

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



TESIS DE GRADO

**ADAPTABILIDAD DE 12 LÍNEAS ELITE PRECOCES DE TRIGO
HARINERO (*Triticum aestivum* L.) KALLUTACA
DEPARTAMENTO DE LA PAZ**

Por:

Cristian Apaza Ari

EL ALTO – BOLIVIA

Noviembre, 2017

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

**ADAPTABILIDAD DE 12 LÍNEAS ELITE PRECOCES DE TRIGO HARINERO
(*Triticum aestivum* L.) KALLUTACA DEPARTAMENTO DE LA PAZ**

*Tesis de Grado presentado como requisito
para optar el Título de Ingeniero en
Ingeniería Agronómica*

Cristian Apaza Ari

Asesores:

Ing. Ph.D. Félix Marza Mamani

.....

Ing. Ph.D. Francisco Mamani Pati

.....

Tribunal Revisor:

Ing. Jorge W. Guzmán Calla

.....

Ing. Ramiro Raúl Ochoa Torrez

.....

Ing. Wilfredo German Lizarro Flores

.....

Aprobada

Presidente Tribunal Examinador

.....



DEDICATORIA:

A Dios por darme la sabiduría e inteligencia, guiarme e iluminarme el camino de mi formación académica.

Dedicado con mucho cariño a mis padres Marcos Apaza Payahuanca y (+) Juana Tomasa Ari Quijua. A mis hermanas Erika, Teresa y Alex.

Y a toda mi familia, por el apoyo brindado durante mi formación profesional.

A aquellas amistades con los que compartí alegrías y tristezas en el transcurso de mi formación académica.

AGRADECIMIENTOS

A Dios por darme la vida, una hermosa familia y por darme la oportunidad de llegar a mi primer objetivo académico.

A mis padres por darme su apoyo en diferentes etapas de mi formación, por darme comprensión, amor, fuerzas y aliento.

A mis hermanos que me acompañaron a encarar los obstáculos en el camino, que no me abandonaron en los momentos de flaqueza y me dieron siempre su apoyo.

A la Universidad Pública de El Alto, por haberme acogido en sus instalaciones, por haber sido parte de mi preformación y por haberme brindado oportunidades de competitividad académica y de vida universitaria.

A la Carrera Ingeniería Agronómica, plantel administrativo, docentes y compañeros por brindar y compartir sus conocimientos, por estar siempre disponibles a apoyar, por su comprensión y trato fraterno.

Al Dr. Félix Marza Mamani, Coordinador del Programa Nacional de Trigo (PN-Trigo) del INIAF, por sus consejos, sugerencias, asesoramiento y sobre todo por permitirme a emprender la presente tesis.

Al Dr. Francisco Mamani Pati, por su valioso apoyo incondicional, ayuda otorgada antes, durante y después de la realización de la tesis.

Al tribunal examinador Ing. Jorge Guzmán, Ing. Ramiro Ochoa y al Ing. Wilfredo Lizarro por sus valiosos consejos, sugerencias, correcciones y seguimiento en la elaboración del presente trabajo.

CONTENIDO

ÍNDICE DE TEMAS	i
ÍNDICE DE CUADROS	v
ÍNDICE DE FIGURAS	vii
ÍNDICE DE ANEXOS	x
ABREVIATURAS	xi
RESUMEN	xii
ABSTRACT	xiii

ÍNDICE DE TEMAS

1. INTRODUCCIÓN.....	1
1.1. Antecedentes.....	3
1.2. Planteamiento del problema	3
1.3. Justificación	4
1.4. Objetivos.....	4
1.4.1. Objetivo general.....	4
1.4.2. Objetivos específicos	4
1.5. Hipótesis.....	4
2. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA.....	5
2.1. Origen geográfico del trigo.....	5
2.2. Evolución genética del trigo harinero	5
2.3. Distribución geográfica de la producción mundial	7
2.4. Clasificación taxonómica del trigo.....	7
2.5. Desarrollo fenológico del trigo.....	8
2.5.1. Fase reproductiva	8
2.5.2. Fase de llenado de grano	9

2.6.	Descripción morfológica del trigo	10
2.7.	Requerimientos edafoclimáticos	11
2.8.	Principales plagas y enfermedades del cultivo de trigo	12
2.8.1.	Principales enfermedades	12
2.8.2.	Principales plagas	12
2.9.	Impacto global del Fito-mejoramiento de trigo, CIMMYT	13
2.10.	Programas de mejoramiento de trigo en Bolivia	14
2.10.1.	Adaptabilidad	14
2.10.2.	Precocidad	16
2.11.	El cultivo de trigo en Bolivia	17
2.11.1.	Uso y consumo del trigo en Bolivia	18
2.11.2.	La producción de trigo en el área tradicional de Bolivia	18
2.11.3.	Limitantes del altiplano boliviano para el cultivo de trigo	19
3.	MATERIALES Y MÉTODOS	20
3.1.1.	Ubicación Geográfica	20
3.1.2.	Características Edafoclimáticas	20
3.2.	Materiales	21
3.2.1.	Material de estudio	21
3.2.2.	Material de campo	22
3.2.3.	Materiales de laboratorio	22
3.3.	Metodología	22
3.3.1.	Desarrollo del ensayo	22
3.3.1.1.	Preparado del suelo	22
3.3.1.2.	Siembra	22
3.3.1.3.	El manejo	23
3.3.1.4.	Fertilización	23

3.3.1.5.	Cosecha y trilla	23
3.3.2.	Diseño experimental	23
3.3.3.	Factores de investigación.....	24
3.3.4.	Variables de respuesta.....	24
3.3.4.1.	Variables agronómicas.....	24
3.3.4.2.	Variables morfológicas	25
3.3.4.3.	Variables de componentes de rendimiento.....	25
3.3.4.1.	Variable de calidad.....	26
3.3.4.1.	Variable para adaptabilidad.....	27
3.3.4.2.	Variables cualitativas.....	27
3.3.5.	Análisis estadístico.....	28
3.3.5.1.	Análisis univariado	28
3.3.5.2.	Estadística descriptiva.....	28
3.3.5.3.	Análisis de varianza (ANVA).....	28
3.3.5.4.	Análisis multivariado.....	29
3.3.5.5.	Coefficiente de correlación (r).....	29
3.3.5.6.	Análisis de componentes principales (ACP)	29
4.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN	30
4.1.	Comportamiento climático.....	30
4.2.	Estadística descriptiva de la investigación	31
4.3.	Evaluación del comportamiento agronómico.....	32
4.3.1.	Comportamiento agronómico	32
4.3.2.	Comparaciones de variables para morfología de espiga	35
4.3.3.	Comparación de variables para componentes de rendimiento	35
4.3.4.	Calidad del grano.....	40
4.3.5.	Comparación de variables para el proceso de adaptabilidad.....	41

4.3.6.	Comparación de frecuencias de variables cualitativas	44
4.4.	Determinación de variables de componentes de rendimiento	46
4.4.1.	Análisis de correlación múltiple de Pearson	46
4.4.2.	Análisis de coeficiente de sendero para rendimiento.....	47
4.4.3.	Análisis exploratorio	51
5.	CONCLUSIONES.....	55
6.	RECOMENDACIONES.....	57
7.	BIBLIOGRAFÍA	58
8.	ANEXOS	65

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1. Escala fenológica del trigo, descripción de estados morfológicos externos involucrados en procesos de crecimiento y desarrollo.....	10
Cuadro 2. Historial de selección, nombre de cruza y líneas elites precoces de trigo harinero, ensayadas en la Estación Experimental de Kallutaca en la gestión agrícola 2014-2015.....	21
Cuadro 3. Estadística descriptivo de altura de planta (AP), numero de macollos (NM), días a emergencia (DE), días a floración (DF), días a maduración (DM), longitud de espiga (LE), longitud de arista (LA), número de plantas (NP), numero de espiguillas/espiga (NEE), área foliar (AF), peso de mil granos (PMG), numero de granos/espiga (NGE), numero de espigas/metro (NEM), rendimiento (RDTO) y peso hectolitrico (PH) para 12 líneas elite precoces de trigo, determinados en la Estación Experimental de Kallutaca durante la gestión agrícola 2014 - 2015.....	31
Cuadro 4. Cuadros medios de los análisis de varianza para variables de comportamiento fenológico: Días a emergencia (DE), Días a floración (DF) y Días a madurez fisiológica (DM), para 12 líneas elite precoces de trigo harinero, en la Estación Experimental de Kallutaca durante la gestión agrícola 2014-2015.	32
Cuadro 5. Análisis de varianza para variables de morfología de espiga: Longitud de espiga (LE); longitud de arista (LA). En la adaptabilidad de 12 líneas elite precoces de trigo harinero, determinados en la Estación Experimental de Kallutaca durante la gestión agrícola 2014-15.....	35
Cuadro 6. Análisis de varianza para componentes de rendimiento: Número de planta por metro lineal (NP); Numero de macollos (NM); Número de espiguillas por espiga (NEE); Área foliar (AF); Peso de mil granos (PMG). En la adaptabilidad de 12 líneas elite precoces de trigo harinero, determinados en la Estación Experimental de Kallutaca en la gestión agrícola 2014-15.	36
Cuadro 7. Análisis de varianza para variables componentes cuantitativos del rendimiento y rendimiento en grano: Número espigas por metro cuadrado (NEM); número de granos por espiga (NGE); rendimiento en grano (RDTO). En la adaptabilidad de 12 líneas elite precoces de trigo harinero, determinados en la Estación Experimental de Kallutaca durante la gestión agrícola 2014-15.....	38

Cuadro 8. Análisis de varianza para peso hectolitrico (PH), en la adaptabilidad de 12 líneas elite precoces de trigo harinero. Determinados en la Estación Experimental de Kallutaca durante la gestión agrícola 2014-15.	40
Cuadro 9. Análisis de varianza de regresión múltiple por pasos sucesivos para rendimiento, evaluado en 12 líneas elite precoces de trigo harinero. Determinados en la Estación Experimental de Kallutaca durante la gestión agrícola 2014-15.	48
Cuadro 10. Resumen de coeficientes de regresión múltiple por pasos sucesivos para rendimiento, evaluado en 12 líneas elite precoces de trigo harinero. Determinados en la Estación Experimental de Kallutaca durante la gestión agrícola 2014-15.	50

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.	Origen del trigo harinero (<i>Triticum aestivum</i> L.) (Noah, 2016)	6
Figura 2.	Países productores de trigo del año 2016, en toneladas métricas (t), dato extraído del Departamento de agricultura de los Estados Unidos (USDA, 2016)	7
Figura 3.	Desarrollo fenológico según la escala decimal de Zadocks <i>et al.</i> (1974)	8
Figura 4.	Ubicación en imagen satelital del ensayo de 12 líneas elite precoces de trigo harinero en la Estación Experimental de Kallutaca (Google Earth, 2015).....	20
Figura 5.	Comportamiento climático de las variables: precipitación acumulada del mes (Precip. mm), temperaturas mínimas (T Min) y temperaturas máximas (T Max), en la campaña agrícola 2014-2015 (Estación Meteorológica de Kallutaca, 2015).....	30
Figura 6.	Análisis comparativo Duncan ($\alpha=0.05$) para variables de comportamiento fenológico: Días a germinación y días a madurez fisiológica, en la adaptabilidad de 12 líneas elite precoces de trigo harinero en la estación Experimental de Kallutaca 2014-2015.	33
Figura 7.	Análisis comparativo Duncan ($\alpha=0.05$) para variables componentes cuantitativos del rendimiento: Número de planta por metro lineal, área foliar y peso de mil granos. En la adaptabilidad de 12 líneas elite precoces de trigo harinero en la estación Experimental de Kallutaca 2014-15.	37
Figura 8.	Análisis comparativo Duncan ($\alpha=0.05$) para variables componentes cuantitativos del rendimiento y rendimiento en grano: Número espigas por metro lineal (NEM), número de granos por espiga (NGE) y rendimiento en grano (RDTO). En la adaptabilidad de 12 líneas elite precoces de trigo harinero, determinados en la Estación Experimental de Kallutaca durante la gestión agrícola 2014-2015.	39
Figura 9.	Análisis comparativo Duncan ($\alpha=0.05$) para la variable peso hectolitrico (PH). En la adaptabilidad de 12 líneas elite precoces de trigo harinero, determinados en la Estación Experimental de Kallutaca durante la gestión agrícola 2014-15.	41

Figura 10. Comparación de variables del proceso de adaptabilidad y fenología de la gestión agrícola 2014 y 2015, de 12 líneas elite precoces de trigo harinero en la estación Experimental de Kallutaca 2014-15.	42
Figura 11. Comparación de variables del proceso de adaptabilidad para componentes de rendimiento en gestión agrícola 2014 y 2015, de 12 líneas elite precoces de trigo harinero en la estación Experimental de Kallutaca 2014-15.....	43
Figura 12. Frecuencias porcentuales para variable precocidad, en la adaptabilidad de 12 líneas elite precoces de trigo harinero en la estación Experimental de Kallutaca 2014-2015.	44
Figura 13. Frecuencias porcentuales de variables cualitativas: Reacción a desgrane (RD), reacción acame (RA), tolerancia a roya (RY), densidad de espiga (DES). En la adaptabilidad de 12 líneas elite precoces de trigo harinero en la estación Experimental de Kallutaca (2014-2015).....	45
Figura 14. Matriz de dispersión y coeficiente de correlación lineal Pearson de variables cuantitativas, en la adaptabilidad de 12 líneas elite precoces de trigo harinero en la Estación Experimental de Kallutaca 2014-15.	46
Figura 15. Diagrama de coeficientes de sendero (Path analysis), para rendimiento (RDTO), evaluado en la adaptabilidad de 12 líneas elite precoces de trigo harinero en la Estación Experimental de Kallutaca 2014-15.....	49
Figura 16. Peso de variables en los tres primeros componentes principales. En la adaptabilidad de 12 líneas elite precoces de trigo harinero, determinados en la Estación Experimental de Kallutaca durante la gestión agrícola 2014-15.	51
Figura 17. Importancia relativa de los componentes principales y pesos de las variables originales por componente, en la adaptabilidad de 12 líneas elites precoces de trigo harinero en la Estación Experimental de Kallutaca 2014-15.	51
Figura 18. Análisis de componentes principales: BILOT de interacción de variables y líneas, en la adaptabilidad de 12 líneas elite precoces de trigo harinero en la Estación Experimental de Kallutaca 2014-15.	53

Figura 19. Diagrama de parcelas de estrellas (Stars Plots), para la línea elite de trigo ideal en la adaptabilidad de 12 líneas elite precoces de trigo harinero en la Estación Experimental de Kallutaca 2014-2015..... 54

El método estrella desarrollado por Flores (1993), consiste en dibujar una estrella con tantos radios como variables, correspondiendo un sector del gráfico a una variable y cada figura corresponde a un genotipo. El comportamiento promedio de cada variable será proporcional al área de la estrella y cuando más tienda la forma de está a la de una circunferencia, mayor será su importancia en el comportamiento del genotipo correspondiente (Butron *et al.*, 2015)..... 54

La figura 19, en este grafico se presenta las 12 líneas elites precoces de trigo harinero. Se observa que las líneas elite 304-20, 309-20 y 349-19 representan un comportamiento sobresaliente respecto al resto y tienen en común un excelente rendimiento en grano, buena longitud de espiga, alto peso hectolitrico, la línea 350-20 presenta mayor precocidad en días a la madurez fisiológica y la variedad Tepoca presenta una gráfica con tendencia muy tardía en días floración y madurez fisiológica..... 54

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1.	Croquis de la parcela experimental de 12 líneas elite precoces de trigo, establecido en establecido en el centro experimental de Kallutaca.	66
Anexo 2.	Fotografía, proceso de establecimiento y desarrollo fenológico en la parcela experimental de 12 líneas elite precoces de trigo, en el centro experimental de Kallutaca.	66
Anexo 3.	Fotografía, proceso de madurez fisiológica de líneas elites precoces de trigo, establecido en el centro experimental de Kallutaca.	68
Anexo 4.	Comparación de variables del proceso de adaptabilidad, morfología de espiga y componentes de rendimiento de la gestión agrícola 2014 y 2015, de 12 líneas elite precoces de trigo harinero en la estación Experimental de Kallutaca 2014-2015.	69
Anexo 5.	Promedios de las variables del proceso de adaptabilidad, en la adaptabilidad de 12 líneas elite precoces de trigo harinero en la estación Experimental de Kallutaca 2014-2015.	69
Anexo 6.	Datos de la investigación en la adaptabilidad de 12 líneas elite precoces de trigo, establecido en la estación experimental de Kallutaca, 2014-2015.	70
Anexo 7.	Grafico Los Tiempos, Departamento Técnico y Servicio de la Asociación de Productores de Oleaginosas y Trigo (ANAPO), Producción de trigo 2010-2017.	70
Anexo 8.	Grafico Los Tiempos, Importación de trigo en grano y harina 2015-2016, según datos del Instituto Boliviano de Comercio Exterior (IBCE).	71
Anexo 9.	Grafico Los Tiempos, Importación de trigo en grano y harina 2016-2017, según datos del Instituto Boliviano de Comercio Exterior (IBCE).	71

ABREVIATURAS

°C	Grados centígrados
cm	Centímetro
CIMMYT	Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo
dds	Días desde la siembra
EMAPA	Empresa de Apoyo a la Producción de Alimentos
g	Gramos
ha	Hectáreas
hl	Hectolitro
INIAF	Instituto Nacional de Innovación Agropecuaria y Forestal
INE	Instituto Nacional de Estadísticas
IBCE	Instituto Boliviano de Comercio Exterior
kg	Kilogramos
l	Litro
msnm	Metros sobre el nivel del mar
MDRyT	Ministerio de Desarrollo Rural y Tierras
m	Metro
PN	Programa Nacional
USDA	Departamento de Agricultura de los Estados Unidos
T	Toneladas métricas
Tepoca	Variedad testigo y/o control.

RESUMEN

Actualmente el trigo se cultiva casi en todos los climas del mundo, desde el nivel del mar hasta los 4000 metros de altitud. Las variedades mejoradas de trigo son un componente fundamental para lograr éxito en la producción, quienes fueron desarrolladas para alcanzar un comportamiento óptimo en cuanto a rendimiento, calidad industrial y resistencia a enfermedades. El trigo presenta una amplia adaptabilidad en ambientes diferentes porque su material genético que contiene 42 cromosomas, bajo estos antecedentes y con el desafío de incrementar la producción nacional y llenar el vacío tecnológico que se presencia en este rubro, se instaló un ensayo en el Altiplano Norte de La Paz específicamente en la Estación Experimental de Kallutaca, con el objetivo de determinar la adaptabilidad de 12 líneas elites precoces de trigo harinero, con el material genético proveniente del CIMMYT, seleccionado para precocidad en ensayos de multilocalidad por el PN-Trigo del INIAF, en esta investigación se empleó 11 líneas elites seleccionados en F9 y la variedad (testigo y/o control) Tepoca, la investigación se condujo bajo el diseño de bloques completos al azar. Los resultados de esta investigación muestran un ciclo de cultivo bastante prolongado, en especial la fase comprendida entre la floración y la madurez fisiológica, esto se debe a las bajas temperaturas y precipitaciones altas en las etapas finales de llenado de grano. Comparando el rendimiento y los componentes de rendimiento se identificaron las siguientes líneas elite productivas: 349-19, 304-20 y 309-20 con rendimientos de 3.800, 3.667 y 3.600 kg*ha⁻¹, respectivamente. También se identificaron líneas muy tardías: 3083-29 y 301, tardías: 325-19, 349-19 y 3084-29, intermedias: 310-20, 306-20 y 325-20, precoces 3092-29, 309-20, 304-20 y muy precoz 350-20 con 93 días desde la siembra (dds) a la floración y 175 días desde la siembra (dds) a la maduración fisiológica.

ABSTRACT

Currently wheat is grown in almost all climates in the world, from sea level to 4000 meters altitude. Improved wheat varieties are a critical component of successful production, which were developed to achieve optimum performance in terms of yield, industrial quality and disease resistance. Wheat presents a wide adaptability in different environments because it is a genetic material containing 42 chromosomes, under this background and with the challenge of increasing national production and filling the technological gap that is present in this area, a trial was installed in the Altiplano North of La Paz specifically at the Kallutaca Experimental Station, with the objective of determining the adaptability of 12 early wheat wheat lines, with the genetic material from CIMMYT, selected for precocity in multilocality trials by the INIAF PN-Wheat. In this research we used 11 elite lines selected in F9 and the witness variety Tepoca. The research was conducted under the design of complete random blocks. The results of this research show id very long growing cycle, especially the phase between flowering and physiological maturity, this is due to the low temperatures and high precipitation in the final stages of grain filling. Comparing performance and performance components, the following productive elite lines were identified: 349-19, 304-20 and 309-20 with yields of 3,800, 3,667 and 3,600 kg*ha⁻¹, respectively. Very late lines were also identified: 3083-29 and 301, late: 325-19, 349-19 and 3084-29, intermediate: 310-20, 306-20 and 325-20, precocious 3092-29, 309-20, 304-20 and very precocious 350-20 with 93 dds to flowering and 175 dds to physiological maturation.

1. INTRODUCCIÓN

El trigo (*Triticum aestivum* L.) actualmente está cultivado casi en todos los climas del mundo y es el segundo grano de importancia de los alimentos básicos a nivel mundial, por lo que su uso más constante es la fabricación de harina base de todo el pan, galletas, cereales, pasteles y derivados. La dependencia del trigo permanece como uno de los alimentos esenciales a la nutrición mundial (Aslam *et al.*, 2014). A nivel mundial el año 2016, se cosecho 728,93 millones de toneladas métricas, en esto se muestran como los países más relevantes está, Unión Europea con 160.48 millones de toneladas presentando el 22% de la producción mundial, seguido por China con 130.19 millones de toneladas métricas y presentando el 17.9%, en tercer lugar se encuentra India con 86.53 millones de toneladas métricas, presentando el 11.9% y los rendimientos a nivel mundial, China y la Unión Europea oscilan entre 3.28 – 5.98 t·ha⁻¹ (USDA, 2016).

Durante siglos no se registraron cambios importantes en los métodos de cultivo y procesamiento del trigo, a pesar de que este cereal se produjo en prácticamente toda Europa. A fines del siglo XVIII se registraron algunos desarrollos mecánicos en los molinos, como la aparición de los aventadores, montacargas y métodos modernos para la transmisión de fuerza con lo cual se aumentó la producción de harina. En el siglo XIX se produjo un cambio fundamental en la molienda, gracias a la aparición del molino de vapor, con rodillos o cilindros de hierro y a la par otros importantes desarrollos tecnológicos, se produjo un aumento paulatino en el cultivo del trigo (Ramos, 2013).

Las estadísticas muestran que para 2009 más del 18% del consumo mundial fue basado en trigo, a la par los datos decenales de la nómina de naciones muestran en esta gestión como importadoras relevantes de harina de trigo, donde figura nuestro país, sumando hasta un 43% de las importaciones promedio (Miro y Bertolasi, 2009). El constante crecimiento poblacional hace que haya mayor demanda de producción en menor superficie y este desafío debe ser asumido con mayor fuerza e importancia en Latinoamérica, porque las región andinas productoras no son autosuficientes, incluida Chile, Brasil, Colombia, Ecuador, Perú, Bolivia, Centro América y México, que recurren al trigo importado de afuera para cubrir su demanda interna (Herbas, 2008).

El trigo es uno de los principales cereales junto al maíz y arroz en la dieta diaria de la población mundial, destacándose por su fuente de energía de los hidratos de carbono y un mayor contenido de proteínas y es la principal fuente de proteína vegetal en la

alimentación humana (Allahverdiyev *et al.*, 2015). En Latinoamérica la productividad de trigo es liderada por, Argentina con 16 millones de toneladas métricas siendo el 2.12% de la producción mundial, seguido por Brasil con 6.73 millones de toneladas, presentando el 0.89% y en tercer lugar tenemos a Chile con 1.37 millones de toneladas, siendo el 0.18% de la producción mundial de trigo con un rendimiento promedio de 5.814 kg·ha⁻¹ y Bolivia se encuentra en el puesto 60 del ranking mundial con 62.000 toneladas, presentando el 0.01% de la productividad mundial y rendimiento de 1.118 kg·ha⁻¹ (USDA, 2016).

En Bolivia, la especie (*Triticum aestivum* L), es un alimento de primera necesidad para la población nacional, se emplea para la elaboración de diversas harinas y para la elaboración del pan, que es un alimento de mayor consumo en los hogares de bajos ingresos económicos. Los principales tipos de consumo del trigo a nivel nacional son: harina para elaboración de pan (72%), pastas y fideos (24%), galletería otros (4%) (INIAF, 2012).

El trigo en Bolivia en todas sus formas constituye parte de la dieta alimentaria nacional, este grano contiene un alto porcentaje de proteínas y carbohidratos, es un complemento magnífico para el organismo y tiende a consolidarse como un cereal central dentro de la canasta familiar. Sin embargo existe déficit en la producción nacional de trigo. La importancia del trigo radica en su contribución a la alimentación, lo que garantiza la persistencia de su producción, por tanto debe priorizarse el autoconsumo sobre su demanda de mercado. En la campaña agrícola 2014 – 2015, Bolivia tuvo una buena producción de trigo, porque por primera vez se sobre pasó más allá del 50% de la demanda nacional; sin embargo, en la campaña 2015 – 2016 hubo una disminución del 40%, del total de la demanda, a consecuencia de la baja de precios principalmente y por los cambios climatológicos (ENLACE-MDRyT, 2016).

En Bolivia la producción de trigo está centrada en dos áreas definidas la: Zona tradicional que comprende zonas agrícolas en los departamentos de Cochabamba, Chuquisaca, Tarija, Potosí Oruro y parte de La Paz, con rendimientos que varían de 0.5 a 1 t·ha⁻¹ y un promedio de 0.805 t·ha⁻¹, y Área oriental en el departamento de Santa Cruz, en donde el rendimiento varia de 0.4 a 2 t·ha⁻¹ con un promedio de 1.33 t·ha⁻¹ (MACA, 2004 citado por Yapu, 2015).

1.1. Antecedentes

El rendimiento de trigo en el altiplano Boliviano se incrementó hasta 1.8 t*ha^{-1} y se amplió la frontera agrícola, reactivando la producción en zonas altamente potenciales en producción de trigo en La Paz, (Los Andes y Pucarani) donde el rendimiento se incrementó a 2 t*ha^{-1} y Oruro que incremento en promedio $1,65 \text{ t*ha}^{-1}$ (EMAPA, 2014).

El trigo presenta una amplia adaptabilidad por su material genético contenida en 42 cromosomas y sometida a mejoramiento genético, se la cultiva desde el Ecuador hasta los 67° N en Escandinavia y hasta los 45° S en Argentina, Chile y Nueva Zelanda. Entre los antecedentes más recientes tenemos el ensayo conducido en la Estación Experimental de Kallutaca durante la gestión agrícola 2014-2015 por Yapu, (2015), donde determinó la adaptabilidad de 21 líneas avanzadas precoces de trigo harinero, con material genético proveniente de CIMMYT, testado para precocidad por el PN-Trigo de INIAF como resultante de la investigación empleó 10 líneas SAWYT y 10 líneas ESWYT. Los resultados de la investigación mostraron un ciclo de cultivo bastante prolongado, en especial la fase comprendida entre la floración y la madurez fisiológica, esto producto de bajas temperaturas y precipitaciones altas en las etapas finales de llenado de grano. Comparado los componentes de rendimiento y rendimiento se identificaron las siguientes líneas productivas: 9-20S, 13-32E, 22-19S y 10-20S con rendimientos de 2.176, 2.072, 1.935 y 1.905 kg*ha^{-1} , respectivamente. En tanto las líneas con características destacables de morfología de espiga y calidad de grano fueron las siguientes: 15-32E, 29-32E y 43-33E. También se identificaron líneas muy tardías: Tepoca, 1-33E, 9-20S y 25-19S, tardías: 43-33E, 27-32E y 10-20S, intermedias: 45-33E, 44-33E, 41-33E, 13-32E, 24-32E, 3-20S, 4-20S, 6-20S y 22-19S, precoz 29-32E y muy precoz 15-32E.

1.2. Planteamiento del problema

Bolivia no satisface su demanda interna en la producción de trigo, a pesar de existir antecedentes alentadores en el altiplano norte, el cultivar y producir trigo sigue siendo un reto, debido a la baja fertilidad de los suelos y los factores adversos del clima que nos condiciona el ciclo vegetativo largo, rendimientos bajos, susceptibilidad a enfermedades y grano de baja calidad. Considerándose cultivar el trigo como poco rentable, pero su presencia en la alimentación humana constituye un reto para ser mejorada en su producción y rendimiento de grano, en el altiplano.

1.3. Justificación

La presente investigación de adaptabilidad de 12 líneas elite precoces de trigo harinero en la Estación Experimental de Kallutaca, es parte de la red nacional de ensayos promovidos por el Instituto Nacional de Innovación Agropecuaria y Forestal (INIAF) y conducido por el Programa Nacional de Trigo (PN-Trigo), porque en Bolivia el trigo, es un rubro estratégico, debido a que este cereal es un alimento de primera necesidad y de mayor consumo en la población, dentro los objetivos del PN-Trigo está el de generar nuevas variedades adaptadas a las condiciones del altiplano, altos rendimientos, buena calidad de grano, resistencia a factores bióticos y abióticos, junto a aspectos de manejo agronómico del cultivo. Y uno de los mecanismos más potentes de tolerancia y resistencia a la sequía es la precocidad de la variedad. Donde los beneficiados directos constituyen la población en general que consume el trigo y sus derivados, además de apoyar a la soberanía y la seguridad alimentaria de los bolivianos.

1.4. Objetivos

1.4.1. Objetivo general

- Evaluar la adaptabilidad de 12 líneas elites precoces de trigo harinero (*Triticum aestivum* L.) procedentes del vivero internacional del CIMMYT, en la Estación Experimental de Kallutaca, Departamento de La Paz.

1.4.2. Objetivos específicos

- Evaluar el comportamiento agronómico de 12 líneas elites precoces de trigo harinero, en la estación experimental de Kallutaca.
- Analizar los componentes de rendimiento de 12 líneas elites precoces de trigo harinero, procedentes del vivero internacional del CIMMYT.

1.5. Hipótesis

- No existen diferencias en el comportamiento fenológico, comportamiento agronómico y componentes de rendimiento de las 12 líneas elites precoces de trigo harinero evaluados en la estación experimental de Kallutaca.

2. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

2.1. Origen geográfico del trigo

El trigo tiene sus orígenes en la antigua Mesopotamia. Las más antiguas evidencias arqueológicas del cultivo de trigo vienen de Siria, Jordania, Turquía, Israel e Irak. Hace alrededor de 8 mil años, una mutación o una hibridación ocurrió en el trigo silvestre, dando por resultado una planta tetraploide con semillas más grandes, la cual no podría haberse diseminado con el viento. Existen hallazgos de restos carbonizados de granos de trigo almidonero (*Triticum dicoccoides*) y huellas de granos en barro cocido en Jarmo (Irak septentrional), que datan del año 6700 a. C. (Wikipedia, 2016). Esta afirmación es congruente con las evidencias científicas, que nos muestran que, en sus orígenes, el trigo era silvestre, y creció primero en Mesopotamia, entre los valles de los ríos Tigris y Éufrates, y de ahí se extendió a toda la región conocida como creciente fértil, que comprende desde Palestina, (en la zona de Jericó); el sur de Turquía (área de Katal Huyuk), hasta la propia Mesopotamia y el Golfo Persico. Más tarde, la semilla de trigo llegó al antiguo Egipto y se cultivó con gran éxito en el Valle del Nilo (Ramos, 2013).

2.2. Evolución genética del trigo harinero

El proceso de mejoramiento genético del cultivo de ninguna manera se ha estancado, el trigo consumido por los seres humanos ha ido multiplicando las copias de su material genético, en tal efecto los granos actuales vienen de plantas hexaploides (con seis copias y esto en el reino vegetal es un fenómeno). A medida que el trigo ha evolucionado, pasando por hibridación con otras especies del mismo género o de otros, muchas de sus características morfológicas han cambiado y mejorando para hacerse más aceptables para el consumo y mayor facilidad para el manejo del cultivo, se esperan para el futuro mejoras en rendimiento, resistencia a enfermedades, tolerancia a plagas, calidad panadera, contenido proteico en grano, etc. (Grubial, 2011).

El genoma del (*Triticum aestivum* L.) está compuesto por 21 pares de cromosomas, que pueden ser clasificados como: AABBDD y clasificado en tres bloques A, B y D. El bloque D se corresponde con el juego de cromosomas DD; y es uno de los mejor conocidos. Este juego de cromosomas es parte del genoma del trigo y es el genoma completo de otra especie de planta, *Aegilops tauschii* (también llamada *Triticum tauschii* y *Aegilops squarrosa*) Se trata de una hierba que crece de forma salvaje como maleza y que es

oriunda de Oriente Medio. Por otra parte, el bloque de cromosomas A y B conforman el juego de cromosomas AABB, el cual a su vez es prácticamente el genoma de otra especie de planta, *Triticum turgidum*, otra gramínea originaria de Oriente Medio, donde algunas de sus variedades todavía son cultivadas en estas áreas (Peterse *et al.*, 2006).

El *Triticum aestivum* es en realidad una especie formada por la fusión genética de *Aegilops tauschii* y *Triticum turgidum*, una especie de maleza y una especie de “trigo silvestre”, que al unirse originaron a su vez una especie completamente nueva de trigo (Cnidus, 2009). En tanto que el grupo de cromosomas BB los últimos estudios moleculares indican que el juego de cromosomas BB es herencia de una especie concreta de este grupo de plantas, *Aegilops speltoides*, una hierba nativa del sureste de Europa y el oeste de Asia. (Levy y Feldman, 2002.; Kilian, 2007).

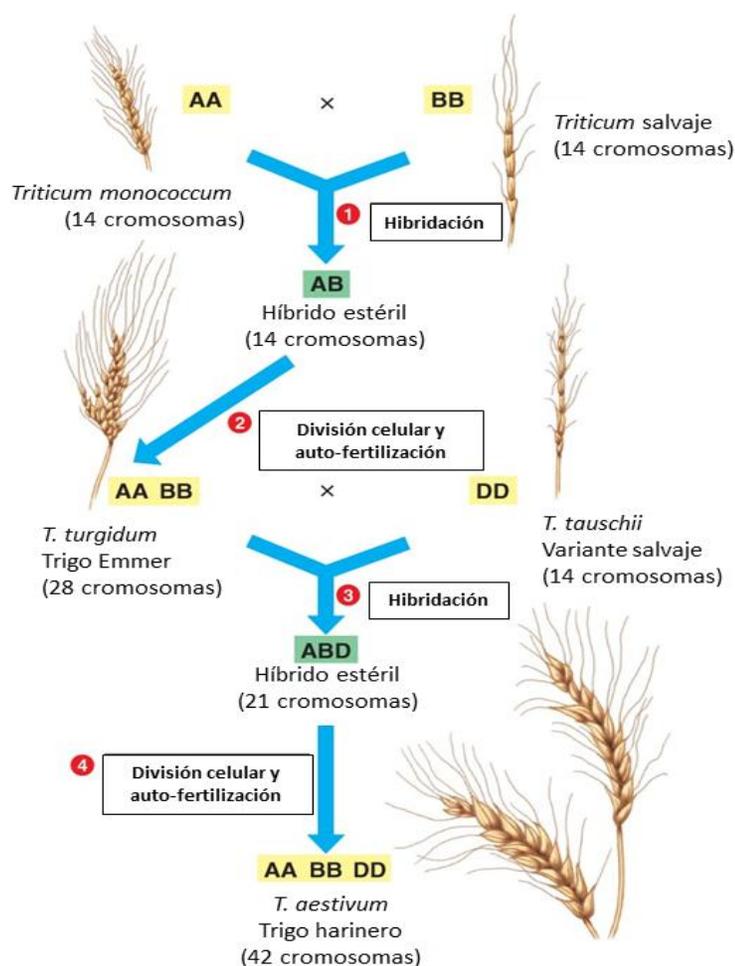


Figura 1. Origen del trigo harinero (*Triticum aestivum* L.) (Noah, 2016)

2.3. Distribución geográfica de la producción mundial

El trigo abarca más área terrestre que ningún otro cultivo comercial y continúa siendo la fuente más importante de grano para comida de los humanos. Su producción conduce todos los cultivos, incluyendo arroz, maíz y papa, mostrando la más amplia distribución geográfica, ya que es cultivado desde el Ecuador hasta los 67° N en Escandinavia y hasta los 45° S en Argentina, Chile y Nueva Zelanda (Wang *et al.*, 2003 citado por Yapu, 2015).

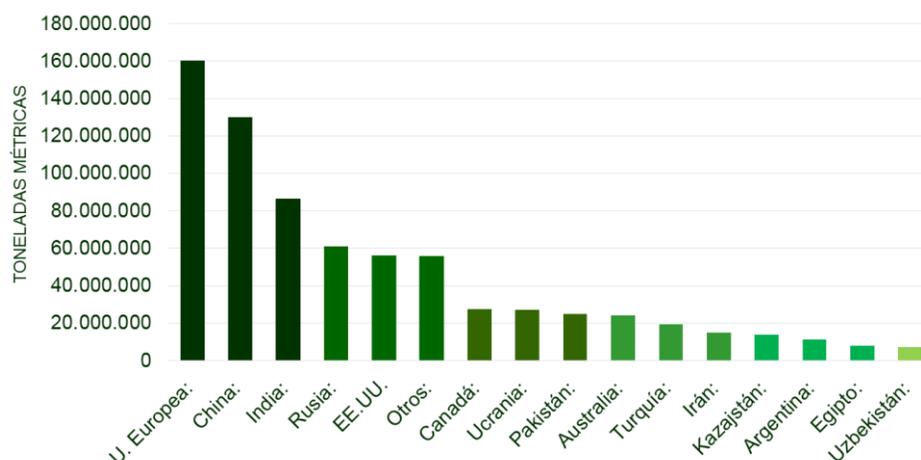


Figura 2. Países productores de trigo del año 2016, en toneladas métricas (t), dato extraído del Departamento de agricultura de los Estados Unidos (USDA, 2016)

Los 5 países más productores de trigo del 2016, liderado por la Unión Europea con el 22% de la producción mundial, seguido por China con 17.9%, India con el 11.9%, Rusia con 8.4%, y finalmente esta Estados Unidos con 7.7% de la producción mundial de trigo. El departamento de Estados Unidos (USDA) estima que la producción para el 2017 será de 753.09 millones de toneladas (USDA, 2016).

2.4. Clasificación taxonómica del trigo

Según Kansas State University (2015); Wikipedia (2015), el trigo tiene la siguiente clasificación taxonómica:

Orden: Poales

Familia: Poaceae

Género: Triticum

Especie: Vulgare, aestivum

Nombre científico: *Triticum aestivum* L.

2.5. Desarrollo fenológico del trigo

El desarrollo es un proceso de cambios cualitativos en el que se forman y/o mueren diferentes estructuras de la planta, siguiendo una secuencia que a veces se sobrepone, la velocidad con que estos cambios suceden en la planta está en función de la temperatura del lugar donde se desarrolla el cultivo, como resultado cada estado de desarrollo se logra en distinto tiempo (Silva, 2015). El desarrollo fenológico de este cereal se mide por diferentes escalas; la más utilizada es la de Zadoks *et al.* (1974), mismo que describe a los estados morfológicos externos del cultivo, tanto en crecimiento como en desarrollo.

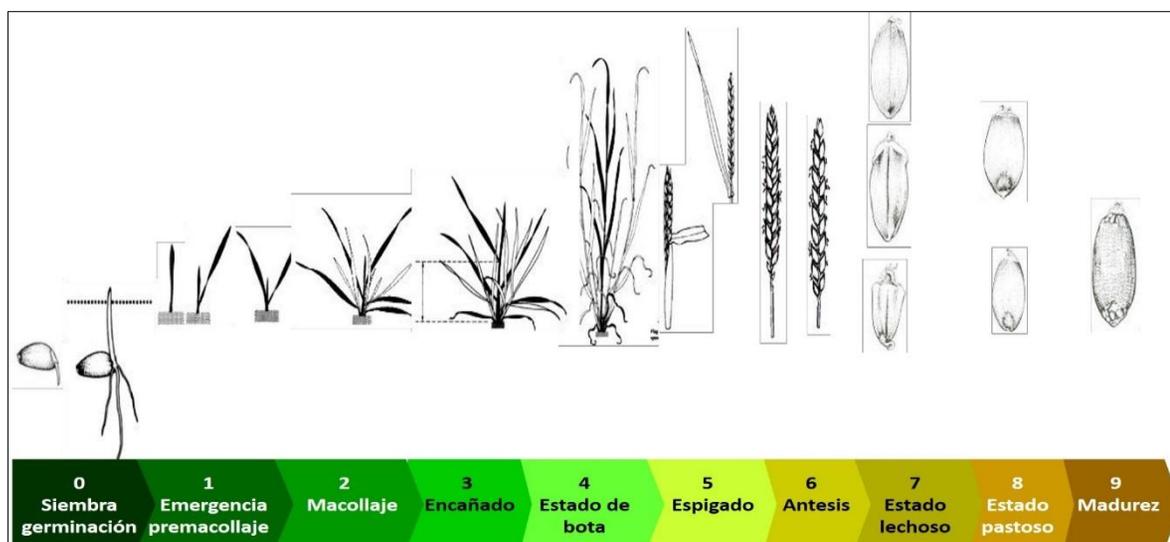


Figura 3. Desarrollo fenológico según la escala decimal de Zadoks *et al.* (1974)

2.5.1. Fase reproductiva

El último entrenudo en alongarse en cada tallo es el “pedúnculo”, encargado de producir la emergencia de la espiga. El proceso de encañazón modifica el porte de la planta, tornándola erecta. El despliegue de la lámina de la hoja bandera coincide con el estado de vaina engrosada (donde la espiga está encerrada en la vaina de la hoja bandera) y con la formación de los granos de polen (Zadoks *et al.*, 1974).

El mismo señala que, a los pocos días de emergencia de la espiga se produce la autofecundación (cleistogamia) y luego aparecen las anteras (la Aloración se identifica con la Antesis o emergencia de los estambres fuera de las espiguillas después de la fecundación) y comienza la formación de las cubiertas del grano. El período

Espigazón – Antesis es crítico para la ocurrencia de una helada y es generalmente en función de ello que se definen las fechas de siembra del cultivo.

2.5.2. Fase de llenado de grano

Entre la antesis y la madurez del cultivo, se produce la etapa de llenado de grano. También suele decirse que esta etapa ocurre entre la floración completa y la madurez fisiológica del cultivo. Durante esta fase se acelera progresivamente la senescencia foliar. La duración del período Llenado de Grano depende del genotipo de la planta y una buena disponibilidad hídrica. En madurez fisiológica los granos alcanzan su mayor tamaño y el cultivo ya no tiene más hojas verdes. Hay poca evidencia de que la duración del período Llenado de Grano varíe entre macollos y fechas de siembra. Este período es más o menos constante para un amplio rango de condiciones, exceptuando estrés hídrico. Aquí hay una importante absorción de N y P por parte del cultivo (Reynolds *et al.*, 2013).

Los mismos autores señalan que la fase de Llenado Efectivo del Grano tiene diferentes estados: El estado grano lechoso es cuando al presionar el grano se observa un líquido blanquecino pero las envolturas están formadas y el tamaño potencial del mismo, determinado. El estado de grano pastoso es cuando este comienza a perder su tonalidad verdosa, se amarillea y adquiere consistencia pastosa o granulosa en su endospermo. El estado de grano duro es cuando presionado el grano fuertemente con una uña, no se rompe pero se marca. El estado de grano maduro es cuando presenta color amarillento o tostado y no se aplasta bajo la presión.

La duración de las distintas etapas fenológicas del cultivo, están reguladas por tres factores determinantes: Temperatura, Fotoperiodo (duración del día) y Vernalización (requerimiento de horas de frío). El conocimiento de las respuestas del cultivo a estas variables ambientales, permite caracterizar la adaptabilidad de los diferentes cultivares a las distintas zonas productivas (Miralles, 2004 citado por Yapu, 2015).

La escala de Zadoks *et al.* (1974), es la más utilizada para describir estados morfológicos externos del cultivo (véase cuadro 1); estos involucran procesos de crecimiento y desarrollo. Esta escala divide el ciclo del cultivo en etapas principales y etapas secundarias.

Cuadro 1. Escala fenológica del trigo, descripción de estados morfológicos externos involucrados en procesos de crecimiento y desarrollo.

Esc. Estado vegetativo	Esc. Estado vegetativo
0 Germinación	41 Vaina de la hoja bandera extendida
7 Emergencia del coleoptilo	Inflorescencia en mitad de la vaina de la
9 Hoja en el extremo del coleoptilo	45 hoja
1 Crecimiento de la planta	47 Vaina de la hoja bandera abierta
11 1º hoja desarrollada	49 Primeras aristas visibles
12 Dos hojas desarrolladas	5 Emergencia de la inflorescencia
13 Tres hojas desarrolladas	Primeras espiguillas de la inflorescencia
14 Cuatro hojas desarrolladas	51 visibles
2 Macollaje	55 Mitad de la inflorescencia emergida
21 Un tallo principal y un macollo	59 Emergencia completa de la inflorescencia
23 Un tallo principal y tres macollos	6 Antesis (centrípeta)
Un tallo principal y cinco	61 Comienzo de antesis
25 macollos.	65 Mitad de antesis
Un tallo principal y siete	69 Antesis completa
27 macollos.	7 Grano lechoso
3 Elongación del tallo	75 Medio grano lechoso
31 1º nudo detectable	77 Grano lechoso avanzado
32 2º nudo detectable	8 Grano pastoso
33 3º nudo detectable	83 Comienzo de grano pastoso
4 Estado de bota	87 Pastoso duro
37 Hoja bandera visible	9 Madurez
	92 Cariopse duro (no se marca con la uña).

Fuente: Kosina *et al.* (2013).

2.6. Descripción morfológica del trigo

Según INFOAGRO (2016), las partes de la planta de trigo se pueden describir de la siguiente manera:

- **Raíz:** Suelen alcanzar más de un metro, situándose la mayoría de ellas en los primeros 25 cm. de suelo. El crecimiento de las raíces comienza en el periodo de ahijado, estando todas ellas poco ramificadas. El desarrollo de las raíces se considera completo al final del "encañado". En condiciones de secano la densidad de las raíces entre los 30-60 cm. de profundidad es mayor, aunque en regadío el crecimiento de las raíces es mayor como corresponde a un mayor desarrollo de las plantas.
- **Tallo:** Es embrión, que representa el 82% del peso del grano y a lo largo hueco (caña), con 6 nudos. Su altura y solidez determinan la resistencia al encamado.
- **Hojas:** Las hojas son cintiformes, paralelinervias y terminadas en punta.

- **Inflorescencia:** Es una espiga compuesta de un tallo central de entrenudos cortos, llamado raquis, en cada uno de cuyos nudos se asienta una espiguilla, protegida por dos brácteas más o menos coriáceas o glumas, a ambos lados. Cada espiguilla presenta nueve flores, de las cuales aborta la mayor parte, quedando dos, tres, cuatro y a veces hasta seis flores.
- **Flor:** Consta de un pistilo y tres estambres. Está protegida por dos brácteas verdes o glumillas, de la cual la exterior se prolonga en una arista en los trigos barbados.
- **Fruto:** Los granos son carióspsides que presentan forma ovalada con sus extremos redondeados, el germen sobresale en uno de ellos y en el otro hay un mechón de pelos finos, el resto del grano, denominado endospermo, es un depósito de alimentos para el de la cara ventral del grano hay una depresión (surco): una invaginación de la aleurona y todas las cubiertas. En el fondo del surco hay una zona vascular fuertemente pigmentada, el pericarpio y la testa, juntamente con la capa aleurona, conforman el salvado de trigo, el grano de trigo contiene una parte de la proteína que se llama gluten, el gluten facilita la elaboración de levaduras de alta calidad, que son necesarias en la panificación.

2.7. Requerimientos edafoclimáticos

La temperatura ideal para el crecimiento y desarrollo del cultivo de trigo está entre 10 y 24° C. la temperatura no debe ser demasiado fría en invierno ni demasiado elevada en primavera durante la maduración. En cuanto a la precipitación se ha demostrado que en años secos el cultivo puede desarrollarse bien con 300 o 400 mm de lluvia, siempre que la distribución de esta lluvia sea escasa en invierno y abundante en primavera. El trigo requiere suelos profundos para el buen desarrollo del sistema radicular. Al ser poco permeables los suelos arcillosos conservan demasiada humedad durante los inviernos lluviosos. En general, se recomienda que los suelos de secano dispongan de un buen drenaje. El trigo no prospera en suelos ácidos; las prefiere neutras o algo alcalinas (Fenalce, 2016).

2.8. Principales plagas y enfermedades del cultivo de trigo

2.8.1. Principales enfermedades

Las enfermedades que disminuyen la productividad y rentabilidad de este cereal, son las involucradas con hongos y en consecuencia una identificación categórica debe basarse en su morfología y las que se presentan con frecuencia son las royas que están conformadas por: roya amarilla o estriada (*Puccinia striiformis*), roya de la hoja o anaranjada (*Puccinia recóndita*), roya negra o del tallo (*Puccinia graminis f. sp. Tritici*); las enfermedades de la espiga son los carbones causantes de enanismo como el carbón volador (*Ustilago tritici*), caries o carbón ediondo (*Tilletia foetida*, *Tilletia caries*, y *Tilletia controversa*). Enfermedades foliares que están compuestas por mancha foliar o septoriosis (*Septoria tritici*) mancha amarilla, bronceado tostada (*Tritici repentis*) y oídio (*Blumeria graminis f. Sp tritici*) (Ruiz, 2005, citado por Yapu, 2015).

Principales enfermedades del área tradicional. Helmintosporiosis, roya, roya del tallo. Principales enfermedades en el área oriental. Helmintosporiosis, roya, roya del tallo, oídio, piricularia bruzone (MDRyT-VDRA, 2012).

Las enfermedades que mayor daño causan al cultivo de trigo, en zonas altas son: Roya morena de hoja que aparece en los primeros estadios de la planta en las hojas basales (base), es de color marrón oscuro. Roya negra del tallo, este aparece generalmente entre la espigazón y maduración atacando al tallo y las hojas de color negro amarillento. Roya amarilla o de las glumas que ataca a tallo y hoja pero con mayor predominancia a las glumas y los granos, de color amarillo naranja, su aparición es antes de la espigazón y maduración, dando como consecuencia granos chupados (Ruiz, Cotrina y De Neef, 2005, citado por Yapu, 2015).

2.8.2. Principales plagas

El cultivo de trigo se ve afectada por una gran cantidad de insectos, solo algunas especies de insectos tiene considerable importancia por que provocan grandes daños, mismos que se constituyen como plagas los cuales son: los afidos, pulgones (*Rhopalosiphom padi*), gusano soldado (*Pseudaletia spp*), chinche apestoso, trips, gusano alambre (*Medonia deremicoides*, *Conoderus rafangulus*), presentándose en sus diferentes especies de acuerdo al contexto (Prescott *et al.*, 1986, citado por Yapu, 2015).

El trigo en altura >3000 msnm. Tiene una amplia diversidad de plagas, una mayoría no tiene importancia económica, sin embargo en ocasiones se presenta el ataque de afidos o pulgones, los mismos que se combaten generalmente con la presencia de las lluvias (Ruiz, Cotrina y De Neef, 2005). Los roedores y las aves pueden ser un problema grave durante el establecimiento del cultivo (plantas por área), madurez y el almacenamiento de los granos, se debe observar la profundidad de siembra y afirmar el suelo sobre la semilla, el acame permite a los roedores alcanzar la espiga, en medida se debe cortar las plantas que presenten acame, generalmente los pájaros se alimentan de los trigos cuando se siembra fuera de temporada o son trigos precoces (Kosina *et al.*, 2013).

2.9. Impacto global del Fito-mejoramiento de trigo, CIMMYT

La piedra angular de la metodología de fitomejoramiento de CIMMYT es el uso de una piscina diversa de genes para cruzarse, fitomejoramiento dirigida a sectores específicos de los ambientes, viajan regularmente con dos objetivos, proliferando selección para el rendimiento debajo de las condiciones óptimas, y localización experimental para la identificación de germoplasma superior con buena tolerancia a enfermedades (Wang *et al.*, 2003).

1. Subcontinente (India, Pakistán, Bangladesh y Nepal)
2. Este de Asia (China, Japón y Corea)
3. Oriente Medio (Turquía para Afganistán)
4. África Del Norte e Iberia
5. Valle de Nilo (Egipto y Sudán)
6. África Oriental (incluyendo Etiopía, Kenia, Tanzania y Madagascar)
7. África sureño
8. Norte de México
9. América Central
10. La región andina
11. El Cono Sureño de Sudamérica
12. Australasia
13. EEUU / Canadá
14. Europa sureña (Italia, Yugoslavia, Bulgaria, etcétera.)
15. Europa occidental (Inglaterra, Francia, Alemania, etcétera.)

El programa de mejoramiento de trigo de CIMMYT fue organizándose para servir las necesidades de germoplasma de 1-11 regiones agro-ecológicas. Sin embargo, con pocos esfuerzos de mejoramiento utilizaron el germoplasma de las 15 regiones en sus programas de hibridación, incluyendo regiones 12-15 del mundo en adelante (Rajaram *et al.*, 1995 citado por Yapu, 2015).

2.10. Programas de mejoramiento de trigo en Bolivia

El proceso de generación de tecnología en Bolivia estuvo marcado por una falta de continuidad de acciones, en los 90's, el Instituto Boliviano de Tecnología agropecuaria (IBTA), con financiamiento del Banco Mundial, generó algunas variedades y contribuyó a la formación de recursos humanos. Entre 1998 a 2001, fue implementado un Programa de Investigación y Transferencia de Tecnología para el Cultivo de Trigo (PROTRIGO), con apoyo financiero del Programa PL-480-Título III, del Programa PASA, con financiamiento de la Unión Europea y la contraparte de las prefecturas de Cochabamba, Chuquisaca, Potosí y Tarija y trabajo con dos componentes: a) generación y difusión de tecnologías apropiadas para el cultivo de trigo en la zona de los Llanos orientales y b) generación y difusión de tecnologías apropiadas para el cultivo de trigo en la zona de los Valles. Al finalizar el programa no se dieron iniciativas nacionales para impulsar el rubro; sin embargo continuaron acciones puntuales de actores generadores de conocimientos tendientes a fomentar la producción de trigo a través de sus respectivos programas de investigación como PROINPA y ANAPO. A pesar de los esfuerzos y financiamiento invertidos, no se logró superar los problemas de baja productividad. Bajo estas condiciones se estructuró el Programa Nacional de Trigo del INIAF que en la actualidad viene realizando actividades de investigación, cuyo objetivo es desarrollar tecnologías de producción que permitan mejorar los índices de productividad (MACA, 2001 y INIAF, 2016).

2.10.1. Adaptabilidad

CIMMYT es referente en el mejoramiento del trigo, distribuye la amplia diversidad de germoplasma que posee y ha desarrollado los cultivares modernos de trigo, muestran a menudo una amplia adaptación geográfica, así como una amplia adaptación a un rango de condiciones medioambientales y de manejo. Esta aptitud en la adaptación ha sido lograda gracias a los diferentes programas de mejoramiento con la extensiva experimentación y evaluación en campo de líneas de mejoramiento en muchos ambientes durante el proceso de selección. El trigo posee una adaptación natural más amplia que

puede atribuirse a la combinación de múltiples alelos para el fotoperiodo y genes sensibles al enfriamiento (o vernalización) que determinan la productividad agro-ecológica del cultivo, definiendo adaptación amplia como la habilidad de un cultivar para producir rendimientos altos en diferentes ambientes (Reynolds *et al.*, 2013).

El concepto de adaptación amplia ha sido criticado, alegando adaptación local o específica. La amplia adaptación a una extensa gama de ambientes llega a ser cada vez más importante para desarrollar cultivares que puedan hacer frente a los climas extremos que ocurren en un lugar a través de los años, o con variaciones dentro de los campos de los agricultores. El sistema internacional de viveros multiambientes es el mejor mecanismo para identificar y liberar espacialmente cultivares de trigo ampliamente adaptados (Rajaram y Ceccarelli, 1998; Reynolds *et al.*, 2013).

Adaptación es un concepto que está entendido como la acción y el efecto de adaptarse, acomodarse o ajuste de algo respecto a otra cosa. La adaptación biológica, asimismo, constituye un proceso de tipo fisiológico que afecta a un organismo que, durante un determinado plazo, ha mostrado una notable evolución por medio de la selección natural. De esta forma, que la reproducción sea exitosa son notablemente elevadas, sólo las especies que mejor consiguen adaptarse a las circunstancias que les rodean son las que logran sobrevivir y seguir evolucionando. Mientras, las que no lo logran van desapareciendo (Definición, 2016).

La adaptación biológica es un proceso fisiológico, rasgo morfológico o modo de comportamiento de un organismo que ha evolucionado durante un periodo mediante la selección natural de tal manera que incrementa sus expectativas a largo plazo para reproducirse con éxito. Tiene tres significados, uno fisiológico y dos evolutivos:

1. Algunos fisiólogos utilizan el término adaptación para describir los cambios compensatorios que ocurren a corto plazo en respuesta a disturbios ambientales. Estos cambios son el resultado de la plasticidad fenotípica. Sin embargo, esto no es adaptación y los términos aclimatación y aclimatización son más correctos.
2. En biología evolutiva, la adaptación se refiere tanto a las características que incrementan la supervivencia y/o el éxito reproductivo de un organismo, como al proceso por el cual se adaptan los organismos: a) Adaptación como patrón: Cualquier carácter, morfológico, fisiológico, de conducta, o de desarrollo que incrementa la supervivencia y/o

el éxito reproductivo de un organismo. b) Adaptación como proceso: Los mecanismos por los cuales la selección natural ajusta la frecuencia de los genes que codifican para rasgos que afectan el número de descendientes que sobreviven en generaciones sucesivas, esto es, la aptitud. Los atributos necesarios para la adaptación y para la selección natural incluyen variabilidad, repetibilidad, heredabilidad y supervivencia diferencial de los descendientes, muchos autores consideran que la adaptación es casi sinónima de la selección natural (Wikipedia, 2017).

2.10.2. Precocidad

Los trigos de ciclo largo o corto, no son indiferentes para el rendimiento en la cosecha. Uno de los mecanismos más potentes de resistencia a la sequía es la precocidad de la variedad, que hace que ésta evada a la misma y a los calores del final del período de llenado del grano, aunque las variedades de ciclo más largo tienen un potencial productivo mayor y en el periodo de maduración, un adelanto, puede evitar daños de final de estación, además de permitir una recolección temprana. La condición de precocidad de un trigo no implica sensibilidad al frío, pues esta cualidad aunque es constante para cada variedad, está influida por el fotoperiodo (INFOAGRO, 2016).

La precocidad de una variedad en trigo se mide por el número de días entre la siembra y la maduración del cultivo, Debido a que las variedades más precoces son las que necesitan menos energía para llegar al espigado y el conocimiento aislado de la precocidad de una serie de variedades, en una localidad geográfica, no es suficiente para poder determinar sus exigencias bioclimáticas adaptigenas. En otra situación geográfica el orden de precocidad puede ser diferente (Aquino y Burgos, 2012).

Genéticamente la precocidad intrínseca está controlada por genes menores y parecen estar distribuidos entre diferentes grupos homólogos (genomas "A", "B" y "D"), estos genes de precocidad han recibido menos atención que los de las respuestas al fotoperiodo y la vernalización (Reynolds *et al.*, 2013). Los genes de precocidad intrínseca se vinculan directamente con diferencias en la floración del trigo una vez que los requerimientos de vernalización, fotoperiodo y precosidad intrínseca son satisfechos, estas diferencias son de un orden menor a las asociadas con vernalización y fotoperiodo, sin embargo, poseen un valor adaptativo relevante en el ajuste fino de la adaptación de un cultivar a un ambiente particular y una base genética compleja aun no completamente esclarecida (Lombardo *et al.*, 2013).

2.11. El cultivo de trigo en Bolivia

El trigo es una especie gramínea introducida al continente americano durante la época de la colonia por los españoles encontrando un nicho de producción propicio en ella. Este cereal en Bolivia es cultivada en dos grandes regiones, como las tierras altas de los andes y las llanuras de las tierras bajas. Los factores que determinan el rendimiento son la carencia de agua y la degradación de los suelos con carencias de nutrientes y problemas de malezas (CIMMYT, 1998). Desde esa época el cultivo de trigo prosperó en los valles, contribuyendo y satisfaciendo la demanda interna hasta los años 30's posteriormente, el déficit se fue incrementado producto de políticas externas, crecimiento poblacional y el descuido en la generación de tecnología adecuada para el rubro. A partir de los años 70's se fue impulsando la expansión del rubro a zonas no tradicionales, como el oriente en Santa Cruz, alcanzando a contribuir hasta un 50% a la producción nacional en los últimos años (Herbas, 2008).

Durante el periodo 2004-2014, el grano de trigo ingreso más de 1.8 millones de toneladas al país, la cual representa un valor acumulado de 427 millones de dólares. En 2014, tanto el volumen como el valor crecieron más del 50%, debido al control estricto en las fronteras por parte de la Aduana Nacional, obligando a los importadores a legalizar las importaciones, por lo que el registro de importación subió. EEUU fue el proveedor del 66% de estas importaciones de grano. Asimismo, la importación de harina en el periodo mencionado acumuló un valor de 771 millones de dólares por la compra de 2,2 millones de toneladas. En 2014 se importó un 66% más que en 2013, lo que representa 57.000 toneladas adicionales. Argentina fue el principal proveedor de harina a Bolivia, la cual representa el 91% del total importado, seguido de Uruguay con el 5%. La mejor forma de garantizar el mercado interno es incentivando al sector productivo y generando excedentes, no como ahora que estamos viviendo en carne propia el resultado de esa improvisación donde vamos a estar obligados a importar maíz y aumentar la dependencia en la importación en trigo. Si en 2015 llegamos a casi al 55% de importación, hoy estamos retrocediendo una barbaridad y vamos a importar trigo en el orden del 70% al 75% (450 mil toneladas de trigo) (IBCE, 2016).

2.11.1. Uso y consumo del trigo en Bolivia

La producción actual sólo cubre el 36% de la demanda anual de trigo que alcanza las 700 mil toneladas, Este cereal en sus diferentes formas de consumo constituye un alimento básico en los hogares de bajos ingresos. Los principales usos del trigo en nuestro país, se destina el 72 % a la panificación, 24 % para producción de pastas alimenticias y los restantes 4 % para la industria de galletas, pastelería y otros (Herbas, 2008). El consumo per cápita de trigo en Bolivia es de 69 kilogramos al año. En los últimos cinco años la producción fluctuó entre 145 y 255 mil toneladas al año. El rendimiento nacional de los cultivos de trigo bordea entre 0.9 y 1.4 toneladas por hectárea. En el oriente, llega hasta 1.9 toneladas por hectárea (Los Tiempos, 2016).

En Bolivia, el trigo es un rubro estratégico, debido a que este cereal es un alimento de primera necesidad y de mayor consumo en la población, el consumo promedio per cápita es de 69 kg/año y la demanda anual de alrededor de 721.000 toneladas. En los últimos diez años, el promedio de volumen de producción de Trigo fluctuó entre 138 a 375 mil t/año, representando del 19 al 52% de satisfacción de la demanda interna. El rendimiento promedio de los últimos 10 años fue de $1.2 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$ (INE-MDRyT, 2013). Estos datos reflejan en parte vacíos en la disponibilidad de tecnología de producción como ser la falta de variedades con amplia adaptabilidad y estabilidad, alto potencial genético para rendimiento, buena calidad, tolerantes a factores bióticos y abióticos adversos con sus correspondientes recomendaciones de manejo, que permitan según el tipo de productores, optimizar su potencial productivo, coadyuvando de ésta manera a la política nacional de seguridad con soberanía alimentaria (INIAF, 2014).

2.11.2. La producción de trigo en el área tradicional de Bolivia

La producción en la zona tradicional triguera del occidente boliviano, está concentrada principalmente a los valles interandinos y algunas zonas específicas del Altiplano, las unidades agrícolas productoras más importantes de trigo en los valles de Chuquisaca, Cochabamba, Potosí, Tarija y una área limitada en La Paz y Oruro (Herbas, 2008).

En la presente gestión a nivel nacional se cultivaron alrededor de 250 mil hectáreas de trigo, 150 mil se cultivaron en Santa Cruz y 100 mil en los departamentos de Cochabamba, Chuquisaca, Potosí y Tarija, con las cuales se estima una producción cercana a 350.000 toneladas (INIAF-2015). Los bajos niveles de producción en la región

de los valles responden a condiciones climatológicas adversas. “Hablamos de sequía, algunas heladas, de salinidad (exceso de sal en la tierra), en algunos casos. Esos son los factores que definitivamente son determinantes en los valles” (INIAF, 2016).

2.11.3. Limitantes del altiplano boliviano para el cultivo de trigo

Según Orsag (2014), las condiciones y limitantes en la producción de trigo en el altiplano son:

- Las dificultosas condiciones climáticas que el altiplano le impone al cultivo, por suelos pobres en materia orgánica, con déficit de agua en la última mitad del ciclo vegetativo y problemas de frío en el periodo de llenado del grano.
- Las variedades de trigo usadas actualmente son variedades adaptadas al suelo boliviano de ciclo largo. No se dispone de conocimiento y experiencias previas sobre variantes de cultivo de ciclo corto y que se adapten bien a las condiciones del altiplano.
- La baja fertilidad natural de los suelos, se debe principalmente a la mineralogía que presentan los suelos del altiplano y a un perfil donde predomina la fracción gruesa (arena) sobre el limo y arcilla, situación que impide retener suficiente cantidad de agua y nutrientes para las plantas. A este se suma el monocultivo sin descanso del suelo practicado en la producción de algunos cultivos, que provoca un deterioro paulatino y la pérdida de su capacidad de producción y disminución de rendimientos.
- La materia orgánica puede influir favorablemente sobre las propiedades físicas: estructuración y estabilidad de sus agregados, porosidad del suelo, almacenamiento, movilidad del agua, aire y temperatura. También, influye en la Capacidad de Intercambio Cationico (CIC), favorece la actividad microbiana y disminuye la susceptibilidad del suelo a la erosión.
- La falta de infraestructura de riego para la producción de trigo hace que disminuya el rendimiento y el desarrollo fenológico del cultivo, es un problema que se debe solucionar con mayor importancia, en todo el altiplano boliviano.

3. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1.1. Ubicación Geográfica

La presente investigación de adaptabilidad de 12 líneas elites precoces de trigo harinero, se desarrolló en la gestión agrícola 2014-2015, en la región del Altiplano Norte de Bolivia en la Estación Experimental de Kallutaca dependiente del Área de Ciencias Agrícolas, Pecuarias y Recursos Naturales de la Universidad Pública de El Alto, ubicado en la localidad del mismo nombre del municipio de Laja perteneciente a la Provincia Los Andes del departamento de La Paz. (Figura 4) Geográficamente se encuentra localizado con las siguientes coordenadas: 16°31'17" latitud sur y 68°18'29" longitud Oeste y una altitud de 3860 msnm (Google Earth, 2015).



Figura 4. Ubicación en imagen satelital del ensayo de 12 líneas elite precoces de trigo harinero en la Estación Experimental de Kallutaca (Google Earth, 2015).

3.1.2. Características Edafoclimáticas

Los suelos del altiplano se han formado sobre un relleno cuaternario y sobre roca sedimentaria en las serranías inter altiplánicas, asimismo los suelos son de orden Entisol, de formación fluvio-lacustre con presencia de problemas de drenaje. La textura del suelo es franco arcilloso, un pH de 7.4 (medianamente básico) y 2.75 a 4.4 % de materia orgánica (Guarachi, 2011). La localidad de Kallutaca presenta una temperatura media anual de 8.4°C, una máxima media de 15.7°C y mínima media de -2.0°C, la humedad

relativa ambiental promedio alcanza el 35% con una precipitación pluvial en rango de variación entre 600-650 mm por año y más del 50% de estas precipitaciones se distribuyen durante los meses de diciembre a febrero (SENAMHI, 2015).

3.2. Materiales

3.2.1. Material de estudio

El material genético estuvo conformado por 12 líneas elites precoces de trigo harinero, seleccionados de los viveros del CIMMYT para precocidad y como variedad testigo se adoptó el cultivar Tepoca, variedad comercial de mayor estabilidad que funge de control en los ensayos establecidos por el Programa Nacional de Trigo (PN-Trigo-INIAF).

Las líneas elites precoces provienen del departamento de Cochabamba como resultado de una selección de los ensayos y/o pruebas mencionadas desde su introducción del Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo (CIMMYT) por el Instituto Nacional de Innovación Agropecuaria y Forestal (INIAF).

Cuadro 2. Historial de selección, nombre de cruce y líneas elites precoces de trigo harinero, ensayadas en la Estación Experimental de Kallutaca en la gestión agrícola 2014-2015.

ID	Nombre de los cruzamientos	Historial de selección	Entrada
1	Tepoca T89		301
2	SOKOLL*2/ROLF07	CMSA05Y01226T-040M-040ZTP0Y-040ZTM-040SY-22ZTM-04Y-0B	325-19
3	BJY/COC//PRL/BOW/3/SARA/THB//V/EE/4/PIFED/5/KIRITATI	CMSA06Y00240S-040ZTP0Y-040ZTM-0NJ-0NJ-17Y-1B-0Y-0B	350-20
4	W15.92/4/PASTOR//HXL7573/2*BAU/3/WBLL1	PTSS02B00102T-0TOPY-0B-0Y-0B-11Y-0M-0SY	304-20
5	BABA X/LR42//BABAX/3/BABAX/LR42//BABAX/4/T.DICOCCON P194625/A.E.SQUARROSA (372)//3*PASTOR/5/T.DICOCCON P194625/A.E.SQUARROSA (372)//3*PASTOR	CMSA05M00772T-050Y-040ZTM-040ZTY-14ZTM-02Y-0B	3083-29
6	ONIX/ROLF07	CMSA05Y00336S-040ZTP0Y-040ZTM-040SY-12ZTM-02Y-0B	3092-29
7	BABA X/LR42//BABAX/3/BABAX/LR42//BABAX/4/T.DICOCCON P194625/A.E.SQUARROSA (372)//3*PASTOR/5/T.DICOCCON P194625/A.E.SQUARROSA (372)//3*PASTOR	CMSA05M00772T-050Y-040ZTM-040ZTY-16ZTM-03Y-0B	3084-29
8	D67.2/PARANA 66.270//A.E.SQUARROSA (320)/3/CUNNINGHAM/4/VORB	CMSA06M00431S-040ZTM-040ZTY-31ZTM-04Y-0B	309-20
9	H45/4/KRICHAUFF/FINSV/3/URES/PRL//BAV92	CMSA06M00501S-040ZTM-040ZTY-11ZTM-0Y-0B	310-20
10	BOW/V/EE/5/ND/V/G9144//KAL/BB/3/YACO/4/CHIL/6/CASKOR/3/CROC_1/A.E.SQUARROSA (224)//OPATA/7/PASTOR/MILAN/KAUZ/3/BAV92	CMSA04M01201T-050Y-040ZTP0M-040ZTY-040ZTM-040SY-6ZTM-01Y-0B	306-20
11	MILAN/KAUZ//PRINA/3/BAV92/4/2*SOKOLL	CMSA06M00017T-030(CSLV34HET)Y-040ZTM-049(CSLV34POS)ZTY-68ZTM-0Y-0B	325-20
12	PASTOR*2/BAV92/5/FRET2*2/4/SNI/TRAP#1/3/KAUZ*2/TRAP/KAUZ	CMSA04M00066S-040ZTB-040ZTY-040ZTM-0KEN-5ZTY-0B	349-19

Fuente: Elaboración propia en base a datos proporcionados por el PN-Trigo.

3.2.2. Material de campo

Para la instalación en campo se utilizó maquinaria agrícola (tractor de arado de discos y rastra), estacas de madera, cinta métrica, rastrillo, picotas y letreros identificadores y para proteger las unidades experimentales se construyó una cerca con callapos de eucalipto, clavos, alambre de púas, hoces para la cosecha, bolsas de yute, sobre manilas, libro de campo, hojas de papel bond, lápiz, calculadora, cuadernos y cámara fotográfica.

3.2.3. Materiales de laboratorio

Para este estudio se utilizó balanza digital "OHAUS" de 300 gramos y 5000 gramos, balanza hectolítrica, regla, bandejas, planilla de llenado de datos (libro de campo) y cámara fotográfica.

3.3. Metodología

3.3.1. Desarrollo del ensayo

La investigación se llevó en ambientes de la Estación Experimental de Kallutaca a campo abierto, con las siguientes actividades:

3.3.1.1. Preparado del suelo

Después de ubicar la parcela de investigación, se procedió a la remoción del suelo en fecha 10 de septiembre de 2014, la remoción del suelo fue a una profundidad de 30 cm. desterronado, limpieza, nivelado y replanteo de unidades experimentales.

3.3.1.2. Siembra

La siembra se realizó en la mañana del 20 de septiembre de 2014, una vez delimitado las unidades experimentales, las herramientas que se utilizaron principalmente fueron las picotas para el surcado que consiste de 4 m, y distancia entre surcos de 25 cm. realizado los surcos se procedió a la siembra manual por el método chorro continuo a una densidad de 100 kg·ha⁻¹.

3.3.1.3. El manejo

Comprendió la suplementación del riego a razón de 2 litros por metro cuadrado durante 24 días; en las fases iniciales del cultivo, más propiamente para la emergencia e inicio del macollaje. Se realizaron deshierbes manuales en macollaje, antesis y llenado del grano. Relativamente, se realizó labores culturales como ser: desmalezado, aporque y limpieza de los pasillos para evitar la competencia y el aprovechamiento de los nutrientes.

3.3.1.4. Fertilización

Se realizó también la aplicación de fertilización química juntamente con la siembra de acuerdo a las recomendaciones de Agamennoni, *et al.* (2010), empleando para ello: 100 kg*ha⁻¹, de FDA (18-46-0) y 50 kg*ha⁻¹, UREA (46-0-0). Esta aplicación es recomendada por el Programa Nacional de Trigo de INIAF, para cubrir los requerimientos del cultivo en los ensayos propuestos de forma general.

3.3.1.5. Cosecha y trilla

Se realizó cuando la planta alcanzó la madurez fisiológica presentando follaje de color amarillo paja (grano difícil de marcar con la uña). Se adoptó la forma de corte manual con hoz. El material cosechado se emparvo para completar el secado hasta el punto de desgrane, se realizó la trilla manualmente y venteado para la obtención del grano.

3.3.2. Diseño experimental

La investigación se condujo bajo el Diseño de Bloques Completos al Azar (DBCA), con un total de 12 tratamientos correspondientes a líneas avanzadas precoces de trigo harinero con repeticiones en 3 bloques y 36 unidades experimentales.

El modelo lineal aditivo fue el siguiente:

Dónde:
$$Y_{ij} = \mu + \beta_j + \alpha_i + \epsilon_{ij}$$

Y_{ij} = Variable de respuesta debido al efecto de la i -ésima línea elite precoz de trigo harinero en el j -ésimo bloque.

μ = Media general.

β_j = Efecto del j -ésimo bloque.

α_i = Efecto de la i -ésima línea elite precoz de trigo harinero.

ϵ_{ij} = Efecto aleatorio del error experimental.

3.3.3. Factores de investigación

EL Programa Nacional de Trigo del INIAF se ve fortalecido en el desarrollo de sus actividades por la introducción de material genético del CIMMYT. Nueve viveros con diferentes propósitos y particularidades son estudiados en diferentes pisos ecológicos de nuestro país. Líneas identificadas por sus características de productividad, calidad y tolerancia a factores bióticos y abióticos vienen expresando ganancias genéticas significativas con relación a la línea base en la zona tropical y tradicional de trigo en Bolivia (Marza *et al.*, 2013).

Los viveros evaluados por su alta productividad y tolerantes a factores adversos (SAWYT y SAWSN) son alternativas prometedoras para objetivos del PN-Trigo. SAWYT, es un vivero de Rendimiento de Trigo para Zonas Semiáridas, Este material genético se caracteriza por ser un ensayo de evaluación de rendimiento de trigo para zonas semiáridas donde el riego y las precipitaciones son menores a los lugares con mucha precipitación. SAWSN, vivero de selección de trigo para zonas semiáridas, material genético de habito primaveral, semienano, incluye material de buen potencial de rendimiento con eficiente respuesta a sequía, tolerancia a *Septoria tritici* y Roya lineal (INIAF, 2014).

3.3.4. Variables de respuesta

3.3.4.1. Variables agronómicas

- **Días a la emergencia (DE).** Los días a la emergencia fueron establecidos para cada línea de trigo, cuando el número de las plantas emergidas alcanzo el 50%, para ello se dispuso una cinta métrica sobre el surco central despreciando 50 centímetros de los extremos y a cada cinco centímetros se contabilizo plantas emergidas y el valor obtenido se dividió sobre el número de observaciones, hasta alcanzar el objetivo.
- **Días a la floración (DF).** El altiplano norte de La Paz se caracteriza como una zona seca. Los días a floración fueron establecidos para cada línea de trigo, cuando el 50% de las plantas alcanzaron la fase de antesis completa 6.9 de la escala Zadoks *et al.* (1974), tomando en cuenta plantas del surco central y despreciando 50 centímetros de los extremos.
- **Días a la maduración (DM).** Los días a madurez fisiológica fueron establecidos para cada línea de trigo, cuando el 50% de las plantas alcanzaron la fase de

cariopse duro (no se marca con la uña) 9.2 de la escala Zadoks *et al.* (1974). Por tanto, esta variable se registró en días desde la emergencia de las plántulas del cultivo hasta la madurez fisiológica.

- **Altura de planta (AP).** La altura planta es parte del proceso de adaptación, se determinó para cada línea y sus repeticiones midiendo el macollo principal de al menos diez plantas generalmente es el más vigoroso tomando en cuenta plantas con competencia completa, esta medida fue desde la base del tallo hasta el ápice de la espiga excluyendo barbas, cuando la planta ha alcanzado madurez fisiológica y manejando la unidad de medida centímetros.

3.3.4.2. Variables morfológicas

- **Longitud de arista (LA).** La longitud de arista fue determinada para las diferentes líneas de trigo, midiendo la estructura de la arista en la parte media de la espiga. Se tomaron para tal efecto diez muestras con competencias completa para cada línea en la fase de llenado de grano.
- **Longitud de espiga (LE).** La longitud de espiga se determinó de al menos diez plantas con competencia completa muestreadas del surco central para cada línea de trigo, se midió la longitud de la espiga desde el punto de inserción hasta el ápice, excluyendo la arista.

3.3.4.3. Variables de componentes de rendimiento

- **Número de plantas por metro lineal (NP).** Se realizó el conteo de plantas en un metro lineal del surco para cada línea y sus repeticiones en cada bloque, cuidando de tomar en cuenta surcos centrales dentro de cada línea.
- **Número de macollos por planta (NM).** Como parte del proceso de adaptación, se realizó el conteo de los macollos que origino cada planta muestreada en cada unidad experimental, de cada una de las muestras. Su unidad de medida es número de macollos por planta.
- **Área foliar (AF).** El área foliar de las líneas fue determinada de al menos 5 hojas banderas mediante el producto de las medidas ancho por largo y por factor de corrección multiplicado el 0.70 en centímetros cuadrados, cuidando para las muestras el efecto borde. El dato fue tomado cuando la planta alcanzo la fase de antesis completa (Marza y Quispe, 2013).

- **Número de espigas por metro (NEM).** Se realizó el conteo de espigas correspondientes a un metro lineal de los surcos centrales de cada unidad experimental para evitar el efecto de borde. La toma de datos se hizo cuando la espiga ha emergido completamente en más de 50 % de los mismos.
- **Peso de mil granos (PMG).** El peso de mil granos de las líneas se determinó en el laboratorio, se realizó el conteo de mil granos de cada línea en estudio sin discriminar grano alguno y posteriormente se obtuvo el peso de las mismas en la balanza analítica de precisión (0.001 g).
- **Número de granos por espiga (NGE).** El número de granos por espiga para cada línea fue determinado, a partir del conteo de granos de al menos de diez espigas tomados al azar del surco central despreciando extremos del mismo.
- **Número de espiguillas por espiga (NEE).** Se contó el número de espiguillas por espiga de cada unidad experimental y para evitar el efecto de borde las muestras fueron tomadas de la parte central de cada línea elite, de al menos diez espigas, por lo general cada espiguilla produce tres granos.
- **Rendimiento de grano (RDTO).** Esta variable la más importantes en la investigación. La medición se realizó cuando los granos fueron limpiados para garantizar la precisión del dato y se determinó el peso de la cantidad total de los granos obtenidos en el área de la unidad experimental y luego se hizo una conversión a $\text{kg} \cdot \text{ha}^{-1}$. Con la siguiente formula

$$\text{Rendimiento (kg} \cdot \text{ha}^{-1}) = \frac{\text{Peso (g) total de grano cosechado en unidad experimental}}{\text{N de surcos} \cdot \text{longitud de surco (m)} \cdot \text{distancia entre surco (m)}}$$

3.3.4.1. Variable de calidad

- **Peso hectolítrico (PH).** Este valor explica que tan sano es el grano, ya que cuanto más sano sea, mayor será la proporción de almidón en el grano y mejor será la separación del endospermo del resto del grano obteniéndose mayor extracción de harina. El peso hectolítrico para las líneas se determinó a partir del pesaje de los granos de trigo (con humedad aproximada de 14%) en un volumen conocido lo que es equivalente a la densidad o peso volumétrico, el mismo valor se llevó a kg/hL (Marza y Quispe, 2013).

3.3.4.1. Variable para adaptabilidad

La adaptación se puede definir como un proceso o como un producto.

- **Adaptabilidad evolutiva (AE).** La adaptabilidad evolutiva se midió mediante el uso de líneas avanzadas precoces ya evaluadas en la anterior gestión y ahora son medidas como líneas elite precoces en la misma localidad en tiempos diferentes para ver los cambios generacionales de la semilla (Gómez, 2017).

3.3.4.2. Variables cualitativas

Para estas variables cualitativas se tomó seis plantas de cada unidad experimental y al final se promedió los datos para cada unidad experimental.

- **Tolerancia al ataque de roya (RY).** La tolerancia al ataque de roya se evaluó de forma visual, en torno a la tolerancia que lleva cada línea elite, según INIAF – bajo la siguiente escala: (1) Muy Susceptible; (2) susceptible; (3) moderadamente tolerante; (4) tolerante y (5) muy tolerante.
- **Precocidad (P).** La precocidad se determinó en la etapa de madures fisiológica, según la siguiente escala: (1) muy tardío, (2) tardío, (3) intermedio, (4) precoz y (5) muy precoz, donde el rango entre una línea de trigo precoz y tardío son de 30 días (Autrique, 2014).
- **Densidad de la espiga (DES).** La densidad de espiga se determinó de forma visual en las seis plantas evaluadas de cada unidad experimental, según la siguiente escala: (1) Muy Laxa; (2) Laxa; (3) moderadamente compacta; (4) Compacta y (5) Muy compacta.
- **Reacción al acame (RA).** La reacción al acame se evaluó de forma visual, según la escala INIAF: (1) Muy Susceptible; (2) susceptible; (3) moderadamente tolerante; (4) tolerante y (5) muy tolerante.
- **Reacción al desgrane (RD).** La reacción al desgrane se evaluó visualmente en la fase de llenado a madurez del trigo, según INIAF en la siguiente escala: (1) Muy Susceptible; (2) susceptible; (3) moderadamente tolerante; (4) tolerante y (5) muy tolerante.

3.3.5. Análisis estadístico

3.3.5.1. Análisis univariado

El análisis estadístico univariante incluye un conjunto de técnicas que permiten estimar y describir el comportamiento de los diferentes genotipos en relación con cada carácter. Los más comunes son el promedio, la media aritmética, el rango de variación, la desviación estándar (DE) y el coeficiente de variación (CV), que se utilizan en el análisis de datos cuantitativos. Estos se deben realizar antes de cualquier análisis multivariado, ya que proporcionan una idea general de la variabilidad del germoplasma y permiten inmediatamente detectar datos no esperados y errores de medición en el ingreso de datos, entre otros (Hidalgo, 2003 citado por Quispe, 2016).

3.3.5.2. Estadística descriptiva

Los parámetros de medida se pueden sintetizar en: estadísticos de tendencia central (media, mediana y moda), que indican hacia donde tienden a agruparse los datos (en el caso en que lo hagan), medidas de dispersión (rango, varianza, desviación estándar y coeficiente de variación), que nos indican si las diferentes modalidades que presenta la variable están muy agrupadas alrededor de cierto valor central, o si por el contrario las variaciones que presentan las modalidades con respecto al valor central son grandes, estadísticos de posición (percentil, cuartil y decil) para caracterizar cierto porcentaje de observaciones en la población (o muestra) y medidas de distribución (sesgo y curtosis), que nos ayuda a determinar si los datos se distribuyen de forma simétrica a un lado y a otro de un valor central (Málaga, 2008).

3.3.5.3. Análisis de varianza (ANVA)

El análisis de varianza es el procedimiento por el cual se puede decidir si más de dos poblaciones tienen media igual. Dando la posibilidad de desdoblar la varianza de un conjunto de observaciones en componentes, donde uno de ellos es la variación de la muestra y otra es la variación existente en las observaciones dentro de cada muestra (Caballero, 1975 citado por Quispe, 2016). Se utilizó para identificar diferencias entre las 12 líneas elites precoces de trigo harinero, se realizó para cada variable de respuesta. Las diferencias no significativa, significativas y altamente significativas se realizó a un

nivel de probabilidad de 0.01 y 0.05. Para esto se aplicó un diseño de bloques completamente al azar con tres repeticiones

3.3.5.4. Análisis multivariado

Nos permite la descripción de los individuos tomando en cuenta simultáneamente varias características, sin dejar de considerar la relación existente entre ellas. El análisis multivariado se utilizó para identificar los componentes de rendimiento.

3.3.5.5. Coeficiente de correlación (r)

Se aplicó para observar variables relacionadas entre variables, ya sea positivamente o negativamente, identificar variables relacionadas entre sí, e identificar variables que aportan a la productividad de grano más conocido como componentes de rendimiento.

3.3.5.6. Análisis de componentes principales (ACP)

El análisis de componentes principales, se hizo para seleccionar genotipos en función al comportamiento agronómico y componentes de rendimiento. El objetivo fue la identificación de la relación que se presentan entre p variables correlacionadas y se forma otro conjunto de variables original, llamado conjunto de componentes principales, los cuales recogen la mayor parte de la variabilidad, esto permite representar los datos según dos o tres dimensiones, para poder identificar grupos naturales entre las observaciones (Fuente, 2011). Para los análisis estadísticos se usó los paquetes estadísticos SAS (Sistema de Análisis Estadístico) versión 9.2, SPSS versión 23 (Paquete Estadístico para las Ciencias Sociales), el software estadístico S-PLUS 2000 y el paquete estadístico STATGRAPHICS Centurión versión XVI.I

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Comportamiento climático

La Figura 5, muestra que en los meses de septiembre, octubre y noviembre las lluvias se presentaron en pocas cantidades, esto no es suficientes para la emergencia de las semillas del trigo, en respuesta a esto se suplemento con riego manual hasta la fase de macolla para garantizar la germinación y desarrollo de la planta.

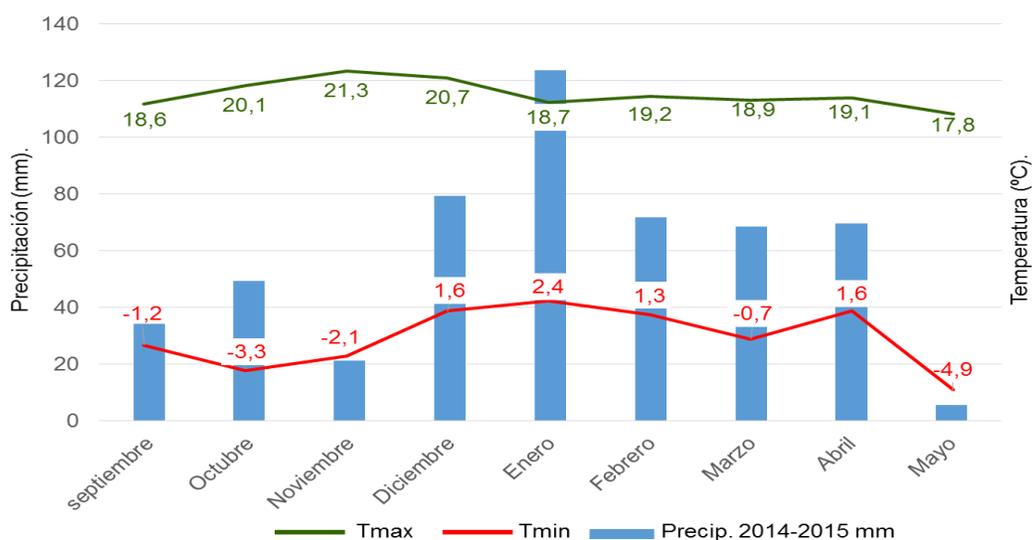


Figura 5. Comportamiento climático de las variables: precipitación acumulada del mes (Precip. mm), temperaturas mínimas (T Min) y temperaturas máximas (T Max), en la campaña agrícola 2014-2015 (Estación Meteorológica de Kallutaca, 2015).

En la figura 5, se muestra temperaturas máximas en los meses de octubre, noviembre y diciembre de 20.1, 21.3 y 20.7 °C, respectivamente. Por ende aceleraron la pérdida de agua del suelo y la evapotranspiración de la planta. La helada es causada por la presencia de temperaturas mínimas por debajo de cero y afecta directamente al grano en etapa pastoso de los genotipos, generalmente los daños por helada en la planta solo afecta a algunos tejidos de la planta y a veces es drástica. Según Reynolds *et al.* (2013), las desventajas de la temperatura (por ejemplo, heladas en siembras tempranas, o estrés térmico en la floración tardía) afecta negativamente sobre el rendimiento de grano, los intervalos de temperaturas críticas (°C) que dañan al cultivo de trigo son: germinación (-9 a -10), floración (-1 a -2), fructificación (-2 a -4) (FAO, 2005). Por lo general es satisfecho, así como la vernalización dado que la temperatura se encuentra en rango promedio de 8.40 a 11.15°C, de 10°C hasta los 24°C, es considerada temperatura optima (Botanical-online,

2016). Por tanto la temperatura puede afectar las características del desarrollo de una planta de forma universal (todas las variedades y todas las fases son sensibles a ella), puede ser responsable de estas diferencias entre líneas, además los genes son involucrados con la precocidad intrínseca que influyen en el ciclo del cultivo hasta la floración una vez satisfecho los requerimientos de fotoperiodo y vernalización (Reynolds *et al.*, 2013).

4.2. Estadística descriptiva de la investigación

Cuadro 3. Estadística descriptiva de altura de planta (AP), número de macollos (NM), días a emergencia (DE), días a floración (DF), días a maduración (DM), longitud de espiga (LE), longitud de arista (LA), número de plantas (NP), número de espiguillas/espiga (NEE), área foliar (AF), peso de mil granos (PMG), número de granos/espiga (NGE), número de espigas/metro (NEM), rendimiento (RDTO) y peso hectolitrico (PH) para 12 líneas elite precoces de trigo, determinados en la Estación Experimental de Kallutaca durante la gestión agrícola 2014 - 2015.

Variables	Media	SD	Curtosis	Sesgo	Mínimo	Máximo
Variables agronómicas						
Altura de Planta (cm).	80.1	5.8	2.5	-1.3	65.8	86.9
Días a Emergencia.	10	0.6	-0.9	0.1	9	11
Días a Floración.	96.6	2.4	-1.7	-0.2	93.3	99.7
Días a Maduración.	192	6.6	4.1	-1.4	175	201
Variables morfológicas						
Longitud de Espiga (cm).	7.2	0.5	-1	-0.6	6.3	7.8
Longitud de Arista (cm).	6.1	0.5	0.8	-0.8	5.1	6.8
Variables de componentes de rendimiento						
Número de Plantas (m).	55.1	7.2	1.1	0.8	45	71.3
Número de Macollos.	6.3	0.8	-0.7	-0.3	5	7.4
Número de espiguillas/espiga.	13.3	1.1	-0.4	0.5	11.9	15.3
Área Foliar (cm ²).	124.3	22.2	0.1	0.8	95.8	171
Peso de Mil Granos.	37.2	6.4	-0.4	-0.2	27.1	48.4
Número de Granos por espiga.	26.7	1.1	-0.4	0.5	24	30.7
Número de Espigas/metro.	330.9	62.2	1.4	0.5	234.7	468
Rendimiento (kg*ha ⁻¹).	2519.4	909.3	-0.3	-0.2	766.7	3800
Variable de calidad						
Peso Hectolitrico.	67.1	3.5	-0.3	-0.4	61.2	72.7

Una alta variabilidad en comportamiento se ve reflejado en el cuadro 3, para la adaptabilidad de 12 líneas elites precoces de trigo harinero, de acuerdo a los valores de sesgo y curtosis son menores dispersos de cero y conocida la función de distribución es posible proseguir con el análisis de estadística paramétrica.

El rendimiento medio en grano del ensayo alcanzó $2.5 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$, con una amplitud de variación de 0.8 a $3.8 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$, con una desviación estándar (SD) de 909.3 , mostrando sesgo de -0.2 entre unidades experimentales de las líneas y sus diferentes réplicas en bloque. Entre las variables componentes de rendimiento en el ensayo se evidencia un promedio de 331 espigas por metro lineal con variaciones igualmente importante de 235 a 468 espigas, un factor favorable desde un punto de vista cuantitativo y por otro lado la variable número de plantas por metro lineal en el ensayo alcanzo un promedio de 55 y su amplitud de variación fue de 45 a 71 plantas.

4.3. Evaluación del comportamiento agronómico

4.3.1. Comportamiento agronómico

Es evidente que la principal herramienta para la adaptabilidad y rendimiento del trigo reside en el conocimiento de las duraciones de las diferentes etapas vegetativas, reproductivas y de llenado de grano que están asociados a requerimientos ambientales. El ciclo de vida del cultivo como producto de la duración en tiempo de cada fase y el mismo a la vez producto de las complejas interacciones entre el genotipo (factores internos) y el ambiente (factores externos) es lo que se conoce como la fenología del cultivo.

Cuadro 4. Cuadrados medios de los análisis de varianza para variables de comportamiento fenológico: Días a emergencia (DE), Días a floración (DF) y Días a madurez fisiológica (DM), para 12 líneas elite precoces de trigo harinero, en la Estación Experimental de Kallutaca durante la gestión agrícola 2014-2015.

Fuente	GL	Cuadrados Medio/Variable							
		DE	Pr > F	DF	Pr > F	DM	Pr > F	AP	Pr > F
BLQ	2	0,33	0,4682 ns	1	0,9066 ns	3	0,8644 ns	37,38	0,488 ns
TRAT	11	1,09	0,0286 *	16,86	0,1499 ns	128,91	0,0001 **	101,74	0,078 ns
Error	22	0,42		10,15		20,45		50,54	
R ²		0,58		0,46		0,76		0,52	
%C. V.		6,51		3,3		2,36		8,87	

** : Altamente significativo * : Significativo ns : no significativo
R² : Coeficiente de determinación %C.V. : Coeficiente de variación

De acuerdo al Cuadro 4, cuadrados medios del análisis de varianza para variables de comportamiento fenológico se verifica diferencias significativas entre líneas elites precoces de trigo harinero para días a emergencia, diferencias no significativas para días a floración y diferencias altamente significativas para días a madurez fisiológica.

Esto implica un comportamiento estadísticamente diferenciado de las líneas elite precoces de trigo harinero, para variables días a emergencia ($p=0.0286$) y días a madurez fisiológica ($p=0.0001$).

Que no existan las diferencias estadísticas significativas entre las líneas elite de trigo en altura de planta y días a la floración, evidencia las correctas selecciones que se realizaron anteriormente con el objetivo de la variable precocidad, que está directamente relacionada con la floración en cada ensayo pasado.

La variable días a emergencia o germinación se dividió en dos grupos, en el grupo (B) sobresalieron las líneas 3083-29 y 3084-29 con una media de 9 días a emergencia o germinación y en el grupo (A) sobresalieron las líneas 325-19, 350-50 y 304-20 que llegaron a germinar tardíamente en 11 días después de la siembra (dds).

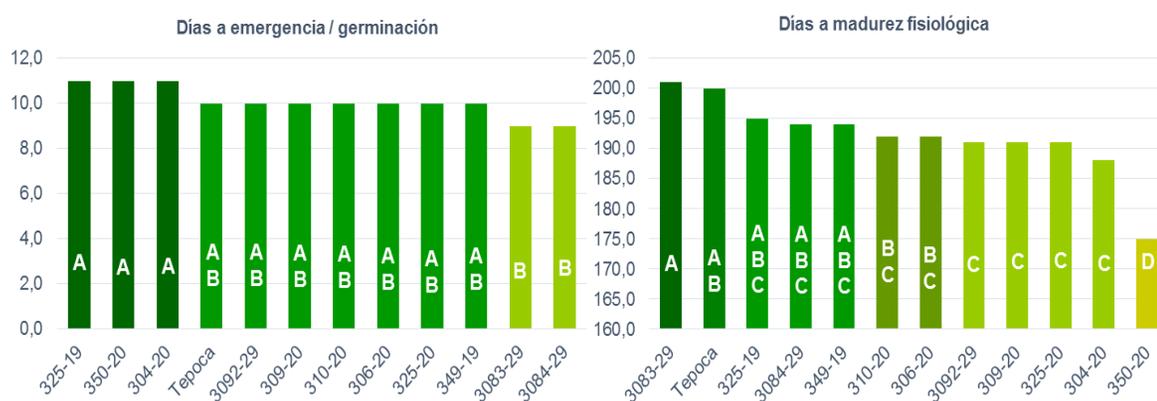


Figura 6. Análisis comparativo Duncan ($\alpha=0.05$) para variables de comportamiento fenológico: Días a germinación y días a madurez fisiológica, en la adaptabilidad de 12 líneas elite precoces de trigo harinero en la estación Experimental de Kallutaca 2014-2015.

La duración de las distintas etapas ontogénicas del cultivo, están reguladas por tres factores determinantes:

1. Temperatura
2. Fotoperiodo (duración del día)
3. Vernalización (requerimiento de horas de frío).

El conocimiento de las respuestas del cultivo a estas variables ambientales, permite caracterizar la adaptabilidad de los diferentes cultivares a las distintas zonas productivas (Miralles 2004, citado por Yapu, 2015):

La figura 6, nos muestra las diferencias de las líneas elite precoces de trigo harinero, entre el más precoz y el más tardío en días a floración que se presenta en un rango de 6 días, estas diferencias aparentemente pequeñas reflejan una selección anterior para precocidad por el PN-Trigo a pesar de ello, incluso un rango relativamente pequeño en la floración muestra efectos indeterminados en las características relacionadas con el rendimiento de grano (Rebetzke *et al.*, 2012).

Mientras que la madurez fisiológica de las líneas elite precoces de trigo harinero fue dividido en cuatro grupos por el análisis comparativo de Duncan, el primer grupo (D) con importancia de precocidad se mostró la línea 350-20 que llegó a la madurez fisiológica en 175 dds, reflejando la mayor precocidad en el ensayo, seguido por el grupo (C) donde se muestran las líneas 304-20 con 188 dds y las líneas 3092-29, 309-20, 325-20 con 191 dds, finalmente se encuentra el grupo (A) con la línea 3083-29 que alcanzó la madurez fisiológica en 201 dds, mostrando una tendencia tardía en días a madurez fisiológica.

El ciclo de vida de las líneas elite precoces de trigo harinero fue muy extendido hasta completar la madurez fisiológica en las condiciones de la Estación Experimental de Kallutaca, a pesar de ello se distinguieron líneas importantes. Es muy evidente el tiempo de duración mayor de la etapa comprendida entre la floración y la madurez fisiológica, la misma representa entre el 50% (97 días) a 60%(192 días) de ciclo de vida, cuando se conoce que en ambientes altamente productivos esta comprende máximo 50 días (30%).

Reynolds *et al.* (2013), al respecto señalan que la tasa de desarrollo post-antesis hasta la madurez en trigo no es sensible al fotoperiodo ni a la vernalización, y sólo parece responder positivamente a la temperatura *per se*. Entonces es lógico este comportamiento de las líneas dado que el comportamiento climático (ver figura 5) no favoreció, registrándose a partir de noviembre (97 dds) temperaturas medias de 9.6°C, hasta 11.15°C. Otro factor determinante fueron las lluvias persistentes en la última etapa de llenado de grano (no permite senescencia de espigas y tallos) y días nublados (baja tasas fotosintéticas).

4.3.2. Comparaciones de variables para morfología de espiga

Las variables de morfología de espiga corresponden a la estructura de la espiga, muchos autores han señalado a estas estructuras como fuentes de pequeñas variaciones para la tolerancia a factores abióticos, biótico y así también en su conjunto como estructuras con propiedades fotosintéticas.

Cuadro 5. Análisis de varianza para variables de morfología de espiga: Longitud de espiga (LE); longitud de arista (LA). En la adaptabilidad de 12 líneas elite precoces de trigo harinero, determinados en la Estación Experimental de Kallutaca durante la gestión agrícola 2014-15.

Fuente	GL	Cuadrados Medio/Variable			
		LE	Pr > F	LA	Pr > F
BLQ	2	1,85	0,0749 ns	0,778	0,3419 ns
TRAT	11	0,72	0,3835 ns	0,659	0,5112 ns
Error	22	0,63		0,6907	
R ²		0,45		0,367	
%C. V.		11,13		14	

** : Altamente significativo * : Significativo ns: no significativo
R²: Coeficiente de determinación %C.V.: Coeficiente de variación

El análisis de varianza para variables de morfología de espiga (ver cuadro 5) no muestra diferencias significativas entre líneas ($p=0.3835$) para la variable longitud de espiga y para la longitud de arista ($p=0.5112$).

La presencia y longitud de arista como una estructura fuente de variabilidad debe ser considerada en los programas de mejoramiento en especial en 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 por lo tanto, reduce la tasa de germinación en la espiga (King y Richards, 1984, citado por Yapu, 2015).

4.3.3. Comparación de variables para componentes de rendimiento

Las variables componentes de rendimiento son un conjunto de variables y por intermedio de estas se puede interpretar el rendimiento como producto de estos componentes y cada uno de estos componentes estarían asociados a una o más de las fases de desarrollo vegetativo, reproductivo o de llenado del grano de la planta, así mismo los autores señalan que los componentes ecofisiológicos son los más adecuados para

interpretar los rendimientos; sin embargo, estos nuevos componentes son muy difíciles de adoptar para cualquier programa de mejoramiento y por tanto la simplicidad de determinación de los componentes numéricos del rendimiento permitirá las comparaciones planteadas (Slafer *et al.*, 2002).

Cuadro 6. Análisis de varianza para componentes de rendimiento: Número de planta por metro lineal (NP); Numero de macollos (NM); Número de espiguillas por espiga (NEE); Área foliar (AF); Peso de mil granos (PMG). En la adaptabilidad de 12 líneas elite precoces de trigo harinero, determinados en la Estación Experimental de Kallutaca en la gestión agrícola 2014-15.

Fuente	GL	Cuadrados Medio/Variable									
		NP	Pr > F	NM	Pr > F	NEE	Pr > F	AF	Pr > F	PMG	Pr > F
BLQ	2	41,69	0,4174 ns	11,42	0,015 *	8,78	0,0233 *	456,34	0,4191 ns	0,07	0,1766 ns
TRAT	11	157,26	0,0067 **	1,81	0,628 ns	3,24	0,1519 ns	1479,26	0,0152 *	123,72	<,0001 **
Error	22	45,8		2,23		1,96		504,24		0,04	
R ²		0,6		0,47		0,55		0,61		1	
%C. V.		12,3		23,54		10,48		18,07		0,52	

** : Altamente significativo * : Significativo ns: no significativo
 R²: Coeficiente de determinación %C.V.: Coeficiente de variación

El análisis de varianza para variables componentes cuantitativos del rendimiento (Cuadro 6), evidencio la existencia de diferencias altamente significativas entre líneas que implica un comportamiento diferenciado para variables número de plantas por metro lineal ($p < 0.0067$), peso de mil granos ($p < 0.0001$), y diferencias significativas para área foliar (0.0152). Diferencias no significativas para número de macollos y número de espiguillas por espiga.

Respecto al número de espiguillas por espiga, no se encontró diferencias estadísticas en los valores que por lo general en ambientes de alto rendimiento las espigas están compuestas de 15 a 30 espiguillas, y cada espiguilla se compone de 2 a 6 flores en forma de granos, las líneas elites precoces evidentemente mostraron de 12 a 15 que es bajo número de espiguillas por espiga. Sin embargo, su verdadera importancia radica con el número de granos que aporte cada espiguilla a la espiga. El número real de espiguillas es determinado por la longitud de la fase reproductiva, existe una correlación positiva entre la longitud de la fase vegetativa y el número de espiguillas por espiga; alargar la duración de la etapa vegetativa tardía induciría más espiguillas por espiga (Rahman *et al.*, 1977, citado por Yapu, 2015).

Del análisis comparativo de medias de Duncan (figura 7) para variables componentes cuantitativos de rendimiento, la variable número de plantas (NP) por metro lineal alcanzado por las líneas se distinguido en tres grupos, el primer grupo (A) fue exclusiva para la línea 3083-29 con 71 plantas por metro lineal, seguido por las líneas 3084-29 y 3092-29 con 61 plantas por metro lineal y el último grupo (C) es exclusivo para las líneas 325-19 con 45 plantas y 350-20 con 47 plantas por metro lineal. 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, lo óptimo requerido es de 170-220 plantas*m². Una alta densidad de plantas puede favorecer las enfermedades, así también al encamado pero reduce los efectos de las malezas en razón de una mejor competencia, un hecho muy importante en algunas regiones (Kosina *et al.*, 2013).

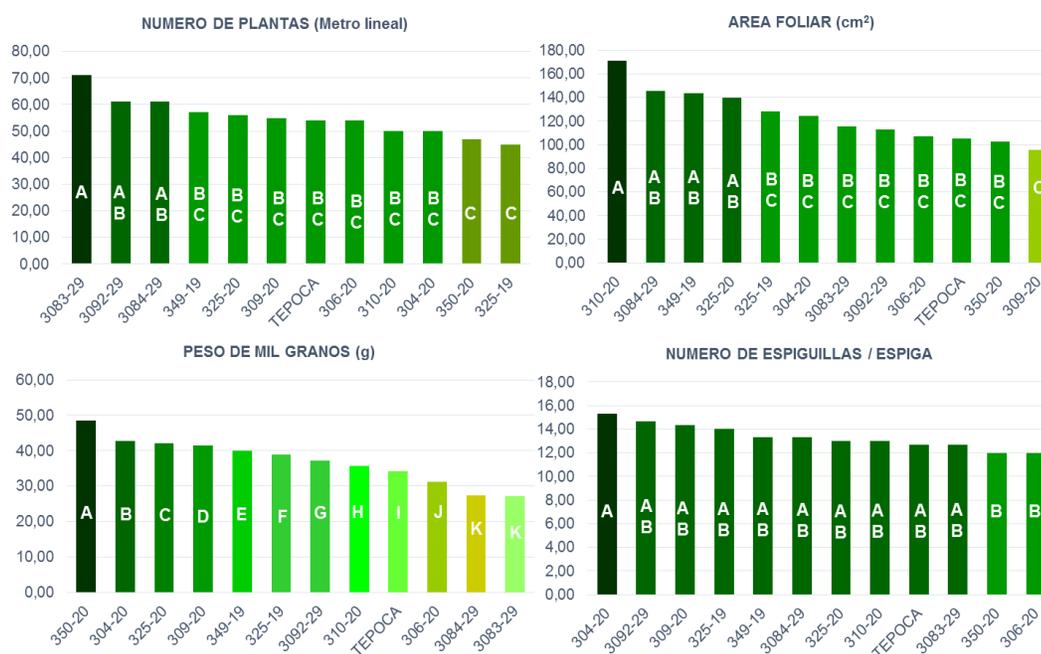


Figura 7. Análisis comparativo Duncan ($\alpha=0.05$) para variables componentes cuantitativos del rendimiento: Número de planta por metro lineal, área foliar y peso de mil granos. En la adaptabilidad de 12 líneas elite precoces de trigo harinero en la estación Experimental de Kallutaca 2014-15.

Para área foliar (AF), de la hoja bandera, las líneas fueron agrupadas en tres grupos distintos (figura 7), el grupo (A) fue exclusivo para la línea 310-20 con 171.07 cm², seguido por las líneas 325-20, 349-19 y 3084-29 con 139.8, 143.4 y 145.6 cm², respectivamente y finalmente el último grupo (C) exclusivo fue de la línea 309-20 con 95,8 cm² de área foliar. Las diferencias entre grupos de líneas para área foliar son muy

importantes puesto que la hoja bandera aporta nitrógeno entre el 70 a 90% y asociadas al número de hojas por macollo influirán directamente al rendimiento por ser también estas unidades fotosintéticas y las reducciones y/o diferencias en biomasa (tallos, hojas=área foliar) entre líneas, indican también líneas con grado distinto de tolerancia a sequía (Ray y Sinclair, 1998, citado por Yapu, 2015).

La variable peso de mil granos (PMG), mostró diferencias estadísticas altamente significativas entre líneas avanzadas precoces de trigo harinero en base a prueba de Duncan a nivel de significancia de 5%; se distinguieron en once grupos, el primer grupo agrupo (A) exclusivo para la línea 350-20 con 48.39 gramos, el segundo grupo es (B) de la línea 304-20 con 42.7 gramos, el tercer grupo (C) es la línea 325-20 con 42.08 gramos en 1000 granos de trigo. En el grupo (D) la 309-20 con 41.44, en el grupo (I) tenemos a la Tepoca (testigo y/o control) con 34.23 gramos en 1000 granos de trigo y finalmente tenemos al grupo (K) donde se muestran las líneas 3083-29 y 3084-29 de 27.1 a 27.34 respectivamente en peso de 1000 granos de trigo.

El promedio de peso de mil granos es 37.2 gramos aceptables y/o buenos, esto es atribuible a los genotipos y a la acción de las bajas temperaturas y muchos autores han evidenciado que las altas temperaturas también deprimen los pesos de los granos (Kosina *et al.*, 2013), una clara ausencia de respuesta del peso en granos es, por defoliaciones, remociones parciales de granos, sombreo, y otras manipulaciones de las relaciones fuente-destino, cuando se realizan posteriormente al antesis, pero antes del inicio del crecimiento de los granos (Savin y Slafer 1991, citado por Yapu, 2015).

Cuadro 7. Análisis de varianza para variables componentes cuantitativos del rendimiento y rendimiento en grano: Número espigas por metro cuadrado (NEM); número de granos por espiga (NGE); rendimiento en grano (RDTO). En la adaptabilidad de 12 líneas elite precoces de trigo harinero, determinados en la Estación Experimental de Kallutaca durante la gestión agrícola 2014-15.

Fuente	GL	Cuadrados Medio/Variable					
		NGE	Pr > F	NEM	Pr > F	RDTO	Pr > F
BLQ	2	0,194	0,840 ns	632,53	0,3583ns	21944,4	0,7808ns
TRAT	11	12,960	0,00001**	11603,96	<,0001**	2480278	<,0001**
Error	22	1,104		587,95		87702	
R ²		0,770		0,91		0,93	
%C. V.		3,932		7,33		11,75	

** : Altamente significativo * : Significativo ns: no significativo
R²: Coeficiente de determinación %C.V.: Coeficiente de variación

Del análisis de varianza (Cuadro 7), para componentes numéricos de rendimiento y rendimiento en grano, se verificó la existencia de diferencias altamente significativas entre líneas, para la variable número de granos por espiga ($p=0.00001$), el rendimiento en grano ($p<0.0001$) y para número de espigas por metro cuadrado ($p=0.0001$).

De acuerdo a la figura 8, del análisis comparativo de medias Duncan la variable número de espigas por metro lineal fue agrupado en seis grupos. Las línea 3083-29 se quedó con el grupo (A) con la mayor cantidad siendo 468 espigas por metro lineal, seguido por el grupo (B) con las líneas 310-20, 306-20, 3092-29 y 309-20 con 381, 365, 352 y 345 espigas por metro, respectivamente. Finalmente está el grupo (F) de las líneas 3084-29, 325-19 con 238 y 234 espigas por metro, respectivamente. Esta variable está directamente asociado al número de plantas por metro y al rendimiento en grano, al respecto Faiguenbaum, citado por Cropcheck (2012), indica como optimo el rango entre 140 a 150 espigas por metro lineal a cosecha en condiciones hídricas limitantes, y entre 160 a 180 en situaciones en que no existan restricciones hídricas. Así mismo los diferentes especialistas en fisiología vegetal han determinado que entre -20 y 10 días de anthesis se establece el número efectivo de espigas fértiles.

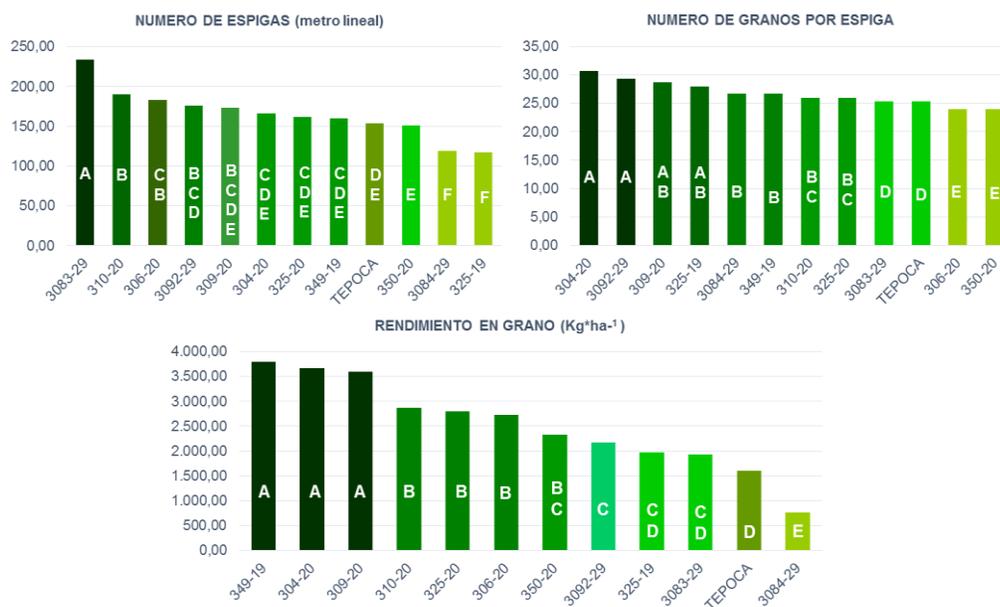


Figura 8. Análisis comparativo Duncan ($\alpha=0.05$) para variables componentes cuantitativos del rendimiento y rendimiento en grano: Número espigas por metro lineal (NEM), número de granos por espiga (NGE) y rendimiento en grano (RDTO). En la adaptabilidad de 12 líneas elite precoces de trigo harinero, determinados en la Estación Experimental de Kallutaca durante la gestión agrícola 2014-2015.

De acuerdo a la figura 8, en número de granos por espiga (NGE) se dividió en cinco grupos, donde el grupo (A) se muestra las líneas 304-20, 3092-29 con 31 y 29 granos por espiga respectivamente, agrupados con las líneas 309-20, 325-19 con 29 y 28 granos respectivamente, finalmente tenemos al grupo (E) donde se muestra la línea 306-20, 350-20 con 24 granos por espiga.

El rendimiento en grano (RDTO) se dividió en cinco grupos, donde el grupo (A) agrupa a las líneas 349-19, 304-20 y 309-20 con rendimientos de 3.800, 3.666 y 3.600 kg*ha⁻¹, respectivamente. Seguido por el grupo (B) que agrupa a las líneas 310-20, 325-20, 306-20 y 350-20 con rendimientos de 2.866, 2.800, 2.733 y 2.333 kg*ha⁻¹, respectivamente. En el último grupo tenemos a la letra (E) que agrupa la única línea 3084-29 con rendimientos menores de 766 kg*ha⁻¹.

4.3.4. Calidad del grano

Los nuevos modelos de mejoramiento observan entre sus objetivos la calidad de grano, el rendimiento en grano, historialmente en los diferentes programas de mejoramiento ha mostrado una asociación negativa con las variables que constituyen la calidad; sin embargo, actualmente CIMMYT ha desechado este concepto logrando obtener a través de una alta diversidad de germoplasma cultivares de alto rendimiento y alta calidad de proteína, entre los más importantes la calidad nutricional, calidad de molienda y calidad industrial ya han sido abordados ampliamente. Las líneas elite empleados en la presente investigación poseen en su mayor porcentaje un color de grano blanco, el color blanco es bien valorado para la panificación (Guzmán, 2014).

Cuadro 8. Análisis de varianza para peso hectolitrico (PH), en la adaptabilidad de 12 líneas elite precoces de trigo harinero. Determinados en la Estación Experimental de Kallutaca durante la gestión agrícola 2014-15.

Fuente	GL	Cuadrados Medio/Variable	
		PH	Pr > F
BLQ	2	0,09	0,1768 ns
TRAT	11	36,55	<,0001 **
Error	22	0,05	
R ²		1,00	
%C. V.		0,32	

** : Altamente significativo * : Significativo ns: no significativo
R²: Coeficiente de determinación %C.V.: Coeficiente de variación

Cuadrados medios del análisis de varianza realizado para la variable peso hectolitrico (PH), se muestra diferencias estadísticas altamente significativas ($p=0.0001$) entre líneas elite para dicho variable (cuadro 8), la variable presentó una media general de 67.1 kg/hL y una variación de 61.2 a 72.7 kg/hL, por lo se atribuye que la calidad de los granos de trigo cosechado es muy buena, los granos cosechados de líneas precoces poseen un mayor peso hectolitrico muy significativo respecto a líneas tardías, como la 3084-29, 3083-29 y 325-19 que alcanzaron valores de peso hectolitrico de 61.2, 61.5 y 64.5 kg/hL, respectivamente.



Figura 9. Análisis comparativo Duncan ($\alpha=0.05$) para la variable peso hectolitrico (PH). En la adaptabilidad de 12 líneas elite precoces de trigo harinero, determinados en la Estación Experimental de Kallutaca durante la gestión agrícola 2014-15.

De acuerdo a la figura 9, en peso hectolitrico (PH) se dividió en diez grupos, significa que cuando mayor es el peso hectolitrico es mayor la calidad del grano, la figura agrupa el grupo (A) que es exclusivo para la línea 349-19 con 72.7 kg/hL, mostrando una buena calidad del grano cosechado, seguido por el grupo (B) que muestra 309-20 con un peso hectolitrico de 70.62 kg/hL. Al final de la figura se tiene al grupo (J) donde se agrupan las líneas 3083-29 y 3084-29 con peso hectolitrico de 61.5 y 61.2 kg/hL, respectivamente.

4.3.5. Comparación de variables para el proceso de adaptabilidad

Las variables de adaptabilidad son propias del genotipo y de acuerdo al ambiente el comportamiento de los genotipos será variable, por lo general en mayor grado están implicados en estas variables genes menores y en un menor grado de genes mayores, la vigorosidad, rusticidad y precocidad de las plantas en campo se ve reflejada por variables como la altura de planta, número de macollos, días a floración, días a madurez fisiológica, peso de mil granos, número de plantas, factores abióticos y bióticos, son determinantes, porque afectarán directamente al rendimiento (Yapu, 2015).

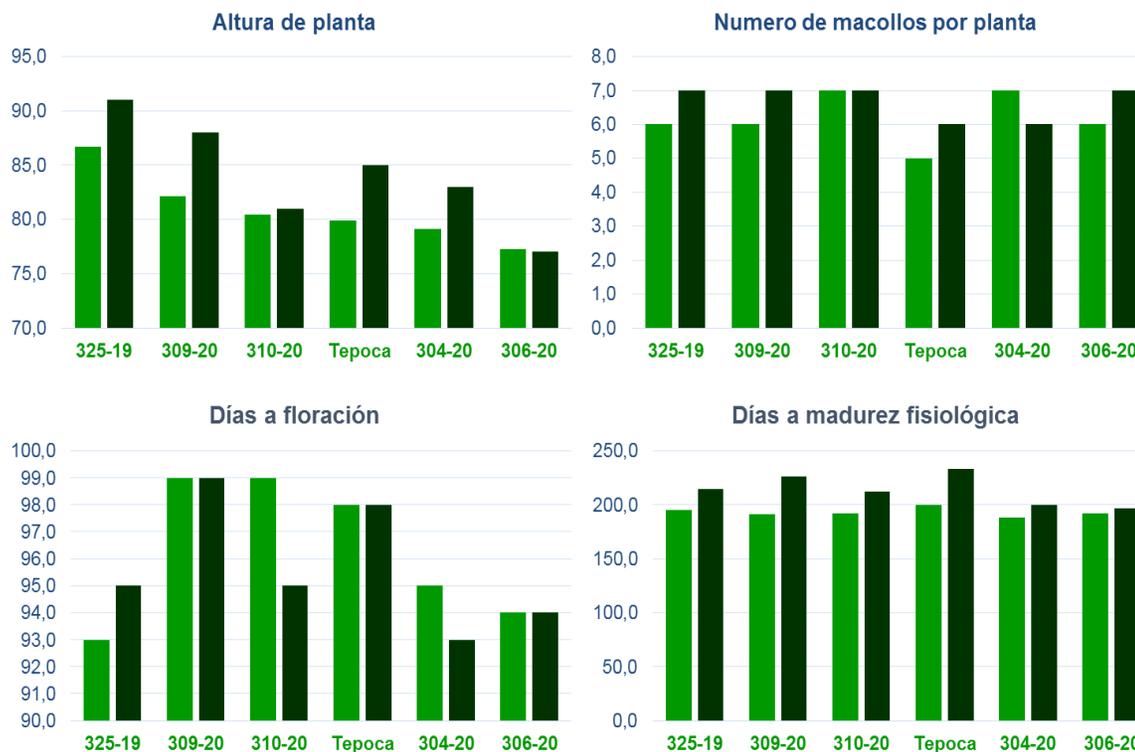


Figura 10. Comparación de variables del proceso de adaptabilidad y fenología de la gestión agrícola 2014 y 2015, de 12 líneas elite precoces de trigo harinero en la estación Experimental de Kallutaca 2014-2015.

En la figura 10, se muestra una comparación del proceso de adaptabilidad y fenología evaluado en la gestión agrícola 2014 por Yapu (2014), comparado con la gestión agrícola 2015, estas líneas fueron objeto de investigaciones en la gestión agrícola 2014-2015 por el PN-Trigo, en la figura se observa diferencias en la variable altura de planta (AP) en líneas elite 325-19, 309-20, Tepoca y 304-20 en un promedio de 5.0 cm; mientras las líneas elite 310-20 y 306-20 presentan cierta similitud en ambas gestiones agrícolas. La variable número de macollos (NM) presenta diferencias de promedio 1 macollo por planta en líneas elite 325-19, 309-20, Tepoca, 304-20 y 306-20; sin embargo, la línea 310-20 presenta una igualdad en número de macollos por planta en ambas gestiones agrícolas. En días a floración (DF) las líneas elite 309-20, Tepoca y 306-20 muestran una igualdad de 99 dds, 98 dds y 94 dds, respectivamente. Finalmente la variable días a madurez fisiológica (DM), nos muestra una relativa precocidad desde 5 dds hasta 20 dds en todas las líneas elite 2015.

Observamos también (Anexo 4) la variable altura de planta (AP) de la gestión 2014 y 2015 muestran promedios de 84.2 cm y 80.9 cm, respectivamente. La variable número de macollos por planta (NM) de las gestiones agrícolas 2014 y 2015 muestran promedios de 6.7 macollos por planta y 6.2 macollos por planta, respectivamente. Días a floración (DF) de la gestión 2014 y 2015 con 95.7 dds y 96.3 dds y por último la variable días a madurez fisiológica (DM) de la gestión 2014 y 2014 con promedios de 213.8 dds y 193.0 dds, respectivamente. Cabe mencionar que estos promedios solo representan a las 6 líneas avanzadas y elites estudiadas en ambas gestiones para adaptabilidad de semilla.

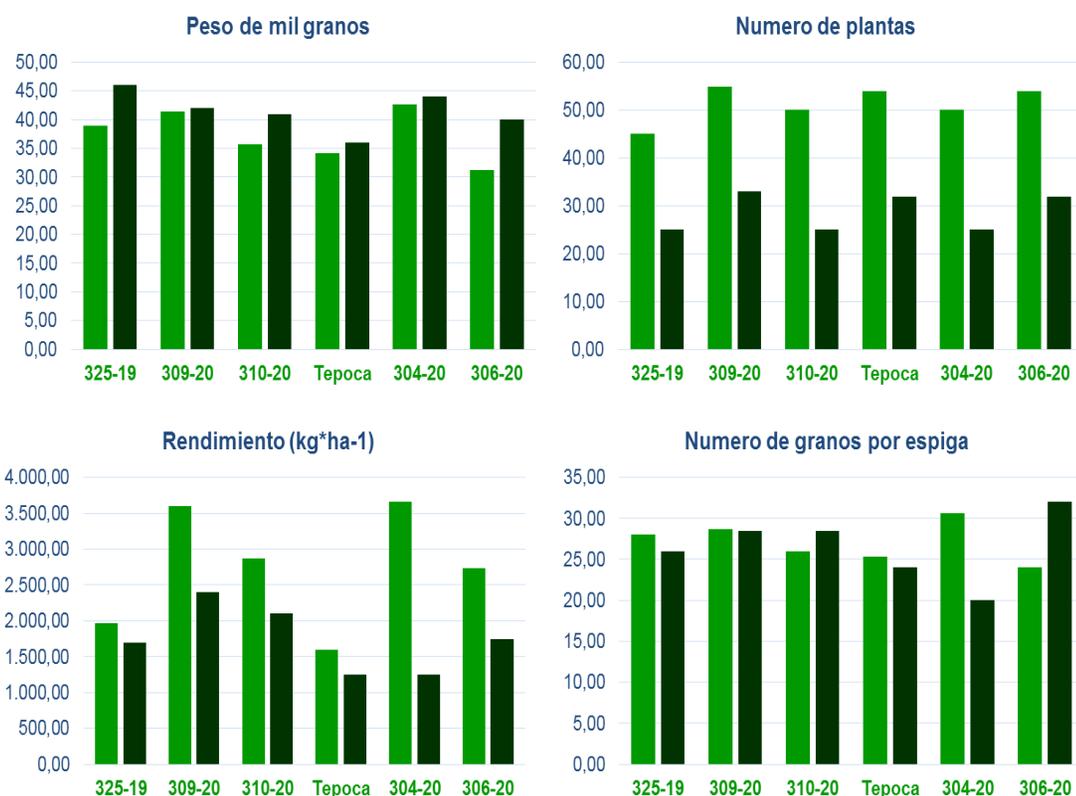


Figura 11. Comparación de variables del proceso de adaptabilidad para componentes de rendimiento en gestión agrícola 2014 y 2015, de 12 líneas elite precoces de trigo harinero en la estación Experimental de Kallutaca 2014-2015.

La figura 11, nos muestra la variable número de plantas por metro (NP) como ejemplo la línea 304-20 tiene una diferencia de 25 plantas más que la gestión 2014 evaluados por Yapu (2014), en promedio en todas las líneas avanzadas existe 20 plantas hasta 25 plantas menos por metro en la gestión 2014, esto se ve reflejado directamente en el rendimiento en grano de $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ (RDTO) donde observamos la línea 304-20 con rendimiento de $3666.7 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ a diferencia de la gestión 2014 con rendimiento de 1250

kg*ha⁻¹. Las diferencias son claras desde 266.7 kg*ha⁻¹ hasta 2416.7 kg*ha⁻¹; en promedio en todas las líneas avanzadas estudiadas en la gestión 2014. La figura no muestra cuantiosa diferencia en peso de 1000 granos (PMG) desde 0.56 hasta 8.7 gramos más en la gestión 2014 y la variable número de granos por espiga (NGE) muestra bajas diferencias de 0.17 granos hasta los 10 granos por espiga en ambas gestiones agrícolas.

4.3.6. Comparación de frecuencias de variables cualitativas

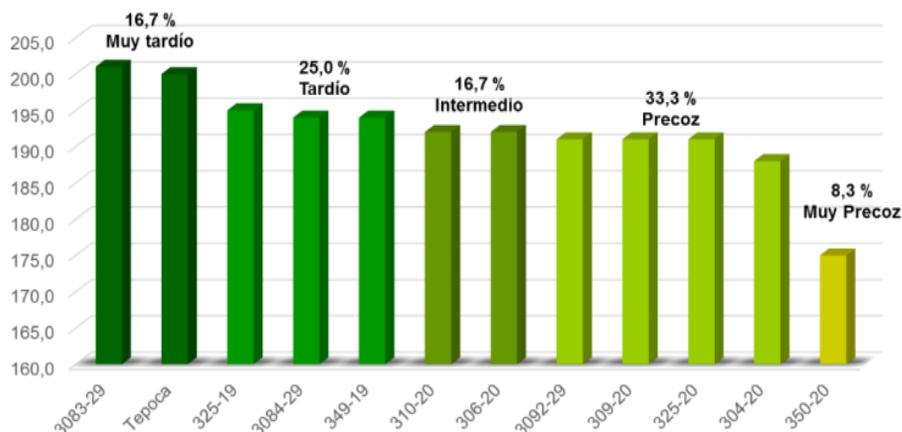


Figura 12. Frecuencias porcentuales para variable precocidad, en la adaptabilidad de 12 líneas elite precoces de trigo harinero en la estación Experimental de Kallutaca 2014-2015.

Evaluado en campo las variables de comportamiento fenológico de las líneas y verificando los resultados arrojados por el análisis porcentual de líneas en función a la precocidad a madurez fisiológica, se evidencia de manera clara en la figura 7, líneas muy tardías: 3083-29 y Tepoca que representa a un 16.7% de población estudiada, líneas tardías: 325-19, 3084-29 y 349-19 representando el 25%, líneas intermedias: 310-20 y 306-20 representando 16.7%, líneas precoz: 3092-29, 309-20, 325-20 y 304-20 representando el 33.3% y como muy precoz a la línea 350-20 que representan el 8.3% de la población, en concordancia al criterio de Autrique (2014), que señala que el rango entre una línea precoz y tardío es por lo general 30 días.

En la figura 13, para la variable reacción a acame: la línea Tepoca, 3083-29 y 325-19 presentan una moderada tolerancia al acame representado al 25% del total y el restante 75% presentó tolerancia al acame.

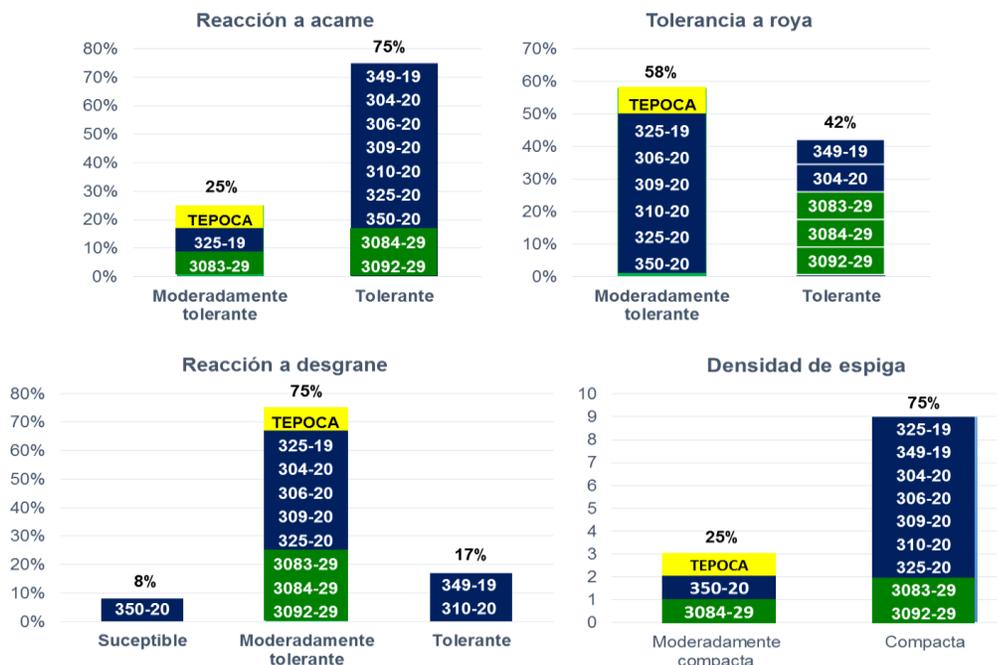


Figura 13. Frecuencias porcentuales de variables cualitativas: Reacción a desgrane (RD), reacción acame (RA), tolerancia a roya (RY), densidad de espiga (DES). En la adaptabilidad de 12 líneas elite precoces de trigo harinero en la estación Experimental de Kallutaca (2014-2015).

Cualquier estrategia exhaustiva para mejorar el potencial de rendimiento del trigo debe incluir la resistencia al acame ya que los cultivos con mayor rendimiento (rendimiento más pesado) necesitarán plantas más fuertes. El acame en el trigo puede reducir el rendimiento hasta en un 80% así como la calidad del grano (Berry *et al.*, 2004 y Reynolds *et al.*, 2013).

Para la variable reacción a desgrane: la línea 350-20 se comportó susceptible al desgrane, las líneas Tepoca, 304-20, 306-20, 3083-29, 3084-29, 3092-29, 325-19 y 325-20 fueron agrupados en líneas elites moderadamente tolerantes al desgrane y las líneas tolerantes fueron 310-20 y 349-19.

Las condiciones ambientales del altiplano norte son muy favorables para ensayos con objetivos de selección de líneas tolerantes a factores abióticos, tales como las granizadas de alta intensidad y heladas, por tanto las líneas avanzadas precoces de trigo sobresalientes deben también ser tomados en cuenta en esa dimensión.

Para la variable tolerancia la Roya (figura 13), correspondiente a la Roya de la hoja, el 58% de las líneas mostraron una moderada tolerancia y un 42% mostraron ser tolerante.

El material genético empleado distribuido por CIMMYT, posee los genes que otorgan resistencia a las royas de la hoja y del tallo constituyen un ejemplo de la variabilidad genética proporcionados por los parientes silvestres del trigo sin embargo en la localidad de Kallutaca la presencia e incidencia de roya es muy baja. Hasta los 90, se habían detectado unos 20 genes únicos de la resistencia a la roya del tallo y 12 de la resistencia a la roya de la hoja en ocho gramíneas silvestres emparentadas, en comparación con 21 genes de la resistencia a la roya del tallo y 23 de la resistencia a la roya de la hoja encontrados en el trigo mismo (Skovmand y Rajaram, 1990).

Las líneas que presentaron espigas moderadamente compactas fueron Tepoca, 3084-29 y 350-20 representando el 25% y el resto 75% de las líneas presentaron espigas compactas del total de las líneas elite evaluadas en el presente trabajo.

4.4. Determinación de variables de componentes de rendimiento

4.4.1. Análisis de correlación múltiple de Pearson

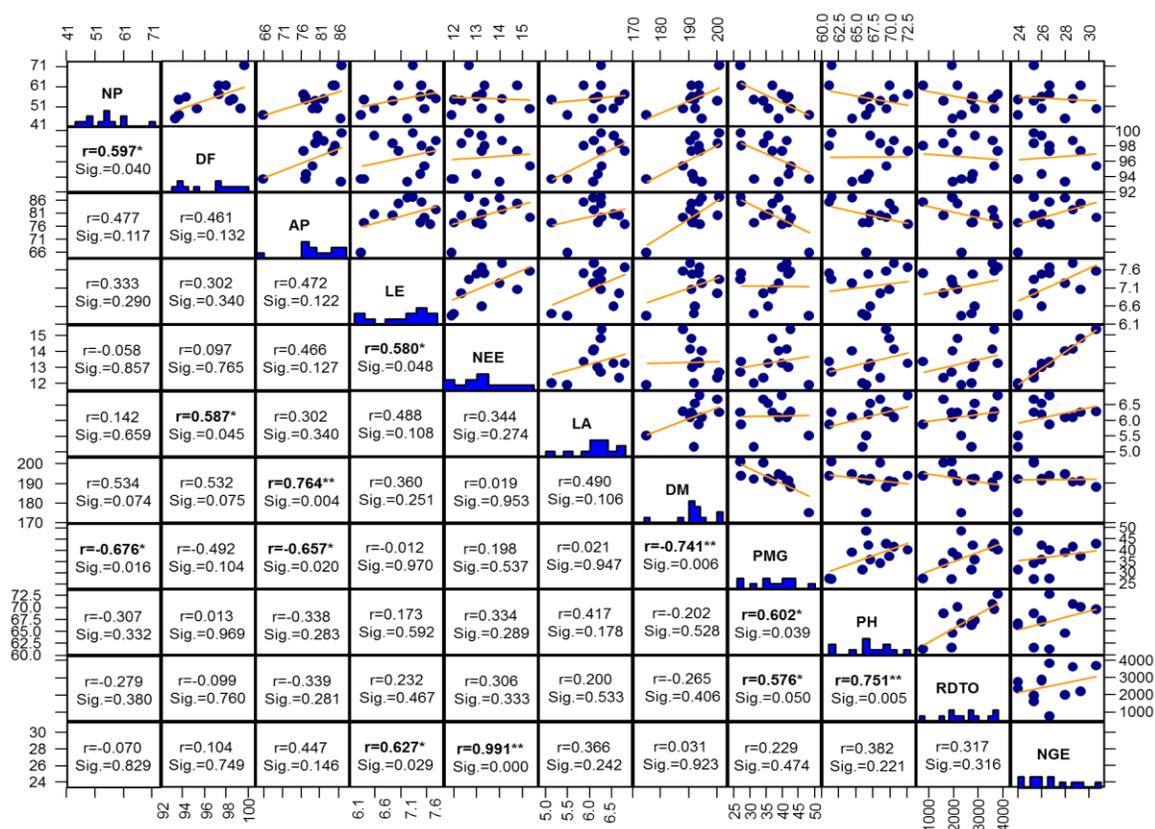


Figura 14. Matriz de dispersión y coeficiente de correlación lineal Pearson de variables cuantitativas, en la adaptabilidad de 12 líneas elite precoces de trigo harinero en la Estación Experimental de Kallutaca 2014-2015.

Se verifica asociaciones importantes entre variables cuantitativas (figura 14) de acuerdo al coeficiente de correlación de Pearson. Las correlaciones más destacadas para número de granos por espiga (NGE) fueron las siguientes: Una asociación positiva altamente significativa ($r=0.991$) con la variable número de espiguillas por espiga (NEE) (significa que a mayor número de granos por espiga será mayor el número de espiguillas por espiga) y una asociación positiva significativa ($r=0.627$) con longitud de espiga (LE). Seguidamente se identifica una asociación positiva altamente significativa para rendimiento (RDTO) en grano ($r=0.751$) con (PH) peso hectolitrico (significa que a mayor rendimiento en grano aumenta el peso hectolitrico) y una asociación significativa ($r=0.576$) con peso de mil granos (PMG), se observa también una asociación significativa para (PH) peso hectolitrico ($r=0.602$) con peso de mil granos (PMG).

Existe una correlación negativa altamente significativa para (PMG) peso de mil granos ($r=-0.741$) con (DM) días a madurez fisiológica (significa que a menor días a madurez fisiológica existirá mayor peso de mil granos), asociación negativa significativa ($r=-0.657$) con (AP) altura de planta (a mayor peso de mil granos, menor altura de planta) y ($r=-0.676$) número de plantas por metro (NP).

Para días a madurez fisiológica (DM) asociación altamente significativa de manera positiva ($r=0.764$) con altura de planta (AP), observamos una asociación significativa positiva para (LA) longitud de arista ($r=0.587$) con días a floración (DF), asociación positiva significativa ($r=0.580$) para número de espiguilla por espigas (NEE) y longitud de espiga (LE). Finalmente, se observa asociación positiva significativa para (DF) días a floración ($r=0.597$) con número de plantas por metro (NP).

4.4.2. Análisis de coeficiente de sendero para rendimiento

El análisis de coeficientes de sendero nos permitió identificar los efectos directos e indirectos que influyeron en el rendimiento. La variable dependiente fue rendimiento y los componentes; peso hectolitrico (PH), número de espigas por metro lineal (NEM) y peso de 1000 granos (PMG), días a la madurez fisiológica (DM), número de plantas por metro lineal (NP) y longitud de espiga (LE) fueron las variables independientes.

El análisis de varianza de regresión múltiple por el método de pasos sucesivos (Cuadro 9) muestra tres grupos, el primero influenciado por peso hectolitrico (PH), el segundo influenciado por peso hectolitrico (PH) y número de espigas por metro cuadrado (NEM) y

el tercero influenciado por altura de planta (AP), número de espigas por metro cuadrado (NEM) y peso de 1000 granos (PMG).

Cuadro 9. Análisis de varianza de regresión múltiple por pasos sucesivos para rendimiento, evaluado en 12 líneas elite precoces de trigo harinero. Determinados en la Estación Experimental de Kallutaca durante la gestión agrícola 2014-15.

Análisis de Varianza					
Modelo	SC	GL	CM	F	Sig.
Regresión	15336402,5	1	15336402,5	37,46	,000 ^a
a Residuo	13919986,4	34	409411,365		
Total	29256388,9	35			
Regresión	17758846,1	2	8879423,04	25,486	,000 ^b
b Residuo	11497542,8	33	348410,388		
Total	29256388,9	35			
Regresión	19758845,6	3	6586281,86	22,191	,000 ^c
c Residuo	9497543,31	32	296798,228		
Total	29256388,9	35			

a. Variables predictoras: (Rendimiento), Peso hectolitrico.

b. Variables predictoras: (Rendimiento), Peso hectolitrico, Numero de espigas/m.

c. Variables predictoras: (Rendimiento), Peso hectolitrico, Numero de espigas/m y Peso de 1000 granos.

La Figura 15, muestra el diagrama del análisis de los coeficientes de sendero para la variable dependiente rendimiento, el cual se generó con el resumen de los coeficientes de regresión múltiple por pasos sucesivos (Cuadro 10) y la matriz de correlación de Pearson (figura 13). Con este análisis se pudo identificar tres variables que influyeron con un efecto directo sobre el variable dependiente rendimiento. Peso hectolitrico (PH), peso de 1000 granos (PMG) y número de espigas por metro lineal (NEM) fueron las que presentaron mayor influencia con un efecto directo de peso hectolitrico ($P^1 = 0,511$), PMG ($P^2 = 0,379$) y NEM ($P^3 = 0,346$), estas variables fueron los componentes principales que determinaron el rendimiento en las líneas de trigo. Asimismo, PMG se encuentra alta y significativamente correlacionado con PH ($r = 0,601^*$) y NEM ($r = -0,253$). El coeficiente de determinación (R^2) explicó el 82% de la variación del rendimiento y el 18% restante llegaría a ser los efectos residuales (ϵ).

Las variables que influyeron con un efecto indirecto sobre el variable dependiente rendimiento a través de peso hectolitrico (PH) fueron días a madurez fisiológica (DM) y peso de 1000 granos (PMG) con valores de 0,35 y 0,82 este último es importante ya que su valor es altamente significativo. Los efectos indirectos a través de peso de 1000 granos (PMG) fueron peso hectolitrico (PH), días a madurez fisiológica (DM), longitud de espiga

(LE) y número de plantas (NP) con valores de 0,39; -0,53; 0,21 y -0,37. Finalmente el efecto indirecto a través de número de espigas por metro (NEM) fue número de plantas (NP) con un valor de 0.40. El coeficiente de determinación (R^2) para PH, PMG y NEM fue de 66%, 88% y 40% respectivamente. Los valores de (R^2) en PH y NEM no fueron muy altos, por lo que la variación debida a los efectos residuales (ϵ) es relativamente importante, el efecto de algunos caracteres fueron muy bajos y algunos negativo. Sin embargo (R^2) de PMG nos explica el 88% de la variación peso de 100 granos.

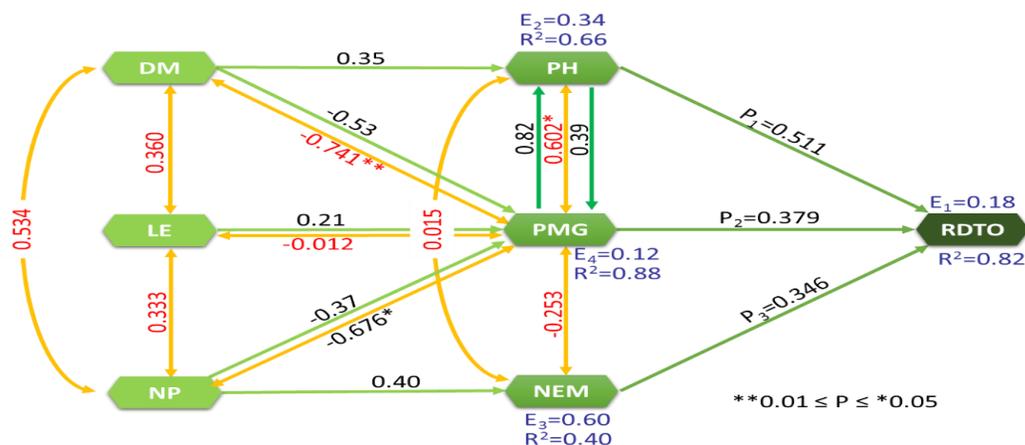


Figura 15. Diagrama de coeficientes de sendero (Path analysis), para rendimiento (RDTO), evaluado en la adaptabilidad de 12 líneas elite precoces de trigo harinero en la Estación Experimental de Kallutaca 2014-15.

El modelo de estimación del rendimiento en grano responde a la siguiente ecuación:

$$RDTO = - 10397.5 + 137.5 PH + 5.4 NEM + 50.7 PMG + (1 - R^2)$$

Los resultados del modelo (Cuadro 10), muestran que el rendimiento (RDTO) tiene una relación positiva con peso hectolitrico (PH), número de espigas por metro lineal (NEM) y peso de 1000 granos (PMG), llegando a ser estos los componentes del rendimiento. El incremento de cualquiera de estas variables significa un incremento en el rendimiento en $kg \cdot ha^{-1}$. Por lo tanto, el incremento de un gramo en peso hectolitrico (PH) significa un incremento de $0.511 kg \cdot ha^{-1}$ en el rendimiento (RDTO), el aumento de una espiga en número de espigas por metro lineal (NEM) significa un incremento de $0.346 kg \cdot ha^{-1}$ en el rendimiento (RDTO) y el aumento de un gramo en el peso de 1000 granos (PMG) significa un incremento de $0.379 kg \cdot ha^{-1}$ en el rendimiento (RDTO). Todo este proceso es un efecto de causalidad donde el rendimiento es el resultado del número de granos por unidad de superficie. Para objetivos de mejoramiento se puede trabajar con estos tres componentes.

Cuadro 10. Resumen de coeficientes de regresión múltiple por pasos sucesivos para rendimiento, evaluado en 12 líneas elite precoces de trigo harinero. Determinados en la Estación Experimental de Kallutaca durante la gestión agrícola 2014-15.

Modelo	Coef. no estandarizados		Coef. estandarizados	t	Sig.
	B	Error estándar	Beta		
Rendimiento	-10397,509	1961,193		-5,302	0,000
Peso Hectolitrico	137,534	34,749	0,511	3,958	0,000
Numero de espigas/m	5,437	1,531	0,379	3,55	0,001
Peso de mil granos	50,726	19,541	0,346	2,596	0,014
R ²	0,82				
Peso hectolitrico	19,344	17,661		1,095	0,281
Peso de mil granos	0,449	0,093	0,824	4,82	0
Días a madurez fisiolog.	0,162	0,079	0,349	2,041	0,049
R ²	0,66				
Peso de mil granos	78,616	19,527		4,026	0
Días a madurez fisiolog.	-0,451	0,078	-0,529	-5,817	0
Peso hectolitrico	0,725	0,167	0,394	4,337	0
Número de plantas	-0,259	0,066	-0,373	-3,922	0
Longitud de espiga	1,515	0,686	0,208	2,208	0,035
R ²	0,88				
Numero de espigas/m.	174,237	62,102		2,806	0,008
Número de plantas	2,845	1,114	0,401	2,555	0,015
R ²	0,40				

Según los resultados obtenidos, se puede identificar a tres de los 12 caracteres estudiados como los componentes del rendimiento. Esto permitió considerar a los primeros como componentes principales y a los segundos, como componentes secundarios del rendimiento, estableciendo un sistema de causa y efecto (Parodi *et al.*, 1970 citado por Escobar, 2016). Es importante considerar que este análisis es una aproximación simplificada de un conjunto de procesos complejos de las plantas, que puede modificarse al incluir nuevos componentes en el sistema. El método de los efectos directos e indirectos es una herramienta útil y eficaz en el proceso de selección de progenitores y progenies (Valencia, 2010 y Abbott *et al.*, 2014).

Diversos trabajos de investigación (Rodríguez *et al.*, 2006; Espitia *et al.*, 2008; Marza, 2003, citado por Escobar, 2016), concuerdan en aseverar que las correlaciones se han utilizado a través del tiempo en el campo del fitomejoramiento con varios objetivos, uno de los más importante es obtener información básica, para realizar el análisis de sendero (*path analysis*).

4.4.3. Análisis exploratorio

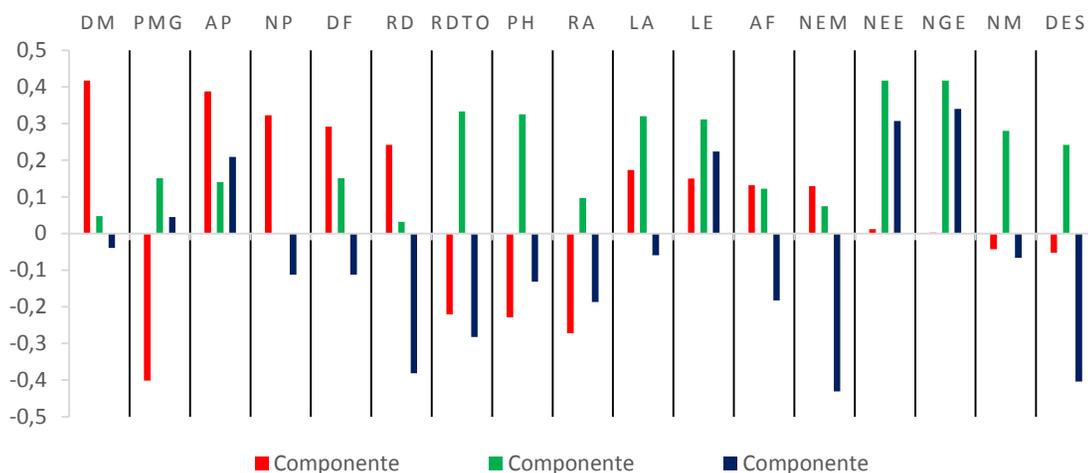


Figura 16. Peso de variables en los tres primeros componentes principales. En la adaptabilidad de 12 líneas elite precoces de trigo harinero, determinados en la Estación Experimental de Kallutaca durante la gestión agrícola 2014-15.

El análisis de componentes principales establece los pesos de las variables considerados en el estudio, siendo los más importantes para el primer componente los variables madurez fisiológica, altura de planta y número de plantas con peso positivo, con pesos negativos peso de mil granos, rendimiento, peso hectolitrito y reacción al acame. Para el segundo componente tienen mayor peso las variables número de espiguillas por espiga, número de granos por espiga, rendimiento y peso hectolitrico todos con peso positivo.

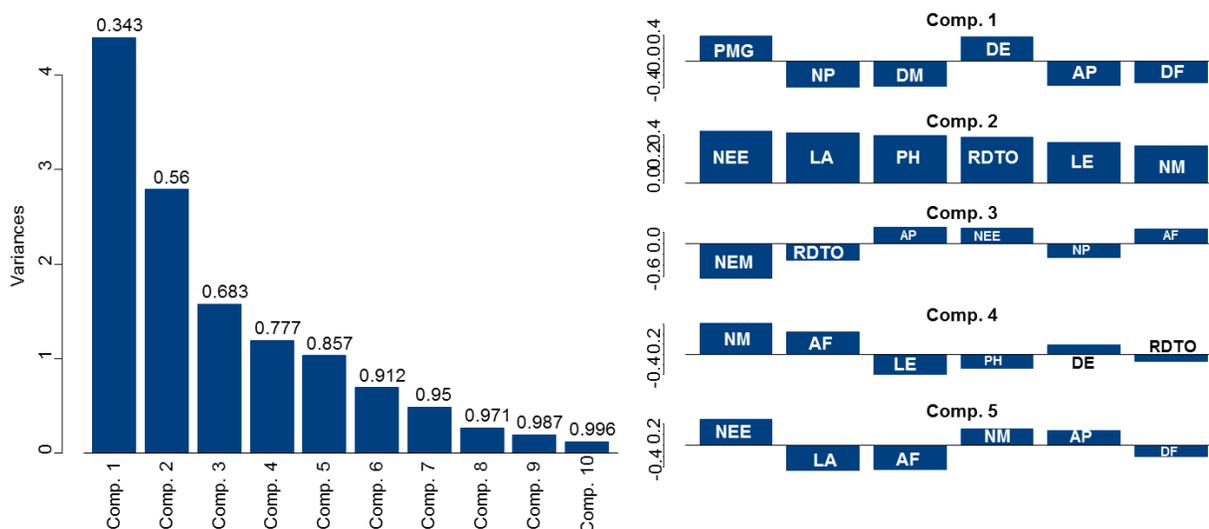


Figura 17. Importancia relativa de los componentes principales y pesos de las variables originales por componente, en la adaptabilidad de 12 líneas elites precoces de trigo harinero en la Estación Experimental de Kallutaca 2014-2015.

La información total de los componentes principales, medio en base a 15 variables evaluadas de 12 líneas elites precoces de trigo harinero, fue explicada en un 77% de varianza acumulada por los cuatro primeros componentes principales (figura 17), considerando el criterio de Cliff (Cliff, 1987, citado por Franco *et al.*, 2003).

La figura 17, muestra que el primer componente principal explica el 34.3 % de varianza total, contenido en mayor grado en variables de comportamiento fenológico con peso positivo en: Peso de mil granos (PMG), días a emergencia (DE) y con peso negativo en: número de plantas por metro (NP), días a madurez fisiológica (DM), altura de planta (AP) y días a floración (DF).

El segundo componente principal explica el 21.7% de varianza relativa y una varianza acumulada de 56%, expresado en mayor grado por las variables de: Número de espiguillas por espiga (NEE), longitud de arista (LA), peso hectolitrico (PH), rendimiento en grano (RDTO), longitud de espiga (LE) y número de macollos por planta (NM), todos con peso positivo.

El tercer componente principal explica el 12.3% de varianza relativa y una varianza acumulada de 68.3%, involucra variables: Altura de planta (AP), numero de espiguillas por espiga (NEE), área foliar (AF) con peso positivo y número de espigas por meto (NEM), rendimiento en grano (RDTO), número de plantas (NP) con peso negativo.

El cuarto componente con importancia relativa de 9.4% y una varianza acumulada del 77.7%, donde son participante en mayor grado las variables: Numero de macollos por planta (NM), área foliar (AF), días a emergencia del suelo (DE) con pesos positivo y longitud de espiga (LE), peso hectolitrico (PH), rendimiento en grano (RDTO) con pesos negativos.

Finalmente, el quinto componente de la figura 17, muestra con importancia relativa de 8% y una varianza acumulada del 85.7%, donde son participantes en mayor grado las variables: Numero de espiguillas por espiga (NEE), numero de macollos (NM), altura de planta (AP) con pesos positivos y longitud de arista (LA), área foliar (AF), días a la floración (DF) con pesos negativos.

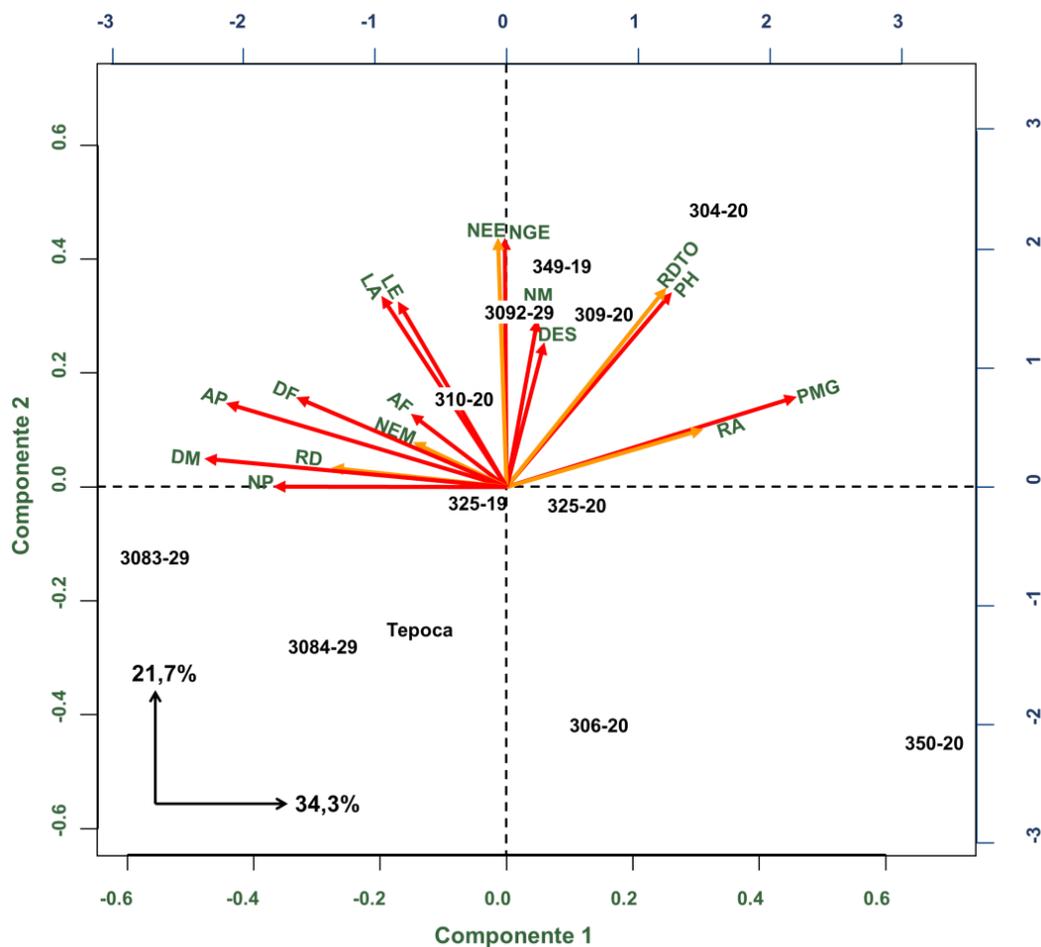


Figura 18. Análisis de componentes principales: BIPLLOT de interacción de variables y líneas, en la adaptabilidad de 12 líneas elite precoces de trigo harinero en la Estación Experimental de Kallutaca 2014-15.

La figura 18, muestra la representación gráfica BIPLLOT para dos componentes principales, generados a partir de una matriz de base de datos de doble entrada.

El primer componente está asociado a variables componentes de rendimiento, peso de 1000 granos (PMG) en contraposición a variables de fenología y adaptabilidad, separa líneas de mayor peso de 1000 granos: 350-20 y 304-20, contraposición se identifican las líneas con menor peso de 1000 granos 3083-29, 3084-29 y Tepoca, tomando como magnitud más representativa positiva a la variable peso de 1000 granos (PMG) agrupado con reacción al acame (RA).

El segundo componente está asociada a las variables de componentes de rendimiento, calidad de grano y morfología de espiga de manera positiva, en el cual se separa las líneas 349-19, 304-20 y 309-20 en contraposición las líneas 3083-29, 3084-29 y Tepoca.

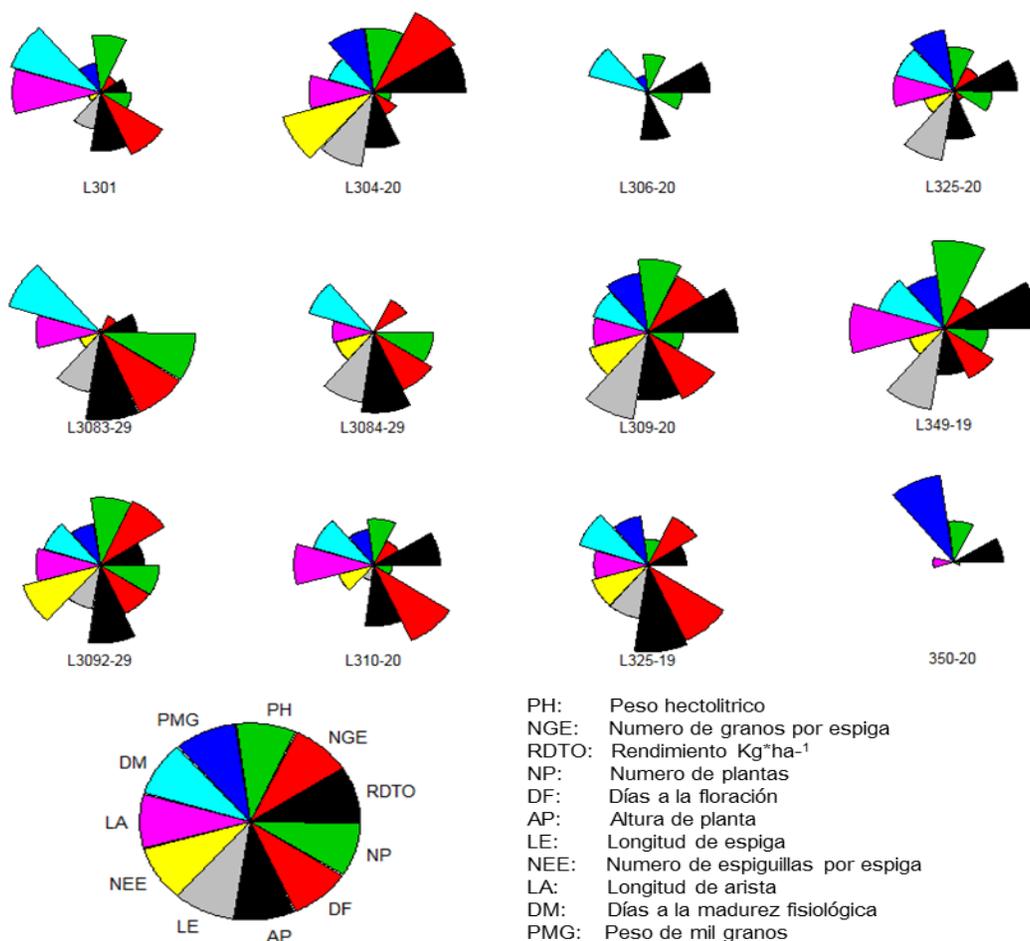


Figura 19. Diagrama de parcelas de estrellas (Stars Plots), para la línea elite de trigo ideal en la adaptabilidad de 12 líneas elite precoces de trigo harinero en la Estación Experimental de Kallutaca 2014-2015.

El método estrella desarrollado por Flores (1993), consiste en dibujar una estrella con tantos radios como variables, correspondiendo un sector del gráfico a una variable y cada figura corresponde a un genotipo. El comportamiento promedio de cada variable será proporcional al área de la estrella y cuando más tienda la forma de ésta a la de una circunferencia, mayor será su importancia en el comportamiento del genotipo correspondiente (Butron *et al.*, 2015).

La figura 19, en este gráfico se presenta las 12 líneas elites precoces de trigo harinero. Se observa que las líneas elite 304-20, 309-20 y 349-19 representan un comportamiento sobresaliente respecto al resto y tienen en común un excelente rendimiento en grano, buena longitud de espiga, alto peso hectolítrico, la línea 350-20 presenta mayor precocidad en días a la madurez fisiológica y la variedad Tepoca presenta una gráfica con tendencia muy tardía en días floración y madurez fisiológica.

5. CONCLUSIONES

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

- En fenología de las 12 líneas elites precoces de trigo harinero, procedentes del vivero internacional CIMMYT, evaluadas en la Estación Experimental de Kallutaca muestra un ciclo de vida del cultivo largo que comprende de 6 a 7 meses desde la siembra en septiembre y cosecha marzo. El desarrollo en las fases fenológicas de las líneas elites precoces de trigo harinero hasta la floración, se exponen tardías respecto a ambientes templados tradicionales de cultivo, como producto de las temperaturas medias bajas y su efecto marginal sobre los complejos fisiológicos y metabólicos, asimismo las bajas precipitaciones durante los primeros meses de desarrollo vegetativo, inciden en la extensión de tiempo de las diferentes fases vegetativas.
- La etapa más amplia está siendo desde la floración hasta la madurez fisiológica del cultivo en condiciones de la Estación Experimental de Kallutaca prolongándose hasta en tres meses en promedio, siendo las principales características ambientales influyentes: Presencia de sequias antes y durante la floración y después precipitaciones de alta intensidad, temperaturas medias promedios bajas (efectos negativos sobre complejos metabólicos, fisiológicos y otros), días nublados y bajo radiación solar incidente (efectos negativos sobre la fotosíntesis).
- El comportamiento agronómico y componentes de rendimiento de las 12 líneas elite precoces de trigo harinero, muestran genotipos superiores al control o testigo Tepoca en características agronómicas, adaptabilidad, morfológicas de espiga, calidad de grano y rendimiento en grano, por ejemplo, las líneas elite más destacadas en rendimiento de grano fueron las siguientes: 349-19, 304-20, 309-20, 310-20, 325-20, 306-20 y 350-20 con rendimientos de 3.800, 3.667, 3600, 2.866, 2.800, 2.733 y 2.333 kg*ha⁻¹, respectivamente.
- Mientras tanto, las líneas elite con mejores características en morfología de espiga y calidad de grano fueron las siguientes: 309-20 con 7.8 cm de longitud de espiga, 349-19 con 6.8 cm de longitud de arista, 350-20 con 48.4 g de peso en peso de mil granos y 349-19 con 72.7 de peso hectolitrico.

- Se puede señalar que existe una buena adaptabilidad de las líneas elite precoces de trigo harinero en condiciones que ofrece el altiplano norte de La Paz, el obstáculo para el producto final esperado como rendimiento de grano, estará siempre condicionado por un ambiente imprevisto con variaciones de temperaturas extremas mínimas, precipitaciones localizadas, granizadas de alta intensidad, sequías y otras.
- Para adaptabilidad en descendencias, las siguientes líneas elites precoces de trigo harinero estudiadas en las gestiones (2013-14) y (2014-15) son los más sugerentes: 325-19, 309-20 y 310-20, con una altura de planta de 81 a 84 cm, en promedio con 6 a 7 macollos, donde la variedad (testigo y/o control) Tepoca muestra una altura de 82 cm y 5 macollos por planta.
- La variable precocidad considerada la de mayor importancia por su característica genotípica valiosa para contrarrestar y evadir el cambio climático, por lo cual se concluye que en condiciones adversas abióticas de la Estación Experimental de Kallutaca, primero se debe elegir una fecha de siembra adecuada, por motivo de la variabilidad climática observada y mencionada, la siembra tardía de líneas precoces nos permitirá escapar de la sequía pero no así de las heladas, ni granizadas corriendo el riesgo de obtener granos chupados y espigas desgranados. En cambio una siembra de líneas precoces adelantada expondrá a la falta de agua, que es un factor muy importante para la emergencia de la semilla y el buen desarrollo de la planta, en términos de área foliar y macollamiento.

6. RECOMENDACIONES

En base a los objetivos planteados, resultados obtenidos del presente trabajo, me permito expresar las siguientes recomendaciones:

- Si la siembra es realizada a principios de septiembre de líneas precoces de trigo, se recomienda planear subestructura de riego, ya que existe el riesgo de una sequía en la fase vegetativa de la planta.
- Usar variedades de trigo de ciclo corto, adaptadas a las condiciones del Altiplano, que lleguen rápidamente a la madurez y puedan ser cosechadas antes de la llegada de los primeros fríos. Esas variedades de ciclo corto, crecerían rápidamente después de la siembra en octubre y noviembre, aprovechando las lluvias de verano (diciembre a febrero) y realizarían el llenado del grano antes de las primeras heladas.
- Se recomienda utilizar el método de coeficientes de sendero (Path analysis), ya que es una alternativa de pronóstico que permite identificar o seleccionar líneas elite de trigo en campo. Las variables peso hectolitrico (PH), peso de 1000 granos (PMG) y numero de espigas por metro (NEM), fueron los componentes principales identificados para determinar el rendimiento (RDTO) en líneas elites precoces de trigo harinero. Las variables días a la madurez fisiológica (DM) y peso de 1000 granos (PMG) fueron los componentes identificados para determinar el peso hectolítrico (PH). Estos componentes son las alternativas para incrementar el rendimiento en grano, además que es un punto de referencia para futuros programas de mejoramiento genético.
- De acuerdo a los resultados obtenidos del análisis de componentes principales y del ranking de rendimientos estandarizado, se recomienda estudiar las siguientes líneas: 349-19, 304-20, 309-20, 310-20, 325-20 las mismas presentaron comportamientos agronómicos favorables, en base a rendimientos y la línea elite 350-20 con la clasificación de muy precoz en base a días a la maduración fisiológica.
- Dar la continuidad de la investigación en líneas elites precoces de trigo harinero considerando épocas y/o fechas de siembra y considerar a las líneas elites como material genético proyectado a variedad de trigo que nos permita mitigar y adaptarse al cambio climático, que cada vez en más influyente en la agricultura.

7. BIBLIOGRAFÍA

- Abbott, L., Spara, F., Vernengo, E. y Wolff, R. 2014. Análisis de coeficientes de sendero para el rendimiento de semilla en *Phalaris aquatica* L. XIX Reunión Científica del Grupo Argentino de Biometría. Santiago del Estero, Argentina. 3 p.
- Aslam, R; Munawar, M; Salam, A. 2014. Genetic architecture of yield components accessed through line x tester analysis in wheat (*Triticum aestivum* L.). Universal Journal of Plant Science. 2(5): 93-96.
- Allahverdiyev, TI; Talai, JM; Huseynova, IM; Aliyev, JA. 2015. Effect of drought stress on some physiological parameters, yield, yield components of durum (*Triticum durum* desf.) and bread (*Triticum aestivum* L.) wheat genotypes. Ekin Journal of Crop Breeding and Genetics. 1(1): 50-62.
- Aquino y Burgos. 2012. Exigencias bioclimáticas de una colección de trigos precoces. Maracay – Venezuela. 222p
- Barron, C., Surget, A., Rouau, X., 2007. Relative amounts of tissues in mature wheat (*Triticum aestivum* L.) grain and their carbohydrate and phenolic acid composition. Journal of Cereal Science 45, 88-96.
- Berry, P., Sterling, M., Spink, J., Baker, C., Sylvester-Bradley, R., Mooney, S., Tams, A. y Ennos, AR. 2004. Understanding and reducing lodging in cereals. Advances in Agronomy 84, 217–271.
- Botanical-online, SL. 2016. El trigo *Triticum aestivum* L. Botanical-online.com El mundo de las plantas. Consultado 20 de diciembre de 2016. Disponible en <http://www.botanical-online.com/trigo.htm>
- Butron, R., Michma, R., Silva, E., Siñani, O., Quispe, F. y Marza, F. 2015. Características del grano relacionados con rendimiento de trigo. Programa Nacional de Trigo, Instituto Nacional de Innovación Agropecuaria y Forestal (INIAF), Cochabamba, Bolivia. 9 p.
- Cropcheck, 2012. Manual de recomendaciones cultivo de trigo, fundación chile, moveremos la frontera de lo posible. 48 p.

- Cubero, J., Flores. 2011. Métodos estadísticos. Para el estudio de la estabilidad varietal en ensayos agrícolas. Junta de Andalucía, Consejería de Agricultura y Pesca. Sevilla, España. 176 p.
- Cnidus.2009. Biología Evolutiva: El Huerto Evolutivo. (En línea). Consulta: 20 Diciembre 2016, <http://lacienciaysusdemonios.com>
- Damba, G. 2008. Evaluación de métodos para análisis de estabilidad en diferentes ambientes en genotipos de yuca (*Manihot esculenta* Crantz). Tesis M.Sc. Palmira-Colombia. Universidad Nacional de Colombia. 110 p
- Definición, 2016. Definición adaptabilidad. Disponible en: <http://definicion.de/adaptacion/>
- ENLACE-MDRyT. 2016. (Ministerio de comunicación, portal de información estatal). Disponible en: <http://enlace.comunicacion.gob.bo/index.php/2016/05/13/gobierno-cuenta-con-estrategia-nacional-de-trigo/>
- EMAPA. 2014. Empresa de Apoyo a la Producción de Alimentos. Consultado el 10 de febrero de 2017. Disponible en: <http://agroingeniero.blogspot.com/2014/06/rendimiento-de-trigo-se-incremento-en.html>.
- Escobar, N. 2016. Coeficientes de sendero para rendimiento y calidad de 15 líneas de trigo harinero (*Triticum aestivum* L.) en tres localidades del departamento de Cochabamba. Tesis de grado-UPEA. El Alto, Bolivia. 87 p.
- Espitia, M., Araméndiz, H. y Cadena, J. 2008. Correlaciones y análisis de sendero en algodón (*Gossypium hirsutum* L.) en el Caribe Colombiano. Medellín, Colombia.
- FAO. 2005? El daño producido por las heladas: fisiología y temperaturas críticas. In. 2005? Protección contra las heladas: fundamentos, práctica y economía. p. 73-98. Consultado 24 de julio de 2015. Disponible en <http://www.fao.org/docrep/012/y7223s/y7223s05.pdf>
- Fenalce. 2016. Trigo (*Triticum aestivum* L.) requerimientos edafoclimaticos. Consultado 20 de diciembre 2016. Disponible en <http://www.fenalce.org/nueva/pg.php?pa=74>.
- Fuente, S. 2011. Componentes principales. Universidad Autónoma de Madrid. 7 p.

- Franco, T. L. e Hidalgo, R. (eds.). 2003. Análisis Estadístico de Datos de Caracterización Morfológica de Recursos Fitogenéticos. Boletín técnico no. 8, Instituto Internacional de Recursos Fitogenéticos (IPGRI), Cali, Colombia. 89 p.
- Guarachi, E. 2011. Balance hídrico en el cultivo de papa bajo condiciones de drenaje mixto en Suka Kollus. Tesis Lic. Ing. Agr. El Alto, BO. Universidad Pública de El Alto. 90 p.
- Gómez, J. 2017. Fundamentos teóricos de ecología evolutiva, "Adaptabilidad". Consultado el 29 de agosto de 2017. Disponible en www.urg.es/~jmgreyes/adaptacion.html
- Grubial. 2011. La evolución del trigo a través de los tiempos. (En Línea). Consultado el 22 Julio 2016, disponible en línea: blogspot.com: <http://grubial.blogspot.com>
- Herbas, R. 2008. El Estado de Situación del trigo en Bolivia y el contexto internacional. Centro de Investigación y Promoción del Campesinado (CIPCA). 35 p.
- Hidalgo, R. 2003. Variabilidad genética y caracterización de especies vegetales. . Boletín técnico no. 8, Instituto Internacional de Recursos Fitogenéticos (IPGRI), Cali, Colombia. p. 16
- IBCE, (Instituto Boliviano de Comercio Exterior). 2015. Bolivia: Importaciones de trigo y harina de trigo. Bolivia. Banco Ganadero. 1 p. (boletín electrónico bisemanal)
- INE, (Instituto Nacional de Estadística); MDRyT, (Ministerio de Desarrollo Rural y Tierras). 2015. Superficie, producción y Rendimiento promedio del grano de trigo, perteneciente a las campañas agrícolas 2005 a 2015. Bolivia. INE-Observatorio Agroambiental. Consultado el 26 de diciembre de 2015. Disponible en <http://www.ine.gob.bo/indice/indice.aspx?d1=0201&d2=6-> <http://observatorio.ruralityerras.gob.bo/>
- INIAF, (Instituto Nacional de Innovación Agropecuaria y Forestal). 2012. Plan de implementación y avances en el programa nacional de trigo. La Paz-Bolivia. Programa Nacional de Trigo 40 p

- INIAF, (Instituto Nacional de Innovación Agropecuaria y Forestal). 2014. Programa Nacional de investigación TRIGO. p. 8
- INFOAGRO. 2016. El cultivo del trigo: Trigos precoces y tardíos. (En línea). Consultado el 20 de diciembre 2016, www.infoagro.com.
- Kilian, B. 2007. Independent Wheat B and Genome Origins in Outcrossing Aegilops Progenitor Haplotypes. *Molecular Biology and Evolution* 2007 24(1):217-227
- Kansas State University. 2015. Wheat taxonomy. Wheat genetic and genomic resources center. Consultado 13 de agosto de 2015. Disponible en <http://www.k-state.edu/wgrc/Taxonomy/taxintro.html>
- Kosina, P.; Bell, M.; Ceja, J.; Jones. J. 2013. Doctor Trigo: Densidad óptima de siembra. CIMMYT. (En Línea) Consultado el 21 diciembre de 2016, <http://www.cimmyt.org/>
- Levy, A. A. y Feldman, M. 2002. The Impact of Polyploidy on Grass Genome Evolution. Department of plant Sciences, The Weizmann Institute of Science - Israel. 7 p.
- Lombardo L.A., M.M Nisi, M. Helguera. Efecto de la precocidad sobre la floración en una población segregante de rils de trigo pan. XLII Congreso Argentino de Genética – Salta, 20 al 23 de octubre de 2013.
- Los Tiempos 2016, Apuntan a subir en 40% producción local de trigo. Consultado el 12 de enero de 2016. Disponible en: <http://www.lostiempos.com/actualidad/economia/20160604/apuntan-subir-40-produccion-local-trigo>
- Malaga, U. 2008. Bioestadística: métodos y aplicaciones. Medias descriptivas. P 32.
- Marza, F. 2003. Path Analysis of Yield and Related Traits in the Winter Wheat Population, Ning 7840 x Clark. Short Communication. 7 p.
- Marza, F., Quispe, F., Butrón, R., Canelas, J., Huallpa, B., Tenorio, J., Gutiérrez, G., y Villegas, R., 2013. Utilización de germoplasma de trigo del CIMMYT en el Programa Nacional de Trigo (PN-Trigo), Instituto Nacional de Innovación Agropecuaria y Forestal (INIAF), Cochabamba - Bolivia. p. 6

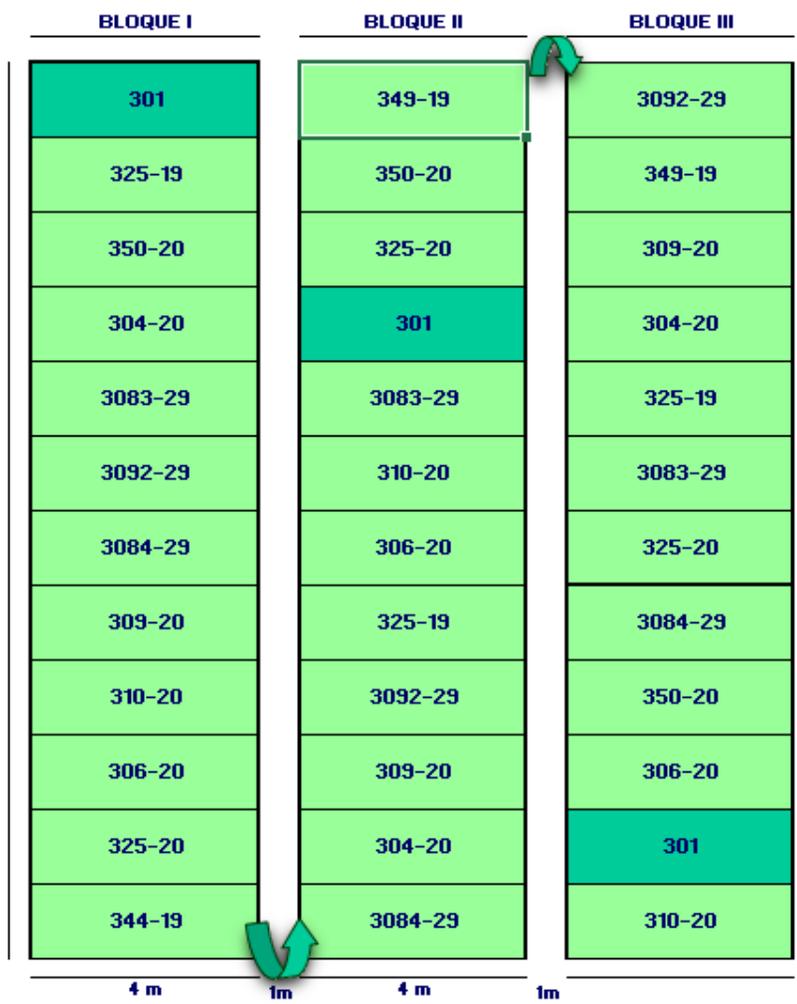
- Marza, F., Quispe, F., 2013. Guía Práctica para el Investigador en Trigo. Instituto Nacional de Innovación Agropecuaria y Forestal, INIAF. Programa Nacional de Trigo. 1ra edición. La Paz, Bolivia. 73 p.
- MACA. 2004. Estudio de identificación mapeo y análisis competitivo de la cadena productiva de trigo. La Paz-Bolivia. p.2
- Miralles, D. J. 2004. Consideraciones sobre ecofisiología y manejo de Trigo, Facultad de Agronomía – Universidad de Buenos Aires. INTA – Argentina. 7 p.
- Miro y Bertolasi. 2009. Apoyo a los Procesos de Apertura e Integración al Comercio Internacional. ATN/ME-9565-RG BID-FOMIN: Tendencias del Mercado Internacional del Trigo. p.17
- Monografías, 2016. Investigación de mercado del trigo. Consultado el 15 de enero de 2016. Disponible en: <http://www.monografias.com/trabajos101/investigacion-mercado-trigo/investigacion-mercado-trigo.shtml>
- MDRyT-VDRA, 2012. Compendio Agropecuario, observatorio agroambiental y productivo, Ministerio de Desarrollo Rural y Tierras – Viceministerio de Desarrollo Rural Agropecuario - Bolivia. 520 p.
- Noah, Y. 2016. Los cereales en la base de la alimentación, su consumo a través de la historia “Fueron el trigo, el arroz y las patatas las que domesticaron al homo sapiens y no al revés. Disponible en: <https://entrenandocon cabeza.blogspot.com/2016/06/loscereales-en-la-base-de-la.html?m=1>
- Orsag, V. 2014. El rendimiento de quinua bajo condiciones actuales es in sostenible. Consultado el 20 de mayo de 2017. Disponible en: <https://www.google.com.bo/#q=el+rendimiento+de+quinua+bajo+condiciones+actuales+es+insostenible>.
- Pedros y Cierco. 2012. Manual de buenas prácticas del modelo productivo catalán de trigo transferido al altiplano boliviano: Fomento a la transferencia tecnológica y de conocimiento a la fundación PROINPA en la cosecha del trigo. Potosi-Bolivia. p.19

- Petersen, G. et al. 2006. Phylogenetic relationships of *Triticum* and *Aegilops* and evidence for the origin of the A, B, and D genomes of common wheat (*Triticum aestivum* L.). *Molecular Phylogenetics and Evolution* 39 (2006) 70–82 p.
- Ramos G.F, 2013. Maiz, trigo y arroz los cereales que alimentan al mundo. Primera edición, La ciencia a tu alcance, Universidad Autónoma de Nuevo León – Mexico. 85 p.
- Rebetzke, G., Rattey, A., Farquhar, G., Condon, A., y Richards, R. 2012. Genomic regions for canopy temperature and their genetic association with stomatal conductance and grain yield in bread wheat (*Triticum aestivum* L.). *Functional Plant Biology* (submitted).
- Reynolds M., Pask A., Mullan D. y Chávez. D. (Eds.) 2013. Fitomejoramiento Fisiológico I: Enfoques Interdisciplinarios para mejorar la adaptación del cultivo. México, D.F.: CIMMYT, pag. 188.
- Rodríguez, G., Silva R., Cásares R., y Díaz, A. 2006. Aplicación del análisis de sendero a la época del incremento poblacional de *Opsiphanes cassina* Felder (*Lepidoptera: Nymphalidae*), en palma aceitera. Instituto Nacional de Investigaciones Agrícolas. Centro de Investigaciones Agrícolas. Facultad de Agronomía. Monagas, Venezuela. 9 p.
- Ruiz, Cotrina y De Neef. 2005. Manual tecnificado del cultivo de trigo en la sierra: Plagas y enfermedades. Cajamarca-Perú. p.15.
- Salm, H; Castro, J. 2005. Propiedades químicas y potencial productivo de los suelos del departamento de La Paz, Bolivia. *Revista Boliviana de Química*. 22(1): 19-26.
- Sevilla, P. R. 2004, Líneas de base para la implementación de programas estratégicos. Línea de base del área de recursos fitogenéticos y premejoramiento. Proyecto de investigación y extensión agrícola. Ministerio de agricultura. Perú. p 19.
- SENAMHI. 2015. Base de datos: Datos Mensuales (En línea). Consulta: 20 de diciembre 2015. <http://www.senamhi.gob.bo/sismet/index.php>

- Silva, E. 2015. Selección de líneas élite de trigo (*Triticum aestivum* L.) con adaptabilidad y alto potencial de rendimiento, en el altiplano central de Bolivia, Centro Experimental Agropecuario Condoriri. Tesis Lic. Ing. Agr. El Alto, BO. Universidad Pública de El Alto. 112 p.
- Slafer, G.; Gonzales. F., Garcia. G., Mirralles. D. 2002. Bases fisiológicas y genéticas del desarrollo reproductivo en trigo como determinante del número de granos. 19 p.
- USDA (United States Department of Agriculture). 2016. Foreign Agricultural Service: Producción, Supply and Distribution (PSD) Database. Consultado el 20 de febrero, 2016. Disponible en línea: <http://www.fas.usda.gov/psdonline>
- Valencia, R. 2010. Respuesta diferencial de variedades de soya a la asociación simbiótica con cepas de *Bradyrhizobium japonicum*, en oxisoles de la Orinoquia Colombiana. Tesis Ph.D.-Universidad Nacional de Colombia. 170 p.
- Wikipedia. 2016. *Triticum aestivum* L. Consultado 15 de septiembre de 2016. Disponible en línea: https://es.wikipedia.org/wiki/Triticum_aestivum
- Wikipedia. 2017. Adaptabilidad Biologica. Consultado 02 de agosto de 2017. Disponible en línea: https://es.wikipedia.org/wiki/Adaptaci%C3%B3n_biol%C3%B3gica
- Wang, J., van Ginkel, Trethowan y Pfeiffer. 2003. Documentation of the cimmyt wheabreeding programs. Wheat Program, CIMMYT, Apdo. Postal 6-641, 06600Mexico, D.F., Mexico
- Yapu, W. 2015. Adaptabilidad de 21 líneas avanzadas precoces de trigo harinero (*Triticum aestivum* L.) en la Estación Experimental de Kallutaca. Tesis Lic. Ing. Agr. El Alto, BO. Universidad Pública de El Alto. 98 p.
- Yan, W., and J. B. Holland. 2010. A heritability-adjusted GGE biplot for test environment evaluation. *Euphytica* 171: 355- 369.
- Zadoks, J.C., Chang, T.T., Konzak, C.F. 1974. A decimal code for the growth stages of cereals. *Weed Res. (Oxf.)* 14, 415-421

8. ANEXOS

Anexo 1. Croquis de la parcela experimental de 12 líneas elite precoces de trigo, establecido en establecido en el centro experimental de Kallutaca.



Anexo 2. Fotografía, proceso de establecimiento y desarrollo fenológico en la parcela experimental de 12 líneas elite precoces de trigo, en el centro experimental de Kallutaca.



Preparacion del suelo



Emergencia



Floracion

Espigado



Proceso de maduración fisiologica



Exposiciones en campo

Evaluaciones in situ

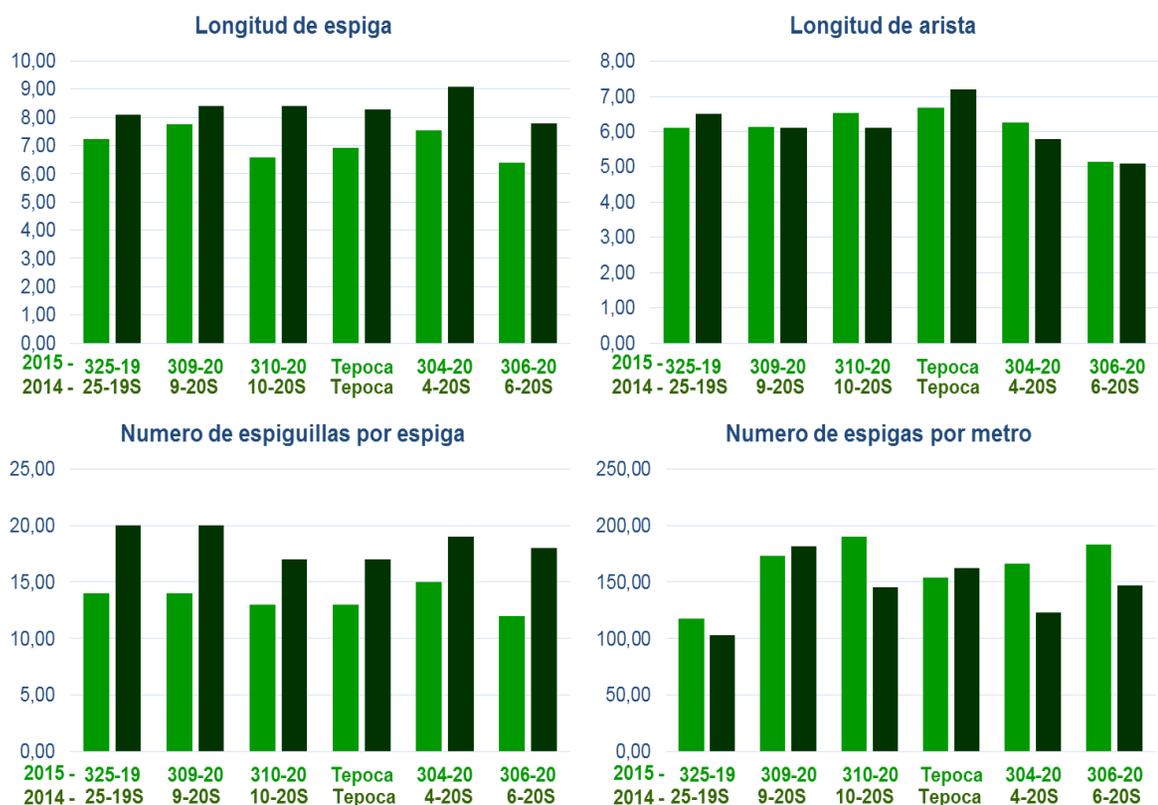


Anexo 3. Fotografía, proceso de madurez fisiológica de líneas elites precoces de trigo, establecido en el centro experimental de Kallutaca.



Imágenes propias

Anexo 4. Comparación de variables del proceso de adaptabilidad, morfología de espiga y componentes de rendimiento de la gestión agrícola 2014 y 2015, de 12 líneas elite precoces de trigo harinero en la estación Experimental de Kallutaca 2014-2015.



Anexo 5. Promedios de las variables del proceso de adaptabilidad, en la adaptabilidad de 12 líneas elite precoces de trigo harinero en la estación Experimental de Kallutaca 2014-2015.

	2014	2015
Altura de planta	84,2	80,9
Número de macollos/planta	6,7	6,2
Días a floración	95,7	96,3
Días a madurez fisiológica	312,8	193
Longitud de espiga (cm)	8,35	7,1
Longitud de arista (cm)	6,1	6,1
Numero de espiguillas/espiga	18,5	13,5
Peso de 1000 granos	41,5	37,4
Numero de granos/espiga	26,5	27,1
Rendimiento (kg*ha ⁻¹)	1741,7	2738,9
Numero espigas/metro lineal	143,7	163,9
Número de plantas	28,7	51,3

Anexo 6. Datos de la investigación en la adaptabilidad de 12 líneas elite precoces de trigo, establecido en la estación experimental de Kallutaca, 2014-2015.

Entrada	DE	NP	NM	DF	AP	AF	NEM	LE	NEE	LA
3083-29	9,00	71,33	6,67	99,67	86,89	115,29	468,00	7,33	12,67	6,26
301	10,33	53,67	5,20	98,33	79,89	105,28	307,33	6,94	12,33	6,67
325-19	10,67	45,00	6,40	93,33	86,67	128,31	234,67	7,22	14,00	6,09
349-19	9,67	57,00	6,67	97,33	76,67	143,42	320,33	7,67	13,22	6,80
3084-29	9,33	61,33	5,87	98,00	85,11	145,64	238,67	7,50	13,33	5,87
310-20	10,33	50,00	7,33	99,33	80,44	171,04	381,00	6,59	13,22	6,54
306-20	9,67	54,33	5,80	93,67	77,22	106,81	365,67	6,39	12,00	5,14
325-20	9,67	55,67	5,00	94,33	77,33	139,83	323,33	7,48	13,00	6,19
3092-29	9,67	61,33	7,13	97,33	84,56	113,09	352,00	7,06	14,78	6,26
309-20	10,00	54,67	6,13	98,67	82,11	95,77	345,67	7,78	14,11	6,10
304-20	10,67	49,67	7,40	95,33	79,11	124,17	332,67	7,56	15,33	6,28
350-20	11,00	46,67	6,53	93,67	65,78	102,62	301,33	6,33	11,89	5,50

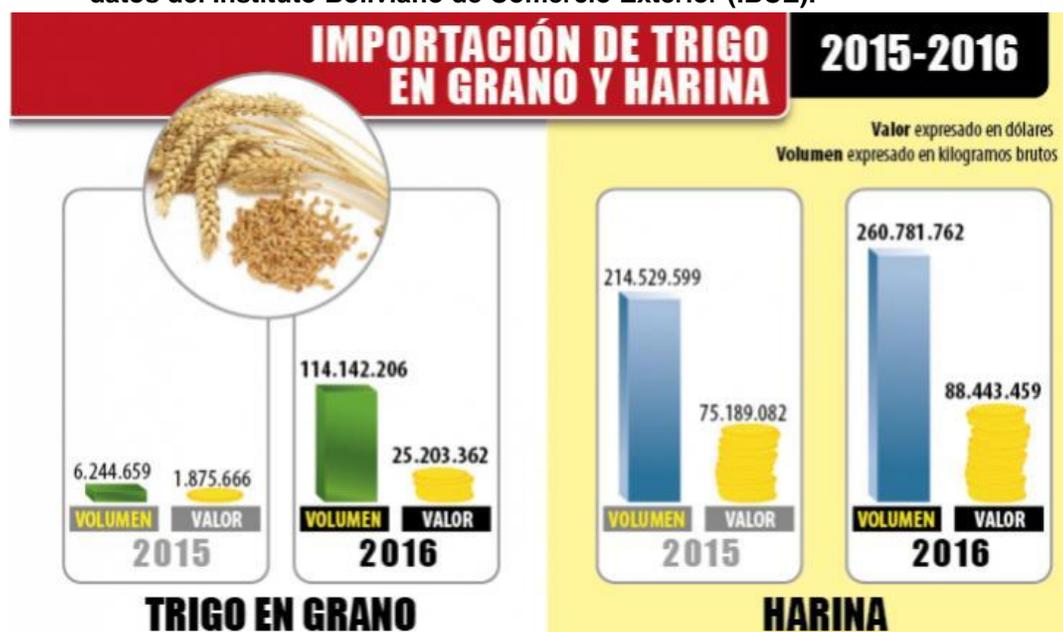
Entrada	P	DM	PMG	PH	RDTO	NGE	RA	RD	DES
3083-29	1,00	201,00	27,10	61,52	1933,33	25,33	3,00	3,33	3,67
301	1,00	200,33	34,23	68,66	1600,00	25,33	3,33	3,00	3,00
325-19	2,00	194,67	38,97	64,53	1966,67	28,00	2,67	3,33	3,67
349-19	2,00	194,00	40,02	72,66	3800,00	26,67	4,00	3,67	4,00
3084-29	2,00	193,67	27,34	61,17	766,67	26,67	3,67	3,00	3,00
310-20	3,00	192,33	35,76	67,18	2866,67	26,00	3,67	3,67	4,00
306-20	3,00	192,00	31,27	66,10	2733,33	24,00	3,67	3,33	4,00
325-20	4,00	191,33	42,08	66,93	2800,00	26,00	3,67	3,33	4,00
3092-29	4,00	191,00	37,09	69,97	2166,67	29,33	3,67	2,67	4,00
309-20	4,00	190,67	41,44	70,62	3600,00	28,67	4,00	2,67	3,67
304-20	4,00	188,00	42,70	69,52	3666,67	30,67	3,67	2,67	3,67
350-20	5,00	175,00	48,39	66,57	2333,33	24,00	4,00	2,33	3,33

Anexo 7. Gráfico: Los Tiempos, Departamento Técnico y Servicio de la Asociación de Productores de Oleaginosas y Trigo (ANAPO), Producción de trigo 2010-2017.

GESTIÓN	SUPERFICIE (HA)	RENDIMIENTO (T/HA)	PRODUCCIÓN (T)	PRECIO (\$US/T)
2010	107.221	1,67	179.179	(280-340)
2011	68.323	1.09	70.083	(400-420)
2012	68.000	2.03	137.515	(400-445)
2013	93.000	1,24	116.285	(430-490)
2014	115.000	2,45	281.800	(430-490)
2015	150.000	1,65	248.040	(220-285)
2016	100.000	0,73	73.200	(280-315)
2017	110.000	2,4	264.000	310

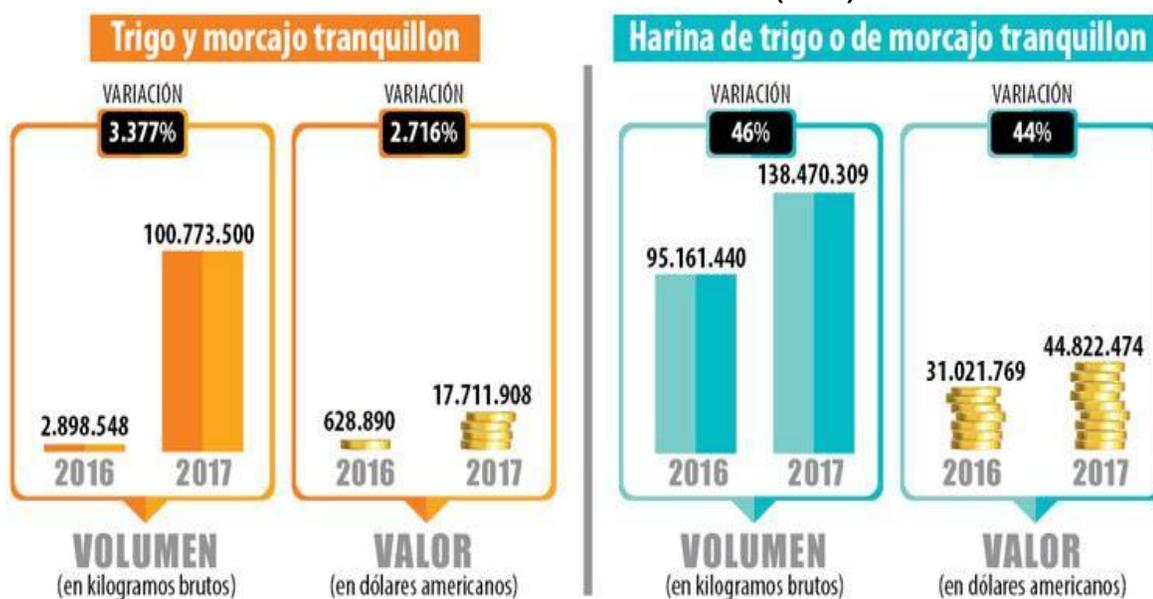
Fuente: ANAPO - Gráfico Los Tiempos

Anexo 8. Gráfico: Los Tiempos, Importación de trigo en grano y harina 2015-2016, según datos del Instituto Boliviano de Comercio Exterior (IBCE).



Fuente: IBCE - Grafico Los Tiempos

Anexo 9. Gráfico: Los Tiempos, Importación de trigo en grano y harina 2016-2017, según datos del Instituto Boliviano de Comercio Exterior (IBCE).



Fuente: IBCE - Grafico Los Tiempos