo, para comprender mejor estas diferencias, se lleva a cabo una prueba de promedios.

Esta prueba ayudara a determinar que material genético o que tratamientos específicos tuvieron un impacto más positivo o negativo en la productividad a comparación con otros. Es importante destacar que el coeficiente de variación para los datos recopilados en la investigación osciló entre un 3.7 y un 19.9%, esto indica que los resultados son consistentes y confiables.

Los tratamientos, mostraron un efecto significativo y altamente significativo en las variables de estudio a excepción de la variable (PH[∅]) que revela que no hubo diferencias significativas entre los tratamientos.

Los coeficientes de determinación oscilan de 55% al 79.0% de variabilidad que es explicada por los tratamientos y el resto se desconoce por factores ambientales que no se explican en el modelo ver Tabla 7.

Los resultados sugieren que el material genético desempeño un papel importante frente a la influencia de estos gradientes de variación para la aptitud productiva de las trece líneas elites de trigo harinero.

Tabla 7.

Análisis de varianza de trece líneas elites de trigo harinero, evaluados en la Estación Experimental Patacamaya, durante la gestión agrícola 2022-2023.

FV	GL	CM										
		AP [£]	LE [£]	LA [£]	AF [Ⓜ]	AG [Ⓜ]	NPML [§]	NPM [§]	NEE [§]	NGE [§]	RDTO [©]	PH ^ª
Bloques	2	94.2*	0.02*	3.9**	137.1**	0.3NS	54.3NS	868.6NS	6.7**	7.3NS	881658.5**	59.5NS
Tratamientos	14	77.2**	000.25*	0.9**	9.3*	0.7*	82.9**	1326.2**	2.4*	92.7*	432380.2**	16.1NS
Error experimental	28	23.0	000.12	0.3	4.6	0.3	29.5	471.7	1.1	37.8	72623.91	18.5
CV%		8.5%	3.7%	8.3%	19.9%	3.7%	18.8%	18.8%	7.8%	15.4%	17.2%	7.3%
R ² %		66.0%	66%	74.0%	76.0%	58.0%	61.0%	61.0%	60.0%	55.0%	79.0%	40.0%

Nota: FV=Fuente de variación, GL=Grados de libertad, CM=cuadrado medio, CV=Coeficiente de variación, **=Significancia estadística al 1% de probabilidad, *=significancia estadística al 5% de probabilidad, R²=coeficiente de determinación, £=cm, §=Unidades, Ⓜ =cm², ©= kg/hl, ª=kg*ha⁻¹, NPM=Número de plantas por metro cuadrado, NPML=Número de plantas por metro lineal, AP=Altura de planta, AF=Área foliar, NEE=Número de espiguillas por espiga, NGE=Número de granos por espiga, LE= Longitud de espigas, LA=Longitud de la arista, AG=Área de grano, PH=Peso hectolítrico, RDTO= Rendimiento.

6.3. Prueba de promedios

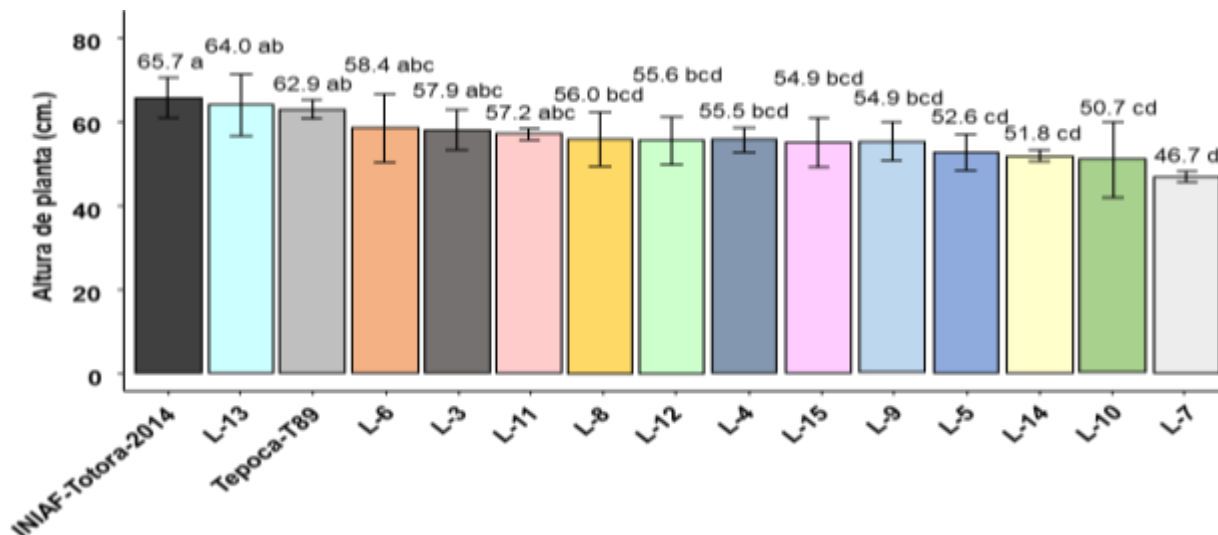
6.3.1. Variables agronómicas

6.3.1.1. Altura de planta

El análisis general de los tratamientos en estudio revela una tendencia interesante en su conjunto, las diferencias de altura entre líneas evaluadas resultaron altamente significativos lo que estadísticamente indica que las características genéticas o ambientales influyeron en el crecimiento individual de cada línea, además pueden ser similares en términos de altura en alguna etapa fisiológica. Para el primer grupo (a) con altura sobresaliente se tiene INIAF-Totora-2014 con 65.7 cm seguida del grupo (ab) L-13, Tepoca-T89 con 64, 62.9 cm considerándose el grupo con portes muy altas, a continuación del grupo (abc) L-6, L-3, L-11 con 58.4, 57.9, 57.2 cm como altas seguida del grupo (bcd) L-8, L-12, L-4, L-15, L-9 de 56 a 54.9 cm como alturas medias luego se tiene al grupo (cd) L-5, L-14, L-10 de 52.6 a 50.7 cm como alturas bajas, otro grupo a considerar es la línea L-7 con 46.7 cm como alturas muy bajas ver Figura 21.

Figura 21.

Prueba de promedios Duncan para la variable altura de planta de trece líneas elites de trigo harinero.



Nota: Elaboración propia

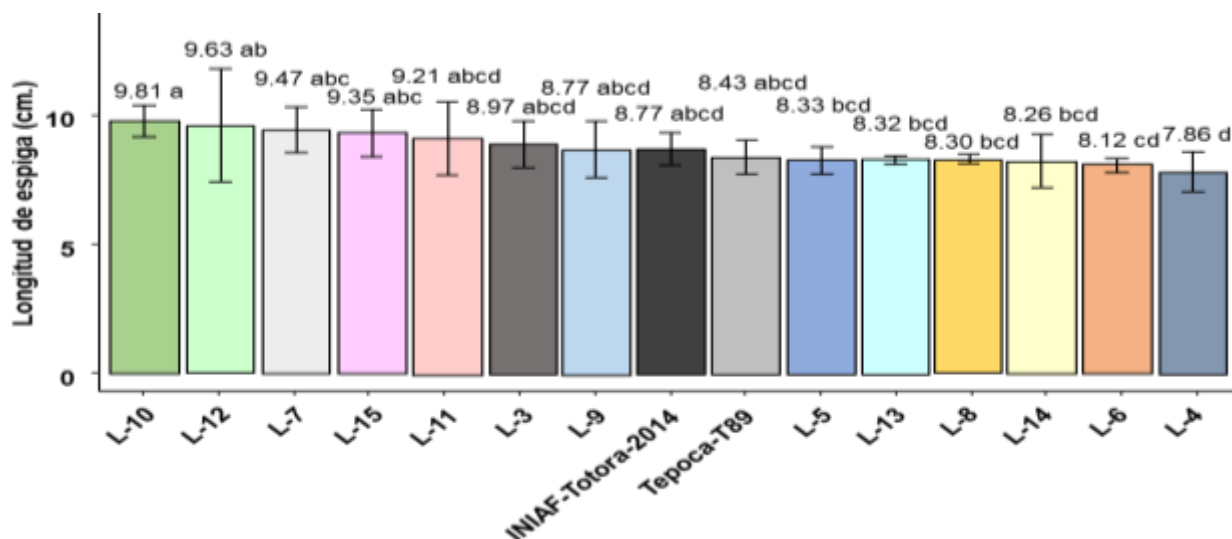
Otras investigaciones que se realizaron en el altiplano boliviano y en el oriente en base al trigo obtuvieron ciertos datos como la de: Mamani, (2017) que menciona en su investigación que el tratamiento más eficaz para lograr una mayor altura es el T8 con 81.6 cm, al aplicar nitrógeno de manera equitativa, mitad en macollamiento y la otra mitad en embuche. Esto contrasta con la falta de nitrógeno o aplicación incorrecta, resultan en alturas, alrededor de 78.3 a 78.4 cm, también Mollericona, (2013) Indica que se detectaron diferencias significativas entre los niveles de nitrógeno, donde N2, N3, N4, N5, N6, N7, N8 mostraron alturas promedias de 81.73, 80.75, 81.07, 82.46, 82.23, 81.05, 82.21 cm, respectivamente, en comparación con el nivel de control N1 que mide 76.43 cm. Destaca que la aplicación de $43 \text{ Kg} \cdot \text{ha}^{-1}$ de nitrógeno logro una altura de 82.46 cm, Superando la aplicación de $53 \text{ Kg} \cdot \text{ha}^{-1}$ que obtuvo 82.23 cm, también superando al control con 76.43 cm, respecto a la altura de planta Fisher (2007) citado por Yapu, (2014) menciona que a partir de introducciones de genes a plantas enanas en trigo concluyo que las plantas con un promedio de 0.7-1 m de altura son más productivas y asimismo el reparto de asimilados es más equilibrado entre el tallo y la espiga, produciéndose mejores índices de cosecha.

6.3.1.2. Longitud de espiga

La variabilidad en la longitud de espiga atribuye a su diversidad genética presente en cada genotipo, cada tratamiento tiene un conjunto único de genes que determinan su característica. La variabilidad en la longitud de espigas fue evidente en al menos una línea, las espigas con una media mayor en longitud es para la línea L-10 con 9.81 cm que muestran características únicas y la línea L-4 con 7.86 cm que muestra menor longitud de espiga a comparación de las líneas que corresponden a los grupos (ab) L-12, (abc) L-7, L-15, (abcd) L-11, L-3, L-9, INIAF-Totora-2014, Tepoca-T89, (bcd) L-5, L-13, L-8, L-14, (cd) L-6 que oscilan entre 9.63 a 8.12 cm respectivamente ver Figura 22.

Figura 22.

Prueba de promedios Duncan para la variable longitud de espiga de trece líneas elites de trigo harinero.



Nota: Elaboración propia

Las investigaciones que se realizaron en el altiplano boliviano en base al trigo obtuvieron ciertos datos como la de Lipa, (2016) que describe en su investigación medias como la línea L-5 con una longitud de espiga de 11,9 cm, seguido por la L-3, L-11 con longitudes de 11,3 cm siendo estas significativamente superiores al resto de las líneas en estudio por otro lado Maquera, (2021) en su investigación menciona que la longitud promedio de la espiga muestra diferencias donde el T3 alcanzo 9.42cm, superando a To

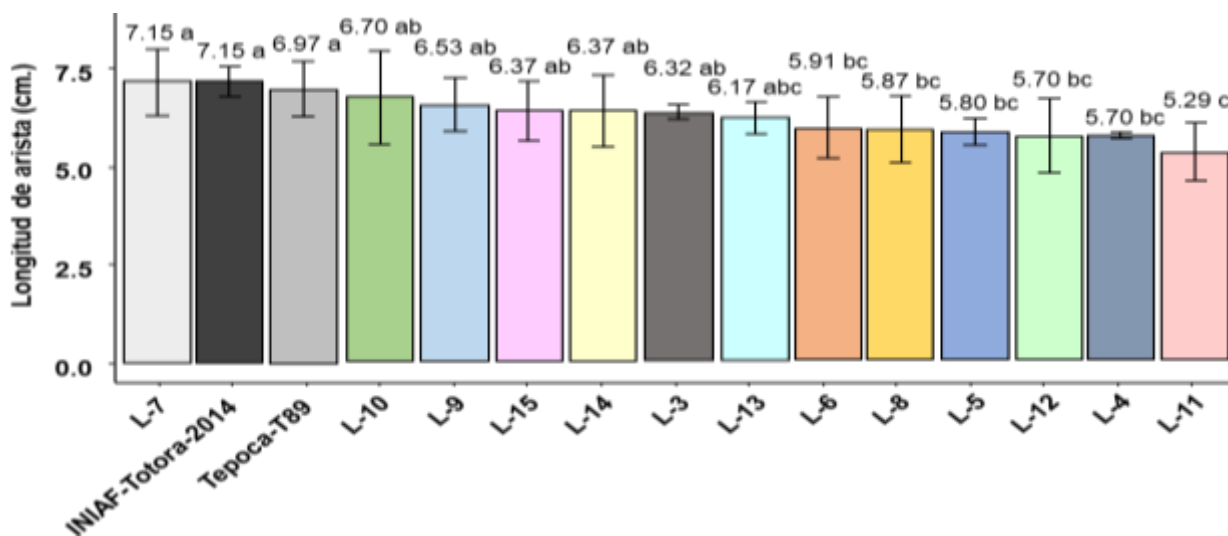
con 8.29 cm, y el T1 superó a To con 8.86 cm, el menor tamaño lo tuvo el T2 con 7.11 cm, la longitud de la espiga afecta el rendimiento de grano al influir en la cantidad de espiguillas y granos. De acuerdo con Zenteno, (2000) citado por Quispe Choque, (2016) este carácter está en función a los factores climáticos, composición genética de la variedad, disponibilidad de agua y nutrientes, los cuales inducen al crecimiento en longitud y proporcionalmente al desarrollo de espiguillas y a los granos por espiga.

6.3.1.3. Longitud de arista

Se revela que existen diferencias significativas para el grupo (a) las líneas L-7, INIAF-Totora-2014, Tepoca-T89 presentan mayor longitud de 7.15, 7.15, 6.97 cm y el grupo para la longitud de arista intermedio (ab) las líneas L-10, L-9, L-15, L-14, L-3 entre 6,70 a 6.32 seguido de la línea L-13 con 6.17 cm otro grupo (bc) se tiene a las líneas L-6, L-8, L-5, L-12, L-4 entre 5.91 a 5.70 cm y la línea con menor longitud de arista es para (c) L-11 con 5.29 cm ver Figura 23.

Figura 23.

Prueba de promedios Duncan para la variable longitud de arista de trece líneas elites de trigo harinero.



Nota: Elaboración propia

Las investigaciones que se realizaron en el altiplano boliviano en base al trigo obtuvieron ciertos datos como la de Tola, (2017) donde menciona que Totora-80 y 4022 HAPYT destacaron al tener las aristas más largas, midiendo $6,59 \pm 0,52$ y $6,49 \pm 0,50$ cm,

respectivamente, por otro lado Huallpa, (2016) menciona que la longitud de las aristas, en el tratamiento T9(310-20) mostro el mayor promedio, alcanzando 6.44 cm, mientras T10(306-20) presento menor promedio, con 4.88 cm revelando diferencias significativas. De acuerdo a la descripción de King y Richards, (1984) citado por Yapu, (2014) la presencia de la arista como una estructura debe ser considerada en los programas de mejoramiento en especial en el altiplano en donde su presencia y longitud parecen favorecer el desgrane en eventos de granizada y a si mismo se han evidenciado que en trigos sin aristas, el agua se escurre más rápidamente y en una forma mucho más efectiva que en un trigo con aristas.

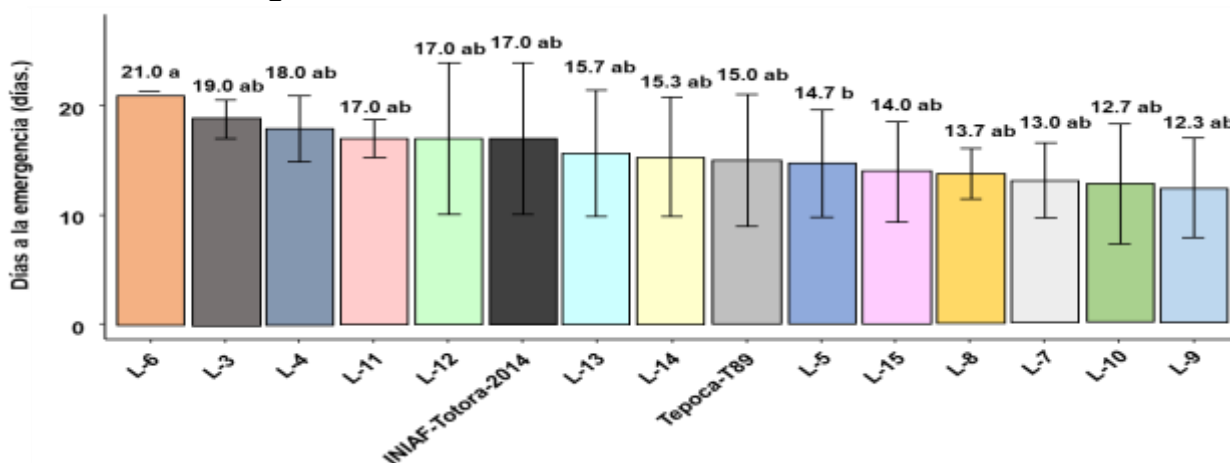
6.3.2. Variables fenológicas

6.3.2.1. Días a la emergencia

No existen estadísticamente diferencias significativas entre las líneas en la variable días a emergencia según la prueba de Friedman Anexo 12, sin embargo algunos grupos muestran diferencias significativas en las comparaciones múltiples utilizando el método LSD donde evidencia tres grupos el primero (a) la línea L-6 con presenta días a la emergencia en 21 días y el segundo grupo (ab) conformada por los genotipos L-3, L-4, L-11, L-12, INIAF-Totora-2014, L-13, L-14, Tepoca-T89, L-15, L-8, L-7, L-10, L-9 entre 19 a 12.3 días y el grupo (b) la línea L-5 con 14.7 días como la más precoz ver Figura 24.

Figura 24.

Prueba no paramétrica Friedman para la variable días a la emergencia de trece líneas elites de trigo harinero.



Nota: Elaboración propia

Los resultados se deben a los varios eventos de temperaturas por debajo de los cero grados centígrados, por lo tanto, el daño a los tejidos vegetales inhibió la emergencia, e indican diferencias significativas numéricas y concluimos que al menos una de las medias es diferente.

Las investigaciones que se realizaron en el altiplano boliviano en base al trigo obtuvieron ciertos datos como la de Tola, (2017) que menciona que la variedad Tepoca-T89 emergió en el menor número de días, con un promedio de $6\pm 0,58$ días. Por otra parte, la variedad Motacú mostró una emergencia más tardía con $11\pm 0,58$ días, al respecto Valdivia, (2017) registro que las variedades más tempranas fueron 3082-29SAWS y 402 HPYT, emergiendo a los 7 días de la siembra, las variedades más tardías con 12 días después de la siembra, son 3098-29SAWSN y 327-20SAWYT.

Esta variabilidad se atribuye a eventos de temperaturas extremas por debajo de cero grados centígrados y a las bajas precipitaciones que inhibieron la germinación, a comparación de los estudios previos de Tola y Valdivia que respaldan observaciones, destacando que la influencia de condiciones ambientales es importante para la emergencia.

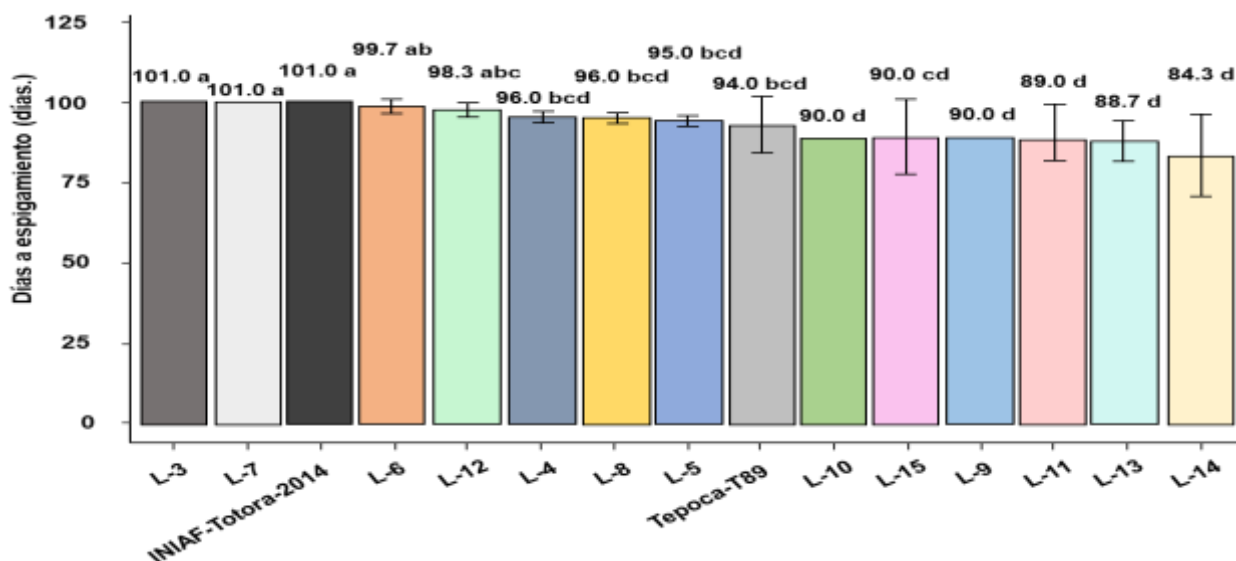
6.3.2.2. Días a espigamiento

Según el análisis no paramétrico Friedman existen diferencias estadísticamente significativas entre las líneas en la variable días a espigamiento donde se describe que existe diferencias que se divide en seis grupos, las líneas estudiadas en el primer grupo (a) se tiene L-3, L-7, INIAF-Totora-2014 con 101 días seguida de los grupos (ab, abc) que corresponden a L-6 y L-12 con 99.7 a 98.3 días que alcanzaron la fase tardía. Otro grupo constituyeron (bcd) L-4, L-8, L-5 y Tepoca-T89 con media de 96 a 94 días y el último grupo (cd, d) sobresalió la línea L-10, L-15, L-9, L-11, L-13, L-14 con 90 a 84.3 días como las más precoces ver Figura 25.

Galarza Tenesaca, (2023) describe que la variedad INIAP – ROMERO 73, presenta características de precocidad de 81 días, reduciendo de esta manera el tiempo a la cosecha, mientras tanto, la variedad INIAP – IMBABURA 2014, fue el material más tardío con un promedio de 95, 33 (días) respectivamente.

Figura 25.

Prueba no paramétrica Friedman para la variable días a espigamiento de trece líneas elites de trigo harinero.



Nota: Elaboración propia

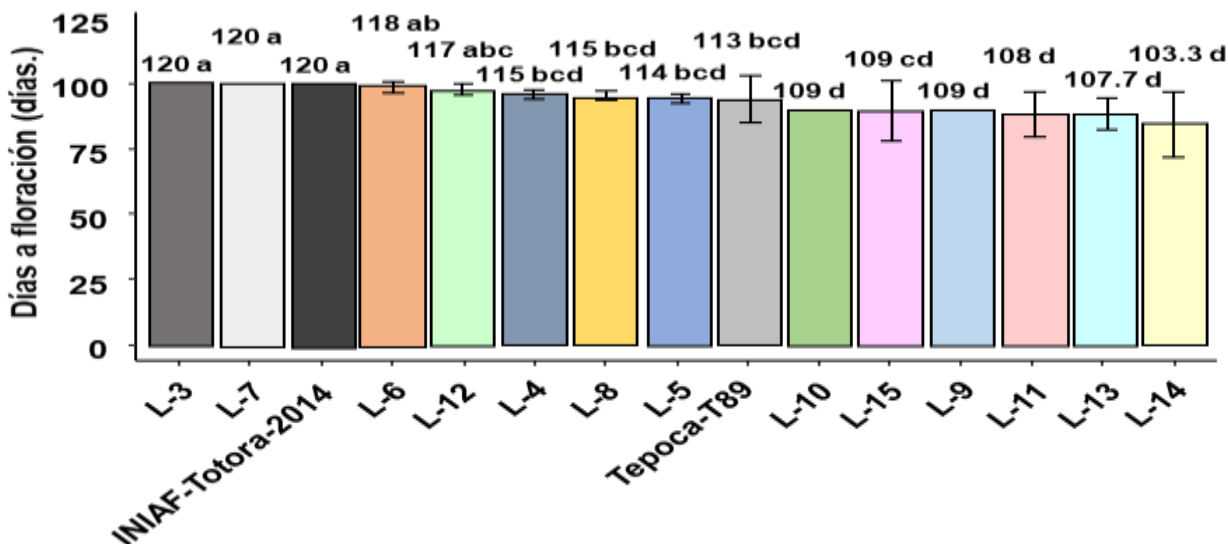
En el presente estudio los días al espigamiento de la línea más precoz fueron más largos en comparación del trabajo de Galarza Tenesaca, (2023) donde los días al espigamiento de sus variedades fueron más cortos. Con estos resultados en comparación se puede decir que el desarrollo acelerado se debe a posibles cambios climáticos que existe en cada región. Miralles y Slafer, (2007) señalan que el conocimiento de las respuestas del cultivo a variables ambientales, permite caracterizar la adaptabilidad de los diferentes cultivares a las distintas zonas productivas.

6.3.2.3. Días a la floración

Se revela una tendencia interesante para la variable días a floración que resultaron significativos por la prueba no paramétrica método Friedman ver Anexo 12. La media con más días a floración es para el grupo (a) conformado por L-3, L-7, INIAF-Totora-2014 con 120 días como los más tardíos en floración seguida (ab, abc) de las líneas L-6 y L-12 con 118 a 117 días. Otro grupo (bcd) constituyen las líneas L-4, L8, L-5, Tepoca-T89 con media entre 96 a 94 días respectivamente y el último grupo (d, cd) sobresalió la línea L-10, L-15, L-9, L-11, L-13, L-14 con 109 a 103.3 días como más precoces ver Figura 26.

Figura 26.

Prueba no paramétrica Friedman para la variable días a floración de trece líneas elites de trigo harinero.



Nota: Elaboración propia

Mariscal-Amaro et al., (2020) observaron que, en las localidades de Juchitepec y Nanacamilpa (México), donde se han registrado las mayores precipitaciones durante los meses del ciclo del cultivo (junio- noviembre), hasta 623 mm y 554 mm, respectivamente con 65 a 67 días a floración en comparación, con la localidad de Santa Lucía (494 mm) con 60 días a floración. Esta tendencia no coincide con los resultados obtenidos ni con los reportados por otros autores, en el sentido que, en las localidades o años con mayores precipitaciones, se han obtenido resultados positivos. Para la floración Miller, (2000) señala que ocurre de 4 a 5 días después de la espigazón.

Entre 10 y 15 días antes y después de espigazón se encuentra el período crítico, donde se hacen máximas las necesidades de agua y nutrientes (Pistoni, 2020). El trigo es una especie de días largos, significa la floración se adelanta a medida que el fotoperiodo aumenta y llega al óptimo (Campuzano et al., 1997).

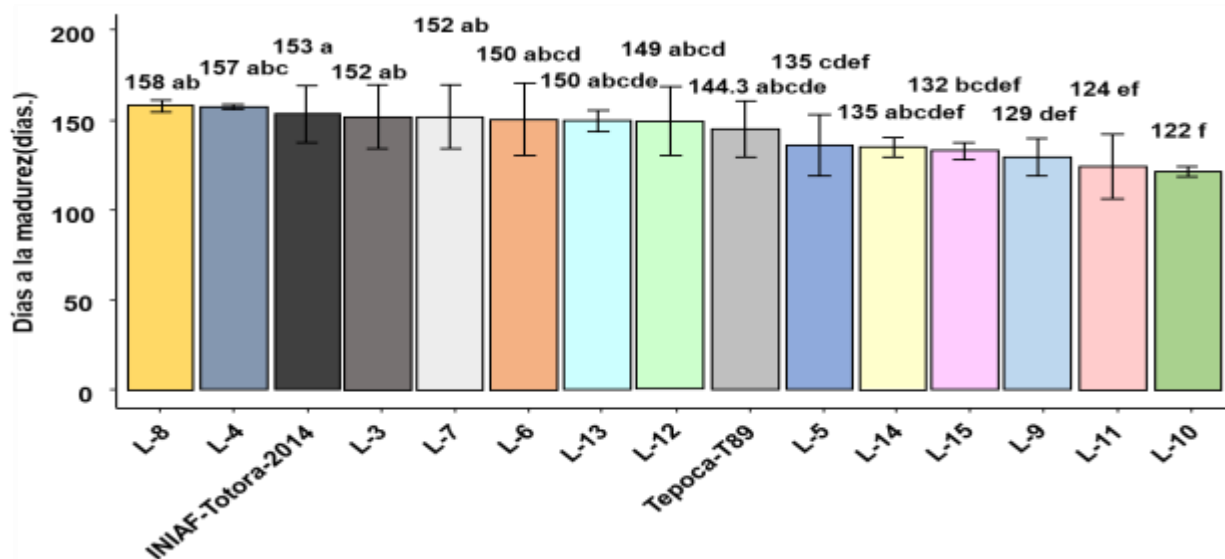
6.3.2.4. Días a la madurez

Según el análisis no paramétrico Friedman no existen diferencias estadísticamente significativas entre las líneas en la variable días a la madurez sin embargo algunos grupos muestran diferencias significativas en las comparaciones múltiples utilizando el método

LSD agrupados en catorce grupos los que destacan son el primer grupo (ab) las líneas L-8, L-3, L-7 con 158 a 152 días a la madurez haciendo referencia al más tardío y el grupo (f) que pertenece a la línea L-10 con 122 días como las más precoces a los días a la maduración ver Figura 27.

Figura 27.

Prueba no paramétrica Friedman para la variable días a la madurez de trece líneas élites de trigo harinero.



Nota: Elaboración propia

A partir que el grano alcanza la madurez fisiológica solo le resta perder humedad hasta llegar a la madurez comercial (14% de humedad) (Pistoni, 2020). Las investigaciones que se realizaron en el altiplano boliviano en base al trigo obtuvieron ciertos datos como la de Tola, (2017) que menciona a Tepoca T89, HAPYT y Totora 2014 fueron las más precoces para alcanzar la madurez fisiológica, con alrededor de 127 días cada uno, mientras que Totora-80 necesitó 135 días, por otro lado, Motacú fue la más tardía, requiriendo 146 días. Juárez, (2011) menciona a las variedades de trigo, ya sean de ciclo corto o largo, difieren principalmente en el tiempo que transcurre entre la emergencia de las plantas y el inicio de la formación de las espigas, pero no muestran diferencias significativas en etapas posteriores a su desarrollo. De acuerdo con Reynolds et al., (2013) citado por Yapu, (2014) en relación con días a la madurez se destaca que la tasa de desarrollo post-antesis hasta la madurez en trigo no muestra sensibilidad al

fotoperiodo ni a la vernalización. Su única respuesta aparente y positiva se observa ante variaciones en la temperatura.

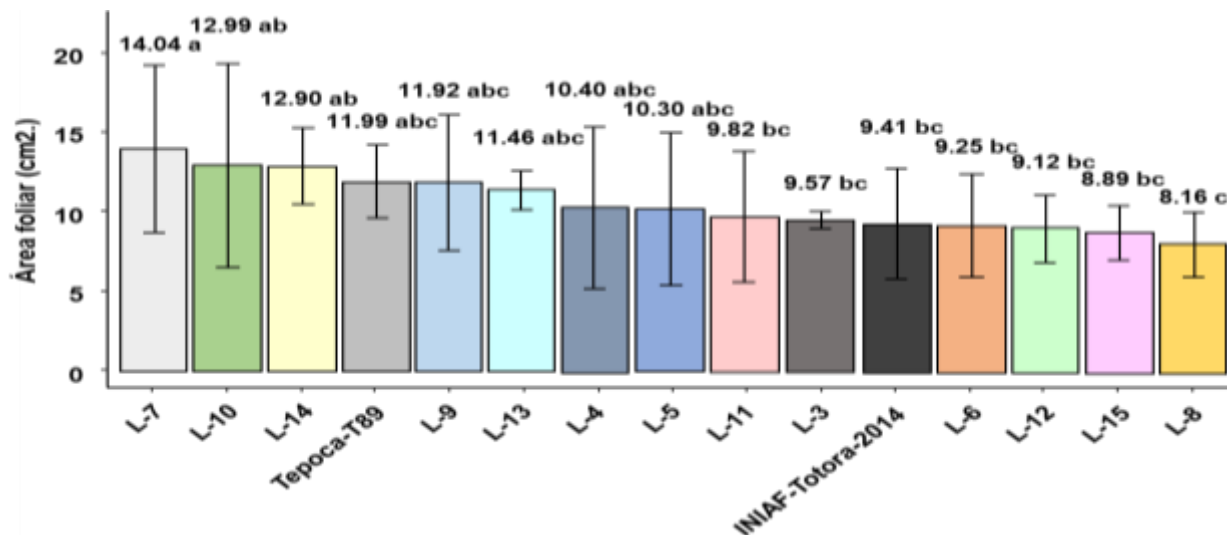
6.3.3. Variables fisiológicas

6.3.3.1. Área foliar

De acuerdo a los resultados se puede evidenciar cinco grupos destacando el primer grupo (a) la línea L-7 con 14.04 cm², seguido del segundo grupo (ab) las líneas L-10 y L-14 con 12.99 a 12.90 cm² como genotipos con mayor área foliar y el tercer grupo (abc) conformada por Tepoca-T89, L-9, L-13, L-4, L-5 entre 11.99 a 10.30 cm² como los intermedios y con menor área foliar se destaca al cuarto grupo (bc) L-11, L-3, INIAF-Totora-2014, L-6, L-12, L-15 entre 9.82 a 8.89 cm² seguida del quinto grupo (c) la línea L-8 con 8.16 cm² respectivamente ver Figura 28.

Figura 28.

Prueba de promedios Duncan para la variable Área foliar de trece líneas elites de trigo harinero.



Nota: Elaboración propia

Las investigaciones que se realizaron en Bolivia en base al trigo obtuvieron ciertos datos como la de Yapu, (2014) en su investigación indica que el área foliar de la hoja bandera, en las líneas se dividieron en cuatro grupos. Nueve líneas, incluyendo 27-32E, 1-33E y 43-33E, que destacaron con áreas foliares entre 19 y 25 cm². En el grupo D, la

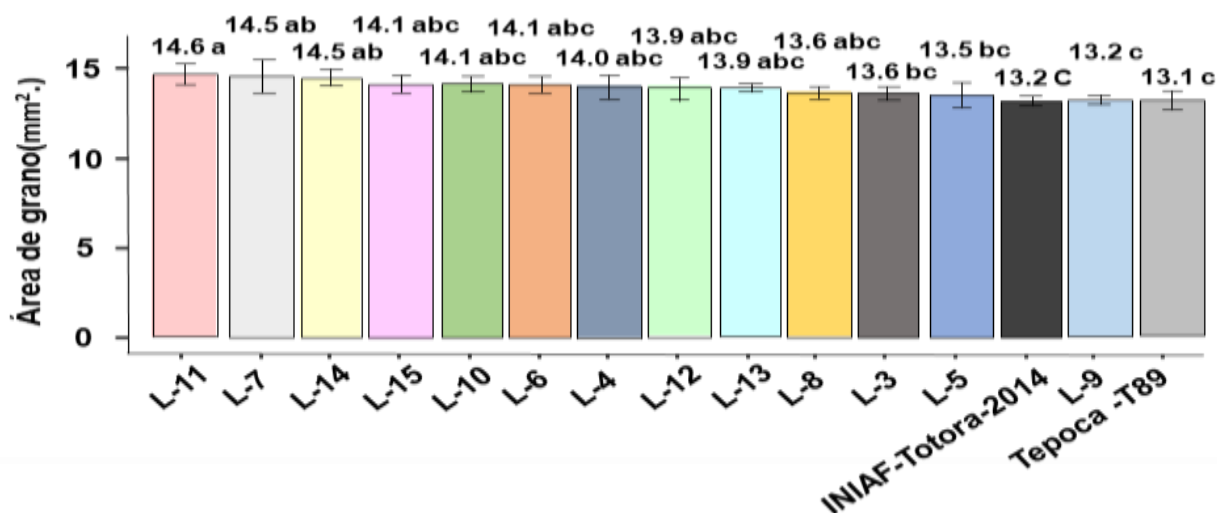
línea 10-20S tuvo la menor área foliar 16.7 cm² compartiendo el grupo con 16 líneas y el testigo Tepoca. Como carácter de selección en la búsqueda de genotipos tolerantes al estrés hídrico, se ha reportado que genotipos tolerantes presentan una menor área foliar (Jaeger et al., 2014 citado por Cabello et al., 2019). Por su parte Hall, (1979) menciona que el índice de área foliar del cultivo aumenta desde la germinación hasta poco antes del inicio del llenado de los órganos de cosecha. En el trigo el área foliar detiene su crecimiento a unas 2 a 3 semanas antes del comienzo del llenado de grano, por otro lado Miller, (2000) menciona que al emerger la última hoja conocida como la hoja bandera, que constituye alrededor del 75% del área foliar es esencial para el llenado del grano. Este estadio llamado 8.0 se confirma al observar la espiga dentro de la vaina sin hojas.

6.3.3.2. Área de grano

De acuerdo a los resultados se observa cinco grupos destacando el primer grupo (a) la línea L-11 con 14.6 mm² mostrando superioridad sobre el segundo grupo (ab) la línea L-7, L-14 con 14.53, 14.47 mm², para el grupo (c) con menor área de grano se tiene a Tepoca-T89, L-9, INIAF-Totora-2014 entre 13.13 a 13.20 mm² y el resto (abc) las líneas L-15, L-10, L-6, L-4, L-12, L-13, L-8 oscila entre 14.1 a 13.6 mm² con áreas intermedias seguido (bc) de las líneas L-3, L-5 con 13.56, 13.53 mm² respectivamente Ver Figura 29.

Figura 29.

Prueba de promedios Duncan para la variable área de grano de trece líneas elites de trigo harinero.



Nota: Elaboración propia

Sauceda Acosta et al., (2017) menciona que la clasificación de los granos se basa en su tamaño y circularidad, granos enteros miden entre 4 y 14.1 mm², se consideran todos los granos que caen en el rango de 4 a 30 mm² y tienen una circularidad de 0.4 a 1 que ayudan a diferenciar los granos chicos de los quebrados ya que estos últimos son más cortos y tienen una circularidad superior a 0.8 este criterio se usa para determinar si un grano se considera quebrado.

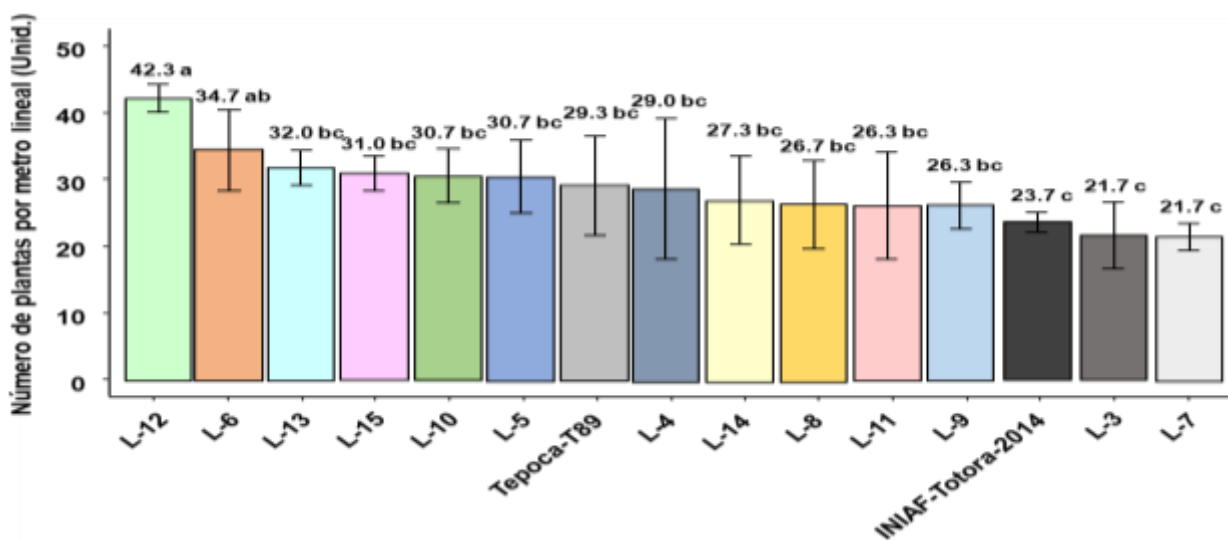
6.3.4. Variables de rendimiento

6.3.4.1. Número de plantas por metro lineal

De acuerdo a los resultados la prueba de Duncan al 0.05 de significancia la línea L-12 alcanzó un mayor número de plantas en un metro lineal con 42.3 unidades mostrando superioridad sobre las demás seguido de L-6 con 34.67 unidades y el grupo (c) con menor número de plantas para L-3, L-7, INIAF-Totora-2014 con 21.67, 21.67, 23.67 unidades y para el cuarto grupo (bc) las líneas L-13, L-15, L-5, L-10, Tepoca-T89, L-4, L-14, L-8, L-9, L-11 oscilan entre 32 a 26.33 unidades de plantas en un metro lineal ver Figura 30.

Figura 30.

Prueba de promedios Duncan para la variable número de plantas por metro lineal de trece líneas élites de trigo harinero.



Nota: Elaboración propia

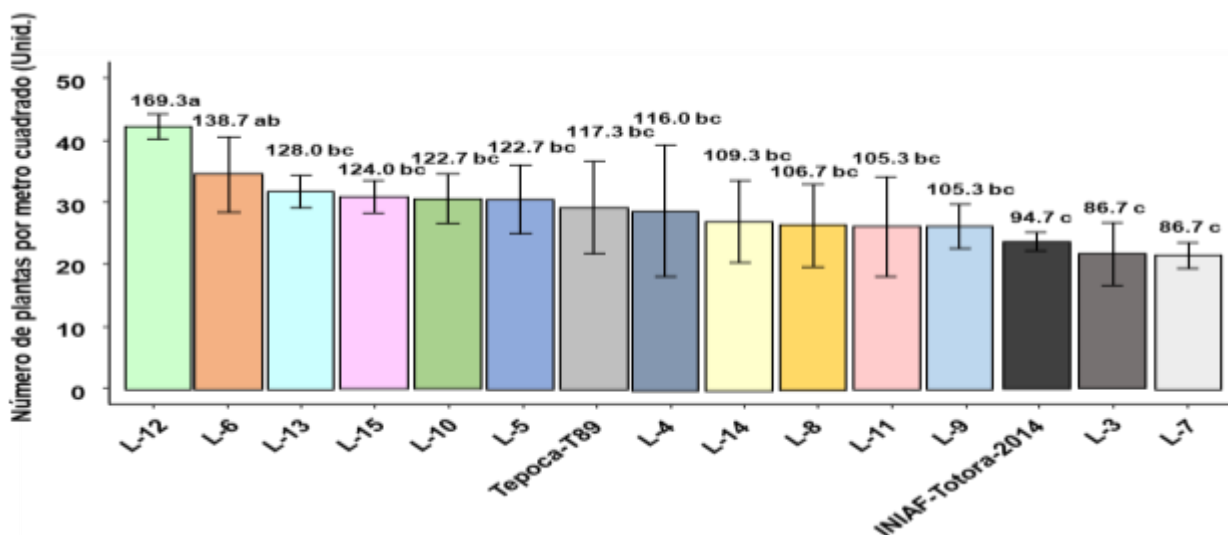
Cascon, (1920) indica de acuerdo a sus observaciones la cifra mayor alcanzada por metro lineal de surco ha sido de 292 con una mínima de 33 y el promedio resultado de 152 unidades, advirtió que alcanzada esa cifra el candeal se encama con facilidad.

6.3.4.2. Número de plantas por metro cuadrado

Del análisis comparativo de medias de Duncan al 0.05 se observa cuatro grupos la línea L-12 alcanzó un mayor número de plantas* m^{-2} con 169.3 unidades mostrando superioridad sobre las demás seguido de L-6 con 138.7 unidades de plantas* m^{-2} y el tercer grupo (c) con menor número de plantas plantas* m^{-2} para los genotipos L-3, L-7, INIAF-Totora-2014 con 86.7, 86.7, 94.7 unidades de plantas* m^{-2} para el cuarto grupo (BC) las líneas L-13, L-15, L-5, L-10, Tepoca-T89, L-4, L-14, L-8, L-9, L-11 que oscilan entre 128 a 105.3 unidades de plantas* m^{-2} respectivamente ver Figura 31.

Figura 31.

Prueba de promedios Duncan para la variable número de plantas por metro cuadrado de trece líneas elites de trigo harinero.



Nota: Elaboración propia

Estos materiales genéticos con mayor número de plantas indican y resaltan la eficiencia en producción de trigo harinero a pesar de las condiciones extremas de la región.

Otras investigaciones que se realizaron en Bolivia en base al trigo mencionan ciertos resultados como las de Tola, (2017) en su investigación se aprecia grupos de los cuales la variedad Tepoca T89 y 4022 HAPYT destacan con los promedios más altos,

365±40,15 y 257±26 plantas*m⁻², superando significativamente a otras variedades como Anzaldo, Motacú, 3272-SAWYT, REEDLING y 14032-SAWYT, que tuvieron promedios más bajos, alrededor de 193-167 plantas*m⁻² por otro lado Yapu, (2014) en su evaluación menciona 6 grupos, el primer grupo (A) fue exclusivo para la línea 13-33E con 109 plantas*m⁻², el segundo grupo incluyo las líneas 27-32E , 1-33E y 9-20S, con 96.92 y 88 plantas*m⁻², el último grupo (F) no supero las 77 plantas*m⁻², el testigo Tepoca se ubicó entre el tercer y penúltimo grupo con 81 plantas*m⁻².

Esta variable puede ser regulada por la densidad de siembra y la viabilidad de semillas, pudiéndose establecer el primer componente de rendimiento en la siembra, al respecto Grupcheck, (2012) citado por Yapu, 2014 señala que para obtener altos rendimientos el número de plantas establecidas debe comprender entre 200 a 400 plantas*m⁻², en tanto Kosina et al. (2013) citado por Yapu, (2014) señalan que lo óptimo requerido es de 170 a 220 plantas*m⁻².

De acuerdo a los estudios realizados se observa variaciones altamente significativas, y se nota que los obtenidos por Tola, (2017) y Yapu, (2014) son más numerosas en cuanto a plantas*m⁻², estas diferencias pueden ser atribuidas a las características ambientales de la región y el resultado es que se manifiestan en respuesta a las condiciones agroclimáticas específicas de su ubicación.

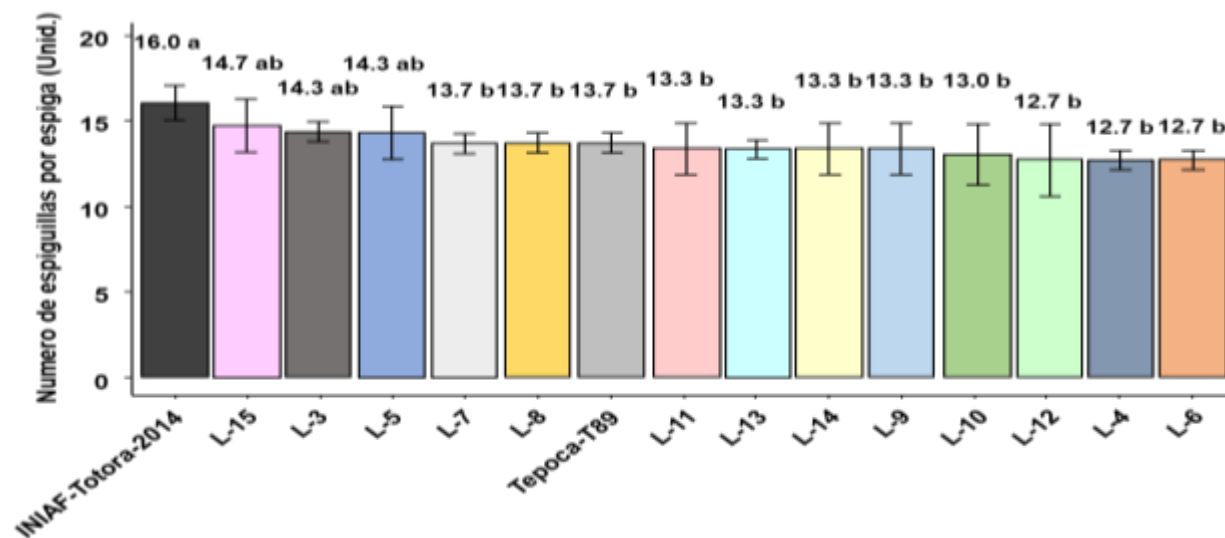
También se debe considerar que una alta densidad de plantas favorece a enfermedades y en ocasiones a encamado realidad importante en algunas regiones.

6.3.4.3. Número de espiguillas por espiga

Esta variable fue distinguida en tres grupos diferentes en donde el primer grupo (a) constituido por INIAF-Totora-2014 que muestra mayor número de espiguillas por espiga con 16 unidades seguida del segundo grupo (ab) conformado por las líneas L-15, L-3, L-5 con 14.67, 14.33, 14.33 unidades y por último al grupo (b) de Tepoca-T89, L-8, L-7, L-9, L-13, L-14, L-11, L-10, L-12, L-4, L-6 con 13.67 a 12.67 unidades que representan a menor número de espiguillas por espiga ver Figura 32.

Figura 32.

Prueba de promedios Duncan para la variable número de espiguillas por espiga de trece líneas elites de trigo harinero.



Nota: Elaboración propia

Otras investigaciones que se realizaron en Bolivia en base al trigo respecto a la variable número de espiguillas por espiga describen ciertos resultados:

Lipa, (2016) señala que la mayor cifra de espiguillas por espiga, con 56,3 espiguillas, seguidos por las líneas cinco, cuatro y once con 54,9, 54,6 y 54,5 espiguillas respectivamente, en tanto que las líneas nueve, dos y doce representan las menores cifras de espiguillas por espiga con 48, 49,2 y 49,4 respectivamente.

Condori, (2005) menciona en sus resultados la información de localidades en dos grupos, con Roller y Azubi destacando con 13 espiguillas por espiga, significativamente superiores a Tepoca, Totora y Testigo con 11 espiguillas por espiga y en Charazani, Roller lidera con 13 espiguillas por espiga, diferenciándose de Tarata, Tepoca y Barja, que tienen 12 espiguillas por espiga.

Huallpa, (2016) menciona que la media de los tratamientos en el número de espiguillas por espiga forma un solo grupo en las diferentes líneas de trigo, el tratamiento T10(306-20) muestra el menor número, con 17 espiguillas por espiga, mientras que los tratamientos T2(325-19), T3(350-20) y T1(301) registran 32, 30 y 26 espiguillas por espiga respectivamente.

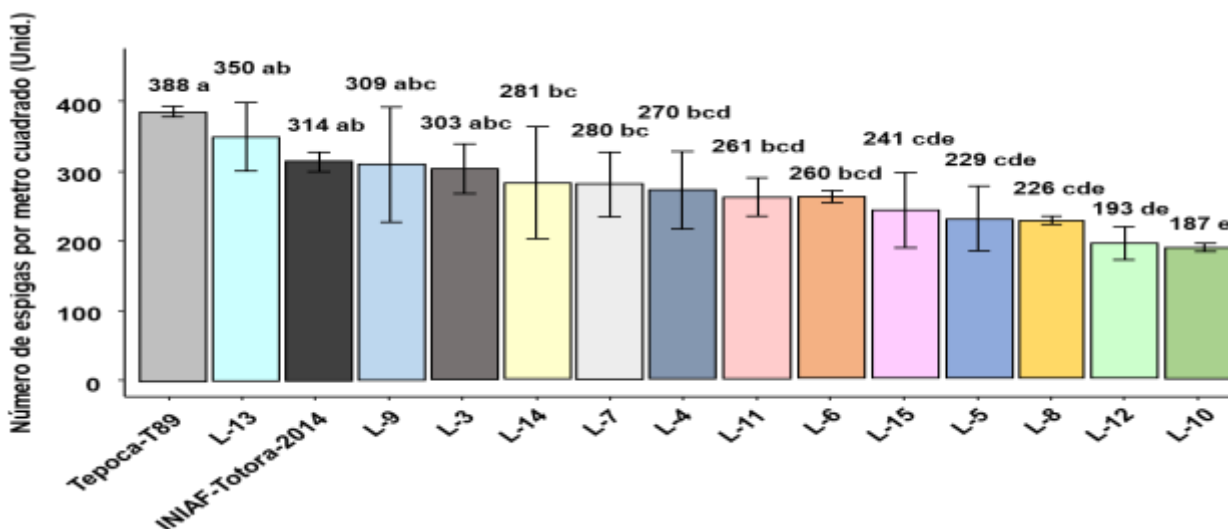
Al respecto Rahman et al., (1997) mencionan que existe una correlación positiva entre la longitud de la espiga y el número de espiguillas por espiga; y alargar la duración de la etapa vegetativa induce a más espiguillas por espiga.

6.3.4.4. Número de espigas por metro cuadrado

De acuerdo al análisis comparativo no paramétrica por el método Friedman ver Anexo 12 existen diferencias estadísticamente significativa entre las líneas para la variable número de espigas por metro cuadrado, en los resultados se evidencia variabilidad y se forma ocho grupos para el primer grupo (a) Tepoca-T89 con 388 espigas*m⁻² seguida del segundo grupo (ab) para los genotipos L-13, INIAF-Totora-2014, con 350 y 314 espigas*m⁻² y el tercer grupo (abc) las líneas L-9, L-3, L-14, L-4 entre 309 a 270 espigas*m⁻² y el cuarto y quinto grupo (bc, bcd) las líneas L-7, L-11, L-6 con 280, 261, 260 espigas*m⁻², el sexto y séptimo grupo (cde, de) para las líneas L-15, L-5, L-8 y L-12 con 241, 229, 226 y 193 espigas*m⁻² y por último el octavo grupo (e) que corresponde a la línea L-10 con 187 espigas*m⁻² ver Figura 33.

Figura 33.

Prueba no paramétrica Friedman para la variable número de espigas por metro cuadrado de trece líneas elites de trigo harinero.



Nota: Elaboración propia

Otras investigaciones que se realizaron en Bolivia en base al trigo respecto a la variable número de espigas por metro cuadrado se describe ciertos resultados:

Tola, (2017) menciona que la variedad Tepoca-T89 y 4022-HAPYT destacaron al mostrar mayores números de espigas, con promedios de $388 \pm 49,70$ y $293 \pm 10,97$ espigas* m^{-2} respectivamente. Al contrario, la variedad 14032-SAWYT tuvo el menor número de espigas, con $186 \pm 74,41$ espigas* m^{-2} , por otro lado Solís Diaz et al., (2021) menciona que la densidad de espigas* m^{-2} fue mayor cuando se sembró a 0.5 y 1.0 cm de distancia, con 681.42 y 653.33 espigas* m^{-2} , superando significativamente a la siembra a 2.0 cm, que tuvo 603.83 espigas* m^{-2} , además las líneas L-6 y L-4 alcanzaron 727.67 y 693.5 espigas* m^{-2} . Si el establecimiento del cultivo no es el adecuado se obtiene un bajo nivel poblacional y no se podrá alcanzar niveles altos de rendimiento. La emergencia de plantas depende principalmente de las temperaturas (época de siembra), el uso de semilla certificada, la dosis utilizada y la profundidad de siembra (Acevedo et al., 2011).

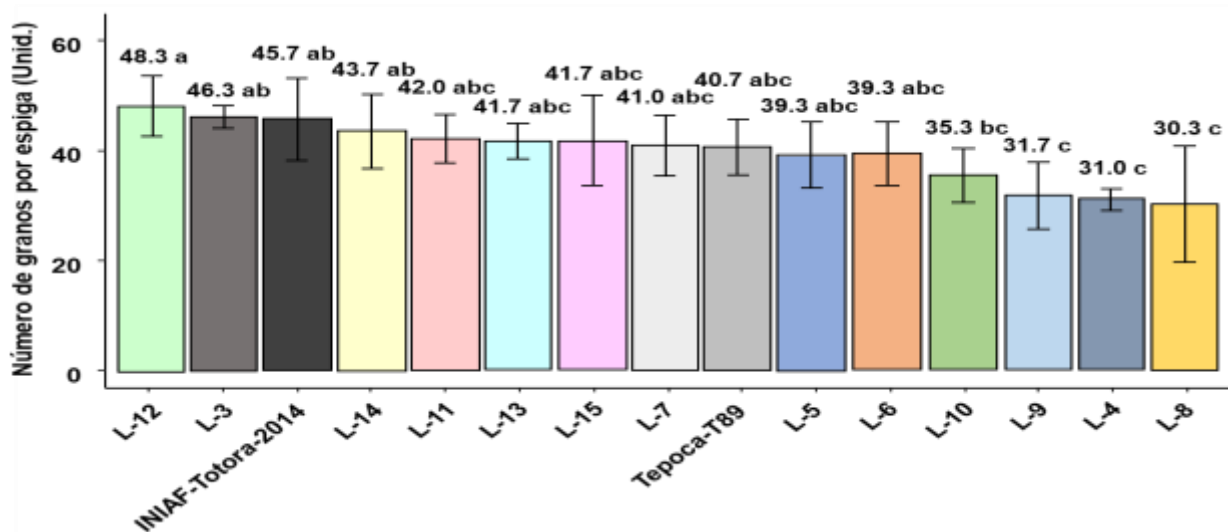
6.3.4.5. Número de granos por espiga

Los resultados muestran cinco grupos la línea L-12 sobresale para el primer grupo (a) con 48.3 granos por espiga, en tanto los genotipos L-3, INIAF-Totora-2014, L-14 entre 46.3 a 43.7 granos por espiga, para el segundo grupo (ab) seguido de tercer grupo (abc) formado por los genotipos L-11, L-13, L-15, L-7, Tepoca-T89, L-5, L-6 entre 42 a 39.3 granos por espiga seguida del cuarto grupo (bc) para la línea L-10 con 35.3 granos por espiga y para el quinto grupo (c) las líneas L-9, L-4 y L-8 que sobresalen con un rango de 31.7 a 30.3 haciendo referencia a menor número de granos por espiga ver Figura 34.

Otras investigaciones que se realizaron en Bolivia en base al trigo respecto a la variable número de granos por espiga, describen ciertos resultados: Mollericon, (2013) menciona en sus resultados que en el número de granos por espiga hubo diferencias significativas en los niveles de nitrógeno N8, N7, N6, N5, N4, N3, N2 que presentaron valores de 48, 48, 48, 48, 47, 47, y 45 granos por espiga respectivamente, en comparación con el nivel de control N1 que tuvo 41 granos por espiga, por otro lado Mamani, (2017) menciona que el T6 destacó con 50 granos por espiga, aplicando nitrógeno en tres etapas.

Figura 34.

Prueba de promedios Duncan para la variable número de granos por espiga de trece líneas elites de trigo harinero.



Nota: Elaboración propia

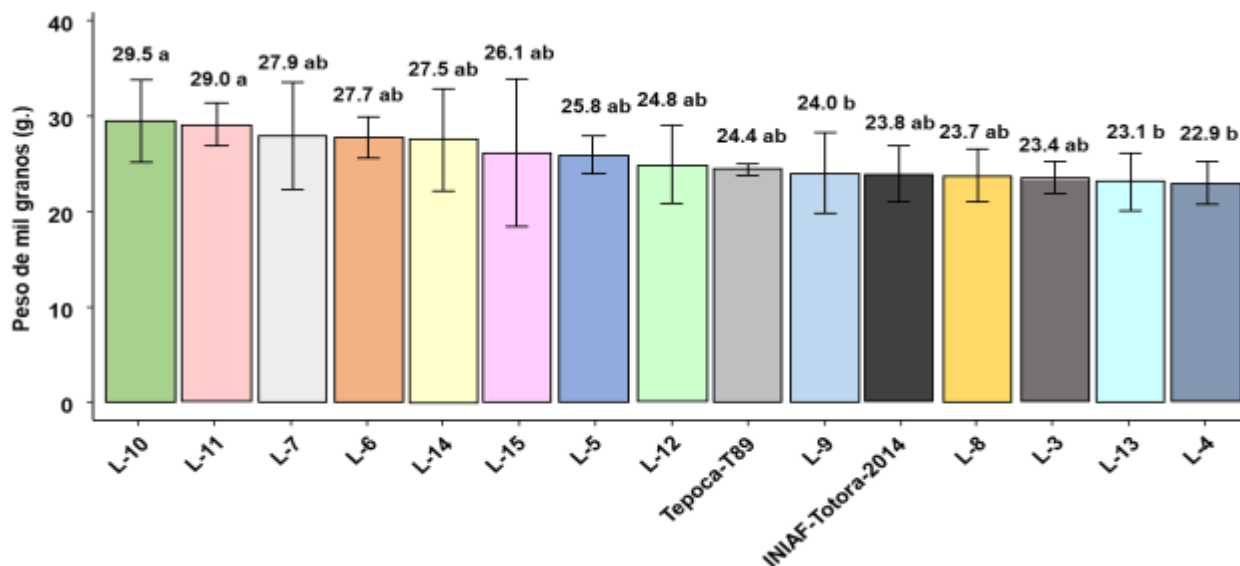
De los resultados es evidente una baja fertilidad basal y apical de las espigas observadas en campo, puesto que el rango óptimo varía entre 35 a 50 granos por espiga (cosina et al., 2013 citado por Yapu, 2014).

6.3.4.6. Peso de mil granos

De acuerdo a los resultados, se puede observar que no existen diferencias significativas entre las líneas en la variable peso de mil granos, sin embargo algunos grupos muestran diferencias significativas en las comparaciones múltiples utilizando el método LSD donde se puede observar tres agrupaciones el primero (a), donde indica que está conformada por la línea L-10, L-11 con promedios de 29.5 a 29.0 de peso de mil granos y haciendo referencia al peso más bajo a la línea L-4 con 22.9 de peso de mil granos y el segundo grupo (ab) como intermedio con valores de 27.9 a 23.4 de peso de mil granos lo que significa que estadísticamente hay diferencias entre las trece líneas, con una diferencia numérica de 6.66 g, esto se debe a los varios eventos atípicos en la etapa de formación de grano por lo tanto el daño inhibió su desarrollo manera regular ver Figura 35.

Figura 35.

Prueba no paramétrica Friedman para la variable peso de mil granos de trece líneas elites de trigo harinero.



Nota: Elaboración propia

Otras investigaciones que se realizaron en Bolivia describen ciertos resultados:

Lipa, (2016) revela que el promedio más alto en peso de mil granos, se obtuvo en las líneas L-1 y L-9 con 36 g seguido por la L-2 con 34 g; posteriormente a la L-10 con 31 g, los valores más bajos que registro son la L-6 con 20 g seguido por la L-7 con 23 g.

Mollericona, (2013) revela resultados de los niveles de nitrógeno N8, N7, N5, N4, N3, y N2 difieren significativamente del nivel de control N1 en términos del peso promedio de 1000 g, mostrando valores de 39.47, 39.57, 39.52, 38.65, 38.35, 38.34 y 37.19 g, respectivamente mientras que el control registro 35.03 g. Los pesos de mil granos de diferentes líneas se encuentran por los 30 g aceptables o buenos, esto es atribuible a los genotipos y a la acción de las bajas temperaturas ya que muchos autores han evidenciado que las bajas temperaturas deprimen los pesos de los granos (cosina et al., 2013 citado por Yapu, 2014).

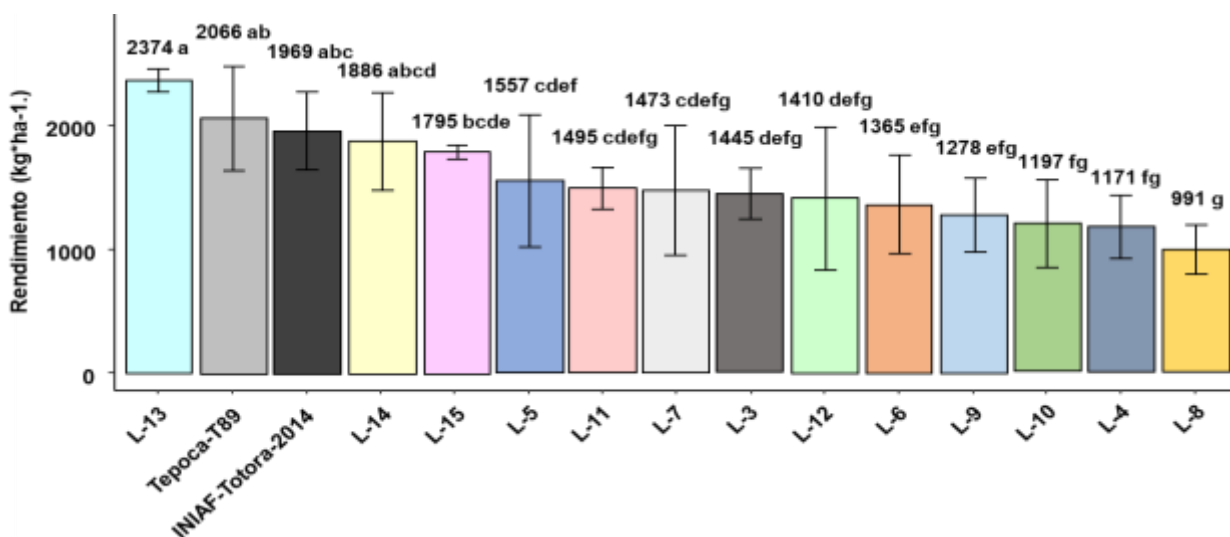
6.3.4.7. Rendimiento

Para el rendimiento se compone dos aspectos claves: los factores genéticos y el equilibrio de las condiciones extremas del lugar, para una cosecha exitosa.

Del análisis comparativo de medias Duncan al 0.05 el rendimiento en grano muestra resultados conformando once grupos, para el primer grupo (a) la línea L-13 con 2374 Kg*ha⁻¹ pudiéndose notar que corresponde al rendimiento más alto seguido del segundo (ab), tercero (abc), cuarto (abcd), quinto (bcde) y sexto (cdef) grupo conformado por Tepoca-T89, INIAF-Totora-2014, L-14, L-15 L-5 con 2066 a 1557 Kg*ha⁻¹ con rendimientos intermedios seguido del séptimo grupo (cdefg) que conforma las líneas L-11, L-7 con rendimientos de 1495, 1473 Kg*ha⁻¹ respectivamente los grupos octavo (defg) a decimo primero (g) que conforman las líneas L-3, L-12, L-6, L-9, L-10, L-4 y L-8 componen resultados de 1445 a 991 Kg*ha⁻¹ haciendo referencia a los rendimientos bajos, estos materiales genéticos indican y resaltan la productividad del trigo en las región del altiplano central de Bolivia ver Figura 36.

Figura 36.

Prueba de promedios Duncan para la variable rendimiento de trece líneas elites de trigo harinero.



Nota: Elaboración propia

Otras investigaciones que se realizaron en el altiplano central de Bolivia y el oriente en base al trigo respecto a la variable rendimiento, describieron resultados:

Mollericona, (2013) indica que los rendimientos de grano entre los niveles de nitrógeno N8, N7, N6, N5, Y N4, revelaron rendimientos: 2391.93, 2392.39, 2324.04, 2334.68, 2266.22 kg*ha⁻¹. Del mismo modo los niveles de N6, N5, N4, N3, y N2 mostraron valores de: 2324.04, 2334.68, 2266.22, 2225.78, 2193.06 Kg*ha⁻¹, mientras que N1 tuvo un rendimiento notable de 1838,54 kg*ha⁻¹.

Maquera, (2021) Revela diferencias significativas en los grupos G1 (T1) y G3 (T3) que mostraron un rendimiento superior con un promedio de 4.37, 4.16 t*ha⁻¹ en comparación con el tratamiento To y G2 (T2) con un promedio de 3.72, 3.59 t*ha⁻¹. Los genotipos mutantes demostraron un mayor rendimiento en comparación con generaciones anteriores. En la generación M4, T1 2.9 y T2 2.5 t*ha⁻¹, mientras que la generación M5 mostró un aumento significativo en el rendimiento en comparación con generaciones anteriores, lo que la posiciona como la mejor generación.

Las líneas elites de trigo harinero en condiciones de la Estación Experimental de Patacamaya manifiestan importantes valores en rendimiento en grano, aún más si consideramos los promedios en rendimientos inferiores a 500 kg*ha⁻¹ en parcelas del agricultor del altiplano central, sin embargo, aún distan del rendimiento potencial en condiciones de la Estación Experimental por el comportamiento mostrado en las variables de rendimiento.

6.3.5. Variable de calidad física

6.3.5.1. Peso hectolítrico

La prueba Duncan al 0.05 de significancia para la variable peso hectolítrico, se identifica un solo grupo (a) que estadísticamente son iguales entre tratamientos y numéricamente diferentes, en este grupo se tiene a los genotipos L-10, L-11, L-6, L-7, L-9, Tepoca-T89, L-5, L-15, INIAF-Totora-2014, L-8, L-3, L-13, L-14, L-12, L-4 con 62.7 a 55.3 Kg*hl⁻¹ con una diferencia numérica de 7.4 Kg*hl⁻¹ en cuanto a esta variable ver Figura 37.

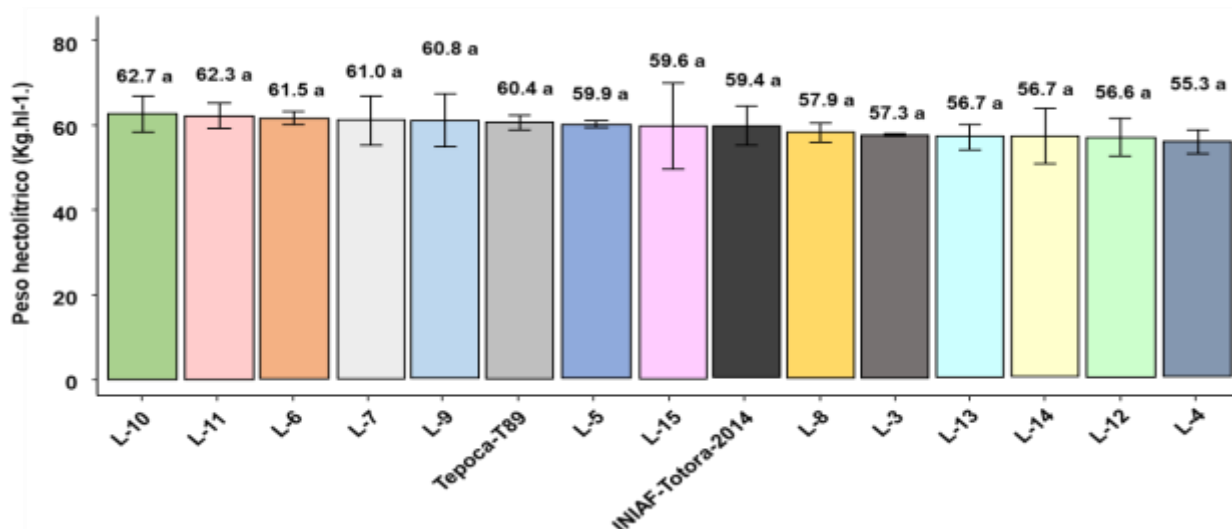
En estudios realizados por Mollericona, (2013) indica que bajo diferentes niveles de nitrógeno N8, N7, N6, N4, N5, N3, N2 y el testigo N1 presentaron valores promedios de alrededor de 88.81, 88.78, 88.68, 88.51, 88.47, 87.37, 87.28 Kg*hl⁻¹, mientras el testigo con 80.01 Kg*hl⁻¹. Por otro lado Condori, (2005) menciona que el peso hectolítrico de

variedades de trigo en diferentes localidades, Moco y Charasani tienen los mayores promedios de 82 Kg*hl⁻¹, seguidas de Chuma con 75 Kg*hl⁻¹ y algunas variedades como Waylla y Maya que destacaron con 81 Kg*hl⁻¹, mientras que el Testigo y Roller tuvieron valores más bajos con 77 y 78 Kg*hl⁻¹.

Así mismo Gonzales et. al (2011) citado por Quispe Choque, (2016) en evaluaciones realizadas durante dos años en la localidad de Totora reportaron pesos hectolítrico de 81.33, 75.38, 73.43, 73.53, 77.63 y 75.33, para las líneas L319, L217, L203, L204, L201 y Totora T-80 respectivamente.

Figura 37.

Prueba de promedios Duncan para la variable peso hectolítrico de trece líneas elites de trigo harinero.



Nota: Elaboración propia

Los resultados obtenidos no son tan distantes a los reportados por Mollericona, (2013) y Condori, (2005) en la presente investigación. Al respecto Gosticar, (1997) citado por Quispe Choque, (2016) mencionan que el grano de trigo suele medirse en hectolitros y su peso oscila entre 76 y 80 Kg*hl⁻¹.

En casos muy excepcionales los genotipos muy productivos en condiciones óptimas, alcanzan los 80 Kg*hl⁻¹ lo que comúnmente un trigo será de mayor calidad si el peso hectolítrico es mayor.

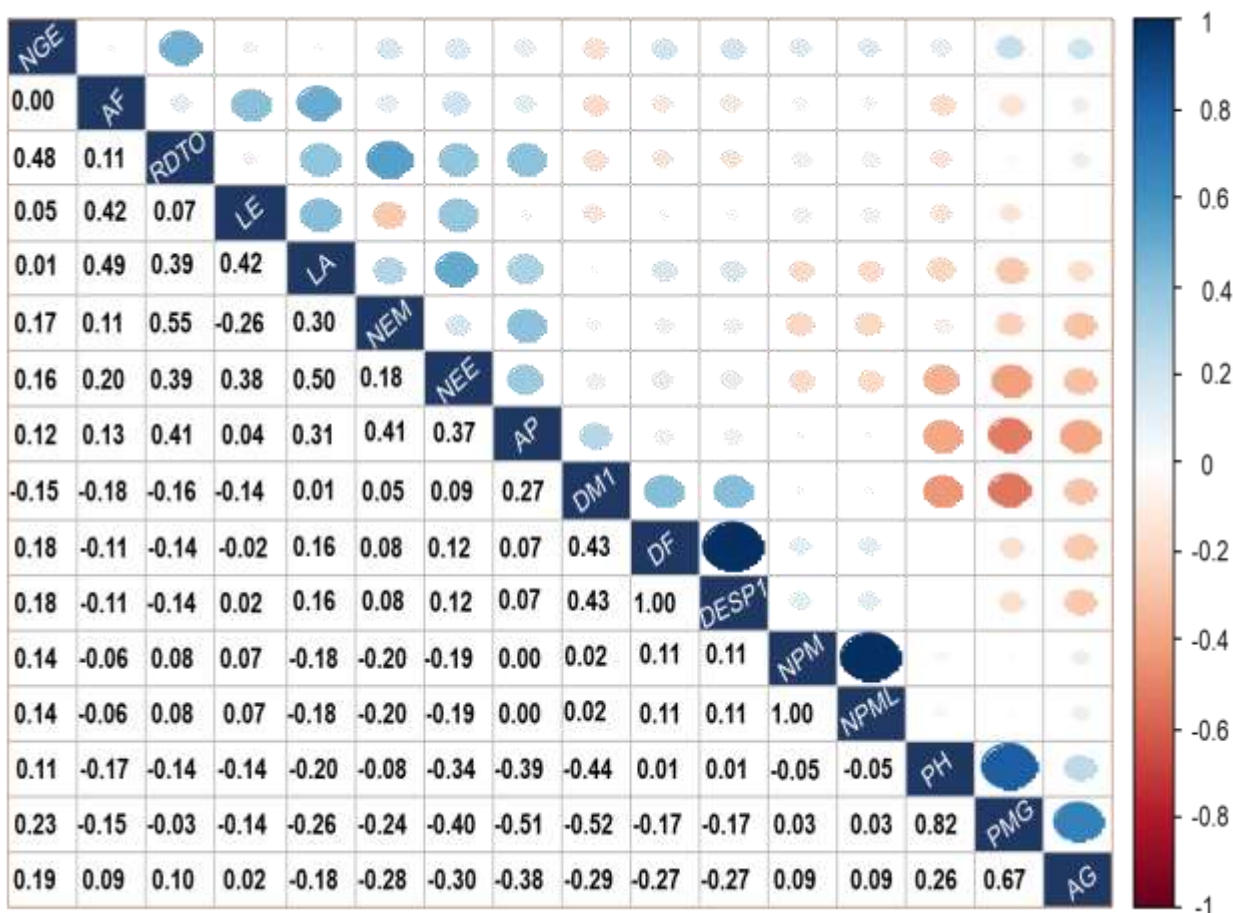
6.4. Análisis multivariado

6.4.1. Análisis de correlación múltiple (r)

De acuerdo a los resultados se observa una correlación múltiple entre cada par de características donde se evidencia 120 coeficientes ver Figura 38.

Figura 38.

Matriz de coeficiente de correlación múltiple para la aptitud productiva de trece líneas elites de trigo harinero (*Triticum aestivum* L.) evaluados en la Estación Experimental Patacamaya, durante la gestión agrícola 2022-2023.



Nota. NPM=Número de plantas por metro cuadrado; NM=Número de macollos; NPML=Número de plantas por metro lineal; DF= Días a floración; AP= Altura de planta; AF= Área foliar; NEM= Numero de espigas por metro cuadrado; LE= Longitud de espigas; DESP1= Días a espigamiento; NEE= Número de espiguillas por espiga; NGE= Número de granos por espiga; LA= Longitud de la arista; DM1= Días a la madurez; PMG= Peso de mil granos; PH= Peso hectolítrico; AG=Área de grano; RDTO= Rendimiento. El color de las esferas indica la intensidad de la correlación entre dos variables.

El análisis estadístico de los datos obtenidos en la investigación, se identifican relaciones significativas entre variables que influyen en la productividad como el rendimiento, peso hectolítrico, días a la madurez, días al espigamiento y área foliar (variables agronómicas, fenológicas, fisiológicas, rendimiento y calidad). De acuerdo con Tito L y Hidalgo, (2003) para datos biológicos para el cultivo de trigo se consideró un parámetro de 0.4 que indica un grado asociación aceptable.

En el primero de los casos, se destaca una correlación positiva entre el rendimiento y cuatro variables: Altura de planta ($r= 0.41$) indica que a medida que la planta incrementa en altura, es probable que se obtenga un mayor rendimiento lo que representa que una planta más alta puede tener un mayor número de hojas fotosintéticas lo que contribuye a una mayor producción de granos. Número de espigas por metro cuadrado ($r= 0.55$) señala que a mayor número de espigas conduce a una mayor cantidad de granos lo que se traduce a un mayor rendimiento. Número de espiguillas por espiga ($r= 0.39$) quiere decir a más espiguillas que produzca cada espiga, mayor será la cantidad potencial de granos producidos, lo que equivale en un mayor rendimiento que se expresan en productividad. Número de granos por espiga ($r= 0.48$) revela que cuanto más grano produzca cada espiga, mayor será la cantidad de los granos, lo que conduce a un aumento en el rendimiento.

Seguidamente se destaca una correlación negativa y positiva entre el peso hectolítrico y tres variables: Altura de planta ($r= - 0.39$) esta correlación negativa indica que a medida que la altura de la planta aumenta, el peso hectolítrico tiende a disminuir, esto se debe a plantas más altas pueden tener tallos más delgados lo que afecta negativamente en la formación de granos que induce a tener granos chupados o arrugados. Peso de mil granos ($r=0.82$) revela que a medida que el peso hectolítrico aumenta, también se incrementa el peso de mil granos. Días a la maduración ($r=-0.44$) indica que cuando el trigo madura lentamente es probable que el peso hectolítrico sea más bajo.

Posteriormente, se destaca una correlación positiva y negativa entre días a la maduración con tres variables: días a la floración($r=0.43$) expresa que cuando las plantas de trigo tardan más en florecer también tardan en alcanzar la madurez. Días al espigamiento ($r=0.43$) indica que cuando tarda más en llegar a la fase de espigamiento se traduce a

que se atrasa en llegar a la madurez. Peso de mil granos ($r=-0.52$) revela que cuando tardan más en madurar, los granos tienden a ser más livianos para el peso de mil granos. Por último, se destaca una correlación entre días al espigamiento y una variable: días a la floración ($r=1$) la correlación es alta e indica que cuando el trigo florece más temprano, también tiende a espigar más temprano este factor puede deberse a condiciones de genética de las líneas de trigo.

Otra correlación importante que se destaca en relación al rendimiento es la variable área foliar con longitud de espiga ($r=0.42$) indica que a mayor área foliar se traducirá a desarrollar espigas más largas.

Butrón et al., (2016) obtuvieron resultados entre las variables agronómicas, donde indican que la correlación más alta correspondió a altura de planta con número de espigas por metro cuadrado, longitud de espiga, número de granos por espiga, peso de mil granos y rendimiento con $r= 0.536$, $r=0.382$, $r=0.380$, $r=0.519$ y 0.814 $r=0.345$ respectivamente. Las correlaciones positivas de altura de planta, número de espigas por metro cuadrado, longitud de espiga, número de granos por espiga, peso de mil granos, peso hectolítrico con el rendimiento con $r=0.814$, $r= 0.536$, $r=0.382$, $r=0.380$, $r=0.519$, 0.814 y $r=0.345$, estos coeficientes altos y significativos indican que al aumentar las variables mencionadas se traducirá en el incremento del rendimiento en grano.

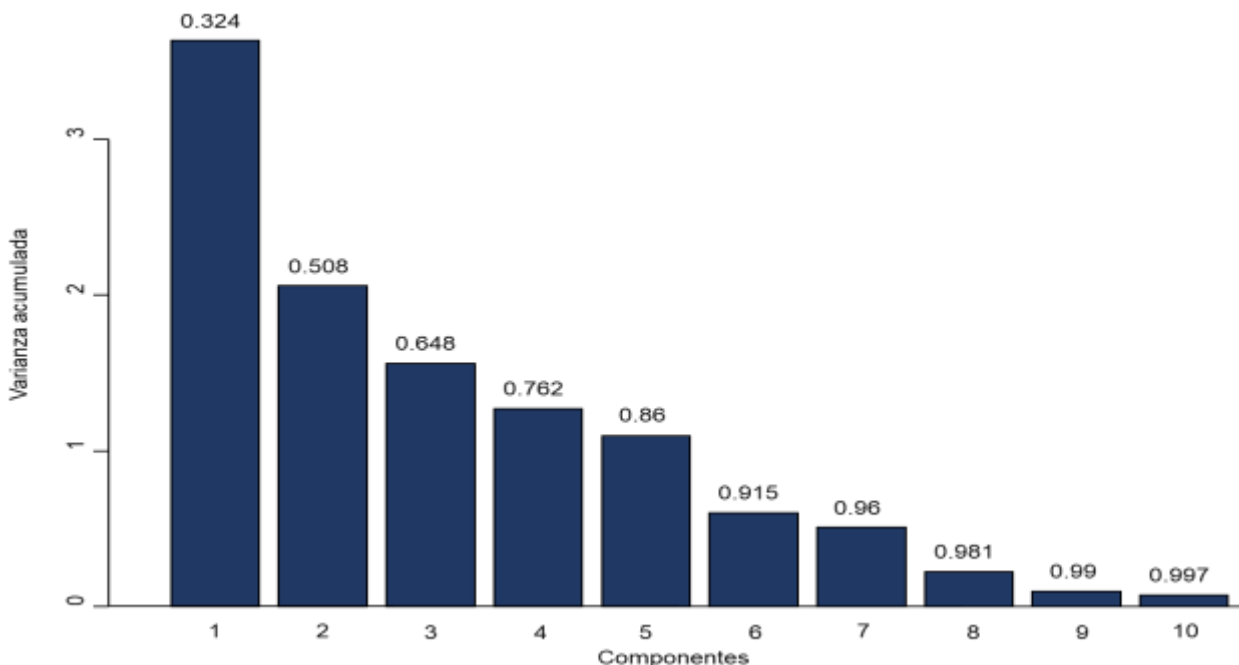
6.4.2. Análisis de componentes principales

De acuerdo a los resultados se presenta un gráfico de sedimentación de los componentes en orden descendente, las primeras varianzas acumuladas de los componentes 1, 2 indican valores de 0.32 a 0.508 que son los más importantes de la varianza total explicada, dado que estos valores me representan un porcentaje del 50.8% de la varianza total ver Figura 39.

Quispe et al., (2016) indica que el gráfico de sedimentación de componentes principales confirma que después de dos componentes, la ganancia de información disminuye notablemente. Esto significa que del tercer al décimo componente la contribución de cada variable a la formación de los componentes es insignificante.

Figura 39.

Gráfico de sedimentación de los componentes principales de acuerdo a varianza acumulada en el estudio para la aptitud productiva de trece líneas elites de trigo harinero (*Triticum aestivum* L.) evaluados en la Estación Experimental Patacamaya gestión agrícola 2022-2023.

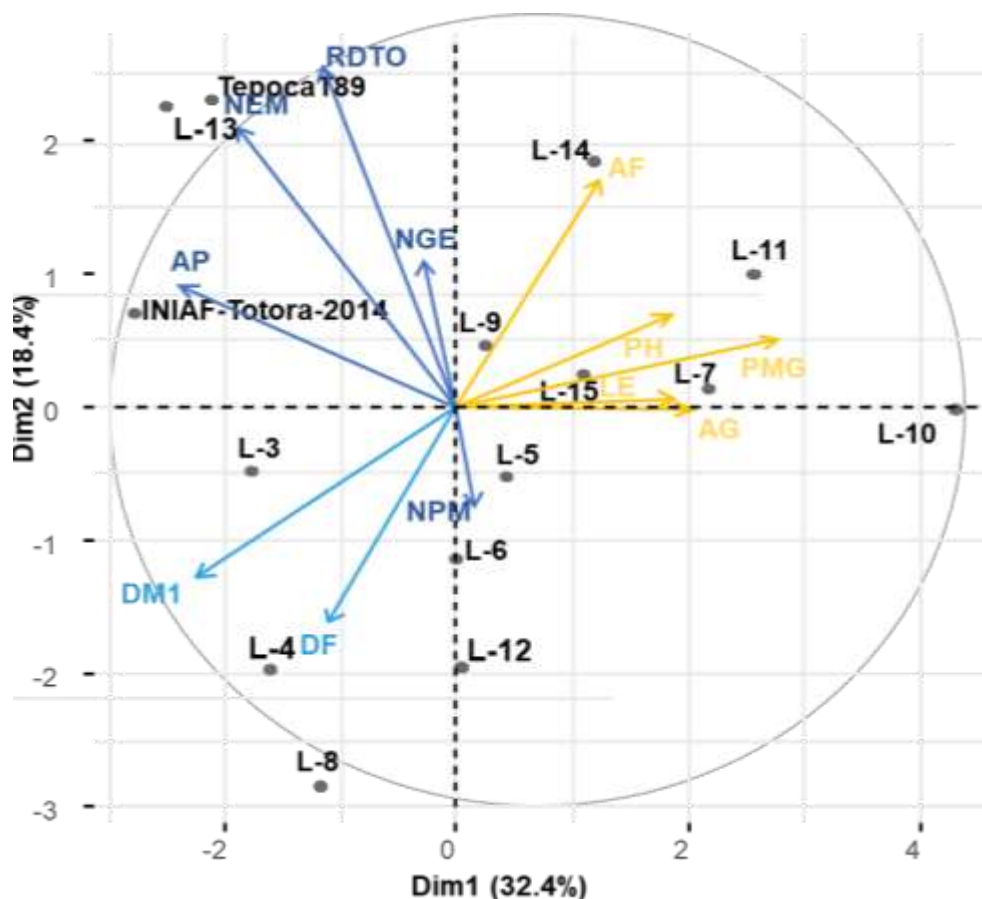


Nota: Elaboración propia.

Este análisis de componentes principales permitió transformar un conjunto de variables expresados en vectores, el primer componente contribuyó con 32.4%, el segundo componente aportó 18.4% de la varianza explicada en el Biplot ambos sumando un total de 50.8% de la varianza total explicada; a partir de las variables se observa una asociación altamente correlacionada, los que más aportan de manera positiva al componente 1 son las variables fisiológicas (área de grano), rendimiento (peso de mil gramos) y agronómicas (longitud de espiga), para el componente dos las que aportan de manera positiva son las variables fenológicas (días a floración, maduración) ver Figura 40.

Figura 40.

Análisis Biplot de los componentes principales para la aptitud productiva de trece líneas elites de trigo harinero (*Triticum aestivum* L.) evaluados en la Estación Experimental Patacamaya gestión agrícola 2022-2023.



Nota: componentes principales entre las variables: NPM=Número de plantas por metro cuadrado, DF= Días a floración, AP=Altura de planta, AF=Área foliar, NEM=Numero de espigas por metro cuadrado, LE=Longitud de espigas, DESP1=Días a espigamiento, NGE=Número de granos por espiga, LA=Longitud de la arista, DM1=Días a la madurez, PMG=Peso de mil granos, PH=Peso hectolítrico, AG=Área de grano, RDTO=Rendimiento.

Según la Figura 40 el análisis de componentes principales identifica variables altamente correlacionadas como ser rendimiento, Numero de espigas por metro cuadrado, altura de planta y número de granos por espiga que conforman un grupo relacionado a

productividad, en estas características destaca un grupo conformado por: L-13, Tepoca T89, INIAF-Totora-2014 con rendimientos de: 2374, 2066, 1969 Kg*ha⁻¹ como los más promisorios. Sin embargo, se puede evidenciar líneas que tienen rendimientos bajos como ser L-10, L-6, L-12, L-5 con rendimientos de: 1197, 1365, 1410, 1557 Kg*ha⁻¹. Las líneas que destacan para las variables fenológicas: DM1, DF, NPM conforman las líneas L-3, L-4, L-12, L-6, como las más tardías con 152, 157, 149, 150, días. También se puede observar genotipos como las líneas L-10, L-11, L-9, L-15, L-14, como las más precoces con 122, 124, 129, 132, 135 días, sin embargo, las líneas para la variable calidad física destacan el PH, que conforman las líneas L-7, L-11, L-15 y L-9 con valores de 61, 62.3, 59.6 y 60.8 Kg*hl⁻¹.

Al respecto Butrón et al., (2016) describe que el análisis de componentes principales de la varianza total que explica los dos primeros componentes de 70.1%, el primero explica 45.2 % y el segundo 24.9 %. La primera, conformada por longitud de grano, longitud de espiga, número de granos por espiga, peso de mil granos, ancho de grano, La segunda compuesta por altura de planta, rendimiento, tipo de grano, forma de corte transversal del grano, forma de grano, peso hectolítrico, número de espigas por metro cuadrado que están relacionados directamente e indirectamente con la productividad. No obstante Quispe et al., (2016) señalan que el análisis multivariado revela que el rendimiento del trigo se relaciona significativamente con el número de granos por espiga y la longitud de la espiga, mencionando que los genotipos prometedores, son las líneas L3098 y L3099, L3021, L3096, L3097, y L3024 con rendimientos de 2979, 2930, 2915, 2879, 2848 y 2789 Kg*ha⁻¹.

Silva et al., (2016) indica que las características más vinculadas de forma positiva con el primer eje, entre ellos se tiene a rendimiento en grano, número de espigas por metro, peso hectolítrico y altura de planta. Las características más relacionadas con el segundo eje y de forma positiva es número de granos por espiga, número de espiguillas por espiga y longitud de espiga. Además del peso de mil granos con tamaño de grano.

A los resultados de Quispe et al. (2016), se enfatizan en las variables de número de granos por espiga y la longitud de la espiga, señalando buenos rendimientos. Por otro lado Silva et al., (2016) menciona que las variables más relacionadas a productividad

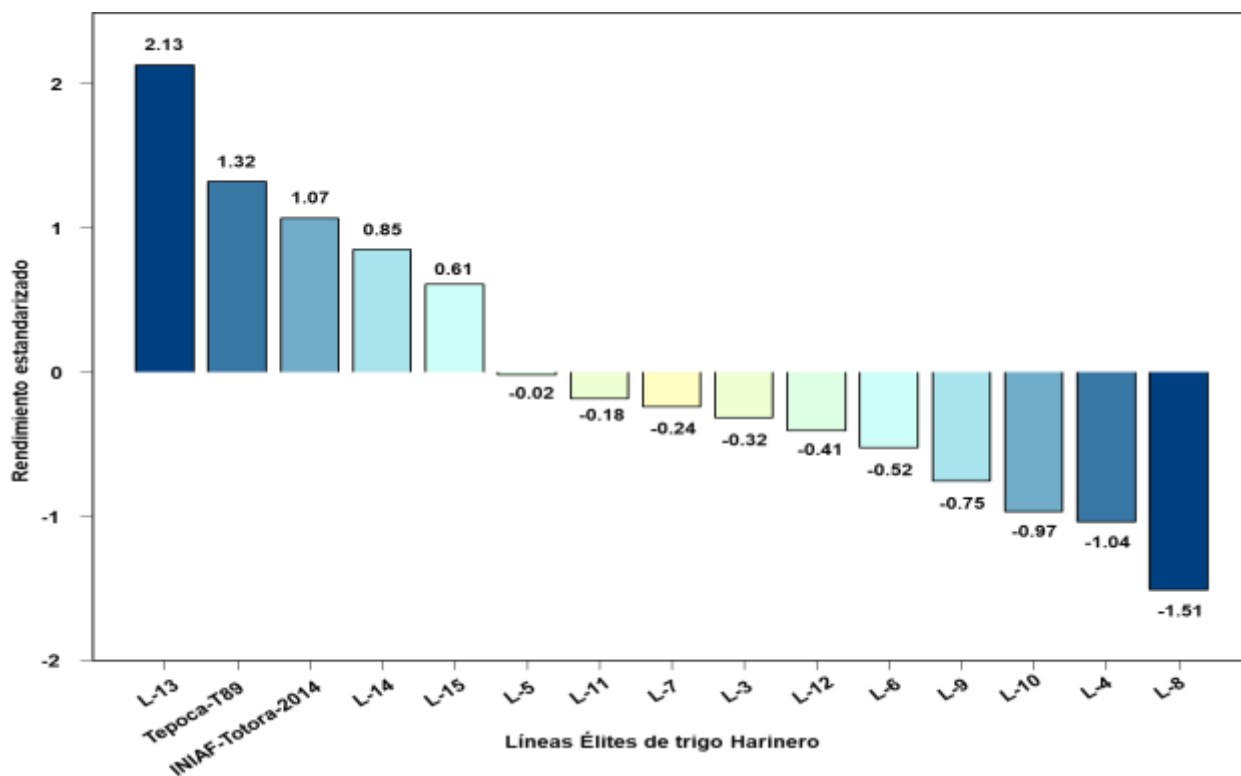
son el primer y segundo eje, por su parte Butrón et al., (2016) indican, el primer y segundo componente están relacionados directamente e indirectamente con la productividad. A comparación de estos resultados las variables obtenidas se destacan el número de granos por espiga, número de espigas por metro cuadrado, altura de planta y rendimiento atribuyendo a la productividad.

6.5. Ranking de rendimiento

El ranking elaborado en base al promedio estandarizado en las trece líneas elites de trigo harinero se observa que la L-13 se destaca por tener rendimientos altos seguida de los testigos Tepoca-T89, INIAF-Totora-2014 y las líneas L-14, L-15. Sin embargo, las líneas: L-5, L-11, L-7, L-3, L-12, L-6, L-9, L-10, L-4 y L-8 tienen rendimientos por debajo de la media general ver Figura 41.

Figura 41.

Rankin de rendimiento para la aptitud productiva de trece líneas elites de trigo harinero (*Triticum aestivum* L.) evaluados en la Estación Experimental Patacamaya gestión agrícola 2022-2023.



Nota: Elaboración propia

Analizando los rendimientos de las líneas se puede presenciar la superioridad de las líneas L-13, L-14, L-15 respecto al promedio registrado en zonas tradicionales que oscila entre 0.7 a 0.9 t*ha⁻¹ reportado por (Marza et al., 2015). en esa misma línea el Instituto Nacional de Estadística INE, (2023) menciona que en los últimos diez años (2013-2022) el rendimiento nacional de trigo oscila en 1.1 t*ha⁻¹.

7. CONCLUSIONES

De acuerdo a los resultados obtenidos bajo los objetivos e hipótesis planteados en el presente trabajo de investigación, se puede concluir lo siguiente:

-Las líneas elites con características agronómicas sobresalientes para el componente de rendimiento bajo condiciones agro meteorológicas del Altiplano Central de Bolivia, en la Estación Experimental Patacamaya muestra un ciclo de vida del cultivo que comprende siete meses de noviembre a mayo y corresponde a resultados conformando por once grupos, para el primer grupo L-13 con 2374 Kg*ha⁻¹ pudiéndose notar que corresponde al rendimiento más alto seguido del segundo, tercero, cuarto, quinto y sexto grupo conformado por Tepoca-T89, INIAF-Totora-2014, L-14, L-15 L-5 con 2066 a 1557 Kg*ha⁻¹ que corresponden a rendimientos intermedios respectivamente. Producto de las bajas temperaturas principalmente en los días 17, 18, 34, 40, 60, 127, 143, 148 a 159 días, y un déficit hídrico traducidos en sequia durante los meses de noviembre, enero, abril causando daños significativos debido a que las plantas se encontraban en las etapas de desarrollo como emergencia, floración y maduración sin embargo a medida que avanzaba el desarrollo del ciclo del cultivo, las temperaturas mejoraban causando un impacto positivo.

-Al identificar correlaciones entre variables agronómicas, fenológicas, fisiológicas de rendimiento y calidad en las trece líneas elites de trigo harinero se observa una correlación múltiple entre cada par de características donde se evidencia 120 coeficientes en el que se consideró correlaciones más importantes con relación al rendimiento como las variables agronómicas, fenológicas, fisiológicas de rendimiento y calidad donde se han identificado relaciones significativas entre variables que influyen en el rendimiento.

-El método de análisis de componentes principales permitió identificar variables que más han contribuido a la productividad; el primer componente formado por las variables: área

de grano, peso de mil gramos, longitud de espiga, peso hectolítrico, área foliar. El segundo componente constituido principalmente por las variables como días a floración y días a maduración. Por lo tanto las variables agronómicas, fenológicas, fisiológicas, de rendimiento y calidad física están fuertemente correlacionadas con: altura de planta, Número de espigas por metro cuadrado, Numero de granos por espiga, peso de mil granos, Días a la maduración, Días a la floración, Días al espigamiento y Longitud de espiga que conforma un grupo relacionado a productividad y destacan los genotipos L-13, Tepoca T89, INIAF-Totora-2014 con variables altamente correlacionadas como ser rendimiento (2374, 2066, 1969 Kg*ha⁻¹), Numero de espigas por metro cuadrado (350, 388, 314 espigas*m⁻²), altura de planta (64, 62.9, 65.7 cm), número de granos por espiga (41.7, 39.3, 45.47 granos por espiga) y rendimientos de 2374, 2066, 1969 Kg*ha⁻¹ como los más promisorios para la región del altiplano central de Bolivia a comparación de los últimos 10 años según el Instituto Nacional de Estadística el rendimiento de trigo oscilo en 0.9 a 1.4 t*ha⁻¹.

Estos resultados obtenidos en la presente investigación como parte de la red nacional de ensayos establecidos en todo el territorio Boliviano desde 2010 hasta 2023 por el Programa Nacional de Trigo (PN-Trigo) dependiente del Instituto Nacional de Innovación Agropecuaria y Forestal (INIAF) se contribuye con un grano de arena al objetivo grande de generar variedades de alto potencial productivo traducidos en rendimiento con una amplia adaptación a las condiciones agro meteorológicas del altiplano central de Bolivia.

8. RECOMENDACIONES

La región del altiplano central de nuestro país presenta desafíos altamente significativos para la agricultura, debido a la presencia de factores adversos como heladas y sequias extremas, así como los efectos del cambio climático.

Es esencial tomar medidas de prevención y adaptación para garantizar la viabilidad de la producción agrícola en esta región, la colaboración entre diferentes actores como: la investigación agrícola, desarrollar estrategias de gestión del agua eficiente (instalación de sistemas de riego, prácticas de riego más efectivos) y la diversificación de variedades elites son clave para abordar desafíos para una agricultura sostenible en el altiplano.

Se aconseja impulsar la investigación continua en las líneas elites de trigo harinero examinados en este estudio, enfocándose en la validación y establecimiento especialmente de las candidatas a variedad de los grupos uno y dos de la figura 35 que poseen características valiosas. Al continuar estos estudios, se contribuye al avance de la biotecnología agrícola, mejorando la producción de variedades y la seguridad alimentaria en un contexto de desafíos ambientales extremos.

Se sugiere realizar estudios sobre las condiciones del suelo en el que se emplaza los ensayos para determinar el déficit de macro nutrientes.

Es importante continuar la investigación en otro ciclo agrícola de los genotipos del cuarto grupo figura 36 siendo que las condiciones sean más favorables, ampliando el análisis para entender mejor su potencial.

Es esencial enfocarse en el manejo y la manipulación del material genético en estudio, ya que seguirá siendo objeto de investigación hasta la obtención de una variedad.

Es fundamental considerar los genotipos estudiados y proporcionarles un cuidado y conservación adecuado del germoplasma que son aptas para la localidad y para garantizar el suministro se debe desarrollar la multiplicación de estas semillas para su posterior distribución en esta región.

9. BIBLIOGRAFÍA

- Acevedo, R., Jaramillo, C., Cabello, M., Larenas, V., González, I., Buccicardi, G., Toro, M., Cobo, N., & Urbina, L. (2011). *MANUAL DE RECOMENDACIONES CULTIVO DE TRIGO*.
https://tallertesis.files.wordpress.com/2014/09/manualtrigo_baja7853253.pdf
- Agroestrategias. (s. f.). *Fertilización en Trigo*. Recuperado 18 de octubre de 2023, de https://www.agroestrategias.com/Fertilizacion_en_Trigo.htm
- Aguirre, L., Minetti, R. N., Oses Palomeque, A., Rista, E. M., & Tognocchi, F. B. (2016). *Delimitación de zonas homogéneas de manejo en base a características del suelo y fertilización diferencial con nitrógeno en trigo (Triticumaestivum L.)*.
<https://rdu.unc.edu.ar/bitstream/handle/11086/4736/Agirre%20y%20otros.%20Delimitaci%C3%B3n%20de%20zonas%20homog%C3%A9neas...%20.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Allen, R. G. (1998). *Guías para la determinación de los requerimientos de agua de los cultivos*. 56, 29-64.
- ANAPO. (2014). TRIGO, UNA OPORTUNIDAD PARA LA SOBERANÍA ALIMENTARIA BOLIVIANA. *Comercio Exterior*, 22(219), 4.
<https://ibce.org.bo/images/publicaciones/ce-219-Trigo-oportunidad-soberania-alimentaria-boliviana.pdf>
- Arteaga, P., & Silva, A. (2015). «*SUSTITUCIÓN PARCIAL DE LA HARINA DE TRIGO (Triticum Aestivum) POR HARINA DE TARWI (Lupinus Mutabillis sweet) Y HARINA DE CASCARA DE MARACUYA (Passiflora Edulis) EN LAS CARACTERÍSTICAS FÍSICOQUÍMICAS Y SENSORIALES DE CUPCAKES*».
<http://repositorio.uns.edu.pe/handle/UNS/1976>
- Borroso, N. (2017). *Influencia varietal y ambiental en las características agronómicas y de calidad del trigo duro (Triticum turgidum L.) Thell. ssp. durum Desf.)*. *Implicaciones en la selección de nuevas variedades*.
<http://dehesa.unex.es/handle/10662/6074>
- Butron, R. (2022, mayo). “*Cultivo de Trigo*”. INSA.
<https://www.insa.gob.bo/images/publicaciones/PRESENTACION%20TRIGO%20INI AF.pdf>
- Butron, R., Maydana, A., & Flores, M. (2022). *GUIA DE IDENTIFICACION DE PLAGAS QUE AFECTAN AL CULTIVO DE TRIGO* (p. 14). Instituto Nacional de Innovación Agropecuaria y Forestal – INIAF. www.iniaf.gob.bo
- Butrón, R., Michma, R., Silva, E., & Siñani, O. (2016). *Características de Grano Relacionados con Rendimiento de Trigo*.

- Cabello Cornejo, M. J., Lobos Prats, G. A., & Estrada Bravo, F. R. (2019). *Caracterización morfo-anatómica de la hoja bandera de distintos genotipos de trigo (Triticum aestivum L.)*. 40.
<http://dspace.utalca.cl/bitstream/1950/11785/6/20190037.pdf>
- Campuzano, L., Molina, J., Rajaram, S., & Ginkel, M. (1997). CLIMA, FENOLOGIA Y SU RELACION CON EL RENDIMIENTO DE TRIGO (*Triticum aestivum* L.) EN TRES AMBIENTES DE SELECCIÓN. *Revista de Ciencias Agrícolas*, 53.
- Carrasco, N., Báez, A., & Belmonte, M. L. (2009). *Trigo. Manual de campo*.
http://www.etpcba.com.ar/DocumentosDconsulta/Produccion%20Agropecuaria/Manual_Trigo_RIAN.pdf
- Cascon, J. (1920). *El Trigo Agricultura Española*.
https://www.mapa.gob.es/ministerio/pags/biblioteca/fondo/pdf/42063_7.pdf
- Castro, E., & Mejia, J. (2022). DISEÑO DE UNA MÁQUINA PORTÁTIL TRILLADORA-VENTEADORA DE CEBADA PARA EL CENTRO POBLADO DE CABRACANCHA-CHOTA-CAJAMARCA. *ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA MECÁNICA ELÉCTRICA*.
- CENDA. (2019). *¿Cómo se hace el biol y qué se necesita? experiencia de la organización de mujeres*. <https://cenda.org/secciones/seguridad-y-soberania-alimentaria/item/675-como-se-hace-el-biol-y-que-se-necesita-experiencia-de-la-organizacion-de-mujeres>
- CONACYT. (2019). *Trigo*. CIBIOGEM. <https://conacyt.mx/cibiogem/trigo>
- Condori Guillermina, N. (2005). *Adaptación de 15 variedades de trigo (Triticum aestivum L.) en los valles interandinos de las provincias Camacho, Bautista Saavedra y Muñecas de La Paz [UMSA]*.
<http://repositorio.umsa.bo/xmlui/handle/123456789/6015>
- Desarrollo histórico del trigo*. (2023). <https://www.yara.bo/nutricion-vegetal/trigo/desarrollo-historico-del-trigo/>
- Donley, A. (2023, junio 2). *La FAO proyecta un rendimiento mundial récord del trigo | Grano mundial*. FAO. <https://www.world-grain.com/articles/18067-fao-projects-record-global-wheat-outturn>
- Estrada, D., Martínez, J., Iglesias, L., & Paz, E. (2014). Caracterización agronómica y económica del Trigo (*Triticum aestivum*) variedad Jupateco, en la comunidad La Colmena, Jinotega, Nicaragua.
Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua León, 10.
https://www.researchgate.net/profile/David-Estrada-Santana/publication/303312567_Caracterizacion_agronomica_y_economica_del_Trigo_Triticum_aestivum_variedad_Jupateco_en_la_comunidad_La_Colmena_Jinotega_Nicaragua/links/573c7fb508ae298602e587a6/Caracterizacion-agronomica-y-

economica-del-Trigo-Triticum-aestivum-variedad-Jupateco-en-la-comunidad-La-Colmena-Jinotega-Nicaragua.pdf

Ezequiel, A., López, A., Byron, B., & González Ramírez, H. (2016). *DISEÑO Y ANÁLISIS DE EXPERIMENTOS FUNDAMENTOS Y APLICACIONES EN AGRONOMÍA* (2ª Edición).

Flores, F., & Balbi, E. (s. f.). Plagas del trigo y su manejo. *Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria*. Recuperado 30 de octubre de 2022, de https://inta.gov.ar/sites/default/files/script-tmp-inta_mj_plagatrigo13.pdf

Fullana Belda, C., & Grande, E. U. (s. f.). *LOS MODELOS DE SIMULACIÓN: UNA HERRAMIENTA MULTIDISCIPLINAR DE INVESTIGACIÓN*.

Galarza Tenesaca, E. R. (2023). *Evaluación del comportamiento agronómico de dieciocho variedades mejoradas de trigo (Triticum aestivum L.) liberadas por el INIAP en el Campus Querochaca, Cevallos*. <https://repositorio.uta.edu.ec:8443/jspui/handle/123456789/38376>

Garofalo, J., Ponce, L., & Segundo, A. (2011). Guía del Cultivo de trigo. *INIAP - Ecuador, Boletín Divulgativo*(No. 411.), 14. <https://repositorio.iniap.gob.ec/bitstream/41000/381/4/iniapscbd411.pdf>

Gómez-Espejo, A. L., Sansaloni, C. P., Burgueño, J., Toledo, F. H., Benavides-Mendoza, A., & Reyes-Valdés, M. H. (2022). Worldwide Selection Footprints for Drought and Heat in Bread Wheat (*Triticum aestivum* L.). *Plants*, 11(17), 2289. <https://doi.org/10.3390/PLANTS11172289/S1>

Google Earth. (2022). https://earth.google.com/web/search/Estaci%c3%b3n+Experimental+Patacamaya,+Estaci%c3%b3n+experimental,+Patacamaya/@-17.26355164,-67.94596676,3791.44287309a,366.21965196d,35y,-141.10112686h,44.99595023t,0r/data=CigiJgokCYhVCpW-hDRAEYZVCpW-hDTAGVcZwc5fEPe_IR8Snk-251nA

Guía. (2023). *Cómo crear un diagrama de flujo para experimentos*. <https://experimentosfacil.com/guia/diagrama-de-flujo-para-experimentos/>

Hall, A. J. (1979). Los componentes fisiológicos del rendimiento de los cultivos. *Rev. Facultad de Agronomía*, 1(1), 73-86. <http://sedici.unlp.edu.ar/handle/10915/29262>

Huallpa, R. (2016). *Comportamiento agronomico de 11 lineas de trigo harinero (Triticum aestivum L.) con la complementacion de biol y riego por goteo en la Estacion Experimental Choquenaira, Viacha - La Paz [UMSA]*. <http://repositorio.umsa.bo/xmlui/handle/123456789/10510>

Imwinkelried, J. M., Fava, F., & Trumper, E. (2009). DISTINTAS ESPECIES DE PULGONES EN TRIGO Y SU CONTROL. *INFOINTA*. www.produccion-animal.com.ar

- INE. (2023). *Agricultura-INE. PRODUCCIÓN CAMPAÑA AGRÍCOLA DE VERANO, CULTIVO DE TRIGO. 2013-2022*. <https://www.ine.gob.bo/index.php/estadisticas-economicas/agropecuaria/agricultura-cuadros-estadisticos/>
- InfoAgro. (2014). *Agricultura. El cultivo del trigo. 2ª parte*. InfoAgro.com. <https://infoagro.com/herbaceos/cereales/trigo2.htm>
- InsuAgro. (s. f.). *METSULFURON METIL*. Recuperado 19 de octubre de 2023, de <https://www.insuagro.com.ar/images/pdf/productos/metsulfuron-metil.pdf>
- Intagri. (2016). *El Momento Oportuno para el Control del Gusano Cogollero*. <https://www.intagri.com/articulos/fitosanidad/el-momento-oportuno-para-el-control-del-gusano-cogollero>
- Jara Valenzuela, J. (1993). *Cultivo de trigo en la sierra del Peru*.
- Juárez, J. (2011). *COMPORTAMIENTO AGRONÓMICO DE TRES VARIEDADES DE TRIGO (*Triticum aestivum* L.) BAJO TRES DENSIDADES DE SIEMBRA EN ZONA DE CABECERA DE VALLE DEL DEPARTAMENTO DE LA PAZ*. En 2011. UMSA.
- kenmore, P., & Valverde, B. (s. f.). *Recomendaciones para el manejo de malezas*. Recuperado 17 de octubre de 2023, de <https://www.fao.org/3/a0884s/a0884s.pdf>
- Kunkulberga, D., Linina, A., & Ruza, A. (2019). *Effect of nitrogen fertilization on protein content and rheological properties of winter wheat wholemeal*. 88-92. <https://doi.org/10.22616/FOODBALT.2019.026>
- Limachi, J. (2022). *EVALUACIÓN DEL RENDIMIENTO DE ECOTIPOS DE TRIGO (*Triticum spp*) EN LOS VALLES INTERANDINOS DE CHARAZANI, PROVINCIA BAUTISTA SAAVEDRA*. <https://repositorio.umsa.bo/bitstream/handle/123456789/31075/T-3093.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- 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 [UMSA]*. <https://repositorio.umsa.bo/bitstream/handle/123456789/13288/TD-2418.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Maciej Serda, Becker, F. G., Cleary, M., Team, R. M., Holtermann, H., The, D., Agenda, N., Science, P., Sk, S. K., Hinnebusch, R., Hinnebusch A, R., Rabinovich, I., Olmert, Y., Uld, D. Q. G. L. Q., Ri, W. K. H. U., Lq, V., Frxqwu, W. K. H., Zklfk, E., Edvhg, L. V, ... (2013). *فاطمى, ح. Synteza i aktywność biologiczna nowych analogów tiosemikarbazonowych chelatorów żelaza. Uniwersytet śląski, 7(1), 343-354*. <https://doi.org/10.2/JQUERY.MIN.JS>
- Magra, G., Senn, J., & Martin, R. (2005). *Evaluación del daño provocado por heladas tardías en Trigo*. Facultad de Ciencias Agrarias. <https://fcagr.unr.edu.ar/Extension/Agromensajes/17/15AM17.htm>

- Mamani Villegas, M. I. (2017). *Evaluación de métodos de fertilización nitrogenada en la producción de trigo (Triticum aestivum L.) bajo siembra directa en la zona de Okinawa 2 - Santa Cruz [UMSA]*.
<http://repositorio.umsa.bo/xmlui/handle/123456789/12915>
- Manangón, P. (2014). *EVALUACIÓN DE SIETE VARIEDADES DE TRIGO (Triticum aestivum L.) CON TRES TIPOS DE MANEJO NUTRICIONAL, A 2890 m.s.n.m. JUAN MONTALVO-CAYAMBE-2012*.
<https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/6717/1/UPS-YT00040.pdf>
- Maquera, B. (2021). *Evaluación del rendimiento de tres genotipos mutantes de trigo (Triticum aestivum L.) provenientes de semilla irradiada con rayos gamma Co-60 de la generación m5*.
- Mariscal-Amaro, L. A., Villaseñor-Mir, H. E., Solís-Moya, E., Hortelano-Santa Rosa, R., Martínez-Cruz, E., Mariscal-Amaro, L. A., Villaseñor-Mir, H. E., Solís-Moya, E., Hortelano-Santa Rosa, R., & Martínez-Cruz, E. (2020). Efecto de fungicidas sobre caracteres agronómicos, rendimiento y tizones foliares en trigo de temporal en México. *Revista fitotecnia mexicana*, 43(1), 71-78.
<https://doi.org/10.35196/RFM.2020.1.71>
- Martinez, M. (1976). Diferentes alternativas en la preparación de suelos para trigo. *Investigación y Progreso Agrícola*, 8.
- Marza, F., Butrón, R., Quispe, F., Gutierrez, 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.
http://revistasbolivianas.umsa.bo/scielo.php?script=sci_arttext&pid=&lng=es&nrm=i&so&tlng=
- Marza, F., Quispe, F., Butron, R., Canelas, J., Huallpa, B., Tenorio, J., Gutierrez, G., & Villegas, R. (2017). Utilización de germoplasma de trigo del CIMMYT en el INIAF. *Instituto Nacional de Innovación Agropecuaria y Forestal - INIAF*, 1-6.
http://www.revistasbolivianas.ciencia.bo/pdf/rciii/v1n3/v1n3_a07.pdf
- Mendoza, M., & Chuquicahua, M. (2018). *EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DE 41 LÍNEAS GENÉTICAS Y UN TESTIGO DE TRIGO (Triticum aestivum L.) EN EL DISTRITO DE CUTERVO - REGIÓN CAJAMARCA [Facultad de Agronomía UNPRG]*. <https://repositorio.unprg.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12893/2885/BC-TES-TMP-1706.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- meteoblue. (2022). *Previsión 14-días Patacamaya Municipality - meteoblue*.
https://www.meteoblue.com/es/tiempo/14-dias/patacamaya-municipality_bolivia_10400636
- Miller, T. D. (2000). *Estadios de crecimiento del cultivo de trigo. La identificación y su entendimiento para un mejor manejo de los cultivos*.

- Miralles, D. J., & Slafer, G. A. (2007). Paper Presented at International Workshop on Increasing Wheat Yield Potential, CIMMYT, Obregon, Mexico, 20-24 March 2006. Sink limitations to yield in wheat: How could it be reduced? *Journal of Agricultural Science*, 145(2), 139-149. <https://doi.org/10.1017/S0021859607006752>
- Mollericono Porfirio, H. (2013). *Efecto de la fertilización nitrogenada y foliar en el cultivo de trigo (Triticum aestivum L.) en la localidaad de Okinawa dos (Cetabol) Santa Cruz de la Sierra Bolivia [UMSA]*. <https://repositorio.umsa.bo/handle/123456789/4028>
- Nasa. (2023). *PODER | DAVe*. <https://power.larc.nasa.gov/beta/data-access-viewer/>
- Obreque, F. (2016). *Programa nacional de investigación en trigo en Bolivia: una historia de éxito de investigación colaborativa*. <https://blogs.worldbank.org/es/latinamerica/programa-nacional-de-investigaci-n-en-trigo-en-bolivia-una-historia-de-xito-de-investigaci-n>
- Paucara, K. (2018). *Evaluación de dos variedades de trigo (Triticum aestivum L.) para la producción de semilla en tres municipios de la provincia Vallegrande-Santa Cruz*. 4, 1.
- Pereira, L. S., de Juan V, J. A., Picornell Buendía, M. R., & Martín-Benito, J. M. T. (2010). *EL RIEGO Y SUS TECNOLOGÍAS* (Vol. 1). Europa-América. crea.uclm.es
- Pistoni, L. (2020). *Cultivo-de-Trigo*. 9.
- Priale, C. (2016). MUESTREO DE SUELOS. En *Instituto Nacional de Innovación Agraria*. Instituto Nacional de Innovación Agraria - INIA. <https://repositorio.inia.gob.pe/handle/20.500.12955/286>
- Quispe Choque, G. (2016). *ADAPTABILIDAD Y ESTABILIDAD FENOTÍPICA DE 50 GENOTIPOS DE TRIGO HARINERO (Triticum aestivum L.) EN CUATRO LOCALIDADES TRIGUERAS DE COCHABAMBA*.
- Quispe, F., Marza, F., Butrón, R., & Gutiérrez, I. (2016). *Evaluación Preliminar de 138 Genotipos de Trigo Harinero con Aptitud para Zonas Semiáridas*. 1, 44-45.
- Quispe, G., Butron, R., Marza, F., Quispe, F., Huallpa, B., Gutiérrez, G., & Huallpa, B. (2016). *Identificación de Genotipos de Trigo para Zonas Semiáridas del Área Tradicional de Bo*. 1(0000-000X), 1.
- Rahman, M. S., J. H, W., & Y, A. (1997). *Determination of spikelet number in wheat. II. * Effect of varying light level on ear development |*. School of Agriculture and Forestry, University of Melbourne. <https://doi.org/DOI: 10.1071/AR9770575>
- Ramirez, A., & Moreno, I. (2001). EFECTOS DE LA TECNOLOGÍA DE SIEMBRASOBRE EL CULTIVO DEL TRIGO (*Triticum aestivum L.*)EN CONDICIONES TROPICALES. 22, 22, 15-16. <https://ediciones.inca.edu.cu/index.php/ediciones/article/view/697/pdf>

- Rodríguez s, N., Montenegro B, A., & Campillo R, R. (2001). FERTILIZACION EFICIENTE DEL TRIGO PARA LOGRAR ALTAS PRODUCCIONES. , 36-37. <https://biblioteca.inia.cl/bitstream/handle/20.500.14001/5846/NR26955.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Ruiz Diaz, T. (2018). *TERAPEUTICA VEGETAL Y MANEJO INTEGRADO DE PLAGAS*.
- SAGARPA. (s. f.). EL CULTIVO DE TRIGO. En *Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación*. Recuperado 12 de septiembre de 2022, de <http://www.oeidrus-bc.gob.mx/sispro/trigobc/Descargas/EICultivoTrigo.pdf>
- Saluso, A. (2023). *Monitoreo de pulgones en el cultivo de trigo*. Issuu. https://issuu.com/aapresid/docs/185_baja/s/16267262
- Sauceda Acosta, C. P., Villaseñor Mir, H. E., Lugo García, G. A., Partida Ruvalcaba, L., González Hernández, V. A., Reyes Olivas, Á., Sauceda Acosta, C. P., Villaseñor Mir, H. E., Lugo García, G. A., Partida Ruvalcaba, L., González Hernández, V. A., & Reyes Olivas, Á. (2017). Tamaño y número de granos de trigo analizados mediante procesamiento de imagen digital. *Revista mexicana de ciencias agrícolas*, 8(3), 517-529. <https://doi.org/10.29312/REMEXCA.V8I3.28>
- Silva, E., Michma, R., Marza, F., Butrón, R., & Quispe, F. (2016). *Ensayo Comparativo de Rendimiento de Diez Variedades de Trigo en Condiciones de Altiplano Central de Bolivia*.
- Solis Rosas Diaz, L. F., Tejada Soraluz, J., Jiménez Dávalo, J., Solis Rosas Diaz, L. F., Tejada Soraluz, J., & Jiménez Dávalo, J. (2021). Rendimiento del trigo cv. 'centenario' bajo diferentes densidades de siembra en un sistema de riego presurizado. *Alfa Revista de Investigación en Ciencias Agronómicas y Veterinaria*, 5(14), 204-217. <https://doi.org/10.33996/REVISTAALFA.V5I14.111>
- Tito L, F., & Hidalgo, R. (2003). *Análisis Estadístico de Datos de Caracterización Morfológica de Recursos*. https://books.google.com.bo/books?hl=es&lr=&id=B55X-G3WiuGC&oi=fnd&pg=PA1&ots=i57wrQIGTy&sig=7O0FAaRpCmlWhQUe369Jv967J2k&redir_esc=y#v=onepage&q&f=false
- Todea, D. A. (2022). *EVALUACIÓN DE FITOTOXICIDAD EN TRIGO DE MEZCLAS DE TANQUE DE HERBICIDAS E INSECTICIDAS* [Universidad Nacional de Lujan]. <http://ri.unlu.edu.ar/xmlui/handle/rediunlu/1082>
- TodoAgro. (2011). *El "pulgón amarillo de los cereales" en trigo*. TodoAgro.com.ar. <https://www.todoagro.com.ar/el-pulgón-amarillo-de-los-cereales-en-trigo/>
- Tola, C. J. (2017). *EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO AGRONÓMICO DE DOCE VARIETADES DE TRIGO (Triticum aestivum L.) EN EL MUNICIPIO DE COMBAYA DE LA PROVINCIA LARECAJA DEL DEPARTAMENTO DE LA PAZ [UMSA]*. <https://repositorio.umsa.bo/bitstream/handle/123456789/13128/T-2404.pdf?sequence=1>

- Tola Quispe, C. J. (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* [UMSA].
<http://repositorio.umsa.bo/xmlui/handle/123456789/13128>
- TRAXCO. (2017, enero 18). *Cultivo de trigo - Indicaciones para mejorar su rendimiento*. TRAXCO. <https://www.traxco.es/blog/produccion-agricola/cultivo-de-trigo>
- Valdivia Guarachi, E. O. (2017). *Evaluación del comportamiento agronómico de once líneas elites de trigo (Triticum aestivum L.) en el municipio de Combaya de la provincia Larecaja del departamento de La Paz* [UMSA].
<http://repositorio.umsa.bo/xmlui/handle/123456789/13129>
- Vargas-Rodríguez, Y. M., Obaya Valdivia, A., Lima Vargas, S., Hernández Escamilla, A., Miranda Ruvalcaba, R., & Vargas Rodríguez, G. I. (2016). El diagrama de flujo como semáforo de seguridad ecológica de los experimentos de laboratorio. *Educación Química*, 27(1), 30-36. <https://doi.org/10.1016/J.EQ.2015.04.013>
- Venske, E., Dos Santos, R. S., Busanello, C., Gustafson, P., & Costa de Oliveira, A. (2019). Bread wheat: a role model for plant domestication and breeding. *Hereditas* 2019 156:1, 156(1), 1-11. <https://doi.org/10.1186/S41065-019-0093-9>
- Villaseñor Mir, H. E., Huerta Espino, J., Solís Moya, E., Rodríguez García, M. F., Martínez Cruz, E., & Espitia Rangel, E. (2021, junio 1). Mejoramiento genético en trigo realizado por el INIFAP desde 1985 a 2020. *INIFAP, Mexico-1 Campo Experimental Valle de México*.
<https://cienciasagricolas.inifap.gob.mx/index.php/agricolas/article/view/2809/4546>
- Wegulo, & Byamukama. (2012). FICHA TÉCNICA Roya de la hoja (*Puccinia triticina*). DIRECCIÓN GENERAL DE SANIDAD VEGETAL DIRECCIÓN DEL CENTRO NACIONAL DE REFERENCIA FITOSANITARIA.
- Yapu, W. (2014). *ADAPTABILIDAD DE 21 LÍNEAS AVANZADAS PRECOCES DE TRIGO HARINERO (Triticum aestivum L.) EN LA ESTACIÓN EXPERIMENTAL DE KALLUTACA*.
- Yara Bolivia. (2022). *Clasificación de trigo*. YARA Knowledge grows.
<https://www.yara.bo/nutricion-vegetal/trigo/clasificacion-de-trigo/>
- Zegers M, G., Cárcamo G, J., Águila M, K., & McLeod B, C. (s. f.). *Elaboración y usos del BIOL un abono natural en la agricultura sostenible*. PortalFruticola.com. Recuperado 26 de diciembre de 2023, de <https://www.portalfruticola.com/noticias/2021/09/29/elaboracion-y-usos-del-biol-un-abono-natural-en-la-agricultura-sostenible/>

10. ANEXO

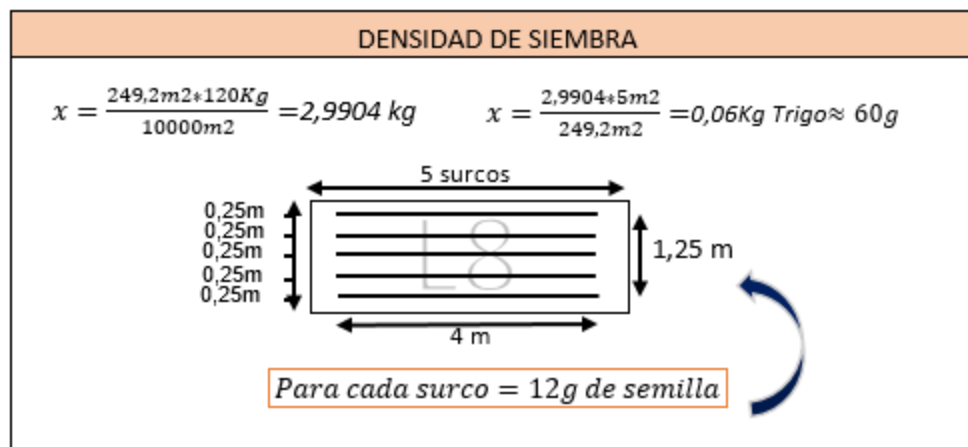
Anexo 1.

Cruza e historial de selección de las trece líneas elites de trigo harinero, en la Estación Experimental Patacamaya

n	Cruza	Historial de selección	Origen
1	Tepoca-T89		PROTRIGO
2	INIAF-Totora-2014		INIAF
3	KENYA SUNBIRD/2*KACHU	CMSS08B00771T-099TOPY-099	1 SBEGT
4	KIRITATI/HUW234+LR34/PRINIA	CMSS08B00737T-099TOPY-099	1 SBEGT
5	KACHU#	CMSS97M03912T-040Y-020Y-03	1 SBEGT
6	SUP152/3/TRCH/SRTU//KACHU	CMSS10Y00052S-099Y-099M-09	1 SBEGT
7	KSW/SAUAL//SAUAL/3/BORL14	CMSS11B00123S-099M-099NJ-0	1 SBEGT
8	DBW 88		2WBEG
9	MILAN//SRMA/TUI/3/PRL/2*PAST	CMSA02Y00697T-040M-040PDY	2WBEG
10	WAXWING/KIRITATI//KACHU	CMSS05800461S-099Y-099M-09	2WBEG
11	UP2338*2/KKTS*2//YANAC*2/3W	CMSS11Y01139T-099TOPM-099	9 HLBSN
12	KACHU/SAUAL*2//COPIO	CMSS11Y00827T-099TOPM-099	50 IBWSN
13	KFA/5REH/HARE//2*BCN/3/CRO	CMSS11Y01221T-099TOPM-099	50 IBWSN
14	SAUAL/MUTUS/3/ATTILA*2/PBW	CMSS11B00651T-099TOPY-099	50 IBWSN
15	NADI//COPIO//NADI	CMSS11B00910T-099TOPY-099	50 IBWSN

Anexo 2.

Cálculo de la cantidad de semilla para cada unidad experimental



Nota: Densidad de siembra 120 Kg*ha⁻¹

Anexo 3.

Procedimientos de calibración y dosificación para el control efectivo de malezas

PRODUCTO METSULFURON METIL	4) Cantidad total del herbicida
Recomendada: 8-10 g*ha ⁻¹ Momento de aplicación: 50-60% Cobertura	$\frac{8 \text{ g} \cdot \text{ha} \cdot 249,2 \text{ ha}}{10000} = 0,199 \text{ g}$
1) Gasto de agua de la mochila	$\frac{9 \text{ g} \cdot \text{ha} \cdot 249,2 \text{ ha}}{10000} = 0,224 \text{ g}$
Medir 100 m ² Cargar en mochila 10 lts de agua Empezar el recorrido sobre la superficie Medir la cantidad gastada Realizar la actividad 2 veces	$\frac{10 \text{ g} \cdot \text{ha} \cdot 249,2 \text{ ha}}{10000} = 0,249 \text{ g}$
$\frac{7,5+8+9+9+8+7,5}{6} = 8,1 \text{ lt}$	5) Calculo de la cantidad de herbicida por mochila
2) Calculo de la cantidad total de agua	$\frac{0,199}{1,00} = 0,199 \text{ g/mochila 1ra. Aplic}$
$\frac{8,1 \cdot 249,2}{100} = 20,1 \text{ lt}$	$\frac{0,224}{1,00} = 0,224 \text{ g/mochila 2da. Aplic}$
3) Calculo del número de mochilas	$\frac{0,249}{1,00} = 0,249 \text{ g/mochila 3ra. Aplic}$
$\frac{20,1 \text{ lt}}{20 \text{ lt}} = 1,00 (\text{mochilas})$	Total Aplic = 0,673 ≈ 0,7 gramos

Nota: Elaboración propia

Anexo 4.

Cuadro de precipitaciones y temperaturas mensuales durante los últimos diez años (2013-2022) en la Estación Experimental Patacamaya.

Mes	Tmax	Tmin	Tmed	Pre_med
Enero	19,609	-0,64	9,4845	112,611
Febrero	19,147	-0,427	9,36	93,563
Marzo	18,561	-2,001	8,28	64,14
Abril	18,239	-5,016	6,6115	28,969
Mayo	17,365	-6,732	5,3165	11,579
Junio	15,968	-6,9	4,534	8,857
Julio	16,549	-7,018	4,7655	5,863
Agosto	17,592	-7,06	5,266	8,95
Septiembre	19,517	-5,67	6,9235	20,968
Octubre	20,47	-4,013	8,2285	39,139
Noviembre	21,643	-2,91	9,3665	25,665
Diciembre	21,119	-1,045	10,037	98,83
Anual	21,928	-7,771	7,0785	519,138

Nota: Elaboración propia en base a la localización: Latitud -17.24, Longitud -67.91 a partir de (Nasa, 2023)

Anexo 5.

Caculo del balance hídrico para el cultivo de trigo

PROGRAMACIÓN DE RIEGO POR EL MÉTODO DE BALANCE HÍDRICO							
PRECIPITACIÓN MEDIA (mm)							
MES	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr	May
	0,7	1,58	2,15	3,23	2,2	0,71	1,03
PRECIPITACIÓN EFECTIVA MÉTODO USDA SC (mm/mes) (Pe)							
	0,70	1,58	2,14	3,21	2,19	0,71	1,03
ETO (mm/día)							
MES	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr	May
	1,49	0,75	0,42	0,52	0,86	1,83	2,61
COEFICIENTE DE CULTIVO (Kc)							
TRIGO	0,4	0,4	1,15	1,15	0,25	0,25	0,0001
NÚMERO DE DÍAS MES (N)							
MES	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr	May
	22	31	31	28	31	30	9
ETC =ETO*Kc*N(mm/mes)							
	13,11	9,30	14,97	16,74	6,67	13,73	0,00
REQUERIMIENTO NETO DE RIEGO Ln (mm)=ETc-Pe							
MES	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr	May
	12,41	7,72	12,83	13,53	4,47	13,02	-1,03
REQUERIMIENTO DE RIEGO PARA 249,2 m2							
MES	0,31	0,19	0,32	0,34	0,11	0,32	-0,03
CÁLCULO DEL VOLUMEN NETO DE RIEGO(m3/mes) Vn=Ln*10*sup(ha)							
MES	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr	May
	3,0	1,92	3,20	3,37	1,11	3,24	-0,26
CÁLCULO DEL VOLUMEN BRUTO DE RIEGO (m3/mes) vb=vn/er er=55%							
MES	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr	May
	5,62	3,50	5,81	6,13	2,03	5,90	-0,46
TOTAL				28,5269	m3/ciclo		
ESTIMACIÓN DEL CONSUMO HÍDRICO A LO LARGO DEL CICLO PARA 249.2 m2							
CÁLCULO RIEGO		mm/ha	m3/parcela				
Demanda de agua		800,00	199,36				
Oferta de agua		114,47	28,53				
Déficit de agua		685,53	170,83				

Nota: El cálculo del coeficiente de cultivo utiliza datos del autor Allen. (s. f.), Mientras que la Precipitación Media Y la Evapotranspiración de referencia (ETo) gestión 2021-2022 se basan en información proporcionada por el municipio de Patacamaya con referencia a meteoblue (2022).

Anexo 6.

Cuadro de precipitaciones y temperaturas mensuales durante el ciclo del cultivo en la Estación Experimental Patacamaya, durante la gestión agrícola 2022-2023.

Meses	Tmax(°C)	Tmed(°C)	Tmin(°C)	Pacum(mm)
Noviembre	24,94	11,29	-1,68	17,36
Diciembre	24,68	10,7	-4,35	234,78
Enero	23,38	10,74	-3,5	0,7
Febrero	23,17	10,42	0,93	119,84
Marzo	24,39	10,8	-0,11	183,96
Abril	22,83	9,72	-5,05	23,66
Mayo	22,89	8,76	-2,63	38,92
Ciclo	24,94	10,45	-5,05	619,22

Nota: Elaboración propia en base a un dispositivo llamado pachasol, Tmax: Temperatura máxima

Tmed: Temperatura media, Tmin: Temperatura mínima, Pacum: Precipitación acumulada

Anexo 7.

Resultados del Análisis físico químico del suelo



UNIVERSIDAD MAYOR DE SAN ANDRÉS
FACULTAD DE AGRONOMÍA
CARRERA DE INGENIERÍA AGRONÓMICA
LABORATORIO DE LA FACULTAD DE AGRONOMÍA
EN SUELOS Y AGUAS (LAFASA)



RES: FAC.AGRO.LAB. N°251

ANÁLISIS FÍSICO QUÍMICO DE SUELOS

INTERESADO: Rodrigo Grover Mamani Vargas
SOLICITUD: LAF 251_22
FECHA DE ENTREGA: 18/10/2022
PROCEDENCIA: Departamento La Paz
Municipio Patacamaya
Estación Experimental de Patacamaya

PARAMETRO	UNIDAD	RESULTADO	MÉTODO
Densidad Aparente	g/cm ³	1,379	Probeta
pH en H ₂ O relación 1:5	-	6,52	Potenciometría
Conductividad eléctrica en agua 1:5	mmhos/cm	0,10	Potenciometría
Calcio intercambiable	mg/100g S.	10,51	Acetato de amonio 1N (Espectrofotómetro de absorción atómica)
Magnesio intercambiable	mg/100g S.	3,10	Acetato de amonio 1N (Espectrofotómetro de absorción atómica)
Potasio intercambiable	mg/100g S.	1,08	Acetato de amonio 1N (Espectrofotómetro de emisión atómica)
Nitrógeno total	%	0,24	Kjeldahl
Materia orgánica	%	2,14	Walkley y Black
Carbono Orgánico	%	1,24	Walkley y Black
Fósforo disponible	ppm	30,40	Espectrofotometría UV-Visible


Ph.D. Roberto Miranda Casas
LABORATORIO DE SUELOS



Dirección: Av. Landaeta esq. Héroes del Acre N.º 1850.
 Telf. IAREN: 2484647 - 74016356 - 73075326 • E-mail: lafasa.suelos@gmail.com
 Página web: agro.umsa.bo • La Paz - Bolivia

Anexo 8.

Procedimiento para interpretación del análisis del suelo y déficit de fertilización

DATOS			
Ph	6,52	*Área (m2)	10000
N (%)	0,24	Área (m2)	249,2
P (ppm)	30,4	Prof. (m)	0,2
K (meq/100 gS)	1,08	PCA.(tn/ha)	2758
Dap. (tn/m3)	1,379	Profundidad(m)	0,2

CÁLCULO DE LA CANTIDAD DE NITRÓGENO EN EL SUELO

$$x = \frac{2758 \text{ Tn/ha} \times 0,24\%}{100\%} = 6619,2 \text{ Tn/ha} \approx 6619,2 \text{ Kg/ha}$$

$$N_{\text{total}} = N_{\text{organico}} + N_{\text{inorg}} + \text{Otros} \quad \text{Coef de mine en el altiplano} = 1,5$$

$$x = \frac{6619,2 \text{ NtotKg} \times 1,5\%}{100\%} = 99,288 \text{ KgN/Dis/ha/año}$$

CÁLCULO DE LA CANTIDAD DE NITRÓGENO PARA EL CICLO VEGETATIVO

$$x = \frac{99,288 \text{ KgN/Dis/ha/año} \times 5 \text{ meses}}{12 \text{ meses}} = 41,37 \text{ KgN/Dis/ha/5 meses}$$

CÁLCULO ASIMILACIÓN DE NITRÓGENO 40% "EFICIENCIA DEL FERTILIZANTE"

$$x = \frac{41,37 \text{ KgN/ha} \times 5 \text{ meses} \times 40}{100} = 16,548 \text{ KgN/ha} \times 5 \text{ meses}$$

CÁLCULO DE LA CANTIDAD DE FOSFORO DISPONIBLE EN EL SUELO

P (ppm): 30,40

$$PCA(\text{tn} \times \text{ha}): 2758 = 2758000 \text{ Kg} \times \text{ha}$$

$$x = \frac{30,40 \text{ KgP} \times 2758000 \text{ KgS}}{1000000} = 83,8432 \text{ KgP/ha/año}$$

CÁLCULO DE LA CANTIDAD DE P2O5 DISPONIBLE

Método de conversión: P2:P2O5=2,29

$$x = 83,8432 \times 2,29 = 192,000 \text{ Kg disp/P2O5/ha/5 meses}$$

CÁLCULO ASIMILACIÓN DE FOSFORO (P2O5) 20% "EFI DEL FERTILIZANTE"

$$x = \frac{192,000 \times 20\%}{100\%} = 38,4 \text{ Kg disp/P2O5/ha/año}$$

CÁLCULO DE ASIMILACIÓN DE FOSFORO (P2O5) EN 5 MESES

$$x = \frac{38,4 \times 5 \text{ meses}}{12 \text{ meses}} = 16 \text{ kg P2O5/ha/5 meses}$$

Anexo 8. (Continuación)

CÁLCULO DE LA CANTIDAD DE POTASIO DISPONIBLE EN EL SUELO	
$K(\text{meq}/100\text{g}^\circ\text{S}) = 1,08$	$1\text{meqk} = 0,0039\text{gK}$
$PCA(\text{tn}/\text{ha}): 2758 = 2758000\text{Kg}/\text{ha}$	
CÁLCULO DE DISPONIBILIDAD DE POTASIO AL 40%	
$\frac{1,08\text{meq}/100\text{g}^\circ\text{S} * 40}{100} = 0,432\text{meqK}/100\text{g}^\circ\text{S}$	
luego se tiene	
$x = 0,0039 * 0,432\text{meqK}/100\text{g}^\circ\text{S} = 0,0016848\text{gdisp}/100\text{g}^\circ\text{S}$	
$\frac{0,0016848\text{gdisp}/100\text{g}^\circ\text{S} * 2758\text{Tn}^\circ\text{S}}{100\text{tn.}^\circ\text{S}} = 0,0464\text{tn. dispK}/\text{ha}$	
$\text{Metodo de conversion K2: K2O} = 1,2$	
CÁLCULO DE CANTIDAD DE K2O DISPONIBLE	
$x = 1,2 * 46,4 = 55,68\text{KgdispK2O5}/\text{ha}12\text{meses}$	
CÁLCULO DE LA ASIMILACIÓN DE POTASIO (K2O) EN 5 MESES	
$x = \frac{55,68 * 5\text{meses}}{12\text{meses}} = 23,2\text{KgK2O}/\text{ha}5\text{meses}$	

CÁLCULO DE FERTILIZACIÓN			
Fertilización química	N(Kg/ha)	P2O5(Kg/ha)	K2O(Kg/ha)
Demanda del cultivo	103	62	40
Oferta del suelo	16,548	16	23,2
Déficit(fertilización)	87,452	45,999	16,572

PARA FOSFATO DIAMONICO	PARA CLORURO DE POTASIO
$x = \frac{100\text{KgDAP} * 45,999}{46\text{KaP}} = 99,999\text{KgDAP}$	$x = \frac{100\text{KgKCl} * 16,8\text{KgK}}{62\text{KgK}} = 28\text{KgKCl}$
PARA NITRÓGENO	PARA UREA
$x = \frac{18\text{KgN} * 99,999\text{KgDAP}}{100\text{KgDAP}} = 17,999\text{KgN}$	$N_{faltante} = 86,452 - 17,999 = 68,453\text{KgN}_{faltante}$ $x = \frac{100\text{KgUrea} * 68,453\text{KgN}}{46\text{KgN}} = 148,808\text{KgUrea}$

Anexo 8. (Continuación)

FERTILIZACIÓN QUÍMICA DISPONIBLE EN EL MERCADO			
Fertilizantes	N	P	K
Urea	46%	0%	0%
Fosfato diamónico	18%	46%	0%
Cloruro de potasio	0%	0%	60%

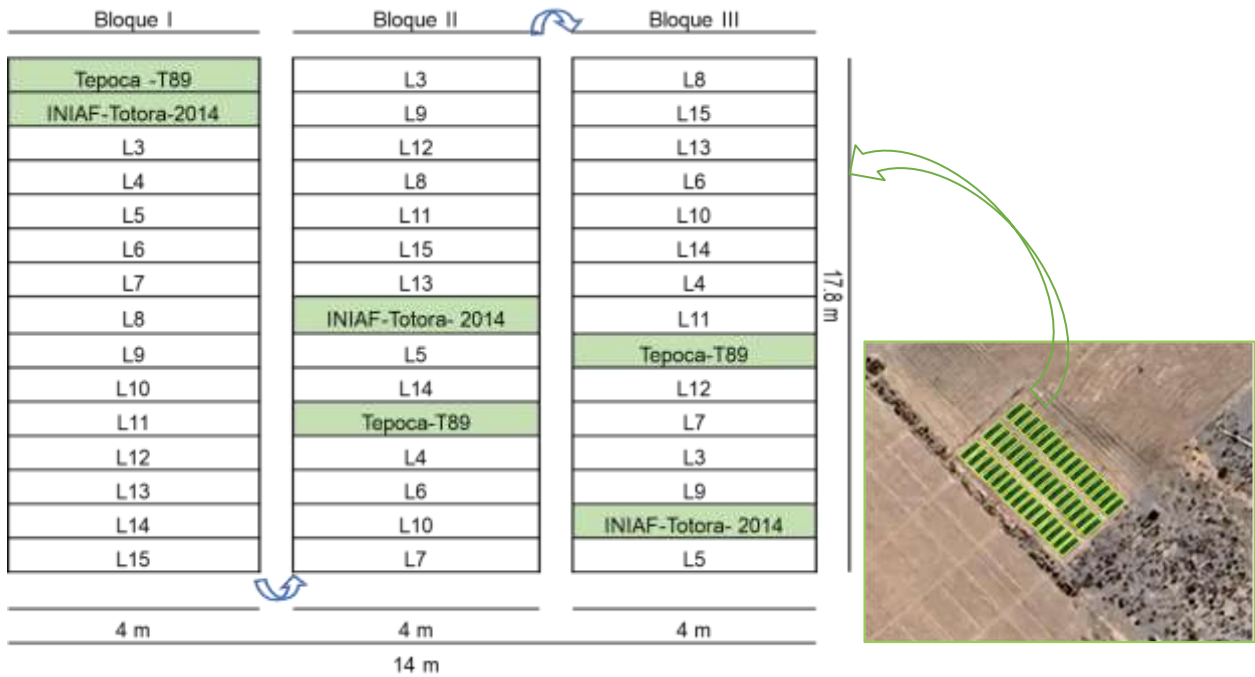
PARA 249,2 M2 TENEMOS UNA FERTILIZACIÓN DE:
FOSFATO DIAMÓNICO
$X = \frac{99,999KgDAP * 249,2m^2}{10000m^2} = 2,49KgDAP$
CLORURO DE POTASIO
$X = \frac{28KgKCl * 249,2m^2}{10000m^2} = 0,698KgKCl$
UREA
$X = \frac{148,808KgUrea * 249,2m^2}{10000m^2} = 3,76KgUrea$

PARA 5 M2 TENEMOS UNA FERTILIZACIÓN DE:
APLICACIÓN REAL PARA UNA UNIDAD EXPERIMENTAL EN UREA
$x = \frac{3,76KgUrea * 5m^2}{249,2m^2} = 0,075 Kg Urea \approx 75g urea$
AP. REAL EN UNA UNIDAD EXPERIMENTAL FOSFATO DIAMÓNICO
$x = \frac{2,492KgDAP * 5m^2}{249,2m^2} = 0,05KgDAP \approx 50gDAP$

AP.REAL EN UNA UNIDAD EXPERIMENTAL CLORURO DE POTASIO
$x = \frac{0,698KgKCl * 5m^2}{249,2m^2} = 0,014KgKCl \approx 14,00gKCl$
UNIDAD EXPERIMENTAL
<p style="text-align: center;">5 surcos</p> <p style="text-align: center;">0,25m 0,25m 0,25m 0,25m 0,25m</p> <p style="text-align: center;">4 m</p> <p style="text-align: right;">1,25</p>

Anexo 9.

Croquis del ensayo, en la Estación Experimental Patacamaya, durante la gestión agrícola 2022-2023.



Nota. La distancia entre surcos 0.25 m (5 surcos por Unidad Experimental), siembra a chorro continuo, para todo el ensayo 2.9904 Kg de líneas elites de trigo harinero (*Triticum aestivum* L.).

Anexo 10.

Figura panorámica de la zona de estudio en la Estación Experimental Patacamaya



Nota: Figura panorámica extraída de (Google Earth. 2022).

Anexo 11.

Prueba de Bartlett para Homocedasticidad de varianzas para las variables: Valor p con un nivel de significancia predeterminado al 0.05

Variabes	p.value
Variables Agronómicas	
Altura de planta	0.6745656
Longitud de espiga	0.4413921
Longitud de la arista	0.9293082
Variables Fenológicas	
Días a la emergencia	0.6586794
Días a espigamiento	0.000001751265
Días a la floración	0.000001751265
Días a la madurez	0.3745477
Variables Fisiológicas	
Área foliar	0.2644102
Área de grano	0.9571664
Variables Rendimiento	
Número de plantas por metro lineal	0.0759324
Número de plantas por metro cuadrado	0.0759324
Número de espiguillas por espiga	0.712647
Número de espigas por metro cuadrado	0.01381279
Número de granos por espiga	0.7206486
Peso de 1000 granos	0.8160497
Rendimiento	0.8041591
Variable Calidad Física	
Peso hectolítrico	0.1965153

Nota: El segundo criterio de la homocedasticidad en las varianzas son constantes en todos los grupos a excepción de las variables días a espigamiento, días a la floración y Numero de espigas por metro cuadrado que presentan el inconveniente de la no homocedasticidad de las varianzas y son sometidos a pruebas no paramétricas de Friedman.

Anexo 12.

Prueba de Shapiro-Wilks para verificar la distribución normal de las variables:

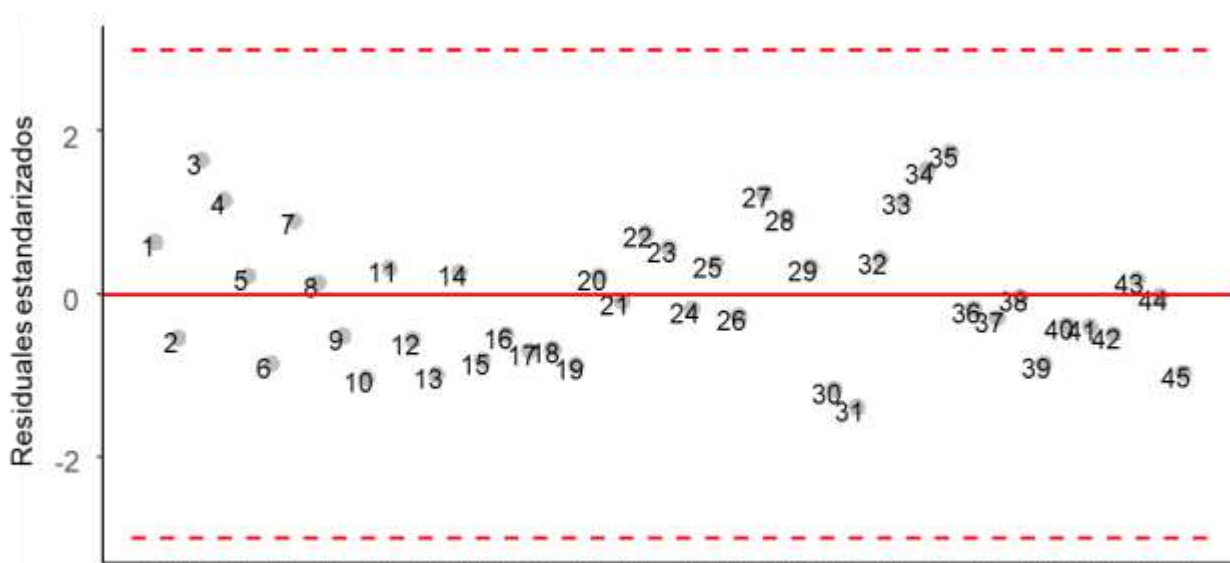
Valor p con un nivel de significancia predeterminado al 0.05

Variable	n	Media	D.E.	W*	P(0,05)
Variables Agronómicas					
Altura de planta	45	56,32	6,59	0,97	0,6617
Longitud de espiga	45	0,94	0,05	0,94	0,14
Longitud de la arista	45	6,27	0,81	0,97	0,6917
Variables Fenológicas					
Días a la emergencia	45	15,69	4,54	0,84	<0,0001
Días a espigamiento	45	94,27	7,08	0,82	<0,0001
Días a la floración	45	113,27	7,08	0,82	<0,0001
Días a la maduración	45	142,84	16,25	0,85	<0,0001
Variables Fisiológicas					
Área foliar	45	10,68	3,48	0,95	0,2126
Área de grano	45	13,86	0,64	0,96	0,4164
Variables Rendimiento					
Número de plantas por metro lineal	45	28,89	6,9	0,95	0,1939
Número de plantas por metro cuadrado	45	115,56	27,6	0,95	0,1939
Número de espiguillas por espiga	45	13,64	1,33	0,94	0,08
Número de espigas por metro cuadrado	45	272,67	64,92	0,91	0,009
Número de granos por espiga	45	39,87	7,34	0,97	0,7396
Peso de 1000 granos	45	25,56	3,85	0,9	0,0018
Rendimiento	45	1564,8	473,14	0,94	0,1201
Variable Calidad Física					
Peso hectolítrico	45	59,2	4,43	0,96	0,3508

Nota: El tercer criterio de normalidad o gaussiana de las variables observados tienen una distribución normal y garantizan que los resultados del ANOVA sean válidos y confiables a excepción de variables fenológicas, número de espigas por metro cuadrado, peso de 1000 granos que son sometidos a pruebas no paramétricas de Friedman para determinar si existe o no una diferencia estadísticamente significativa entre las medias.

Anexo 13.

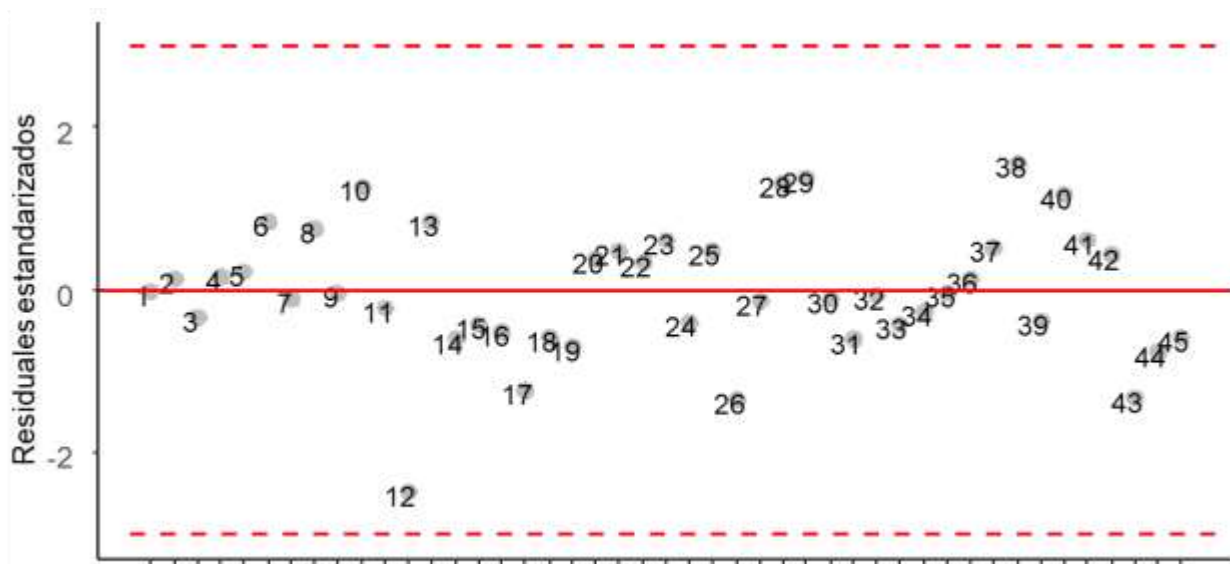
Independencia de datos para la variable altura de planta



Nota: Elaboración propia

Anexo 14.

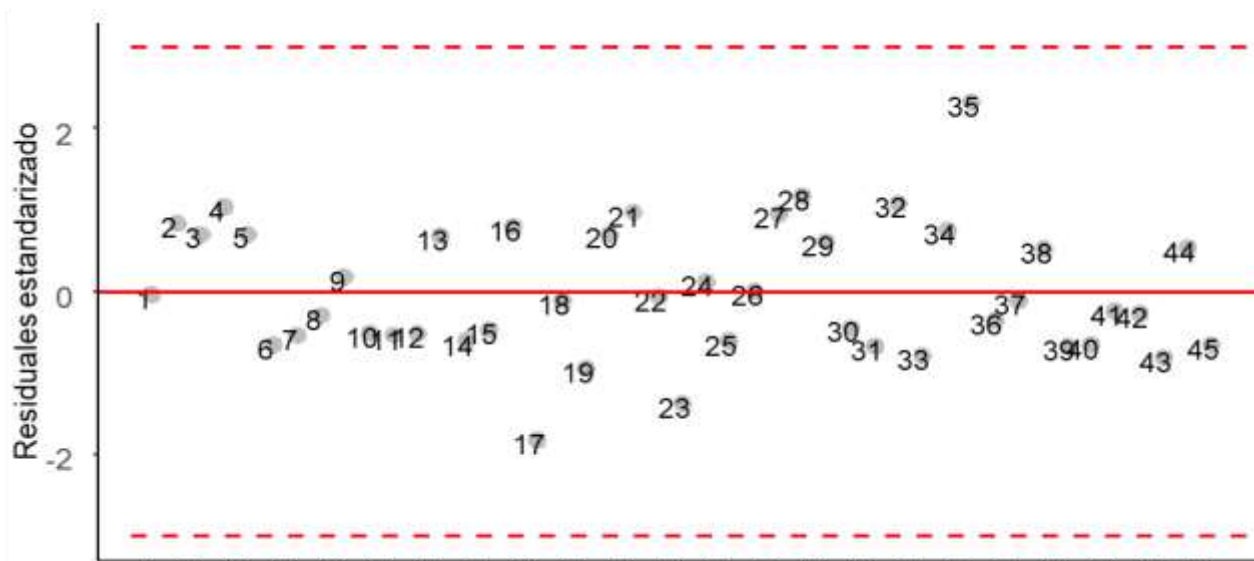
Independencia de datos para la variable longitud de espiga



Nota: Elaboración propia

Anexo 15.

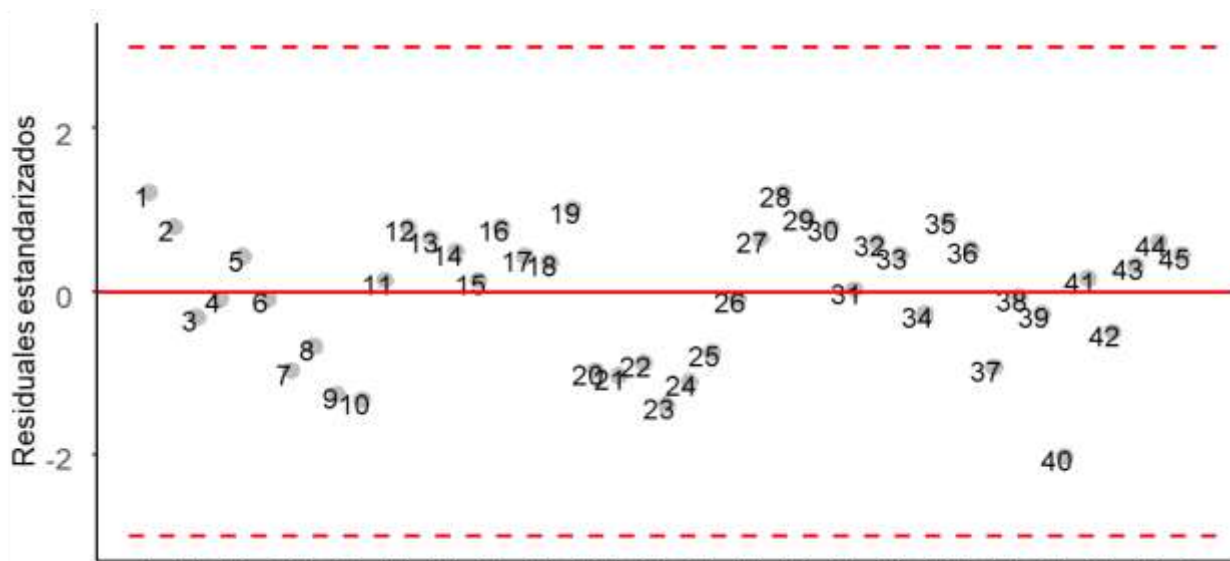
Independencia de datos para la variable longitud de arista



Nota: Elaboración propia

Anexo 16.

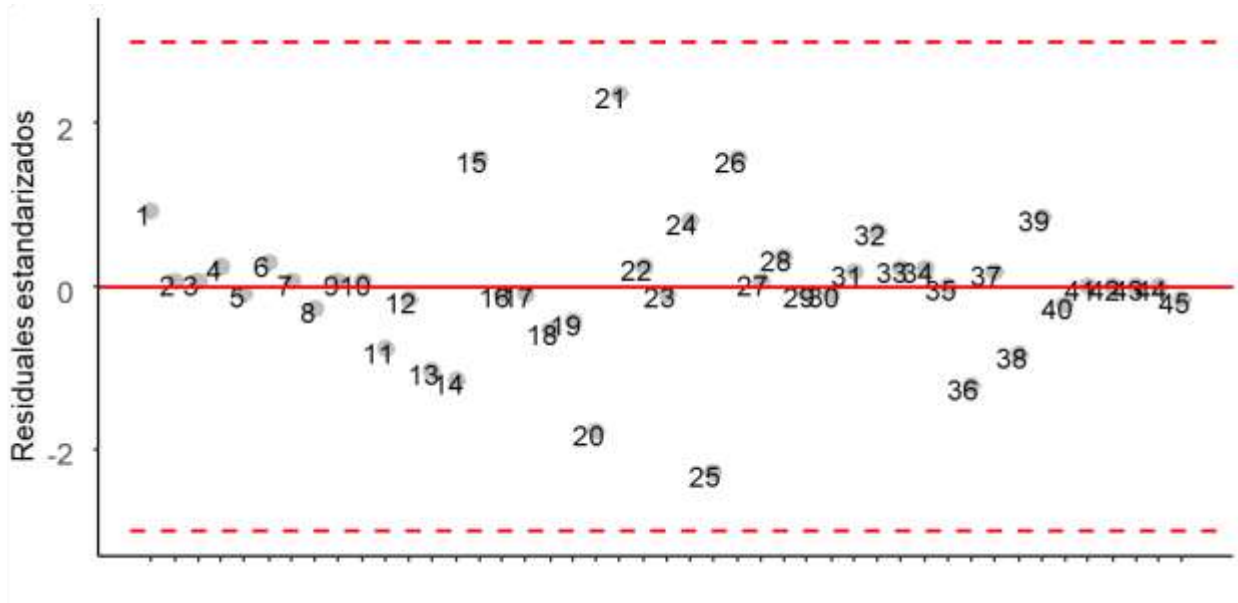
Independencia de datos para la variable días a la emergencia



Nota: Elaboración propia

Anexo 17.

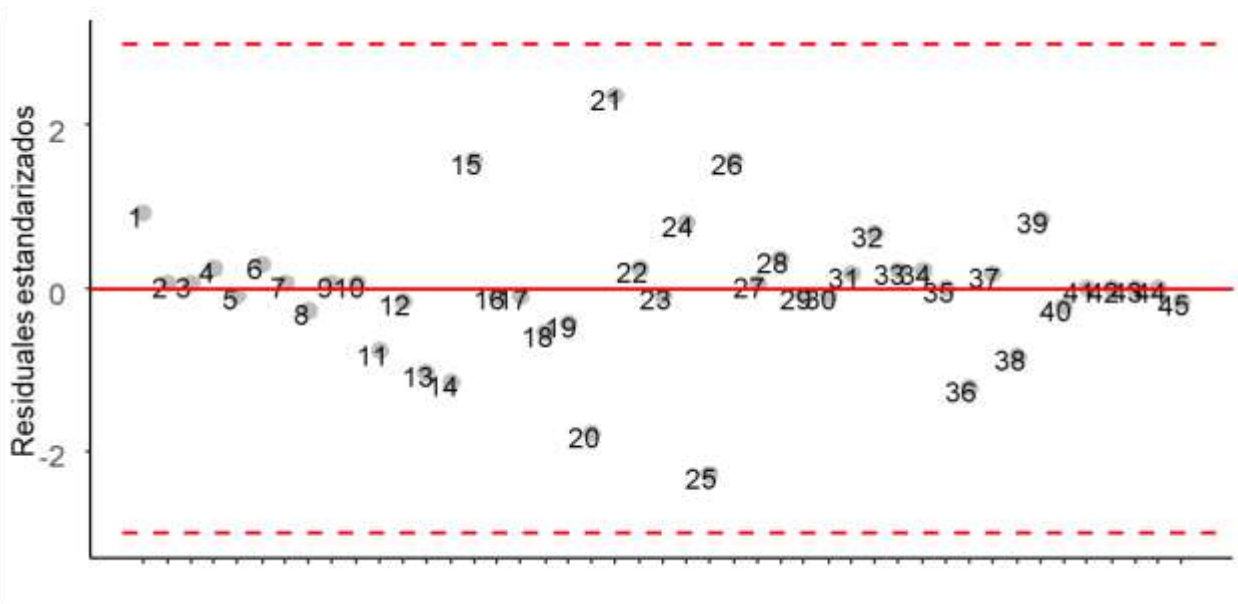
Independencia de datos para la variable días a espigamiento



Nota: Elaboración propia

Anexo 18.

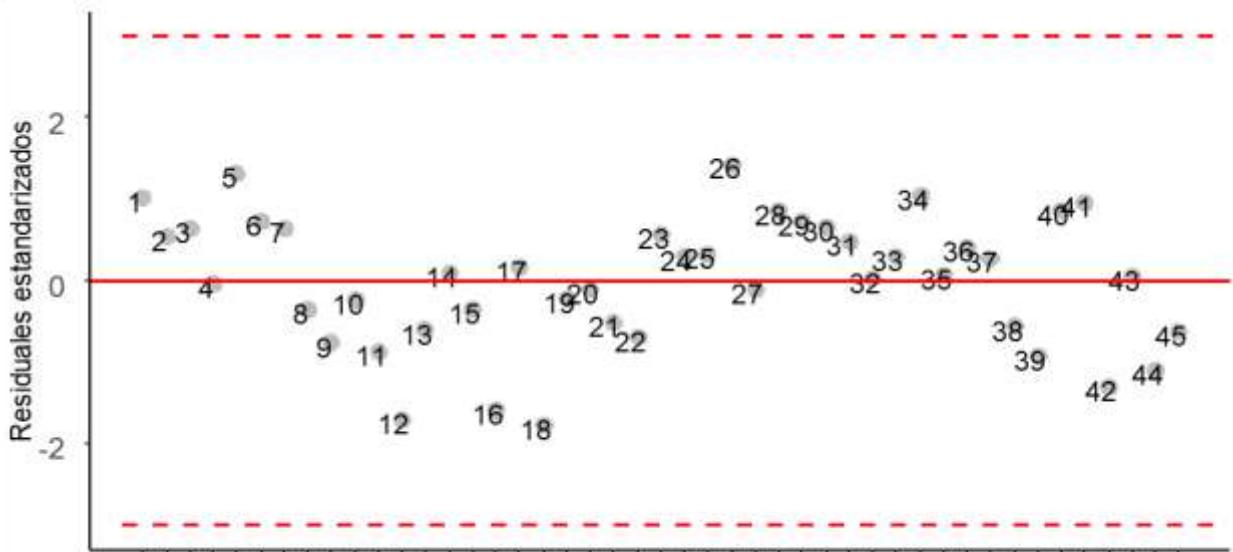
Independencia de datos para la variable días a floración



Nota: Elaboración propia

Anexo 19.

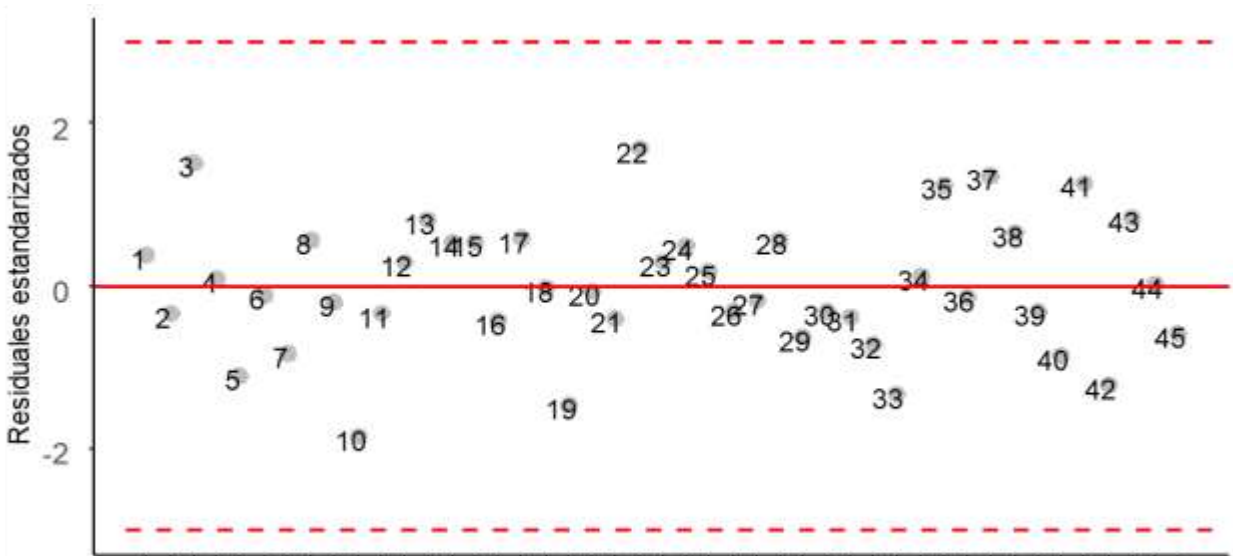
Independencia de datos para la variable días a la madures



Nota: Elaboración propia

Anexo 20.

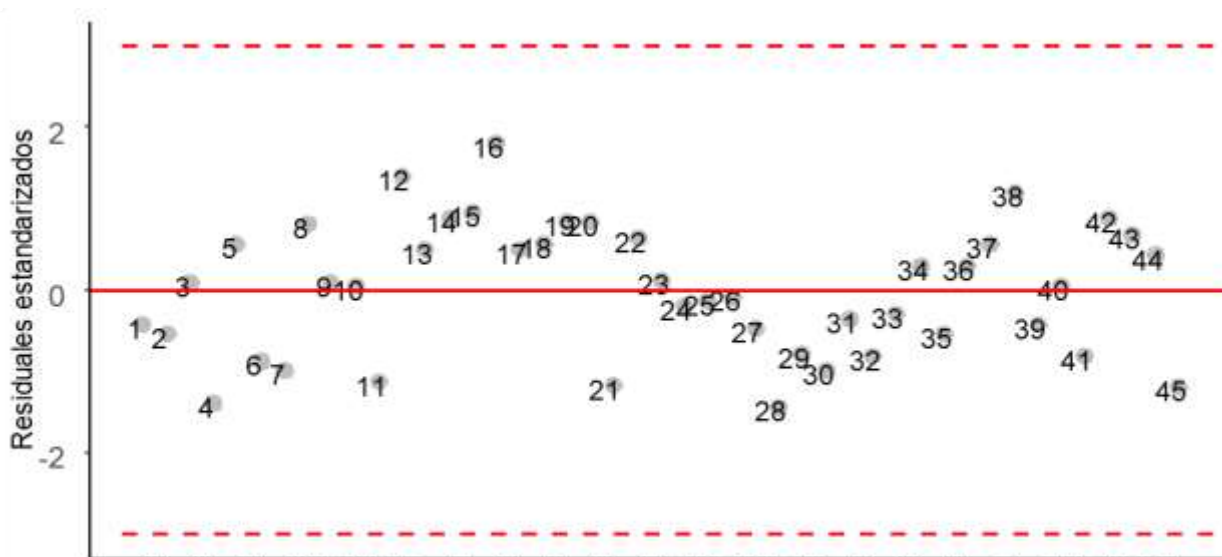
Independencia de datos para la variable área foliar



Nota: Elaboración propia

Anexo 21.

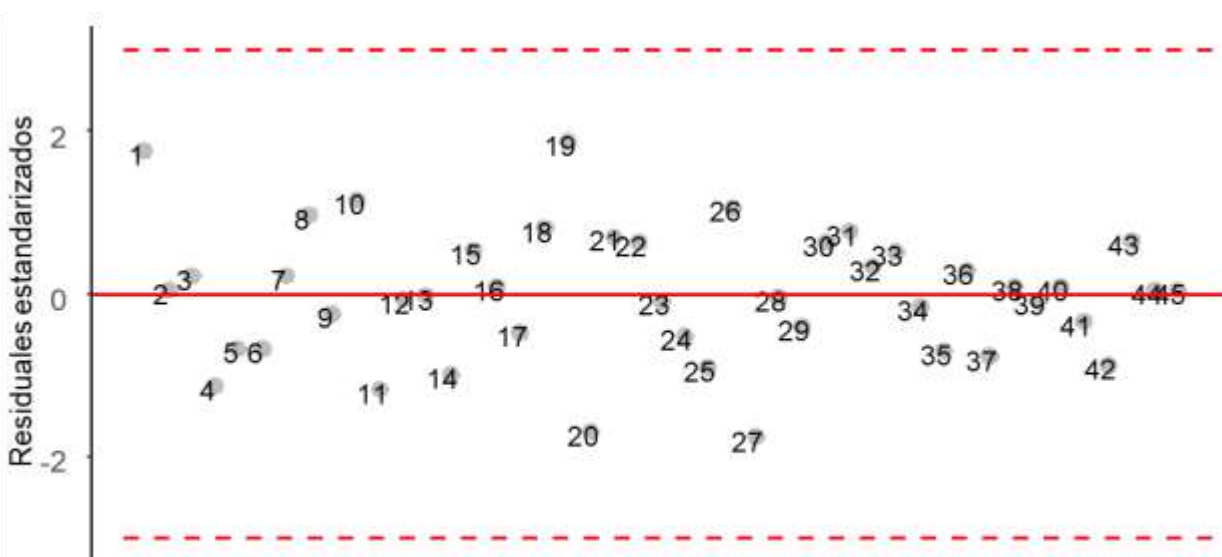
Independencia de datos para la variable área de grano



Nota: Elaboración propia

Anexo 22.

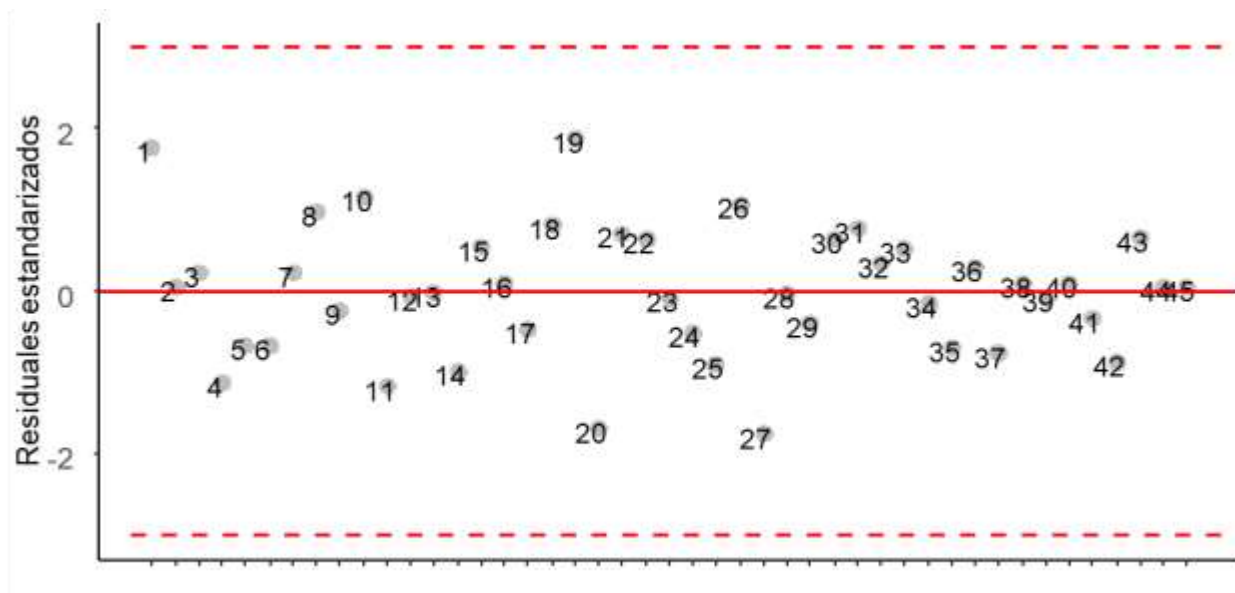
Independencia de datos para la variable número de plantas por metro lineal



Nota: Elaboración propia

Anexo 23.

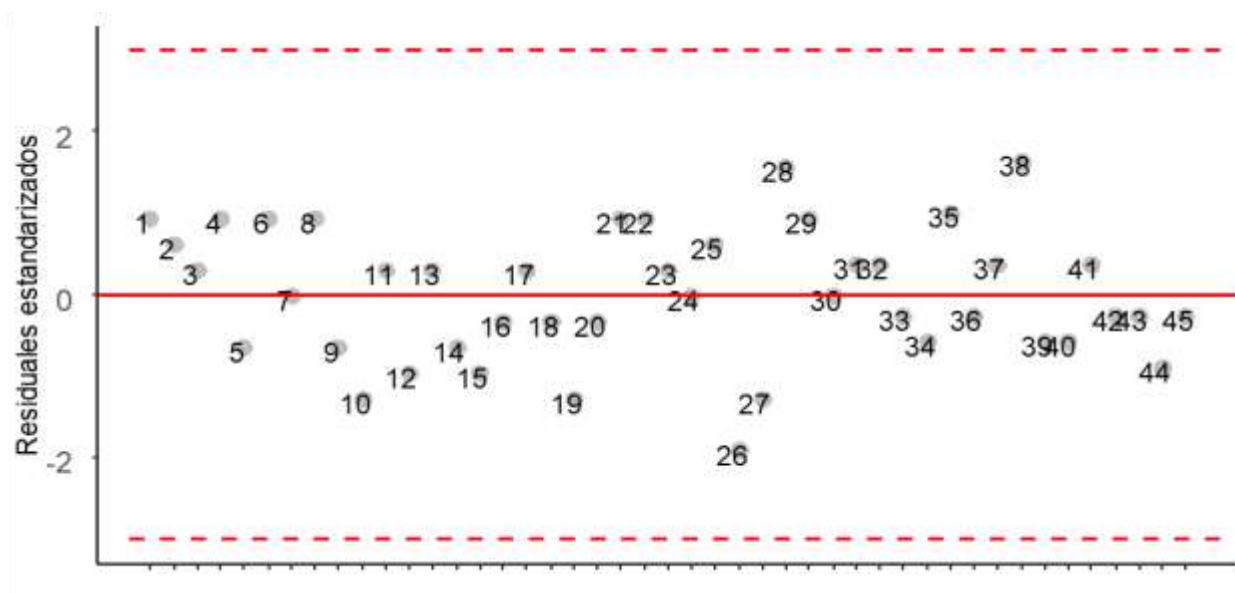
Independencia de datos para la variable número de planta por metro cuadrado



Nota: Elaboración propia

Anexo 24.

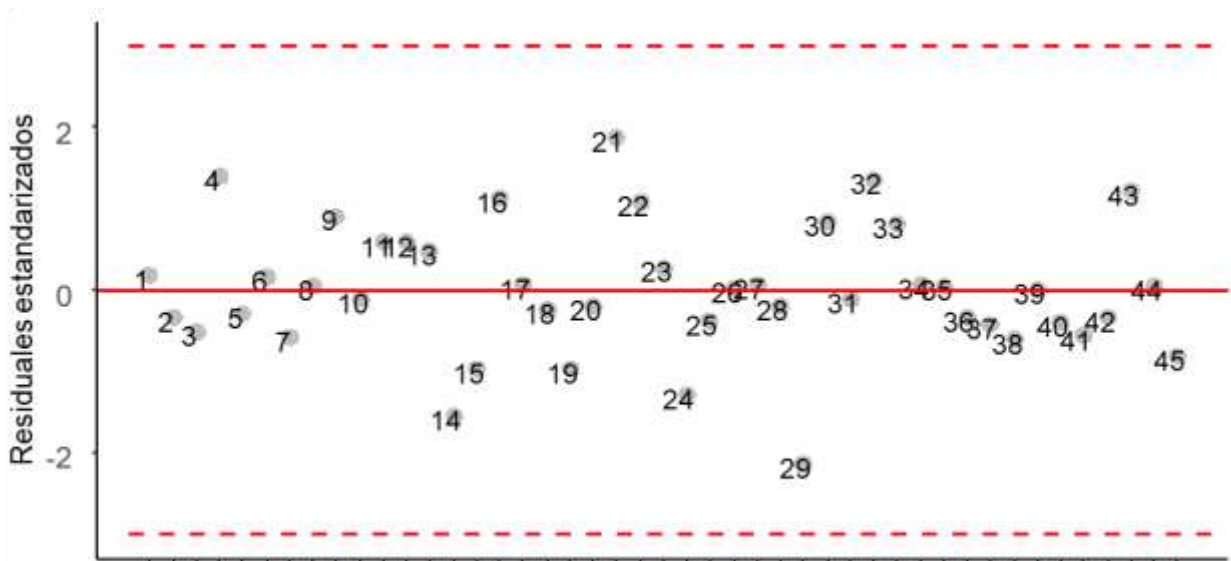
Independencia de datos para la variable número de espiguillas por espiga



Nota: Elaboración propia

Anexo 25.

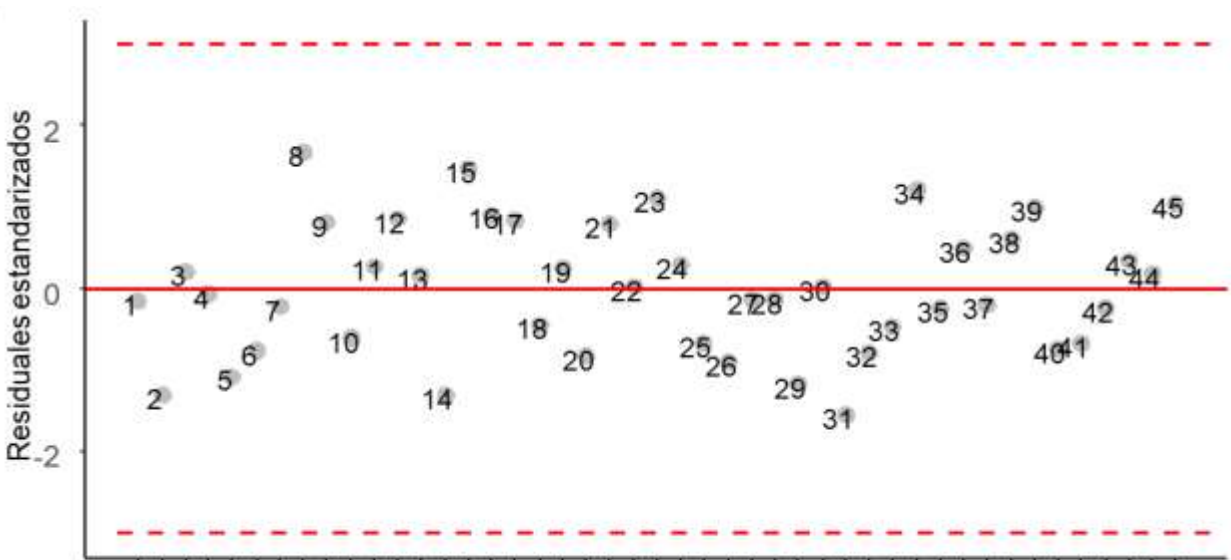
Independencia de datos para la variable número de espigas por metro cuadrado



Nota: Elaboración propia

Anexo 26.

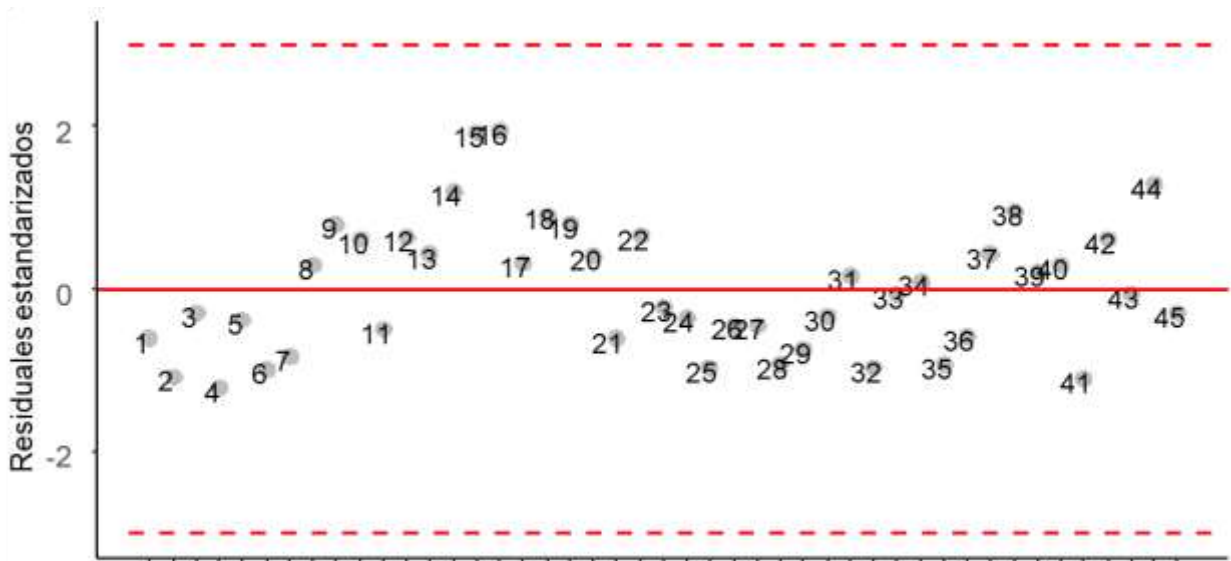
Independencia de datos para la variable número de granos por espiga



Nota: Elaboración propia

Anexo 27.

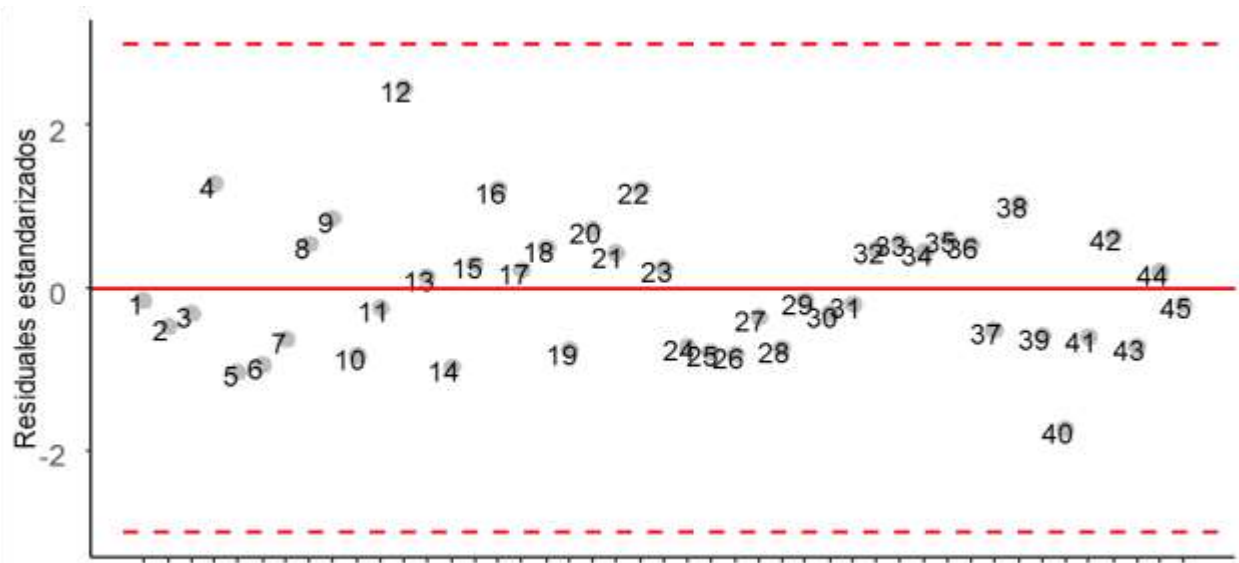
Independencia de datos para la variable peso de mil granos



Nota: Elaboración propia

Anexo 28.

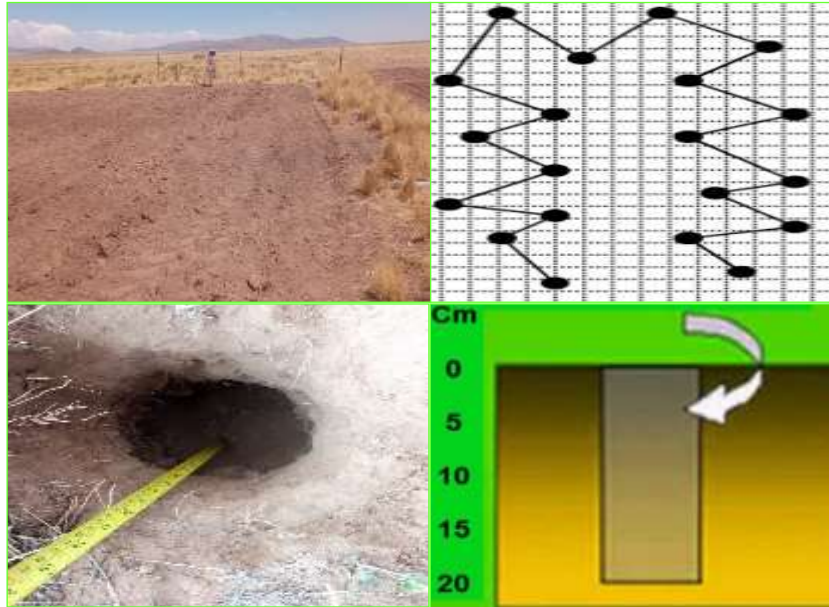
Independencia de datos para la variable rendimiento



Nota: Elaboración propia

Anexo 32.

Fotografía de muestreo de suelo en la parcela de la Estación Experimental Patacamaya durante la gestión agrícola 2022-2023



Anexo 33.

Fotografía de la preparación del área de estudio para trece líneas elites de trigo harinero en la Estación Experimental Patacamaya gestión agrícola 2022-2023



Anexo 34.

Fotografía de la delimitación del área de estudio para trece líneas elites de trigo harinero en la Estación Experimental Patacamaya gestión agrícola 2022-2023



Anexo 35.

Fotografía de la siembra del material genético de trece líneas elites de trigo harinero en la Estación Experimental Patacamaya durante la gestión agrícola 2022-2023



Anexo 36.

Fotografía de riego por aspersión y gravedad en el ensayo de las trece líneas elites de trigo harinero en la Estación Experimental Patacamaya gestión agrícola 2022-2023



Anexo 37.

Fotografía de fertilización: aplicación de Biol y Urea en el ensayo de trece líneas elites de trigo harinero en la Estación Experimental Patacamaya gestión agrícola 2022-2023



Anexo 38.

Fotografías sobre Control de malezas con aplicación de herbicida para hojas anchas en el ensayo de la Estación Experimental Patacamaya gestión agrícola 2022-2023



Anexo 39.

Fotografía de Colocado de letreros en las cuarenta y cinco unidades experimentales



Anexo 40.

Fotografía de la toma de datos de las variables en estudio en la Estación Experimental Patacamaya gestión agrícola 2022-2023



Anexo 41.

Fotografía de la evaluación participativa (día demostrativo de parcela) con la visita de la institución INIAF-PN-Trigo en la Estación Experimental Patacamaya gestión agrícola 2022-2023



Anexo 42.

Fotografía de la cosecha del material genético en la Estación Experimental Patacamaya gestión agrícola 2022-2023



Anexo 43.

Fotografía de la evaluación de la variable rendimiento y peso hectolítrico gestión agrícola 2022-2023

