

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



**TESIS DE GRADO**

**ANÁLISIS DE COMPONENTES DE RENDIMIENTO Y CALIDAD EN  
QUINCE LÍNEAS ELITE DE TRIGO DURO (*Triticum durum*) EN  
DOS ZONAS TRIGUERAS DEL DEPARTAMENTO DE  
COCHABAMBA**

**Por:**

**Irene Mercedes Gutierrez Limachi**

**EL ALTO – BOLIVIA  
Junio, 2016**

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

**ANÁLISIS DE COMPONENTES DE RENDIMIENTO Y CALIDAD EN QUINCE LÍNEAS  
ELITE DE TRIGO DURO (*Triticum durum*) EN DOS ZONAS TRIGUERAS DEL  
DEPARTAMENTO DE COCHABAMBA**

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

**Irene Mercedes Gutierrez Limachi**

**Asesor:**

Dr. Félix Marza Mamani, Ph.D.

**Tribunal Revisor:**

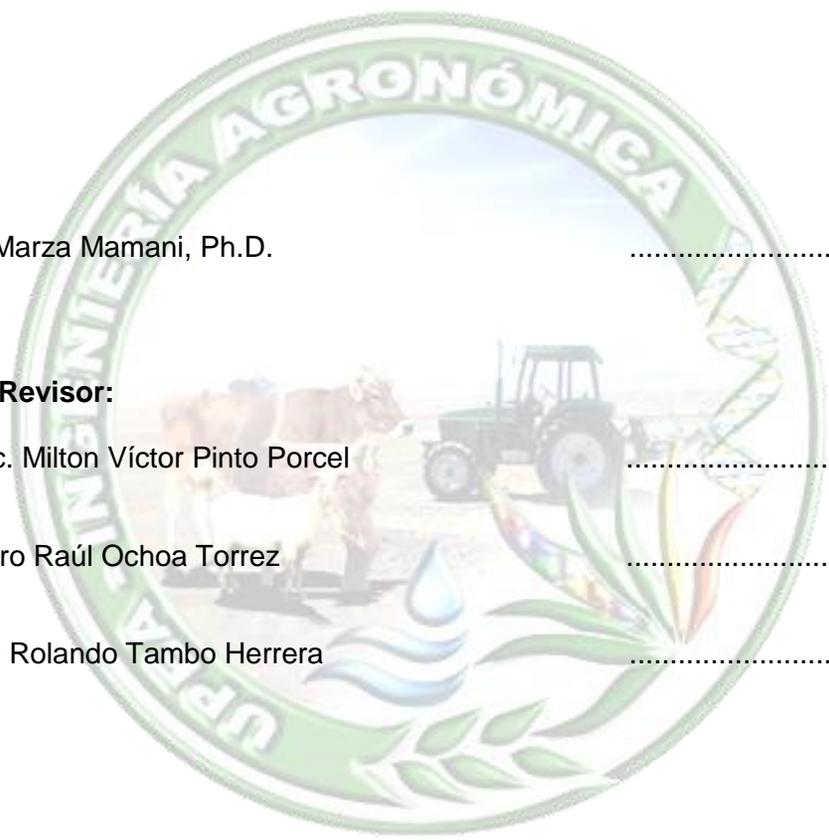
Ing. M. Sc. Milton Víctor Pinto Porcel

Ing. Ramiro Raúl Ochoa Torrez

Ing. Rene Rolando Tambo Herrera

**Aprobada**

Presidente Tribunal Examinador



**DEDICATORIA:**

*Con mucho cariño a mi querida madre y a mi padre que han sido mi apoyo incondicional, supieron comprenderme y darme ánimos para salir adelante, gracias por la confianza y el esfuerzo.*

*A mis queridas hermanas Paola, Maritza, Porfiria, mi hermano Raul y mi sobrino Albaro por brindarme su apoyo constantemente durante toda mi formación académica.*

## **AGRADECIMIENTOS**

A tiempo de culminar el presente estudio, deseo manifestar mis sinceros agradecimientos a las personas e instituciones que hicieron posible su realización.

Un agradecimiento muy especial a Dios por darme la vida, sabiduría, esperanza sobre todo la fuerza de luchar para cumplir mis metas y a toda mi familia por el apoyo que me brindaron durante toda mi vida.

A la Carrera de Ingeniería Agronómica de la Universidad Pública de El Alto, por darme la oportunidad de superarme, al plantel docente por la enseñanza impartida durante mi formación académica.

Al Instituto Nacional de Innovación Agropecuaria y Forestal (INIAF), que a través del Programa Nacional de Trigo me permitió realizar el trabajo de tesis.

A mi asesor Dr. Félix Marza, que me dio su colaboración, asesoría, apoyo, recomendaciones y consejos profesionales que contribuyeron de gran manera en la realización del presente trabajo de investigación.

Al tribunal revisor conformado por Ing. Ramiro Ochoa Torrez, Ing. M.Sc. Milton Pinto Porcel, Ing. Rene Tambo Herrera por su importante colaboración, dando oportunas correcciones y observaciones, para enriquecer este trabajo.

A los técnicos del Programa Nacional de Trigo Ing. Félix Quispe, Ing. Jaime Cossio, Ing. Betty Mollisaca, Ing. Roberto Butrón, Hersit, a mis compañeros y amigos tesistas Carla Escobar, Nancy Huanca, Miguel Quispe y Gonzalo Quispe con quienes se trabajó de manera conjunta.

A mis amigas de siempre Sussi Canoa, Criselda Chirinos, Nancy Yanarico, y a todos mis amigos y compañeros de estudio a quienes conocí en la carrera de Ingeniería Agronómica y me brindaron su colaboración, compañía y amistad en el transcurso de mi formación académica.

**CONTENIDO**

Página

ÍNDICE DE TEMAS.....	i
ÍNDICE DE CUADROS .....	v
ÍNDICE DE FIGURAS .....	viii
ÍNDICE DE ANEXOS .....	x
RESUMEN .....	xi
ABSTRACT .....	xii

**ÍNDICE DE TEMAS**

1. INTRODUCCIÓN.....	1
1.1. Objetivos.....	3
1.1.1. Objetivo General .....	3
1.1.2. Objetivos Específicos .....	3
2. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA .....	4
2.1. Generalidades .....	4
2.1.1. Origen del trigo.....	4
2.1.2. Origen del trigo duro .....	4
2.1.3. Taxonomía .....	4
2.1.4. Descripción botánica.....	5
2.1.5. Requerimientos edafo-climáticos .....	6
2.2. Producción de trigo en Bolivia.....	7
2.3. Uso y consumo de trigo en Bolivia .....	8
2.4. Programas de mejoramiento de trigo en Bolivia .....	8
2.5. Líneas de mejoramiento de trigo en Bolivia.....	9
2.5.1. Vivero internacional de trigo duro (44 IDYN) .....	10
2.6. Línea elite .....	10

2.7.	Componentes de rendimiento .....	10
2.8.	Características de calidad .....	11
2.9.	Análisis Estadístico univariado.....	12
2.9.1.	Estadística descriptiva.....	13
2.10.	Análisis estadístico bivariado .....	13
2.10.1.	Análisis de varianza .....	13
2.10.2.	Coeficiente de correlación (r) .....	13
2.11.	Análisis Estadístico multivariado .....	14
2.11.1.	Análisis de regresión múltiple.....	14
2.11.2.	Coeficientes de sendero.....	15
2.11.3.	Análisis de componentes principales.....	16
3.	MATERIALES Y MÉTODOS .....	17
3.1.	Localización .....	17
3.1.1.	Ubicación geográfica.....	17
3.2.	Características ecológicas .....	18
3.2.1.	Clima.....	18
3.2.2.	Suelo.....	19
3.2.3.	Vegetación .....	19
3.3.	Materiales .....	19
3.3.1.	Material genético.....	19
3.3.2.	Material de campo.....	20
3.3.3.	Material de laboratorio.....	20
3.4.	Métodos .....	21
3.4.1.	Procedimiento experimental en campo .....	21
3.4.2.	Procedimiento experimental en laboratorio .....	23
3.5.	Diseño experimental .....	23

3.6.	Variables de respuesta .....	24
3.6.1.	Variables agromorfológicas cuantitativas .....	24
3.6.2.	Variables de calidad .....	25
3.7.	Procesamiento de datos .....	26
3.7.1.	Análisis estadístico univariado .....	27
3.7.2.	Análisis estadístico bivariado .....	27
3.7.3.	Análisis estadístico multivariado.....	28
4.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....	29
4.1.	Aspectos climáticos .....	29
4.2.	Análisis físico – químico del suelo.....	30
4.3.	Análisis estadístico univariado .....	31
4.3.1.	Análisis estadístico descriptivo.....	31
4.3.1.1.	Análisis estadístico descriptivo para la localidad de Yuraj Molino.....	31
4.3.1.2.	Análisis estadístico descriptivo para la localidad de Tarata .....	32
4.3.1.3.	Análisis estadístico descriptivo para calidad.....	34
4.4.	Análisis estadístico bivariado .....	35
4.4.1.	Análisis de varianza para variables cuantitativas.....	35
4.4.1.1.	Número de macollos por planta (NM) .....	35
4.4.1.2.	Altura de planta (AP) .....	39
4.4.1.3.	Número de espigas por metro cuadrado (NEM) .....	42
4.4.1.4.	Longitud de espiga (LE) .....	46
4.4.1.5.	Número de granos por espiga (NGE) .....	50
4.4.1.6.	Madurez fisiológica (MF) .....	53
4.4.1.7.	Peso de mil granos (PMG) .....	55
4.4.1.8.	Peso hectolítrico (PH) .....	59
4.4.1.9.	Rendimiento en grano (RDTO).....	63

4.4.2.	Análisis de correlación .....	67
4.4.2.1.	Análisis de correlación de variables agromorfológicas .....	67
4.4.2.2.	Análisis de correlación de variables de calidad .....	69
4.5.	Análisis estadístico multivariado .....	71
4.5.1.	Análisis de coeficientes de sendero .....	71
4.5.1.1.	Coeficientes de sendero para rendimiento .....	71
4.5.1.2.	Coeficientes de sendero para calidad.....	73
4.5.2.	Análisis de componentes principales.....	75
4.5.2.1.	Análisis de componentes principales de variables agromorfológicas.....	75
4.5.2.2.	Análisis de componentes principales de variables de calidad.....	78
5.	CONCLUSIONES.....	81
6.	RECOMENDACIONES.....	83
7.	BIBLIOGRAFÍA .....	84
8.	ANEXOS .....	89

## ÍNDICE DE CUADROS

Página

Cuadro 1. Líneas de trigo duro, evaluadas en dos localidades del departamento de Cochabamba durante la campaña agrícola 2014.....	20
Cuadro 2. Análisis físico-químico del suelo de las localidades Yuraj Molino y Tarata del departamento de Cochabamba.....	31
Cuadro 3. Estadística descriptiva de variables agromorfológicas cuantitativas, evaluadas en 14 líneas elite de trigo duro y un testigo en la localidad de Yuraj Molino del departamento de Cochabamba.....	32
Cuadro 4. Estadística descriptiva de variables agromorfológicas cuantitativas, evaluadas en 14 líneas elite de trigo duro y un testigo en la localidad de Tarata del departamento de Cochabamba.....	33
Cuadro 5. Estadística descriptiva para variables de calidad evaluadas en 14 líneas elite de trigo duro y un testigo durante la campaña agrícola 2014.....	34
Cuadro 6. Cuadrados medios correspondientes al análisis de varianza para número de macollos.....	35
Cuadro 7. Comparación de medias de Duncan de localidades para número de macollos.....	36
Cuadro 8. Comparación de medias de Duncan de líneas para número de macollos.....	36
Cuadro 9. Cuadrados medios correspondientes al análisis de varianza de efectos simples para número de macollos.....	37
Cuadro 10. Cuadrados medios correspondientes al análisis de varianza para altura de planta.	39
Cuadro 11. Comparación de medias de Duncan de localidades para altura de planta.....	39
Cuadro 12. Comparación de medias de Duncan de líneas para altura de planta.....	40
Cuadro 13. Cuadrados medios correspondientes al análisis de varianza de efectos simples para altura de planta.....	40
Cuadro 14. Cuadrados medios correspondientes al análisis de varianza para número de espigas por metro cuadrado.....	42

Cuadro 15.	Comparación de medias de Duncan de localidades para número de espigas por metro cuadrado. ....	43
Cuadro 16.	Comparación de medias de Duncan de líneas para número de espigas por metro cuadrado.....	43
Cuadro 17.	Cuadrados medios correspondientes al análisis de varianza de efectos simples para número de espigas por metro cuadrado.....	44
Cuadro 18.	Cuadrados medios correspondientes al análisis de varianza de para longitud de espiga.....	46
Cuadro 19.	Comparación de medias de Duncan de localidades para longitud de espiga.....	47
Cuadro 20.	Comparación de medias de Duncan de líneas para longitud de espiga. ...	47
Cuadro 21.	Cuadrados medios correspondientes al análisis de varianza de efectos simples para longitud de espiga.....	48
Cuadro 22.	Cuadrados medios correspondientes al análisis de varianza para número de granos por espiga. ....	50
Cuadro 23.	Comparación de medias de Duncan de localidades para número de granos por espiga. ....	50
Cuadro 24.	Comparación de medias de Duncan de líneas para número de granos por espiga.....	51
Cuadro 25.	Cuadrados medios correspondientes al análisis de varianza de efectos simples para número de granos por espiga. ....	51
Cuadro 26.	Cuadrados medios correspondientes al análisis de varianza para madurez fisiológica. ....	54
Cuadro 27.	Comparación de medias de Duncan de líneas para madurez fisiológica. ...	54
Cuadro 28.	Cuadrados medios correspondientes al análisis de varianza para peso de mil granos. ....	56
Cuadro 29.	Comparación de medias de Duncan de localidades para peso de mil granos.....	56
Cuadro 30.	Comparación de medias de Duncan de líneas para peso de mil granos. ...	56

Cuadro 31. Cuadrados medios correspondientes al análisis de varianza de efectos simples para peso de mil granos.....	57
Cuadro 32. Cuadrados medios correspondientes al análisis de varianza para peso hectolítrico .....	59
Cuadro 33. Comparación de medias de Duncan de localidades para la variable peso hectolítrico.....	60
Cuadro 34. Comparación de medias de Duncan de líneas para la variable peso hectolítrico. ....	60
Cuadro 35. Cuadrados medios correspondientes al análisis de varianza de efectos simples para peso hectolítrico.....	61
Cuadro 36. Cuadrados medios correspondientes al análisis de varianza para rendimiento.....	63
Cuadro 37. Cuadrados medios correspondientes al análisis de varianza de efectos simples para rendimiento.....	65
Cuadro 38. Matriz de correlación de variables cuantitativas evaluadas en 14 líneas elite de trigo duro y un testigo las localidades de Yuraj Molino y Tarata del departamento de Cochabamba.....	68
Cuadro 39. Matriz de correlación de variables de calidad evaluadas en 14 líneas elite de trigo duro y un testigo durante la campaña agrícola 2014.....	70
Cuadro 40. Resumen de cargas para los cuatro primeros componentes de las variables comprendidas en el estudio de 14 líneas elite de trigo duro y un testigo.....	76
Cuadro 41. Resumen de cargas para los cuatro primeros componentes de las variables comprendidas en el estudio de 14 líneas elite de trigo duro y un testigo.....	79

## ÍNDICE DE FIGURAS

	Página
Figura 1. Correlación entre variables. (Vila, 2003) .....	14
Figura 2. Relación funcional entre componentes de rendimiento (Y) (Mariotti,1986) ....	16
Figura 3. Ubicación de los ensayos Yuraj Molino y Tarata, Cochabamba - Bolivia (Mapa SIG) .....	17
Figura 4. Establecimiento de ensayos; A) semilla y B) siembra .....	21
Figura 5. A) Cosecha de las unidades experimentales y B) trillado .....	22
Figura 6. Seguimiento y evaluación de los ensayos .....	23
Figura 7. Climadiagrama correspondiente a la localidad de Yuraj Molino de la provincia Carrasco del departamento de Cochabamba (SENAMHI, 2014).....	29
Figura 8. Climadiagrama correspondiente a la localidad de Tarata de la provincia Esteban Arce del departamento de Cochabamba (SENAMHI, 2014).....	30
Figura 9. Interacción (localidad*línea) y comportamiento por localidad del número de macollos por planta en 14 líneas elite de trigo duro y un testigo. ....	37
Figura 10. Evaluación del número de macollos .....	38
Figura 11. Interacción (localidad*línea) y comportamiento por localidad de altura de planta en 14 líneas elite de trigo duro y un testigo. ....	41
Figura 12. Evaluación de la altura de planta .....	42
Figura 13. Interacción (localidad*línea) y comportamiento por localidad del número de espigas por metro cuadrado en 14 élite de trigo duro y un testigo.....	45
Figura 14. Evaluación del número de espigas por metro.....	46
Figura 15. Evaluación de la longitud de espigas .....	48
Figura 16. Interacción (localidad*línea) y comportamiento por localidad de la longitud de espigas en 14 elite de trigo duro y un testigo. ....	49
Figura 17. Interacción (localidad*línea) y comportamiento por localidad del número de granos por espiga en 14 elite de trigo duro y un testigo. ....	52
Figura 18. Evaluación del número de granos por espiga.....	53

Figura 19.	Comportamiento por localidad de la madurez fisiológica en 14 líneas elite de trigo duro y un testigo. ....	55
Figura 20.	Interacción (localidad*línea) y comportamiento por localidad del peso de mil granos en 14 líneas elite de trigo duro y un testigo. ....	58
Figura 21.	Evaluación del peso de mil granos. ....	59
Figura 22.	Interacción (localidad*línea) y comportamiento por localidad del peso hectolítrico en 14 líneas elite de trigo duro y un testigo. ....	61
Figura 23.	Evaluación del peso hectolítrico. ....	62
Figura 24.	Prueba de promedios de Duncan de localidades para rendimiento. ....	63
Figura 25.	Prueba de promedios de Duncan de líneas para rendimiento. ....	64
Figura 26.	Interacción (localidad*línea) y comportamiento por localidad del rendimiento de 14 líneas elite de trigo duro y un testigo. ....	66
Figura 27.	Evaluación del rendimiento en grano. ....	67
Figura 28.	Diagrama de senderos para rendimiento evaluados en 14 líneas elite de trigo duro y un testigo en las localidades de Yuraj Molino y Tarata del departamento de Cochabamba durante la campaña agrícola 2013-2014. ....	72
Figura 29.	Diagrama de sendero para calidad evaluado en 14 líneas elite de trigo duro y un testigo durante la campaña agrícola 2014. ....	74
Figura 30.	Gráfico de sedimentación varianza explicada por cada componente principal de 14 líneas elite de trigo duro y un testigo. ....	75
Figura 31.	Biplot de variables agronómicas para componentes principales evaluado en 14 líneas elite de trigo duro y un testigo en las localidades de Yuraj Molino y Tarata del departamento de Cochabamba. ....	77
Figura 32.	Gráfico de sedimentación varianza explicada por cada componente principal de 14 líneas elite de trigo duro y un testigo. ....	78
Figura 33.	Biplot de variables de calidad para componentes principales evaluado en 14 líneas elite de trigo duro y un testigo. ....	80

**ÍNDICE DE ANEXOS**

	Página
Anexo 1. Croquis del ensayo; líneas elite de trigo duro repetido en dos localidades Yuraj Molino y Tarata del departamento de Cochabamba.....	90
Anexo 2. Líneas de trigo duro y testigo variedad mexicano .....	90
Anexo 3. Resultados de laboratorio de calidad de equipo SKCS .....	91
Anexo 4. Resultados de laboratorio de calidad de equipo NIR.....	91

## RESUMEN

El objetivo general de la investigación fue determinar los componentes de rendimiento y calidad de quince líneas elite de trigo duro (*Triticum durum*) en dos localidades del departamento de Cochabamba (Yuraj Molino y Tarata), los objetivos específicos fueron: a) Identificar la relación directa e indirecta de los componentes de rendimiento en líneas elite de trigo duro. b) Identificar la relación directa e indirecta de los componentes de calidad en líneas elite de trigo duro. c) Identificar las líneas de trigo duro con buen comportamiento en cuanto a rendimiento y calidad. La investigación se estableció en base a un Diseño de Bloques Completamente al Azar en Series. El material genético estuvo conformado por 14 líneas elite de trigo duro más un testigo. Las variables agromorfológicas evaluadas fueron: número de macollos, altura de planta, número de espigas por metro cuadrado, longitud de espiga, número de granos por espiga, peso de mil granos, peso hectolítrico y rendimiento en grano. Las variables de calidad fueron: proteína, gluten, fuerza de gluten, dureza de grano, calidad de pasta, diámetro de grano, almidón y peso de un grano. Los análisis estadísticos realizados fueron: estadística descriptiva, análisis de varianza, correlación, análisis de coeficientes de sendero y análisis de componentes principales. El análisis de coeficientes de sendero expuso a las variables: tipo de grano, número de espigas por metro cuadrado, número de macollos y peso hectolítrico como las que aportan al rendimiento de forma directa, las variables de calidad que aportan de forma directa a la proteína son gluten y peso de un grano. El análisis de componentes principales de variables agromorfológicas muestra al rendimiento y peso hectolítrico, como las más correlacionadas, en cuanto a las variables de calidad muestra una asociación entre las variables proteína, gluten y fuerza de gluten, estas variables pueden considerarse como índice de selección para facilitar al mejorador la selección de líneas. Las líneas que presentaron mayor rendimiento fueron: 734, 736 y 720 con rendimientos de 1464, 1435 y 1405 kg/ha respectivamente, estas líneas pueden ser objeto de estudio hasta la liberación de una nueva variedad de trigo duro.

## ABSTRACT

The general objective of the investigation was to determine the yield components and quality of fifteen lines elite of hard wheat (*Triticum durum*) in two towns of the department of Cochabamba (Yuraj Molino and Tarata), the specific objectives were: a) Identify the direct relationship and insinuation of the yield components in lines elite of hard wheat. b) Identify the direct relationship and insinuation of the components of quality in lines elite of hard wheat. c) Identify the lines of hard wheat with good behavior as for yield and quality. The investigation settled down Totally at random based on a Design of Blocks in Series. The genetic material was conformed by 14 lines elite of hard wheat more a witness. The characteristic evaluated agronomic was: number of branches, plant height, number of spikes for square meter, spike longitude, number of grains for spike, weight of a thousand grains, weight specify and yield in grain. The characteristic of quality were: protein, gluten, force of gluten, grain hardness, zeleny, grain diameter, starch and weight of a grain. The carried out statistical analyses were: descriptive statistic, variance analysis, correlation, analysis of path coefficients and analysis of main components. The analysis of path coefficients exposed to the characteristic: grain type, number of spikes for square meter, number of branches and weight specify like those that contribute to the yield in a direct way, the characteristic of quality that contribute from a direct way to the protein are gluten and weight of a grain. The analysis of main components of characteristic agronomic shows to the yield and weight specify, as those most correlated ones, as for the characteristic of quality it shows an association among the characteristic protein, gluten and force of gluten, these characteristic can be considered as index you selection to facilitate to the mejorador the selection of lines. The lines that presented bigger yield were: 734, 736 and 720 with yields of 1464, 1435 and 1405 kg/ha respectively, these lines can be study object until the liberation of a new variety of hard wheat.

## 1. INTRODUCCIÓN

La producción de trigo a nivel mundial supera a todas las demás especies productoras de semillas, silvestres o domesticadas, debido a que cada mes del año una cosecha de trigo madura en algún lugar del mundo, este cereal fue una de las primeras plantas cultivadas por el hombre. La producción de trigo se basa en su contribución para la alimentación básica de la población que consume este grano como harina y pastas.

El trigo duro es la especie más cultivada de trigo tetraploide se estima que el área mundial cultivada con trigo duro comprende aproximadamente 13 millones de hectáreas, es decir alrededor del 24% de la superficie total de trigo, con una producción de 26 millones de toneladas el año 2006 (FAO, 2007).

La característica principal del trigo duro es el alto contenido de semolina, la misma confiere propiedades de cohesión a la masa para la elaboración de pastas (fideos, macarrones, etc), su importancia a nivel nacional está enfocada principalmente a la cultura alimenticia de la población occidental quienes consumen este cereal de manera cotidiana en diferentes derivados como la semola y en la elaboración de pastas.

El trigo es un alimento básico para la población boliviana, sin embargo el problema en Bolivia es que la producción de este cereal no es autosuficiente, debido a que a nivel nacional el rendimiento de trigo es bastante bajo y dependemos de las importaciones. En cuanto a la calidad del grano no es buena, es por eso que es necesario buscar cultivares con un mejor rendimiento y buena calidad, siendo una alternativa la selección de cultivares con potencial genético y buenas características, para el mejoramiento y fortalecimiento de los recursos fitogenéticos.

La mejora en el rendimiento del cultivo de trigo implica la utilización de ciertas estrategias, entre las que se destaca el estudio de los componentes de rendimiento, es decir, aquellas características morfológicas y reproductivas cuya interacción permita mejorar el rendimiento final, a través del estudio de los diversos caracteres agronómicos y morfológicos se puede observar la influencia que tienen en la mejora del rendimiento, por tanto es importante tener mayor conocimiento del comportamiento e influencia directa e indirecta de los caracteres agronómicos, que tienen que ver con el rendimiento y que permita realizar una mejor selección de cultivos.

Estudios realizados sobre los caracteres de calidad y componentes de rendimiento en trigo duro, señala que el rendimiento en trigo es altamente influenciado por el ambiente así como la relación entre sus componentes. En cuanto a la calidad indica que los trigos duros de buena calidad poseen sémola con alta proteína y baja cantidad de partículas de almidón.

Realizando una mirada a la creciente demanda de alimentos básicos y el incremento demográfico que se presenta no solo a nivel mundial sino también en Bolivia, se hace muy importante incrementar la producción de granos básicos con calidad de consumo como es el caso de trigo.

En el marco de ese enfoque la presente investigación pretende conocer los efectos directos e indirectos de las variables agronómicas que influyen en el rendimiento y en la calidad del grano de trigo duro, identificando las variables que están correlacionadas y que al mismo tiempo influyen en el rendimiento y la calidad del cultivo. Así mismo con este estudio se pretende contribuir en la identificación de líneas de trigo duro con mejor comportamiento en cuanto a rendimiento y calidad, cuyos resultados son un gran aporte para el Programa Nacional de Trigo, que en base a los resultados puede seguir realizando investigación y en un futuro liberar una de las líneas como variedad llegando así a los productores de trigo duro.

## **1.1. Objetivos**

### **1.1.1. Objetivo General**

- Determinar los componentes de rendimiento y calidad de quince líneas elite de trigo duro (*Triticum durum*) en dos localidades (Yuraj Molino y Tarata) del departamento de Cochabamba.

### **1.1.2. Objetivos Específicos**

- Identificar la relación directa e indirecta de los componentes de rendimiento en quince líneas elite de trigo duro.
- Identificar la relación directa e indirecta de los componentes de calidad en quince líneas elite de trigo duro.
- Identificar las líneas de trigo duro con buen comportamiento en cuanto a rendimiento y calidad.

## 2. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

### 2.1. Generalidades

#### 2.1.1. Origen del trigo

Edel y Rosell (2007), mencionan que el cultivo de trigo tiene su origen en Egipto desde hace miles de años atrás, los mismos autores, indican que este cereal fue uno de los primeros granos cultivados en la región del Medio Oriente hace 11 mil años aproximadamente, posteriormente, cuatro mil años antes de Cristo, se extendió la zona geográfica del cultivo, convirtiéndose en el alimento básico en Inglaterra y China, indican también; que los españoles fueron los que introdujeron el trigo a México por el año 1520, posteriormente este cultivo fue introducido en las demás colonias americanas.

Según estudios realizados con marcadores moleculares se ha mostrado que todas las formas cultivadas tienen su origen en las montañas del suroeste de Turquía desde donde se distribuyeron hacia el norte y el sur de Mesopotamia alrededor del año 10000 antes de Cristo, posteriormente se distribuyó por toda la cuenca mediterránea, hasta llegar a Italia y España alrededor del año 7000 antes de Cristo (Rubianes, 2007).

#### 2.1.2. Origen del trigo duro

Para Mac Key (2005), todas las especies silvestres y cultivadas de trigo duro presentan la dotación cromosómica AABB y han sido agrupadas en una sola (*Triticum turgidum*), la cual se subdivide en varias subespecies y variedades botánicas. Los trigos tetraploides se originaron por una duplicación espontánea de los cromosomas procedentes del cruzamiento natural de un trigo diploide, *Triticum urartu* con otra especie diploide próxima a *Aegilops speltoides* de la sección *Sitopsis* del género *Aegilops*.

Al respecto Carrillo y Vásquez (2006), mencionan que el *Triticum aestivum* (hexaploide,  $2n=42$ , genoma AABBCC), es el cereal utilizado para la elaboración del pan y el más cultivado en el mundo seguido del *Triticum turgidum* var. *durum* (tetraploide,  $2n=28$ , genoma AABB), cuyo principal producto comercial es la pasta y sus derivados.

#### 2.1.3. Taxonomía

Según la clasificación de Mac Key (2005), el trigo duro presenta la siguiente clasificación taxonómica:

División: *Magnoliophyta*

Clase: *Liliopsida*

Orden: *Poales (Graminales)*

Familia: *Poaceae (Gramineas)*

Subfamilia: *Festucoidea*

Tribu: *Triticeae (Hordeae)*

Género: *Triticum*

Especie: *Triticum turgidum var. durum*

#### **2.1.4. Descripción botánica**

- **Raíz**

El sistema radicular presenta una raíz fibrosa está compuesta por raíces primarias o seminales (funcionales desde la emergencia hasta el comienzo de ahijado) y raíces secundarias que nacen del nudo de ahijamiento, aparecen cuando las plantas emiten sus tallos sustituyendo las raíces primarias de forma progresiva. Las raíces pueden alcanzar a medir más de un metro, situándose la mayoría de ellas en los primeros 25 cm de suelo (López, 1990).

- **Tallo**

El sistema aéreo está compuesto por tallos que surgen del nudo del ahijamiento que portan las hojas y finalizan en la inflorescencia final. El tallo es hueco (caña) está formado por nudos y entre nudos. Los nudos son zonas meristematicas a partir de las cuales se alargan los entrenudos y se diferencia las hojas ya que cada nudo es el punto de unión de una hoja, los entre nudos de la base del tallo son más cortos (Martínez y Tico, 1998).

- **Hojas**

Las hojas son cintiformes, paralelinervas y terminadas en punta se disponen alternas y en dos filas a lo largo del tallo. Cada hoja tiene una zona inferior que envuelve el entrenudo (vaina) y una superior o limbo. En la unión entre el limbo y vaina se encuentra una pequeña membrana no vascular denominada lígula. A cada lado de esta se encuentran dos estipulas pequeñas y vellosas (López, 1990).

- **Inflorescencia**

La 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 a cuatro y hasta seis flores (Martínez y Tico, 1998).

- **Flor**

La 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. El fruto, es una cariopsis con el pericarpio soldado al tegumento seminal. El endospermo contiene las sustancias de reserva, constituyendo la masa principal del grano (Martínez y Tico, 1998).

#### **2.1.5. Requerimientos edafo-climáticos**

El cultivo de trigo se desarrolla aceptablemente en altitudes de 3500 a 4000 metros sobre el nivel del mar y altitudes cercanas al nivel del mar, el trigo requiere suelos profundos de textura franco- arcillosas, con buen drenaje para un buen desarrollo del sistema radicular, el pH óptimo esta alrededor de 6 y 7,5 (Díaz, 2003).

López (1990), indica que clima no debe ser demasiado frío en invierno para un mejor desarrollo del trigo, por otro lado las temperaturas frías de 10° a 15°C tienen un efecto beneficioso en el desarrollo de las raíces, la temperatura ideal para el crecimiento y desarrollo del cultivo de trigo está entre 10 y 24 °C, pero lo más importante es la cantidad de días que transcurren para alcanzar una cantidad de temperatura denominada integral térmica.

Según Díaz (2003) la precipitación óptima es de 400 a 1300 mm/año como promedio, se ha demostrado que en años secos el trigo puede desarrollarse bien con 300 ó 400 mm de lluvia, siempre que la distribución de esta lluvia sea escasa en invierno y abundante en primavera. El coeficiente de transpiración del trigo es de 450 a 550, por lo mismo se necesitan de 450 a 550 litros de agua para elaborar 1 kg de materia seca.

La luz desempeña un papel importante ya que se verifican ciertos fenómenos vitales así como la formación de la clorofila, el desarrollo de las partes verdes del vegetal además de la síntesis de los carbohidratos para la formación del almidón, estableciéndose en la duración de las distintas etapas entre emergencia y floración con variaciones en el fotoperiodo óptimo de 13,4 horas (Castellarin, 2010).

## **2.2. Producción de trigo en Bolivia**

La producción del cultivo de trigo en nuestro país está centrada en la zona de los valles de Bolivia, con un tipo de agricultura familiar o tradicional; que se extiende desde el altiplano con áreas limitadas de producción en La Paz y Oruro, hasta extensos territorios de cabeceras de valle y planicies que abarca el Sur de Tarija, Potosí, Chuquisaca hasta los territorios de Cochabamba, donde las superficies de siembra refleja una tendencia relativamente estable con un rendimiento promedio de 0,9 a 1,0 tonelada por hectárea, de los cuales se destina del 29-32 % a la venta, entre el 36–45 % para la alimentación, del 10-18 % para la transformación y del 10–16 % para semilla, por otro lado; en el departamento de Santa Cruz, con una producción de carácter empresarial, donde a pesar de haber tenido un crecimiento importante en el área cultivable, no ha podido mantener estables los volúmenes de producción y los rendimientos; por la presencia de plagas y enfermedades, sin embargo muestra un rendimiento de 1,6 toneladas por hectárea; destinándose el 83 % de la producción al mercado, un 9 % al autoconsumo, el 5 % para la transformación y el 3 % para semilla (PROTRIGO y MACA, 2004; citado por Herbas, 2008).

El patrón productivo en Bolivia según el censo agropecuario realizado el año 2013, existen 130476 hectáreas destinadas al cultivo de trigo, de este total 74.708 hectáreas equivalente a 57,3% están en el departamento de Santa Cruz, en segundo lugar se encuentra Potosí con 17715 hectáreas, en tercer lugar Cochabamba con 17327 hectáreas y Chuquisaca con 16240 hectáreas. El trigo se cultiva bajo riego y a secano, el primer sistema de cultivo cuenta con 5743 hectáreas y el segundo con 123117 hectáreas. Desde la perspectiva de la seguridad y soberanía alimentaria para el país, si bien el trigo en Santa Cruz cuenta con un horizonte de crecimiento importante, hasta ahora no ha sido relevante por lo que es imprevisible su proyección en esta región (INE, 2015).

En la agricultura campesina de los Valles, la producción de trigo cumple tres funciones complementarias: la alimentación familiar, la alimentación animal y la generación de

ingresos económicos. Su producción depende principalmente del comportamiento de las lluvias; por tanto los factores tecnológicos se orientan a optimizar el conocimiento del espacio local y la adecuada disponibilidad de sus recursos, antes que la incorporación de insumos externos para garantizar la productividad del cultivo. Por estas razones existen diferencias marcadas de rendimientos entre parcelas en una misma unidad familiar, de una gestión a otra y de un espacio a otro. Las familias productoras de trigo conviven con cambios drásticos en los volúmenes de producción, los rendimientos así como en los ingresos generados, pese a la existencia de un patrón de siembra más o menos definido en cada gestión agrícola y cada unidad familiar. Entre las principales ventajas para el cultivo de trigo en los Valles está su fácil manejo y amplia adaptabilidad. Todas las familias campesinas, con mayor o menor limitación económica, cultivan trigo y acceden a su producción y consumo (Herbas, 2008).

Según el INIAF (2015), el rendimientos de trigo a nivel nacional oscilan entre 0.9 a 1.4 t/ha, con mejores rendimientos en el oriente de 0.9 a 2.1 t/ha, en zonas tradicionales el rendimiento es de 0.7 a 1.0 t/ha

### **2.3. Uso y consumo de trigo en Bolivia**

La demanda nacional de trigo es de 604437 toneladas, de las cuales la producción nacional de trigo en grano es de 237847 toneladas por año entre trigos duros y blandos, 84393 toneladas de trigo duro son importados en forma de grano y 2246 toneladas trigo duro son importados en forma de Macarrones, fideos y productos análogos, el resto de trigo importado es trigo blando (INE, 2011).

Aproximaciones del consumo de trigo en Bolivia indican que el 72% se destina a la panificación, 24% para producción de pastas alimenticias y el 4% para la industria de galletas, pastelería y otros. Datos promedio de los últimos diez años estiman que la demanda nacional de trigo es de 728000 toneladas, volumen que ha sido cubierto por el 22% de producción nacional, 30% por las importaciones de trigo, 16% por la harina de contrabando y el 5 % por las donaciones (MACA, 2004; citado por Herbas, 2008).

### **2.4. 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 financiamiento de la Unión Europea y la contraparte de las Prefecturas de Cochabamba, Chuquisaca, Potosí y Tarija, trabajo con dos componentes: 1) generación y difusión de tecnologías apropiadas para el cultivo de trigo en la zona de los Llanos orientales y 2) generación y difusión de tecnologías apropiadas para el cultivo de trigo en la zona de los Valles. A la finalización de estos programas no se dieron iniciativas nacionales para impulsar el rubro, sin embargo se continuaron con acciones puntuales de actores generadores de conocimientos para fomentar la producción de trigo a través de programas. A partir del 2002, PROINPA, respaldó y fue ejecutando acciones tanto en Cochabamba como Chuquisaca y Potosí en temas referidos a la obtención de variedades y producción de semilla de trigo principalmente. En esta misma línea, ANAPO y CIAT en Santa Cruz fueron realizando acciones tendientes a fomentar la producción de trigo a través de sus respectivos programas de investigación (IBCE, 2014).

Desde el año 2010 el Instituto Nacional de Innovación Agropecuaria y forestal (INIAF), a través del Programa Nacional de Trigo, con el objetivo de desarrollar tecnologías de producción en el cultivo de trigo que contribuyan a alcanzar las metas sectoriales establecidas por el gobierno nacional, orientadas a mejorar las condiciones de los pequeños y medianos productores en particular y contribuir a alcanzar la seguridad alimentaria y el bienestar de la población boliviana en general. Bajo ese enfoque el Programa Nacional de Trigo estableció ensayos a nivel nacional de líneas avanzadas de trigo desde la campaña agrícola 2010-2011 (INIAF, 2012).

## **2.5. Líneas de mejoramiento de trigo en Bolivia**

El Instituto Nacional de Innovación Agropecuaria y Forestal (INIAF) mediante el Programa Nacional de Trigo (PN- Trigo) y la colaboración del Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo (CIMMYT), a la fecha ha logrado la introducción de recursos genéticos consistente en 5736 líneas avanzadas con aptitudes para rendimiento, calidad, factores bióticos y abióticos adversos, este germoplasma introducido incluye trigos harineros, duros y biofortificados. Dentro de las líneas introducidas se encuentra el vivero de selección de 50 líneas avanzadas de trigo duro 44 IDYN (International Durum Yield Nursery - Vivero Internacional de Trigo Duro) mismo que fue introducido en la campaña agrícola 2012/2013 (INIAF, 2015).

### **2.5.1. Vivero internacional de trigo duro (44 IDYN)**

El Vivero Internacional de Trigo Duro 44 IDYN (International Durum Yield Nursery), es un vivero de selección, está enfocado para observar el desempeño y adaptación de nuevas líneas de trigo duro, en una amplia gama de latitudes, climas, fertilidad y enfermedades que condicionan su rendimiento (CIMMYT, 2012)

### **2.6. Línea elite**

Una línea pura es una población de una especie autógena donde todas las plantas son homocigotas y genéticamente iguales. Si poblaciones alógamas heterogéneas se autofecundan durante varias generaciones, la línea se denomina endocriada; y no forma una variedad por sí misma, mientras, el híbrido es una variedad producida por el cruzamiento de dos o más líneas endocriadas a las que previamente se les ha determinado su habilidad combinatoria; al híbrido producido por el entrecruzamiento de muchas líneas se le denomina sintético (Estrada *et al.* 2006).

Las líneas elite o variedades elite son aquellas que han sido mejoradas y presentan buenas características agronómicas, pero son susceptibles a una plaga o enfermedad, para ello se realiza el retrocruzamiento. Esta técnica se denomina así porque se realizan sucesivos cruzamientos con uno de los padres. El retrocruzamiento se realiza para eliminar en la línea recurrente los caracteres indeseables de la línea donadora y obtener una variedad muy similar a la primera pero con carácter de interés aportado por la segunda (ASA, 2013).

### **2.7. Componentes de rendimiento**

Los componentes de rendimiento son aquellas variables o características de la planta que mejor explican las variaciones en el rendimiento final más que cualquier cambio en el peso individual. El potencial genético de rendimiento es la capacidad absoluta de un cultivo/genotipo para producir rendimiento económico en condiciones óptimas de producción. En estas condiciones, el producto de los componentes del rendimiento se expresa como la máxima productividad de un genotipo en un ambiente dado (Marza y Quispe, 2013).

Entre las variables de componentes de rendimiento se menciona: macollos por metro cuadrado, área de la hoja bandera, número de macollos por planta, número de espigas

por metro, peso de mil granos, granos por espiga, número de granos por espiguilla, espiguillas por espiga y rendimiento en grano (Marza y Quispe, 2013).

Según Calderini (2003), el rendimiento del cultivo de trigo se descompone en componentes sencillos como: número de plantas por metro cuadrado, número de espigas por planta, número de espiguillas por espiga, número de granos por espiguilla y el peso de granos, es decir que el rendimiento se incrementa al favorecer la expresión fenotípica de estas variables.

Según Infante *et al.* (2003), indican que el rendimiento y sus componentes asociados son el resultado del desarrollo del cultivo y sus valores pueden variar de acuerdo a las relaciones genotípicas, ambientales, suelo y manejo, bajo condiciones favorables de clima, lluvia, suelo y cultivares de buen potencial de rendimiento, en caso contrario, las condiciones desfavorables producen bajos rendimientos, también indica que los distintos componentes de rendimiento son establecidos secuencialmente a lo largo del desarrollo del cultivo, durante el periodo previo a la antesis (número de espigas), en la antesis (número de granos por espiga) o entre la antesis y la madurez (tamaño de los granos)

## **2.8. Características de calidad**

La calidad es un concepto muy complejo y la determinación de sus componentes es bastante subjetiva, pudiéndose enfocar desde varios puntos de vista. Factores que afectan a la calidad, como el contenido en proteína, la fuerza del gluten y el color, tienen diferentes prioridades en los mercados del trigo duro, y los intermediarios en la industria del grano definen sus propios conceptos de calidad. Así, a lo largo del proceso productivo del trigo duro, desde que el grano es sembrado hasta que llega hasta el consumidor el producto final, el concepto de calidad varía dependiendo de los intereses de las empresas de semillas, de los agricultores, de las industrias semoleras y de la demanda del mercado (Rubianes, 2007).

La calidad de trigo se evalúa por su aptitud para un producto final específico, un trigo duro debe ser evaluado por su aptitud en producción de pasta. Cuando los fitomejoradores y los químicos de cereales hablan de la calidad de los trigos duros se refieren a las características físicas y químicas que se necesitan para elaborar pastas (Marza y Quispe, 2013).

La calidad del grano, que está determinada por el genotipo pero también por el ambiente (clima y nutrición) y el manejo del cultivo. La calidad del trigo cambia en función del productor y el uso final. El contenido de proteína y la calidad del gluten en el grano son las variables más importantes en la determinación de la calidad de la pasta. La composición química del trigo es muy variable dependiendo del medio ambiente, suelo y variedad. Los cereales en general son importantes proveedores de proteína, la cantidad en trigo va desde 7 a 22%, el salvado y germen contienen más proteínas que el endospermo (Mora, 2012).

La cantidad y naturaleza del gluten una forma de proteína en el grano afecta la calidad de cocción de las pastas. Los industriales desean un alto porcentaje de gluten fuerte de manera que las pastas no se desintegren si se sobrecosen. La fuerza de gluten viene determinada por la cantidad de gluten (representa el 80%) a mayor gluten mayor fuerza, la fuerza oscila entre 150 a 200 en 10 a 11.5% de gluten (Andrade, 2006).

Andrade, (2006) también menciona que la calidad de trigo duro deriva principalmente de dos características correlacionadas: dureza de grano y contenido proteínico. La dureza de grano y contenido proteínico son rasgos hereditarios que pueden ser afectadas fuertemente por condiciones ambientales anormales tales como la precipitación excesiva durante el periodo de cosecha, humedad y disponibilidad de nitrógeno del suelo durante la estación de crecimiento. El trigo duro tiene una textura más dura del grano y es de alto contenido proteínico, satisface especialmente la producción de pastas debido a su grano (alta producción de sémola).

La dureza de grano es uno de los factores determinantes de la calidad, otro factor determinante es el peso hectolítrico; indica que tan sanos están los granos, 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, obteniendo mayor extracción de harina (Marza y Quispe, 2013).

## **2.9. Análisis Estadístico univariado**

El análisis estadístico univariado incluye un conjunto de técnicas que estudian la medida y el comportamiento de una sola variable (Ochoa, 2008), entre las técnicas que se utilizan se encuentra la estadística descriptiva.

### **2.9.1. Estadística descriptiva**

Según Málaga (2008), 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.

### **2.10. Análisis estadístico bivariado**

Es el conjunto de técnicas que estudian la relación entre dos variables (de asociación o de dependencia). Entre las técnicas más importantes se tienen la tabulación cruzada, el análisis de varianza, análisis de covarianza, correlación lineal y regresión simple (Ochoa, 2008).

#### **2.10.1. Análisis de varianza**

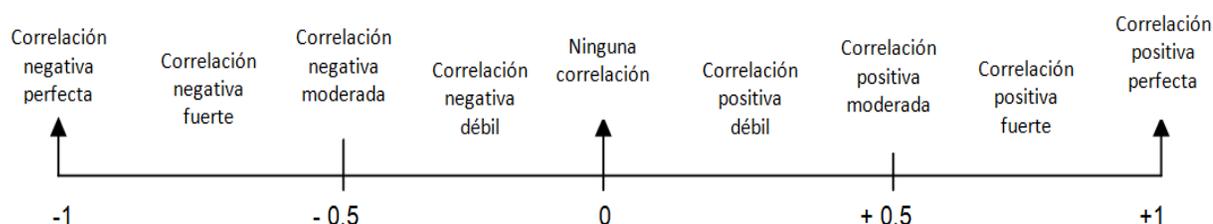
Es una técnica estadística, sirve para analizar la variación total de los resultados experimentales de un diseño en particular, descomponiéndolo en fuentes de variación independientes aplicables a cada uno de los efectos en que constituye el diseño experimental. El objetivo de esta técnica es identificar la importancia de los diferentes factores o tratamientos en estudio y determinar cómo interactúan entre sí (Ochoa, 2009).

Este análisis tiene como objetivo identificar la importancia de la diferencia estadística entre e intralíneas en estudio. Para ello se utilizara el estadístico F, que permitirá establecer si la media de la variable dependiente difiere o no significativamente en función a la variable dependiente (Marza *et al.*, 2013).

#### **2.10.2. Coeficiente de correlación (r)**

El coeficiente de correlación es un estadístico que proporciona información sobre el grado de asociación existente entre dos o más variables cualesquiera, y también cuantifica en términos relativos el grado de asociación íntima o variación conjunta entre dos

descriptores cuantitativos. Su valor oscila entre  $-1$  y  $+1$ , respectivamente, el signo del coeficiente indica el tipo de asociación, negativo ( $-$ ) si la relación es inversa y positivo ( $+$ ) si es directa. La magnitud está asociada con el grado de intimidad entre las variables, si el valor es próximo a  $1$  están estrechamente correlacionadas; por el contrario, un valor próximo a  $0$  debe ser interpretado con reserva ya que puede indicar independencia entre las variables o una relación no lineal. Puesto que el coeficiente de correlación ( $r$ ) expresa en qué grado los individuos tienen el mismo orden en las variables  $X$ ,  $Y$ , y ( $r^2$ ) expresa la proporción de la variación de  $Y$  ocasionada por la variable  $X$  (Morales, 2011).



**Figura 1. Correlación entre variables. (Vila, 2003)**

## 2.11. Análisis Estadístico multivariado

Según Rodríguez (2000), el análisis multivariado es un conjunto de técnicas que se utilizan para realizar inferencias en una determinada población genética en estudio sobre el grado de dependencia, y se basan en la información que proporciona múltiples mediciones en cada sujeto investigado.

Las técnicas de análisis multivariados pueden ser: de dependencia y de interrelación, al primero corresponden: el análisis de regresión múltiple, análisis de correlación canónica, análisis multivariado de varianza y covarianza, y análisis discriminante múltiple, y al segundo: el análisis de componentes principales, análisis de factores, análisis clúster y análisis de correspondencias (Hair *et al.*, 1992; citado por Franco e Hidalgo, 2003).

### 2.11.1. Análisis de regresión múltiple

La técnica de regresión es la indicada para explicar una variable de respuesta cuantitativa dependiente en función a una variable explicativa cuantitativa también llamada variable independiente, regresora o predictora (Marza *et al.*, 2013).

La regresión múltiple permite medir la relación entre dos o más variables, estimando el impacto de una variable sobre otra. Rodríguez (2000), señala que el análisis de regresión explica la dependencia estadística de una variable dependiente, con una o más variables

independientes. El objeto de este análisis es estimar o predecir la media o valor promedio de la variable dependiente con base en los valores fijos o conocidos de las variables independientes, el modelo se fundamenta según la siguiente ecuación general:

$$Y = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \dots + \beta_n X_n$$

Dónde:

$Y$  = Variable dependiente

$x_1, x_2, x_n,$  = Variables independientes.

$\beta_0,$  = Punto donde el plano de regresión cruza el eje de las  $Y$ .

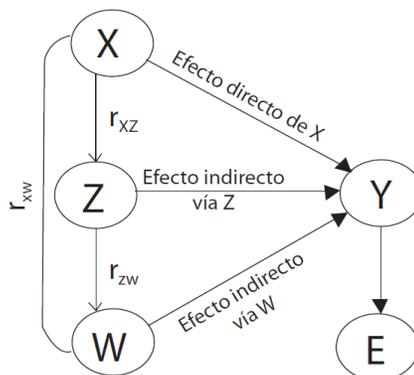
$\beta_1, \beta_2, \dots, \beta_n,$  = Coeficientes de regresión

### 2.11.2. Coeficientes de sendero

El análisis mediante coeficientes de sendero ofrece una interpretación basada en relaciones de causa-efecto para cada variable, especificando la dirección en la que ejerce su influencia y valorando su importancia relativa dentro del sistema. Por ello resulta especialmente útil para desentrañar las relaciones que existen entre las variables de un sistema múltiple cuando las variables independientes se encuentran a su vez estrechamente relacionadas entre sí (García del Moral, 2005 citado por Sánchez, 2008).

Para Andrade (2006), el análisis de sendero estudia los efectos directos e indirectos en un conjunto de variables observables. Los modelos de sendero intentan explicar por qué las variables observadas están correlacionadas. Los elementos que ajustan el análisis de senderos son: el diagrama de senderos, el modelo de senderos, las ecuaciones estructurales y los coeficientes de Wright.

El método analítico de coeficientes de sendero permite descomponer la correlación entre un componente ( $X$ ) y el producto final, en este caso el rendimiento ( $Y$ ), en un efecto "directo" de  $X$  sobre  $Y$  en efectos "indirectos" de  $X$  sobre  $Y$ , los que se hacen efectivos por vía de la relación de  $X$  con otros componentes de  $Y$  ( $Z, W,$  etc). Esta relación funcional se describe esquemáticamente en la Figura 1. El efecto "directo" puede interpretarse como una correlación parcial de  $X$  e  $Y$ , una vez excluidos los efectos de  $W$  y  $Z$ . El diagrama de senderos, es un gráfico en donde se encuentran representadas las relaciones de causalidad que se supone existen en un conjunto de variables (Mariotti, 1986).



**Figura 2. Relación funcional entre componentes de rendimiento (Y)**  
(Mariotti,1986)

La estimación de los efectos directos e indirectos de componentes sobre el producto final se efectúa a partir de la resolución de un sistema de ecuaciones que tendrá tantas incógnitas como componentes investigados. Si como suele ocurrir con los componentes del rendimiento, no se trata de un sistema totalmente definido tal que dichos componentes explican el 100% de la variación en Y, debe incluir el componente E para considerar efectos residuales no previstos en el sistema (Mariotti, 1986).

### 2.11.3. Análisis de componentes principales

Rodríguez (2000), menciona que el análisis de componentes principales es un método que transforma un grupo de variables cuantitativas a otro conjunto de componentes. Donde cada componente principal explica una proporción de la variabilidad total, por lo que el primer componente es aquel en el que mejor se proyecta la variabilidad de la muestra, el siguiente es el segundo mejor y así sucesivamente hasta el último componente principal.

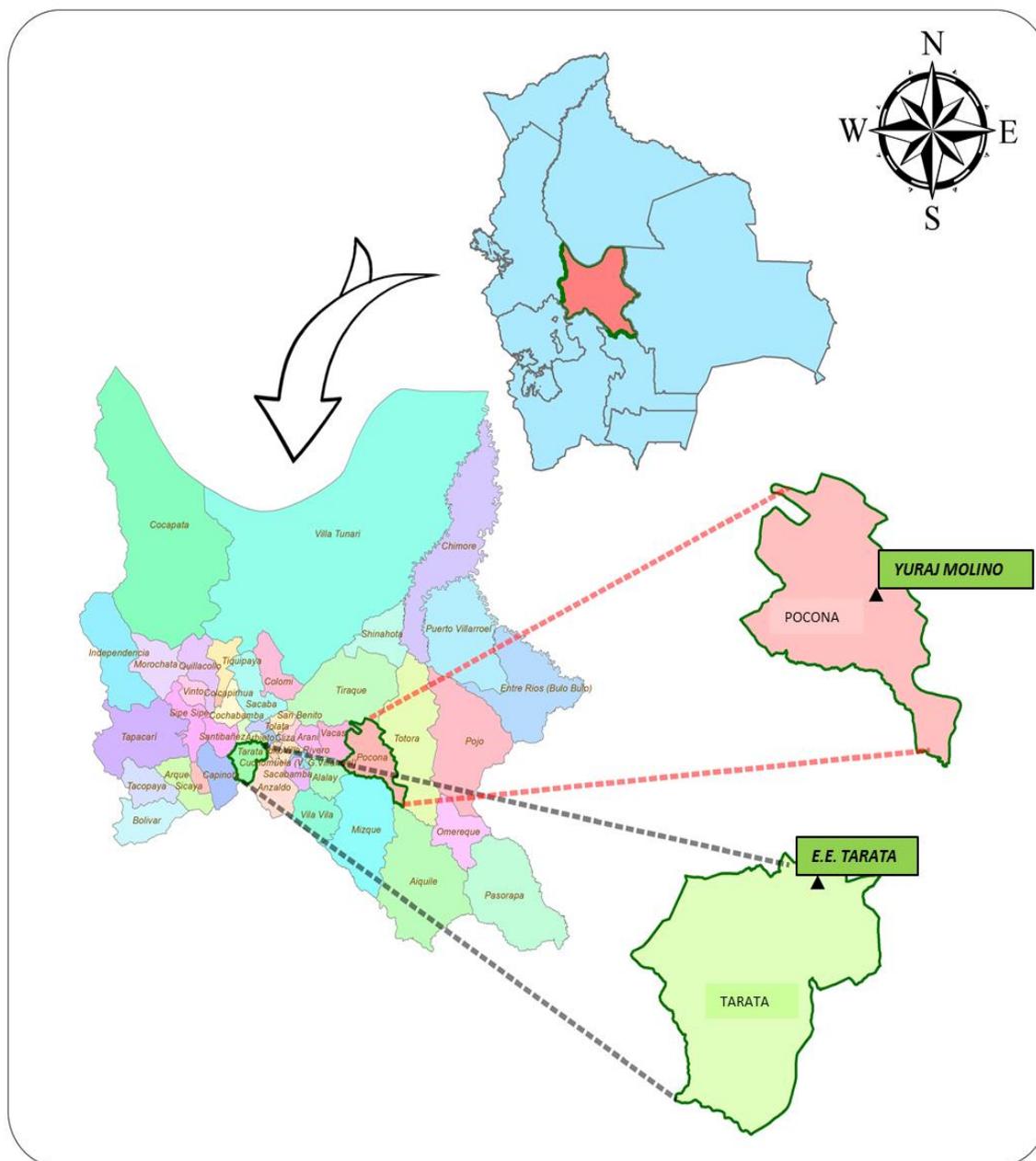
El análisis de componentes principales es una herramienta útil para analizar los datos que permite conocer la relación existente entre las variables cuantitativas y la semejanza entre accesiones o entradas. También permite seleccionar las variables cuantitativas más discriminatorias para limitar el número de mediciones en estudios sobre caracterizaciones posteriores, siendo entonces una metodología alternativa que ayuda en la toma de decisiones relacionadas con los componente realmente importantes y que consiste en construir una gráfica de barras utilizando los valores de la varianza absoluta para cada componente en el eje Y, y los componentes principales en el eje X (Franco e Hidalgo, 2003).

### 3. MATERIALES Y MÉTODOS

#### 3.1. Localización

##### 3.1.1. Ubicación geográfica

El trabajo de investigación se realizó en la campaña agrícola 2013-2014, en dos localidades Yuraj Molino y Tarata del departamento de Cochabamba (Figura 3).



**Figura 3. Ubicación de los ensayos Yuraj Molino y Tarata, Cochabamba - Bolivia**  
Fuente: Elaboración propia (Mapa SIG)

El primer ensayo (Figura 3), se instaló en la localidad de Yuraj Molino perteneciente al Municipio de Pocona, Tercera Sección de la Provincia Carrasco, geográficamente ubicado a 17°39'56" Latitud Sur y 65°19'18" Longitud Oeste a 2494 metros sobre el nivel del mar, se encuentra a 140 km de la capital de departamento desviando en el km 118 (Inca Cruce) de la carretera troncal Cochabamba-Sucre e ingresando 22 km por camino empedrado (AMDECO, 2015).

El segundo ensayo (Figura 3), se estableció en la Estación Experimental de Tarata SEDAG (Servicio Departamental Agropecuario), ubicado en el Municipio de Tarata capital de la provincia Esteban Arce situada al sur del departamento en el denominado Valle Alto de Cochabamba, ubicado geográficamente a 17°36'45" Latitud Sur y 66°00'47" Longitud Oeste a 2754 metros sobre el nivel del mar, se encuentra a 29 km de la ciudad de Cochabamba (GAMT, 2001).

## **3.2. Características ecológicas**

### **3.2.1. Clima**

El Municipio de Pocona por sus características fisiográficas y su ubicación geográfica presenta 4 tipos climáticos: Altura Sub-húmedo a seco-frío, con neblina en épocas de invierno verano (septiembre a marzo), temperatura bajas con relativa disponibilidad de agua, con vientos; Cabecera de valle Seco-frío a templado, semiárido con déficit de agua, con vientos leves, con menor presencia de heladas; Valle Seco-templado, semiárido valle mesotérmico, con déficit de agua, con vientos intensos y Yungas Húmedo y con temperaturas elevadas la mayor parte del año, con lluvias frecuentes y presencia de frentes fríos ocasionales en época de invierno (AMDECO, 2015). El ensayo se estableció en cabecera de valle seco-frío a templado.

El municipio de Tarata tiene un clima templado con una temperatura media anual 18°C, las precipitaciones pluviales se producen con mayor frecuencia durante los meses de diciembre a febrero, pudiendo de acuerdo a los años, empezar antes de noviembre y terminar en marzo e incluso en abril. El promedio de precipitación es de 450 mm, variando el mismo según sea el año seco o lluvioso (GAMT, 2001).

### **3.2.2. Suelo**

Los suelos según los tipos climáticos del Municipio de Pocona son sedimentos procedentes de areniscas arcillosas, de grano fino con estratificación en bancos gruesos, tienen origen aluvial, moderadamente profundos a profundos en las partes bajas de las laderas por acumulación (llanura), media y superficiales hasta a floraciones rocosas en las zonas altas o laderas con un contenido de materia orgánica moderado a bajo, los suelos son de color café, textura mediana y pesada (AMDECO, 2015).

En el municipio de Tarata los suelos son francos limosos y profundos, el municipio tiene amplias serranías, en la zona sur con pronunciadas pendientes, la zona de los valles con alturas de entre 2750 y 3000 metros sobre el nivel del mar se encuentra en la zona norte y noreste, formando parte del denominado valle alto de Cochabamba (GAMT, 2001).

### **3.2.3. Vegetación**

La vegetación natural en el Municipio de Pocona está representada, en las zonas valle seco-frio a templado principalmente por gramíneas como: la Paja Brava (*Festuca orthofila*), Ichu (*Stipa ichu*) y en pequeño porcentaje T'ola (*Lepidophyllum quadrangulare*) (AMDECO, 2015).

En la Provincia Esteban Arce se puede observar distintas especies de plantas silvestres, entre las más comunes tenemos el algarrobo, el molle, el thago, la chacatia y otros. Existen manchones de vegetaciones establecidas (Eucalipto y Pinos Radiata) y naturales, estas están compuestas principalmente de gramíneas y dicotiledoneas herbáceas, especies arbustivas y esporádicamente ejemplares arbóreos (GAMT, 2001).

## **3.3. Materiales**

### **3.3.1. Material genético**

El material genético utilizado estuvo constituido por 14 líneas élite de trigo duro (Cuadro 1), las cuales fueron seleccionadas del vivero de selección de trigo duro 44 IDYN "Vivero de selección de trigo duro" por su rendimiento en campo y por las características sobresalientes en la anterior campaña agrícola 2012/2013, se utilizó como testigo una variedad local llamada "Mexicano", esta variedad de trigo duro es la más cultivada en zonas tradicionales productoras de trigo en Bolivia.

**Cuadro 1. Líneas de trigo duro, evaluadas en dos localidades del departamento de Cochabamba durante la campaña agrícola 2014.**

ID	Nombre de los cruzamientos	Línea
1	Testigo Variedad local (Mexicano)	701
2	SILVER_14/MOEWE//BISU_1/PATKA_3//PORRON_4/YUAN_1/9/USDA595/3/D67.3/RABI//CRA/4/ALO/5/HUI/YAV_1/6/ARDENTE/7/HUI/YAV79/8/POD_9/10/TARRO_1/2*YUAN_1//AJAIA_13/YAZI/4/ARMENT//SRN_3/NIGRIS_4/3/CANELO_9.1	742
3	NETTA_4//DUKEM_12//RASCON_19/3/DIPPER/RISSA//ALTAR 84/AOS/4/SOMAT_4//INTER_8/7/SHAG_21/DIPPER_2//PATA_2/6/ARAM_7//CREX/ALLA/5/ENTE/MEXI_2//HUI/4/YAV_1/3/LD357E/2*TC60//JO69	714
4	AJIA_12/F3LOCAL(SEL.ETHIO.135.85)//PLATA_13/3/PLATA_6/GREEN_17/4/SOOTY_9/RASCON_37/9/USDA595/3/D67.3/RABI//CRA/4/ALO/5/HUI/YAV_1/6/ARDENTE/7/HUI/YAV79/8/POD_9/10/ZHONG ZUO/2*GREEN_3//SORA/2*PLATA_12/3/SOMAT_4//INTER_8	738
5	CF4-JS 21//RASCON_37/2*TARRO_2/10/AAZ//ALTAR 84/ALD/3/AJIA/4/AJIA_12/F3LOCAL(SEL.ETHIO.135.85)//PLATA_13/5/ATIL/9/USDA595/3/D67.3/RABI//CRA/4/ALO/5/HUI/YAV_1/6/ARDENTE/7/HUI/YAV79/8/POD_9	734
6	YAV79//SOMAT_4//INTER_8/7/YAV79/6/CHEN_1/TEZ/3/GUIL//CIT7/1/CII/4/SORA/PLATA_12/5/STOT//ALTAR 84/ALD	720
7	1A.1D 5+1-06/3*MOJO//RCOL/3/SNITAN/SOMAT_3//FULVOUS_1/MFOWL_13/10/AVILLO_1/3/CANELO_8//SORA/2*PLATA_12/9/USDA595/3/D67.3/RABI//CRA/4/ALO/5/HUI/YAV_1/6/ARDENTE/7/HUI/YAV79/8/POD_9	726
8	PLATA_10/6/MQUE/4/USDA573//QFN/AA_7/3/ALBA-D/5/AVO/HUI/7/PLATA_13/8/THKNEE_11/9/CHEN/ALTAR 84/3/HUI/POC//BUB/RUFO/4/FNFOOT/10/SOMAT_4//INTER_8	744
9	GUANAY//TILO_1/LOTUS_4/3/SOMAT_3/PHAX_1//TILO_1/LOTUS_4/4/SWAHEN_2/KIRKI_8//PROZANA_1/3/AVILLO_1/SNITAN	719
10	AJIA_12/F3LOCAL(SEL.ETHIO.135.85)//PLATA_13/3/PLATA_6/GREEN_17/4/SOOTY_9/RASCON_37/9/USDA595/3/D67.3/RABI//CRA/4/ALO/5/HUI/YAV_1/6/ARDENTE/7/HUI/YAV79/8/POD_9/10/ZHONG ZUO/2*GREEN_3//SORA/2*PLATA_12/3/SOMAT_4//INTER_8	737
11	AJIA_12/F3LOCAL(SEL.ETHIO.135.85)//PLATA_13/3/GUANAY/4/SOMAT_3/PHAX_1//TILO_1/LOTUS_4/5/CAMON_5//HUI/YAV79	736
12	AINZEN_1/3/MINIMUS_6/PLATA_16//IMMER/7/BCRCH_1//RASCON_37*2/TARRO_2/6/CELTA/3/LD357E/2*TC60//JO69/4/COMDK/5/ARAM/8/SRN_3/SULA//DUKEM_2/3/AKAKI_4/4/CANELO_8//SORA/2*PLATA_12/5/YAZI_1/AKAKI_4//SOMAT_3/3/AUK/GUIL//GREEN	735
13	HALIA_1//WARD/YAV79/3/RUDDY_2/4/DUKEM_1//PATKA_7/YAZI_1/3/PATKA_7/YAZI_1/5/GGOVZ385/KOBAK 2916//SINCP9/3/2*SILVER_2	741
14	WID22248/10/LD357E/2*TC60//JO69/3/FGO/4/GTA/5/SRN_1/6/TOTUS/7/ENTE/MEXI_2//HUI/4/YAV_1/3/LD357E/2*TC60//JO69/8/SOMBRA_20/9/JUPARE C 2001/11/PORTO_6/GREEN_38/3/SOMAT_3/PHAX_1//TILO_1/LOTUS_4	721
15	MERIDIANO/3/SOMAT_3/PHAX_1//TILO_1/LOTUS_4/5/TATLER_1/TARRO_1/3/CANELO_8//SORA/2*PLATA_12/4/ARMENT//SRN_3/NIGRIS_4/3/CANELO_9.1	725

### 3.3.2. Material de campo

Para el trabajo de campo se utilizó los siguientes materiales: GPS, rastra, surcadora, pala, picota, rastrillo, lienzo, estacas, cinta métrica, libro de campo y cámara fotográfica.

### 3.3.3. Material de laboratorio

Los materiales de laboratorio que se utilizaron fueron los siguientes: balanza común, balanza analítica, balanza hectolítrica, vernier.

### 3.4. Métodos

#### 3.4.1. Procedimiento experimental en campo

El procedimiento experimental se realizó en tres fases:

- **Fase de establecimiento**

La fase de establecimiento se inició con la preparación del terreno, para esto se efectuó la roturación y desterronado del mismo.

Los ensayos fueron establecidos según a las siguientes características: Área total del estudio 240 m<sup>2</sup>, cada ensayo dividido en tres bloques, los mismos con 4 m de ancho y 15 m de largo, cada bloque dividido en quince unidades experimentales, el área por unidad experimental fue de 4 m<sup>2</sup>, el número de surcos por unidad experimental fue de cinco surcos, distancia entre bloques de 1 m y la distancia entre surcos 0.20 m (Anexo 1).

La fecha de siembra en la localidad de Yuraj Molino fue el 3 de enero de 2014, en la localidad de Tarata se realizó la siembra el 28 de enero de 2014.

El tipo de siembra fue a chorro continuo en surcos, con una densidad de siembra equivalente a 100 kg/ha, para fines de la investigación se utilizó 10 g de semilla por surco, la apertura y el tapado de los surcos se realizó con una surcadora de forma manual (Figura 4).



Figura 4. Establecimiento de ensayos; A) semilla y B) siembra

- **Fase de manejo del cultivo**

Fertilización: se realizó en el momento de la siembra (Yuraj Molino 3 de enero de 2014, Tarata 28 de enero de 2014), la cantidad usada de fertilizante fue de 100 kg/ha de 18-46 (fosfato de amonio) y 50 kg/ha de Urea (46%). Para ambas localidades fue utilizado la misma proporción de fertilizante debido a que los suelos en Cochabamba en las zonas tradicionales productoras de trigo tienen características comunes por la rotación trigo y papa.

Control de malezas: se realizó un desmalezado de forma manual durante el periodo de crecimiento y desarrollo del cultivo de trigo la fecha de desmalezado en la localidad de Yuraj Molino fue el 25 de marzo de 2014 y en la localidad de Tarata fue el 27 de marzo de 2014.

La cosecha se realizó cuando el cultivo llegó a la madurez fisiológica (Yuraj Molino 6 de mayo de 2014, Tarata 5 de junio de 2014), posteriormente se realizó el secado durante algunos días, por último se hizo el trillado del grano (Figura 5).



**Figura 5. A) Cosecha de las unidades experimentales y B) trillado**

- **Fase de evaluación**

La evaluación de los ensayos y la toma de datos se realizaron durante el proceso de crecimiento y desarrollo del cultivo de trigo duro, las variables agromorfológicas se evaluaron en campo y la evaluación de grano, rendimiento y calidad en laboratorio, posteriormente se realizó la centralización de datos y el trabajo de gabinete.

Registro de variables: para el registro de datos se elaboró de un libro de campo de acuerdo a las variables cuantitativas y cualitativas y se realizó el seguimiento conforme se desarrolló el ciclo vegetativo del cultivo.



**Figura 6. Seguimiento y evaluación de los ensayos**

#### **3.4.2. Procedimiento experimental en laboratorio**

Para la evaluación de calidad de los granos de trigo duro se envió muestras de 50 g por línea, al laboratorio de calidad de trigo del INIAF ubicado en el departamento de Santa Cruz, donde se realizaron análisis de dureza de grano, peso de un grano y diámetro de grano con el equipo SKCS (Single Kernel Characterization System), proteína, gluten, fuerza de gluten, calidad de pasta y almidón con el equipo NIR (Near Infrared Reflectance).

#### **3.5. Diseño experimental**

La investigación se instaló en base a un Diseño de Bloques Completamente al Azar (DBCA) en series, repetida en dos localidades, constituido por 3 bloques, considerando 15 líneas de trigo duro (tratamientos), alcanzando un total de 45 unidades experimentales.

Esta investigación se realizó en dos localidades, ambas localidades con la misma cantidad de unidades experimentales, por lo tanto realizando la sumatoria se trabajó con un total de 90 unidades experimentales.

El modelo lineal aditivo: (Ochoa, 2009)

$$x_{ijk} = \mu + \alpha_i + \beta_j + \alpha\beta_{(ij)} + \varepsilon_{k(ij)}$$

Dónde:

$x_{ijk}$  = Una observación cualquiera

$\mu$  = Media poblacional

$\alpha_i$  = Efecto de la  $i$ -ésima localidad

$\beta_j$  = Efecto del  $j$ -ésima línea

$\alpha\beta_{(ij)}$  = Efecto de la  $i$ -ésima localidad con la  $j$ -ésima línea (interacción Loc\*Línea)

$\varepsilon_{k(ij)}$  = Efecto aleatorio del error experimental

### 3.6. Variables de respuesta

#### 3.6.1. Variables agromorfológicas cuantitativas

Para la evaluación de las variables agromorfológicas se utilizó la Guía práctica para la investigación en trigo (Marza y Quispe 2013), del Programa Nacional de Trigo del Instituto Nacional de Innovación Agropecuaria y Forestal (INIAF).

- **Número de macollos por planta (NM)**

Esta variable se evaluó al finalizar el macollamiento, se realizó el conteo de los macollos por planta de cada unidad experimental, tomando tres plantas elegidas al azar.

- **Altura de planta (AP)**

Variable evaluada en centímetros (cm) haciendo uso de un flexómetro, colocada al cuello de la planta (base) hasta el final de la espiga sin tomar en cuentas las aristas. La evaluación fue en tres plantas elegidas al azar, dentro de los dos surcos centrales de cada unidad experimental. Se evaluó al final de la maduración fisiológica.

- **Número de espigas por metro cuadrado (NEM)**

Se contó el número de espigas de un metro cuadrado, en la parte central de la unidad experimental para evitar el efecto de borde.

- **Longitud de espiga (LE)**

Se determinó en los surcos centrales, eligiendo al azar tres espigas, con una regla graduada, se tomó la longitud en centímetros (cm) desde la base de la espiga hasta la espiguilla superior de la espiga sin considerar las aristas.

- **Número de granos por espiga (NGE)**

Se realizó el conteo de todos los granos de cada espiga, tomando tres espigas elegidas al azar por unidad experimental, al final del estadio de la maduración.

- **Madurez fisiológica (MF)**

Para evaluar esta variable se registró los días desde la emergencia hasta la cosecha de las líneas de trigo duro.

- **Peso de mil granos (PMG)**

Se sacaron muestras representativas de cada unidad experimental, se realizó el conteo de 1000 granos y se pesó en una balanza analítica de precisión.

- **Rendimiento en grano (RDTO)**

Para determinar el rendimiento en grano se realizó el pesando de la cantidad total de los granos obtenidos en la toda la unidad experimental, expresados en gramos (g) posteriormente se realizó la conversión a kg/ha.

### **3.6.2. Variables de calidad**

- **Peso hectolítrico (PH)**

Para este propósito el grano debe estar limpio libre de impurezas, se determina utilizando la balanza hectolítrica, el peso hectolítrico es la relación peso/volumen del grano de trigo expresado en kg/hl, esto se realiza cuando la humedad no supera el 14%.

- **Dureza de grano (DZ), peso de un grano (PUG) y diámetro de grano (DM)**

Para determinar la dureza de grano, el peso de un grano y el diámetro de grano se envió muestras de cada líneas al laboratorio de calidad de trigo en Santa Cruz, donde se realizó el análisis con el equipo SKCS 4100 (Single Kernel Characterization System).

El método por el cual analiza el equipo SKCS 4100 fue el siguiente: se dispone una muestra de granos de trigo (de 12 a 16 gramos) se prepara mediante la eliminación de granos quebrados, semillas de malas hierbas, y otros materiales extraños, la muestra se vierte en la tolva de acceso del equipo de caracterización SKCS 4100, el instrumento analiza 300 núcleos individualmente y registra los resultados en un gráfico de ordenador. Los resultados se presentan en términos de valores: el peso del grano se expresa en miligramos (mg); diámetro se expresa en milímetros (mm); y la dureza se expresa como un índice de -20 a 120 (Perten, 2013).

- **Proteína (PR), gluten (GL), fuerza de gluten (FGL), calidad de pasta (Z) y almidón (AL)**

Para determinar la proteína, gluten, fuerza de gluten, calidad de pasta y almidón se envió muestras de cada línea al laboratorio de calidad de trigo en Santa cruz, donde se utilizó el equipo DA 7250 NIR (Near Infrared Reflectance).

Para las mediciones de la reflectancia con el equipo DA 7250 NIR, se coloca una muestra el equipo este mide la reflectancia a dos o más longitudes de onda. En la espectroscopia de reflectancia en el Infrarrojo cercano la muestra se irradia con una o más bandas de radiación de longitud de onda comprendida entre 1 y 2.5  $\mu\text{m}$ , se produce una reflectancia difusa, en la que la radiación penetra a través de la superficie de la capa de partículas, excita los modos de vibración de las moléculas del analito, y luego se dispersa en todas las direcciones. De este modo, se produce un efecto de reflectancia que determina la composición de la muestra (Interlab, 2012).

### **3.7. Procesamiento de datos**

Toda la información recolectada en el libro de campo fue introducida en una base de datos diseñada en una hoja de cálculo Excel. El procesamiento estadístico, se realizó utilizando una computadora con programas específicos para el análisis estadístico, los paquetes utilizados fueron: IBM SPSS (Paquete Estadístico para las Ciencias Sociales),

SAS (Sistema de Análisis Estadístico) y el software estadístico S-PLUS 2000 (Paquete de Análisis de Software Comercial Estadística y Grafica).

### **3.7.1. Análisis estadístico univariado**

Los datos obtenidos en la presente investigación fueron sometidos a diferentes análisis estadísticos, el análisis estadístico univariado realizado fue el análisis estadístico descriptivo.

- **Análisis estadístico descriptivo**

La estadística Descriptiva comprende las técnicas que nos permitió realizar un análisis elemental de las observaciones experimentales. Se describió el comportamiento de las líneas de trigo duro, con relación a cada carácter cuantitativo, considerando el análisis de tendencia central (media aritmética), dispersión (desviación estándar, valor mínimo, valor máximo) y distribución (sesgo y curtosis). Este análisis se realizó con el programa estadístico IBM SPSS versión 22, se analizó con estadísticos descriptivos.

### **3.7.2. Análisis estadístico bivariado**

El análisis estadístico bivariado que se realizó fue: análisis de varianza y según los resultados obtenidos se realizó el análisis de efectos simples, prueba de promedios de Duncan, también se hizo el análisis de correlación lineal.

- **Análisis de varianza (ANVA)**

El análisis de varianza permitió la identificación de la diferencia estadística existente entre líneas y entre localidades. Para ello se utilizó el estadístico F, que permitió establecer si la media de la variable dependiente difiere o no significativamente en función a la variable dependiente. Para este análisis se utilizó el programa estadístico SAS 9.2 (Sistema de Análisis Estadístico).

- **Coefficiente de correlación (r)**

Se realizó la correlación para determinar el grado de asociación entre variables. El parámetro para la cuantificación fue coeficiente de correlación de Pearson (r), cuyo valor oscila entre  $-1$  y  $+1$ , por lo que la relación puede ser positiva o negativa. Este análisis se

realizó con el programa estadístico IBM SPSS versión 22, se realizó análisis de correlación bivariada.

### **3.7.3. Análisis estadístico multivariado**

Para el análisis estadístico multivariado se realizó el análisis de regresión múltiple, coeficientes de sendero y análisis de componentes principales.

- **Coefficiente de regresión múltiple**

El análisis de regresión múltiple se realizó para explicar el comportamiento de una variable de respuesta cuantitativa dependiente en función a una variable independiente. Creando un modelo matemático donde se seleccionaron variables que influyeron en la respuesta, descartando aquellas que no han aportado información alguna. Este análisis se realizó con el programa estadístico IBM SPSS versión 22, se analizó con regresión lineal por pasos.

- **Coefficiente de sendero**

Se realizó el análisis de sendero para identificar variables de efecto – causa, además permitió la interpretación de las relaciones existentes entre variables. El análisis de coeficiente de sendero o paso, se realizó por medio de sistemas de ecuaciones a partir de la regresión, se halló la matriz de correlaciones. Para su descripción e interpretación en el análisis de coeficientes de sendero se utilizó los caracteres que presentaran diferencia estadística significativa entre la correlación del rendimiento y calidad. Este análisis se realizó con el programa estadístico IBM SPSS versión 22 para este propósito se trabajó con correlación y regresión.

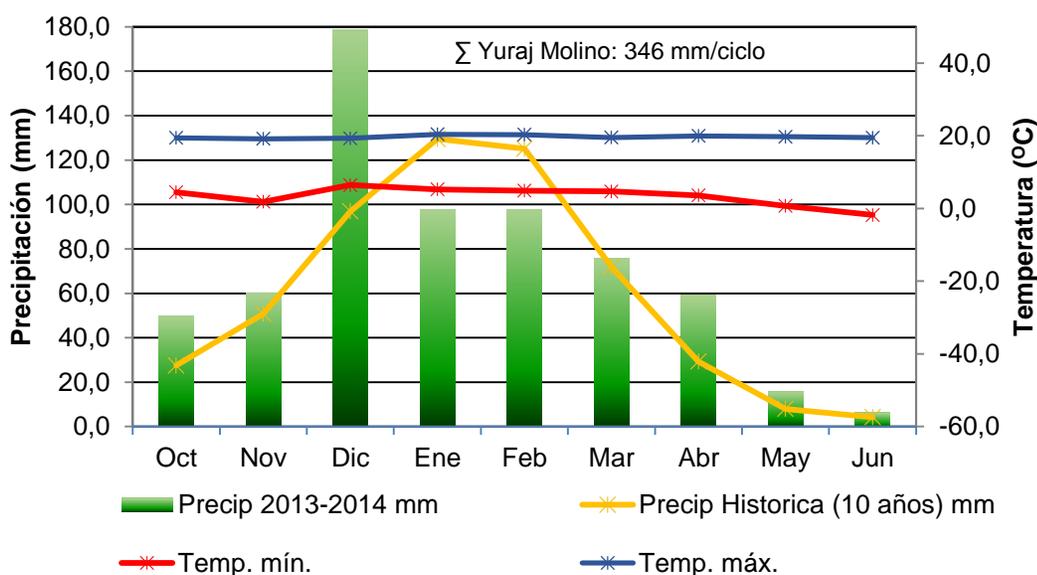
- **Análisis de componentes principales**

Permitió transformar el conjunto de variables originales a variables correlacionadas entre sí, identificando los componentes principales donde los que aportan poca información son los no significativos quedando así eliminados. Este análisis se realizó con el software estadístico S-PLUS 2000 (Paquete de Análisis de Software Comercial Estadística y Gráfica), se analizó análisis estadístico multivariado de componentes principales, para este propósito se trabajó con valores estandarizados.

## 4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

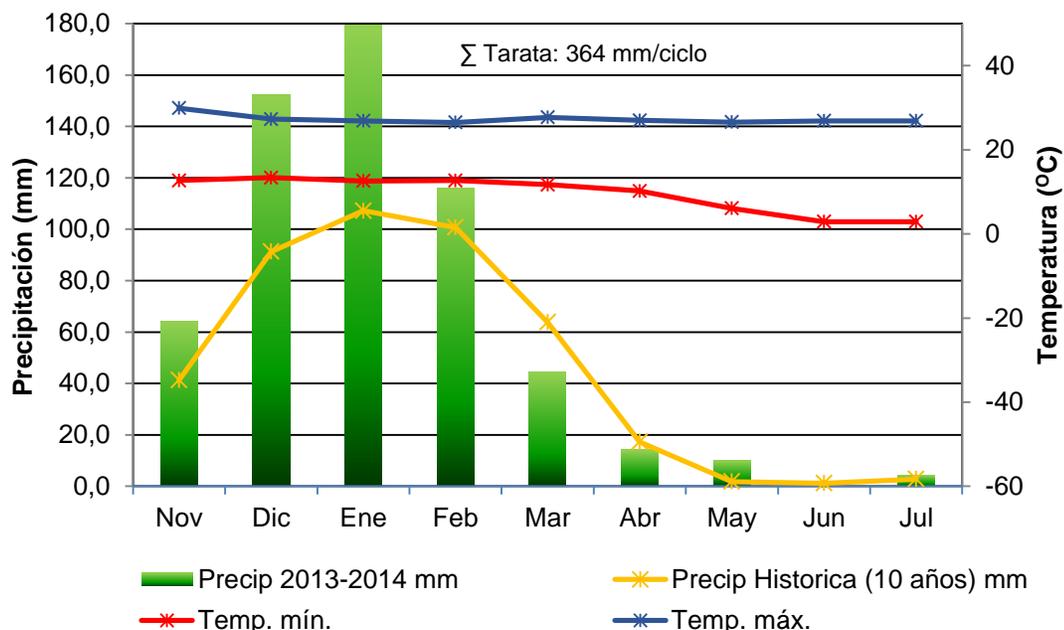
### 4.1. Aspectos climáticos

La precipitación pluvial durante la gestión agrícola 2013-2014, fue diferente en las dos localidades. En la localidad de Yuraj Molino la precipitación pluvial fue de 346 mm durante el ciclo del cultivo (siembra enero de 2014 y cosecha junio 2014); en los meses de enero y febrero la precipitación fue inferior a los datos históricos. La mayor temperatura se registró durante los meses de enero febrero y abril con 20°C, mientras que las temperaturas mínimas extremas fueron registradas durante los meses de mayo y junio con 0°C y -1°C respectivamente. (Figura 7).



**Figura 7. Climadiagrama correspondiente a la localidad de Yuraj Molino de la provincia Carrasco del departamento de Cochabamba (SENAMHI, 2014).**

En la localidad de Tarata la precipitación fue de 364 mm durante todo el ciclo del cultivo (siembra enero 2014 y cosecha junio 2014), la precipitación registrada en los meses de enero y febrero fue superior a la precipitación histórica. La temperatura máxima fue registrada en los meses de marzo y abril con 28°C y 29°C respectivamente, la temperatura mínima extrema fue de 3°C registrada durante los meses de mayo y junio (Figura 8).



**Figura 8. Climadiagrama correspondiente a la localidad de Tarata de la provincia Esteban Arce del departamento de Cochabamba (SENAMHI, 2014).**

El trigo requiere una precipitación promedio de 400 mm durante el ciclo del cultivo, los factores climáticos tales como la temperatura y la presencia de agua pueden influir en el desarrollo de las plantas y la producción de los cultivos (Robles, 1986 citado por Torres, 2012).

Para López (1990), el clima no debe ser demasiado frío en invierno para un mejor desarrollo del trigo, por otro lado las temperaturas frías de 10° a 15°C tienen un efecto beneficioso en el desarrollo de las raíces, la temperatura ideal para el crecimiento y desarrollo del cultivo de trigo está entre 10 y 24°C.

En general durante la gestión agrícola 2013-2014, la precipitación pluvial registrada fue baja. Como consecuencia de estas variaciones ambientales, los ensayos establecidos fueron afectados, impidiendo que las líneas expresaran todo su potencial genético durante el desarrollo vegetativo de la planta. Las condiciones climáticas para el cultivo del trigo fueron favorables en la localidad de Tarata.

#### 4.2. Análisis físico – químico del suelo

Los suelos en la localidad de Yuraj Molino son sedimentos procedentes de areniscas arcillosas, de grano fino tienen origen aluvial, moderadamente profundos, franco arcillo-

limoso, con un pH de 5,6 (AMDECO, 2011). La localidad de Tarata presenta suelos franco limoso y profundo.

De acuerdo al análisis físico-químico (Cuadro 2) realizado en el laboratorio de la Universidad Pública de El Alto, el suelo en los ensayos presentan las siguientes características:

**Cuadro 2. Análisis físico-químico del suelo de las localidades Yuraj Molino y Tarata del departamento de Cochabamba.**

Provincia	Localidad	Textura	pH	CE	MO
Carrasco	Yuraj Molino	FY	5.6	1.29	1.25
Esteban Arce	Tarata	FA	6.2	2.51	0.85

FY=Franco arcilloso; FA=Franco arenoso; CE=Conductividad eléctrica; MO=Materia orgánica  
Fuente: Análisis de laboratorio en la Universidad Pública de El Alto, 2015

El cultivo de trigo requiere suelos profundos de textura franco- arcillosas, con buen drenaje para un buen desarrollo del sistema radicular, el pH óptimo esta alrededor de 6 y 7,5 (Díaz, 2003). Según los resultados obtenidos en laboratorio la localidad de Tarata mostró mejores condiciones edafológicas para el cultivo de trigo.

### **4.3. Análisis estadístico univariado**

#### **4.3.1. Análisis estadístico descriptivo**

Los resultados del análisis estadístico descriptivo corresponde al estudio realizado en 14 líneas élite de trigo duro más un testigo evaluadas en dos localidades Yuraj Molino y Tarata del departamento de Cochabamba, en función de 9 variables cuantitativas: número de macollos por planta (NM), altura planta (AP), número de espigas por metro (NEM), longitud de espiga (LE), número de granos por espiga (NGE), madurez fisiológica (MF), peso de mil granos (PMG), peso hectolitro (PH) y rendimiento en grano (RDTO) evaluadas en diferentes fases fenológicas del cultivo.

##### **4.3.1.1. Análisis estadístico descriptivo para la localidad de Yuraj Molino**

El Cuadro 3, muestra el análisis descriptivo para la localidad de Yuraj Molino, se observa que la altura de planta (AP) tiene un coeficiente de concentración central (leptocúrtico) de 4,1 este resultado no se encuentra dentro del parámetro de coeficiente de distribución, debido a la influencia del testigo que presenta una altura de planta de 77 cm superior a las demás líneas.

La variable peso de mil granos (PMG) registró un promedio de 35 g con un valor mínimo de 29 g mientras que el valor máximo fue de 40 g. El peso hectolítrico (PH) registró un promedio de 75 kg/hl con un rango de variación de 69 kg/hl como mínimo y 79 kg/hl como valor máximo. Destaca el rendimiento (RDTO) con variaciones extremas de 590 kg/ha como valor mínimo y 1348 kg/ha valor máximo, con un promedio de 997 kg/ha, atributos que definitivamente son de mucha importancia en el proceso de selección e identificación de líneas (Cuadro 3).

**Cuadro 3. Estadística descriptiva de variables agromorfológicas cuantitativas, evaluadas en 14 líneas elite de trigo duro y un testigo en la localidad de Yuraj Molino del departamento de Cochabamba.**

Variable	Media	Desv. típ.	Asimetría	Curtosis	Mínimo	Máximo
NM	4	0,7	0,1	-0,8	3	5
AP	56	5,5	0,9	4,1	44	77
NEM	147	20,2	0,2	-0,3	108	192
LE	6	0,4	-0,0	-0,2	5	7
NGE	42	5,2	0,1	-0,3	32	52
MF	115	4,91	0,70	-0,39	110	126
PMG	35	2,7	0,0	-0,5	29	40
RDTO	997	186,6	-0,5	0,1	590	1348
PH	75	2,5	-0,6	-0,1	69	79

NM; número de macollos por planta, AP; altura de planta (cm), NEM; número de espigas por metro cuadrado, LE; longitud de espiga (cm), NGE; número de granos por espiga, MF; madurez fisiológica, PMG; peso de mil granos (g), RDTO; rendimiento en grano (kg/ha) y PH; peso hectolítrico (kg/hl).

En el presente estudio se puede mencionar que la variable altura de planta (AP) registró un promedio de 56 cm y un valor máximo de 77 cm registrados por el testigo, estos valores son superiores a los reportados por Torres (2012), en su estudio de evaluación agronómica de líneas mejoradas de trigo duro (*Triticum durum*) en dos localidades del departamento de Cochabamba, donde indica que la altura de planta fue de 45 cm en promedio, coincidentemente en su estudio el testigo que utilizó variedad mexicano es el que registró la mayor altura de planta con 71 cm.

#### 4.3.1.2. Análisis estadístico descriptivo para la localidad de Tarata

En la localidad de Tarata las variables altura de planta (AP) y longitud de espiga (LE) por las características de distribución (sesgo y curtosis) muestran un comportamiento fuera de los parámetros debido a las características morfológicas propias del testigo utilizado en la investigación, con una distribución asimétrica inclinada hacia la derecha de 1,8 y 1,7

respectivamente, el coeficiente de concentración central indica que existe una distribución leptocúrtica, para ambas variables de 3,8 y 3,6 respectivamente (Cuadro 4).

La madurez fisiológica (MF) obtuvo como promedio 115 días, con un mínimo de 110 y un máximo de 128 días, sin embargo esta variable mostró un comportamiento anormal en las características de distribución esto debido a que las líneas se concentraron en el promedio de 115 días, esto provocó una distribución asimétrica hacia la derecha de 2,53 y una concentración central leptocúrtica de 9,93.

La variable peso hectolítrico (PH) registró un promedio de 77 kg/hl, con un amplio rango de variación de 69 kg/hl como mínimo y 82 kg/hl como máximo. El rendimiento en grano (RDTO) muestra un promedio de 1428 kg/ha, con un valor mínimo de 928 kg/ha y con un valor máximo de 2160 kg/ha de igual forma existe un amplio rango de variación para esta variable.

**Cuadro 4. Estadística descriptiva de variables agromorfológicas cuantitativas, evaluadas en 14 líneas elite de trigo duro y un testigo en la localidad de Tarata del departamento de Cochabamba.**

Variable	Media	Desv. típ.	Asimetría	Curtosis	Mínimo	Máximo
NM	5	0,8	-0,2	-0,2	3	7
AP	63	11,8	1,8	3,8	47	102
NEM	173	22,5	0,1	-0,3	130	220
LE	7	1,2	1,7	3,6	5	11
NGE	47	3,8	-0,7	-0,1	36	52
MF	115	3,27	2,53	9,93	110	128
PMG	44	3,5	0,2	-0,5	37	51
RDTO	1428	343,5	0,4	-0,8	928	2160
PH	77	2,3	-0,9	2,6	69	82

NM; número de macollos por planta, AP; altura de planta (cm), NEM; número de espigas por metro cuadrado, LE; longitud de espiga (cm), NGE; número de granos por espiga, PMG; peso de mil granos (g), rendimiento en grano (kg/ha) y PH; peso hectolítrico (kg/hl).

Según los resultados obtenidos en el estudio la variable longitud de espiga (LE) registró un promedio de 7 cm, la mayor longitud de espiga (LE) fue para el testigo con 11 cm, estos valores son superiores a los reportados por Torres (2012), quien indica que en su estudio que el promedio de la longitud de espiga fue de 4,8 cm, del mismo modo el testigo que utilizó en su estudio variedad mexicana fue el que obtuvo la mayor longitud de espiga con 6,1 cm.

Torres (2012), también indica que el promedio del peso hectolítrico en su estudio fue de 77,8 kg/hl, este valor es similar al promedio del peso hectolítrico (PH) obtenido en esta investigación que fue de 77 kg/hl.

#### 4.3.1.3. Análisis estadístico descriptivo para calidad

El análisis estadístico descriptivo para calidad corresponde a los resultados del laboratorio de calidad de trigo, en función de 8 variables: dureza de grano (DZ), peso de un grano (PUG), diámetro de grano (DM), proteína (PR), fuerza de gluten (FGL), calidad de pasta (Z), gluten (GL) y almidón (AL).

El Cuadro 5, muestra la estadística descriptiva para las variables de calidad evaluadas en laboratorio, donde se observa que la proteína (PR) registró una media de 11,6% con un rango de variación de 9,2% como mínimo y 18,7% como máximo, por las características de distribución se puede observar que existe una distribución asimétrica inclinada hacia la derecha de 2,3 el coeficiente de concentración central indica que existe una distribución leptocúrtica de 7,1 estos valores no se encuentran dentro de los parámetros de distribución debido a que la línea 742 presenta un elevado porcentaje de proteína (Anexo 4).

Las variables gluten (GL) y fuerza de gluten (FGL) también muestran valores fuera de los parámetros de distribución, debido a la influencia de la línea 742 que destaca en el contenido de gluten y fuerza de gluten (Anexo 4), estas variables presentan una media de 20,6 y 77,0 respectivamente.

**Cuadro 5. Estadística descriptiva para variables de calidad evaluadas en 14 líneas elite de trigo duro y un testigo durante la campaña agrícola 2014.**

Variable	Media	Desv. tip.	Asimetría	Curtosis	Mínimo	Máximo
DZ	88,9	7,0	-1,3	1,6	71,1	96,3
PUG	37,9	2,6	0,1	-0,9	34,0	42,9
DM	2,7	0,1	-0,1	-1,5	2,5	2,8
PR	11,6	2,3	2,3	7,1	9,2	18,7
FGL	77,0	86,1	2,1	5,7	-6,9	337,1
Z	21,1	6,5	0,7	0,1	12,5	33,8
GL	20,6	7,5	2,3	6,9	13,3	44,1
AL	72,0	1,9	-1,9	5,2	66,5	74,3

DZ; dureza de grano, PUG; peso de un grano (mg), DM; diámetro de grano (mm), PR; proteína (%), FGL; fuerza de gluten, Z; calidad de pasta, GL; gluten y AL; almidón.

En el presente estudio se puede observar que el porcentaje de proteína (PR) fue de 9,2% a 18,7%, estos valores se encuentran dentro de los parámetros de proteína mencionados por Echenique (2007), que indica que el contenido de proteína es la variable más importante que determina la calidad semolera del trigo duro, el porcentaje de gluten de una sémola está relacionado con el contenido de proteínas del grano, que oscila entre el 9 y 18%, los trigos duros de buena calidad poseen sémola con alta proteína y baja cantidad de partículas de almidón que al hidratarse de forma pareja durante el mezclado, produce fideos fuertes y elásticos.

#### 4.4. Análisis estadístico bivariado

##### 4.4.1. Análisis de varianza para variables cuantitativas

Los resultados del análisis de varianza corresponde al estudio realizado en 14 líneas élite de trigo duro más un testigo evaluadas en dos localidades Yuraj Molino y Tarata del departamento de Cochabamba, en función de 9 variables cuantitativas: número de macollos, altura planta, número de espigas por metro, longitud de espiga, número de granos por espiga, madurez fisiológica, peso de mil granos, peso hectolitro y rendimiento en grano.

##### 4.4.1.1. Número de macollos por planta (NM)

El análisis de varianza combinado para las localidades de Yuraj Molino y Tarata muestra que existen diferencias altamente significativas entre localidades, no existen diferencias significativas entre líneas y en tanto la interacción localidad por línea presenta diferencias altamente significativas. El coeficiente de variación fue de 13,63% (Cuadro 6).

**Cuadro 6. Cuadrados medios correspondientes al análisis de varianza para número de macollos.**

Fuente de variación	G.L.	CM
Localidad	1	32,40**
Línea	14	0,70 <sup>ns</sup>
Localidad*Línea	14	1,40**
Error	60	0,38
CV		13,63%
R <sup>2</sup>		0,73

\*\* Altamente significativo al 1% y ns = no significativo al 5%

CV = Coeficiente de variación

La prueba de promedios de Duncan para localidades muestra que existen diferencias significativas entre localidades, Tarata presentó un promedio de 5 macollos superior al de Yuraj Molino que en promedio registro 4 macollos (Cuadro 7).

**Cuadro 7. Comparación de medias de Duncan de localidades para número de macollos.**

Localidad	Media	Duncan
Tarata	5	A
Yuraj Molino	4	B

Medias con la misma letra no son significativamente diferentes.

La prueba de promedios de Duncan al 5% de significancia para líneas, muestra que las líneas 738, 744, 736, 735, 721, 734 y 719 no presentan diferencias significativas entre sí con un promedio de 5 macollos, sin embargo presentan diferencias significativas frente a las demás líneas de trigo duro (Cuadro 8).

**Cuadro 8. Comparación de medias de Duncan de líneas para número de macollos.**

Línea	Media	Duncan
738	5	A
744	5	A
736	5	A
735	5	A
721	5	A
734	5	A
719	5	A
725	4	B
741	4	B
714	4	B
737	4	B
726	4	B
Testigo	4	B
742	4	B
720	3	C

Medias con la misma letra no son significativamente diferentes.

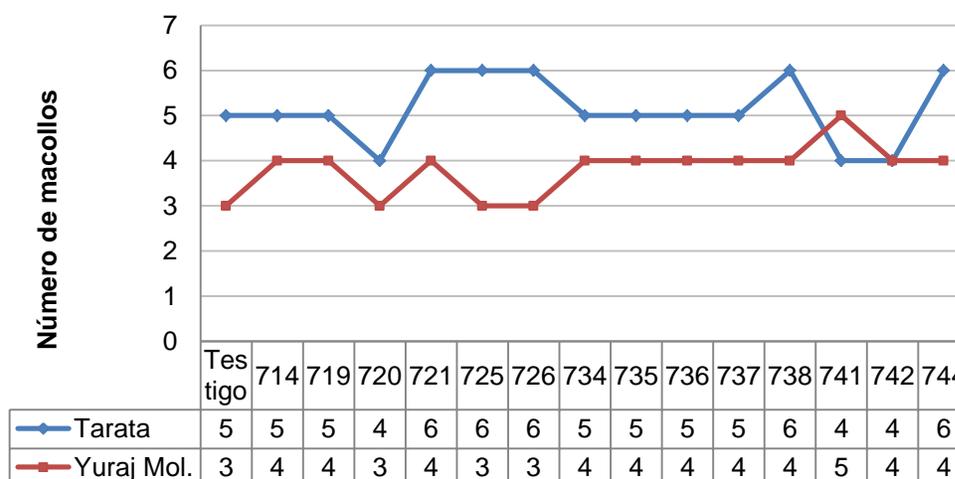
La interacción localidad por línea presenta diferencias altamente significativas, para ver estas variaciones se realizó el análisis de efectos simples, donde se observa que el factor localidad con las líneas elite de trigo duro muestra diferencias altamente significativas en Tarata y diferencias significativas en Yuraj Molino, el factor línea con localidad expone que existe diferencias altamente significativas en el testigo y las líneas 719,721,725, 726, 734, 736, 738 y 744 debido al efecto localidad (Cuadro 9).

**Cuadro 9. Cuadros medios correspondientes al análisis de varianza de efectos simples para número de macollos.**

Fuente de variación	G.L.	CM
Tarata (Líneas)	14	1,27**
Yuraj Mol. (Líneas)	14	0,83*
Testigo (Localidad)	1	8,17**
714 (Localidad)	1	0,17 <sup>ns</sup>
719 (Localidad)	1	2,67**
720 (Localidad)	1	1,50*
721 (Localidad)	1	6,00**
725 (Localidad)	1	8,17**
726 (Localidad)	1	10,67**
734 (Localidad)	1	2,67**
735 (Localidad)	1	0,67 <sup>ns</sup>
736 (Localidad)	1	1,50**
737 (Localidad)	1	0,67 <sup>ns</sup>
738 (Localidad)	1	4,17**
741 (Localidad)	1	0,17 <sup>ns</sup>
742 (Localidad)	1	0,67 <sup>ns</sup>
744 (Localidad)	1	4,17**
ERROR	60	0,38

\*\* Altamente significativo al 1%, \* Significativo al 5% y ns = no significativo

En la Figura 9, se observa el comportamiento por localidad del número de macollos por planta (NM), se puede observar que en la localidad de Tarata las líneas 744, 738, 726, 725 y 721 registraron el mayor número de macollos, mientras que las líneas 742, 741 y 720 presentan el menor número de macollos. En la localidad de Yuraj Molino el testigo y las líneas 726, 725 y 720 muestran 3 macollos por planta siendo este el más bajo, la línea 741 registra el número de macollos más alto, de manera general se observa que en la localidad de Tarata el comportamiento de número de macollos por planta fue superior.



**Figura 9. Interacción (localidad\*línea) y comportamiento por localidad del número de macollos por planta en 14 líneas elite de trigo duro y un testigo.**

El presente estudio muestra que el testigo tiene como promedio 4 macollos este valor registrado es menor frente a las líneas elite 744, 736 y 738 de trigo duro que en promedio tienen 5 macollos por planta, por su parte Zenteno (2000), en el estudio de efecto de los abonos mineralizados y fertilizantes en el cultivo de trigo realizado en la provincia Esteban Arce del departamento de Cochabamba menciona que el número de macollos está relacionado con la variedad de trigo, tipo de suelo y factores ambientales, si la variedad es mejorada esta tiende a macollar más que la variedad criolla. El tipo de suelo es muy importante, en suelos sueltos y profundos tiende a tener más macollos.

Fernández (2011), en la evaluación de tres sistemas de siembra en las localidades de Sacaba y Tarata del departamento de Cochabamba indica que el número de macollos es influenciado fuertemente por el ambiente. Es un carácter considerado como componente de rendimiento ya que la fotosíntesis asimilada en su totalidad por planta en su ciclo biológico deben ser repartidos a cada órgano, por lo que en mayor o menor grado el número de macollos afecta al rendimiento de la planta (granos planta).

Por su parte Fonseca y Gonzales (1986), indican que la etapa de macollaje junto con las características genéticas de la variedad determina el número máximo de macollos que potencialmente podrían dar espigas y el número de espiguillas por espiga factores determinantes en el rendimiento.



**Figura 10. Evaluación del número de macollos**

#### 4.4.1.2. Altura de planta (AP)

El análisis de varianza para altura de planta (AP) muestra un coeficiente de variación de 9,32%, este valor indica que los resultados obtenidos se encuentran dentro de lo permisible, existe diferencias altamente significativas para todos los casos (Cuadro 10).

**Cuadro 10. Cuadrados medios correspondientes al análisis de varianza para altura de planta.**

Fuente de variación	G.L.	CM
Localidad	1	1077,44**
Línea	14	325,20**
Localidad*Línea	14	80,96**
Error	60	30,34
CV		9,32%
R <sup>2</sup>		0,78

\*\* Altamente significativo al 1%

CV = Coeficiente de variación

R<sup>2</sup> = R-cuadrado

La prueba de promedios de Duncan para localidades indica que existen diferencias significativas entre localidades, se puede apreciar que en la localidad de Tarata el promedio de altura de planta fue de 62,5 cm superior al promedio de la localidad de Yuraj Molino que fue de 55,6 cm (Cuadro 11).

**Cuadro 11. Comparación de medias de Duncan de localidades para altura de planta.**

Localidad	Media	Duncan
Tarata	62,5	A
Yuraj Molino	55,6	B

Medias con la misma letra no son significativamente diferentes.

La comparación de medias de Duncan al 5% de significancia para líneas muestra que existe diferencia significativas del testigo respecto a las demás líneas de trigo duro, las líneas 721, 744, 726, 734 y 741 no presentan diferencias significativas entre sí, sin embargo frente a las líneas 720, 736, 735, 725,714 y 737 si existen diferencias, se puede apreciar también que el testigo registró un promedio de altura de planta de 82,4 cm este dato indica que fue la planta más alta y la línea 742 registró una altura promedio de 52,2 cm indica que fue la línea de menor altura de planta (Cuadro 12).

**Cuadro 12. Comparación de medias de Duncan de líneas para altura de planta.**

Línea	Media	Duncan
Testigo	82,4	A
721	64,6	B
744	61,1	B
726	60,9	B C
734	60,4	B C
741	59,9	B C D
720	58,7	B C D
736	57,2	C D E
735	56,8	C D E
725	56,4	C D E
714	54,6	C D E
737	54,1	C D E
738	53,6	C D E
719	53,2	D E
742	52,2	E

Medias con la misma letra no son significativamente diferentes.

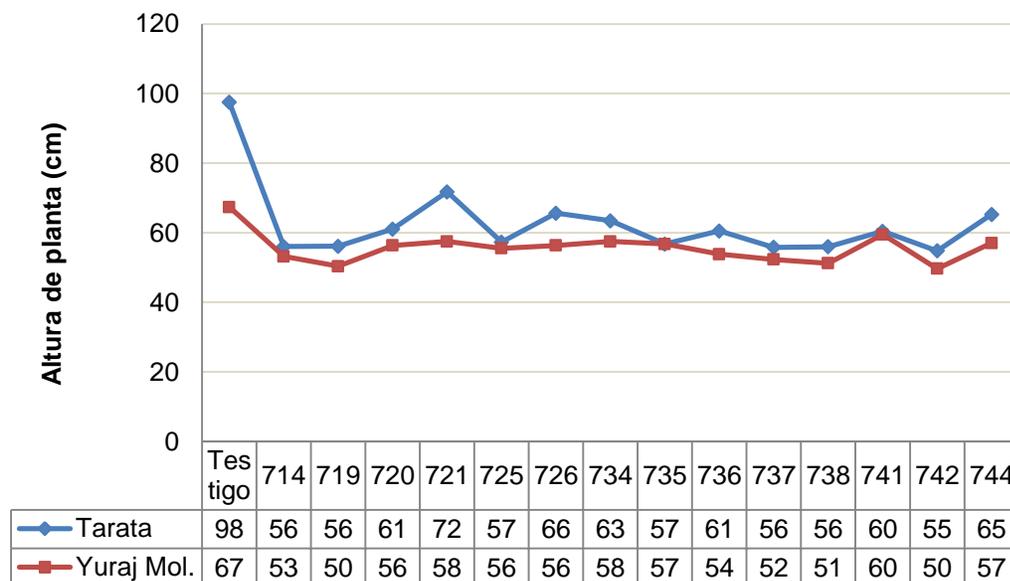
La interacción localidad por línea muestra diferencias altamente significativas, para ver estas variaciones se realizó el análisis de efectos simples (Cuadro 13), donde se puede observar que para el factor localidad con líneas existen diferencias altamente significativas en la localidad de Tarata y diferencias significativas en la localidad de Yuraj Molino, el factor líneas con localidad expone la existencia de diferencias altamente significativas en el testigo y la línea 721 debido al efecto de las localidades.

**Cuadro 13. Cuadrados medios correspondientes al análisis de varianza de efectos simples para altura de planta.**

Fuente de variación	G.L.	CM
Tarata (Líneas)	14	349,11**
Yuraj Mol. (Líneas)	14	57,05*
Testigo (Localidad)	1	1365,04**
714 (Localidad)	1	12,04 <sup>ns</sup>
719 (Localidad)	1	49,88 <sup>ns</sup>
720 (Localidad)	1	33,14 <sup>ns</sup>
721 (Localidad)	1	303,88**
725 (Localidad)	1	4,86 <sup>ns</sup>
726 (Localidad)	1	128,81*
734 (Localidad)	1	52,81 <sup>ns</sup>
735 (Localidad)	1	0,00 <sup>ns</sup>
736 (Localidad)	1	66,67 <sup>ns</sup>
737 (Localidad)	1	17,68 <sup>ns</sup>
738 (Localidad)	1	33,61 <sup>ns</sup>
741 (Localidad)	1	1,22 <sup>ns</sup>
742 (Localidad)	1	39,53 <sup>ns</sup>
744 (Localidad)	1	101,68 <sup>ns</sup>
Error	60	30,34

\*\* Altamente significativo al 1%, \* Significativo al 5% y ns = no significativo

La Figura 11, muestra que en la localidad de Tarata el testigo y la línea 721 son las que registraron mayor altura de planta con 98 y 72 cm respectivamente, de igual manera en la localidad de Yuraj Molino el testigo y la línea 741 registraron la mayor altura de planta con 67 y 60 cm respectivamente, de manera general se puede observar que el comportamiento de las líneas en ambas localidades fue similar.



**Figura 11. Interacción (localidad\*línea) y comportamiento por localidad de altura de planta en 14 líneas elite de trigo duro y un testigo.**

En el presente trabajo de investigación se obtuvo una altura de planta promedio para el testigo de 82,4 cm mientras que las demás líneas se encuentran entre 52 y 65 cm de altura de planta, superior a los reportados por Torres (2012), en el estudio evaluación agronómica de líneas mejoradas de trigo duro (*Triticum durum*) en dos localidades del departamento de Cochabamba, donde indica que el promedio de altura de planta del testigo utilizado en su estudio mexicano es 70,8 cm y las líneas que utilizó para su estudio se encuentran entre alturas de 45 y 48 cm. Por su parte Quiroga (2000) en el estudio de respuesta del cultivo de trigo duro (*Triticum durum*) a diferentes niveles de fertilizantes orgánicos indica que el rango de altura de planta en el momento de cosecha es de 69 a 83 cm.

Al respecto López (1990) señala que para reducir el riesgo de encamado en los cereales se debe escoger variedades de baja altura, sin embargo hay que resaltar que la altura de

planta no es el único factor para el encamado, puesto que hay que considerar también la estructura de la paja y su flexibilidad.



**Figura 12. Evaluación de la altura de planta**

#### 4.4.1.3. Número de espigas por metro cuadrado (NEM)

El análisis de varianza combinado para número de espigas por metro cuadrado (NEM) muestra el coeficiente de variación de 10,51% este valor indica la confiabilidad de los datos obtenidos, existe diferencias altamente significativas para localidades, en cuanto a las líneas no existen diferencias significativas, se observa que existe diferencias altamente significativas en la interacción de localidad por línea (Cuadro 14).

**Cuadro 14. Cuadros medios correspondientes al análisis de varianza para número de espigas por metro cuadrado.**

Fuente de variación	G.L.	CM
Localidad	1	15054,40**
Línea	14	742,35 <sup>ns</sup>
Localidad*Línea	14	923,73**
Error	60	283,67
CV		10,51%
R <sup>2</sup>		0,69

\*\* Altamente significativo al 1% y ns = no significativo al 5%

CV = Coeficiente de variación

R<sup>2</sup> = R-cuadrado

El Cuadro 15, muestra la prueba de promedios de Duncan para localidades donde se observa que existen diferencias significativas entre localidades, el promedio del número

de espigas por metro cuadrado en la localidad de Tarata fue de 173 espigas superior al promedio de la localidad de Yuraj Molino que fue de 147.

**Cuadro 15. Comparación de medias de Duncan de localidades para número de espigas por metro cuadrado.**

Localidad	Media	Duncan
Tarata	173	A
Yuraj Molino	147	B

Medias con la misma letra no son significativamente diferentes.

La prueba Duncan al 5% de significancia muestra que las líneas 726 y 721 presentan diferencias significativas frente a las demás líneas de trigo duro. Se puede indicar que las líneas 726, 721, 734 y 737 registraron los promedios más altos de número de espigas por metro cuadrado con 177, 176, 144 y 173 respectivamente, mientras que las líneas 719, testigo y 742 tienen los promedios más bajos de número de espigas por metro cuadrado con 148, 145, y 143 respectivamente (Cuadro 16).

**Cuadro 16. Comparación de medias de Duncan de líneas para número de espigas por metro cuadrado.**

Línea	Media	Duncan
726	177	A
721	176	A
734	174	A B
737	173	A B
735	162	A B C
741	162	A B C
738	161	A B C
744	160	A B C
720	158	A B C
714	155	A B C
736	154	A B C
725	151	B C
719	148	C
Testigo	145	C
742	143	C

Medias con la misma letra no son significativamente diferentes.

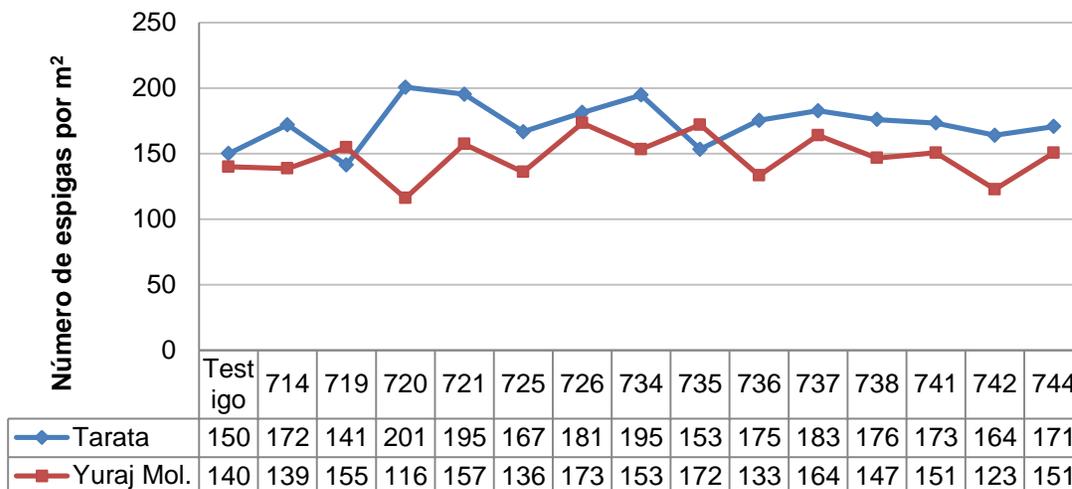
Debido a las diferencias altamente significativas que presento la interacción de localidad por línea se realizó el análisis de varianza de efectos simples donde se observa que existen diferencias altamente significativas para el factor localidad con líneas, así también el factor de líneas con localidad presenta diferencias altamente significativas para las líneas 720, 721, 734 y 736, esto indica que estas líneas se comportaron estadísticamente diferentes debido al efecto de cada localidad (Cuadro 17).

**Cuadro 17. Cuadrados medios correspondientes al análisis de varianza de efectos simples para número de espigas por metro cuadrado.**

Fuente de variación	G.L.	CM
Tarata (Líneas)	14	847,90**
Yuraj Mol. (Líneas)	14	818,18**
Testigo (Localidad)	1	150,00 <sup>ns</sup>
714 (Localidad)	1	1666,67*
719 (Localidad)	1	266,67 <sup>ns</sup>
720 (Localidad)	1	10753,00**
721 (Localidad)	1	2166,00**
725 (Localidad)	1	1410,67*
726 (Localidad)	1	96,00 <sup>ns</sup>
734 (Localidad)	1	2562,67**
735 (Localidad)	1	522,67 <sup>ns</sup>
736 (Localidad)	1	2646,00**
737 (Localidad)	1	522,67 <sup>ns</sup>
738 (Localidad)	1	1290,67*
741 (Localidad)	1	770,67 <sup>ns</sup>
742 (Localidad)	1	2562,67*
744 (Localidad)	1	600,00 <sup>ns</sup>
ERROR	60	283,67

\*\* Altamente significativo al 1%, \* Significativo al 5% y ns = no significativo

El la Figura 13, se puede observar que en la localidad de Tarata las líneas 720, 721 y 734 registraron el mayor número de espigas por metro cuadrado con 201, 195, 195 espigas respectivamente, la línea 719 con 141 espigas registro el menor número de espigas por metro cuadrado, mientras que en la localidad de Yuraj Molino las líneas 726 y 735 registraron el mayor número de espigas con 173 y 172 espigas respectivamente, la línea 720 con 116 espigas registró el menor número de espigas, de manera general se observa que el comportamiento del número de espigas por metro cuadrado en la localidad de Tarata fue superior, debido a las condiciones edafológicas y climáticas propias de la localidad.



**Figura 13. Interacción (localidad\*línea) y comportamiento por localidad del número de espigas por metro cuadrado en 14 élite de trigo duro y un testigo.**

En el presente trabajo el testigo registró 145 espigas por metro cuadrado mientras que las demás líneas elite de trigo duro en promedio oscilan entre 148 a 177 espigas por metro cuadrado, estos valores son superiores a los reportados por Torres (2012), en el estudio evaluación agronómica de líneas mejoradas de trigo duro (*Triticum durum*) en dos localidades del departamento de Cochabamba, donde indica que el promedio de número de espigas por metro cuadrado para el testigo utilizado en su estudio mexicano fue 46 espigas, las demás líneas que utilizo para su estudio se encuentran entre 42 y 96 espigas, por otra parte Quiroga (2000) indica que el número de espigas por metro cuadrado para la variedad de trigo duro san martin es de 295 espigas/m<sup>2</sup> con la aplicación de fertilizantes y 230 espigas/m<sup>2</sup> sin la aplicación de fertilizantes, también indica que el número de espigas por metro cuadrado es el resultado de la evolución del macollage, siendo los macollos fértiles los que finalmente llegan a constituirse en las espigas que se recolectan por unidad de superficie, cuyo número varía de acuerdo a las condiciones del medio imperante en las etapas precedentes a la floración como la disponibilidad de agua y nitrógeno disponible en el suelo.

Arizpe (2007), indica que para la característica número de espigas que una planta produce se encuentra influenciado por las condiciones ambientales (especialmente niveles de agua, altas intensidades de luz y nitrógeno durante el ahijamiento) bajo las que crece, siendo más dependiente de su genotipo, expresando la misma en un uso más eficiente de los recursos disponibles.



**Figura 14. Evaluación del número de espigas por metro**

#### 4.4.1.4. Longitud de espiga (LE)

El análisis de varianza para longitud de espiga (LE) muestra el coeficiente de variación de 7,33% este valor indica la confiabilidad de los datos obtenidos, existe diferencia significativa entre localidades, para las líneas no existen diferencias significativas, en cuanto a las interacción localidad por línea se observa que existen diferencias significativas (Cuadro 18).

**Cuadro 18. Cuadrados medios correspondientes al análisis de varianza de para longitud de espiga.**

Fuente de variación	G.L.	CM
Localidad	1	10,27*
Línea	14	2,95 <sup>ns</sup>
Localidad*Línea	14	1,40*
Error	60	0,20
CV		7,33%
R <sup>2</sup>		0,85

\* Significativo al 5% y ns = no significativo al 5%

CV = Coeficiente de variación

R<sup>2</sup> = R-cuadrado

La prueba de promedios de Duncan para localidades muestra que existen diferencias significativas entre localidades, Tarata presenta superioridad con un promedio de 6,5 cm frente a la localidad de Yuraj Molino que tiene como promedio 5,8 cm de longitud de espiga (Cuadro 19).

**Cuadro 19. Comparación de medias de Duncan de localidades para longitud de espiga.**

Localidad	Media	Duncan
Tarata	6,5	A
Yuraj Molino	5,8	B

Medias con la misma letra no son significativamente diferentes.

La comparación de medias de Duncan al 5% para longitud de espigas evaluadas en las localidades de Yuraj Molino y Tarata muestra que el testigo tiene diferencias significativas frente a las demás líneas de trigo duro, el promedio de longitud de espiga del testigo fue de 8,3 cm siendo este la espiga más grande y la línea 714 con 5,5 cm tiene la espiga más pequeña (Cuadro 20).

**Cuadro 20. Comparación de medias de Duncan de líneas para longitud de espiga.**

Línea	Media	Duncan
Testigo	8,3	A
721	6,8	B
744	6,7	B
734	6,4	B C
719	6,2	B C D
736	6,2	B C D
726	6,1	C D E
720	5,9	C D E
735	5,8	C D E
725	5,8	D E
738	5,8	D E
742	5,6	E
741	5,6	E
737	5,6	E
714	5,5	E

Medias con la misma letra no son significativamente diferentes.

Como la interacción localidad por línea muestra diferencias significativas, se realizó en el análisis de efectos simples, donde se observa que para el factor localidad con las líneas existe diferencias altamente significativas en la localidad de Tarata y diferencias significativas en la localidad de Yuraj Molino esto indica que el comportamiento en cada localidad fue diferenciada para la longitud de espiga, para el factor líneas con localidad se observa que existe diferencias altamente significativas en el testigo y las líneas 714, 719, y 721, mientras que la línea 744 expone diferencias significativas esto indica que estas líneas se comportaron estadísticamente diferentes debido al efecto de las localidades (Cuadro 21).

**Cuadro 21. Cuadrados medios correspondientes al análisis de varianza de efectos simples para longitud de espiga.**

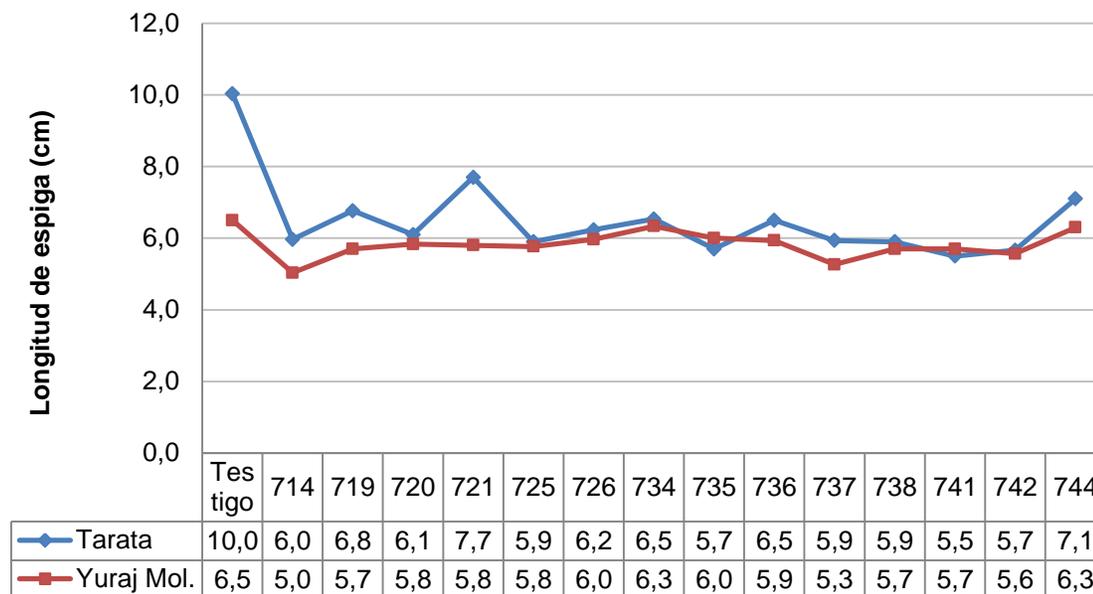
Fuente de variación	G.L.	CM
Tarata (Líneas)	14	3,91**
Yuraj Mol. (Líneas)	14	0,44*
Testigo (Localidad)	1	18,73**
714 (Localidad)	1	1,31**
719 (Localidad)	1	1,71**
720 (Localidad)	1	0,11 <sup>ns</sup>
721 (Localidad)	1	5,42**
725 (Localidad)	1	0,03 <sup>ns</sup>
726 (Localidad)	1	0,11 <sup>ns</sup>
734 (Localidad)	1	0,06 <sup>ns</sup>
735 (Localidad)	1	0,14 <sup>ns</sup>
736 (Localidad)	1	0,48 <sup>ns</sup>
737 (Localidad)	1	0,67 <sup>ns</sup>
738 (Localidad)	1	0,06 <sup>ns</sup>
741 (Localidad)	1	0,06 <sup>ns</sup>
742 (Localidad)	1	0,02 <sup>ns</sup>
744 (Localidad)	1	0,96*
ERROR	60	0,20

\*\* Altamente significativo al 1%, \* Significativo al 5% y ns = no significativo

La Figura 16, muestra el comportamiento por localidad de la variable longitud de espiga, se observa que en la localidad de Tarata el testigo y la línea 721 tienen la mayor longitud de espiga con 10,0 y 7,7 cm respectivamente, de la misma manera en la localidad de Yuraj Molino el testigo registra la mayor longitud de espiga con 6,5 cm, de manera general se observa que en ambas localidades el comportamiento de la longitud de espiga fue similar.



**Figura 15. Evaluación de la longitud de espigas**



**Figura 16. Interacción (localidad\*línea) y comportamiento por localidad de la longitud de espigas en 14 elite de trigo duro y un testigo.**

Torres (2012), en el estudio evaluación agronómica de líneas mejoradas de trigo duro (*Triticum durum*) en dos localidades del departamento de Cochabamba, indica que el promedio de longitud de espiga para la variedad mexicano es de 6,1cm, mientras que el promedio de las líneas de trigo duro utilizados en su estudio se encuentran entre 3,5 cm y 4,6 cm de longitud de espiga, el presente estudio muestra resultados superiores con un promedio de longitud de espiga de 8,3 cm para el testigo, mientras que las líneas elite de trigo duro registran longitudes de espiga desde 5,5 cm hasta 6,8 cm.

Según Arizpe (2007), en el estudio de determinación del potencial de rendimiento de líneas y variedades de trigo en la estación experimental de Saavedra indica que la longitud de espiga no es un factor determinante en el rendimiento en este trabajo se puede ver claramente que las líneas que presentan menor longitud de espiga fueron las que tuvieron rendimientos superiores, esto se debe funcionalmente al buen índice de macollaje el cual es directamente proporcional al número de espigas por superficie.

Según Zenteno (2000), la longitud de espiga está en función a los factores climáticos, de la variedad, de la disponibilidad de agua y nutrientes, esto induce al crecimiento en longitud que es directamente proporcional al número de espiguillas y granos por espiga.

#### 4.4.1.5. Número de granos por espiga (NGE)

El análisis de varianza para número de granos por espiga (NGE) muestra el coeficiente de variación de 7,80% este valor indica la confiabilidad de los datos obtenidos, existe diferencias altamente significativas entre localidades y no existen diferencias significativas entre líneas, se observa que existe diferencias altamente significativas en la interacción de localidad por línea (Cuadro 22).

**Cuadro 22. Cuadrados medios correspondientes al análisis de varianza para número de granos por espiga.**

Fuente de variación	G.L.	CM
Localidad	1	508,84**
Línea	14	26,55 <sup>ns</sup>
Localidad*Línea	14	56,37**
Error	60	12,04
CV		7,80%
R <sup>2</sup>		0,70

\*\* Altamente significativo al 1%, ns = no significativo al 5%

CV = Coeficiente de variación

R<sup>2</sup> = R-cuadrado

La prueba de promedios de Duncan para localidades muestra que existen diferencias significativas entre localidades, se observa que la localidad de Tarata expone superioridad con un promedio de 47 granos por espiga, mientras que en la localidad de Yuraj Molino el promedio es de 42 granos por espiga (Cuadro 23).

**Cuadro 23. Comparación de medias de Duncan de localidades para número de granos por espiga.**

Localidad	Media	Duncan
Tarata	47	A
Yuraj Molino	42	B

Medias con la misma letra no son significativamente diferentes.

La prueba de promedios Duncan al 5% para número de granos por espigas evaluadas en las localidades de Yuraj Molino y Tarata muestra que la línea de trigo duro 741 tienen diferencias significativas respecto a las otras líneas de trigo duro, las demás líneas de trigo duro muestran diferencias significativas entre ellos aunque estadísticamente similares, se observa que la línea 741 tiene como promedio 49 granos por espiga, mientras que el testigo tiene 43 granos por espiga (Cuadro 24).

**Cuadro 24. Comparación de medias de Duncan de líneas para número de granos por espiga.**

Línea	Media	Duncan
741	49	A
720	48	A B
735	47	A B C
736	46	A B C D
734	46	A B C D
721	44	B C D
719	44	B C D
738	44	B C D
726	44	B C D
725	43	C D
737	43	C D
714	43	C D
Testigo	43	C D
742	42	D
744	42	D

Medias con la misma letra no son significativamente diferentes.

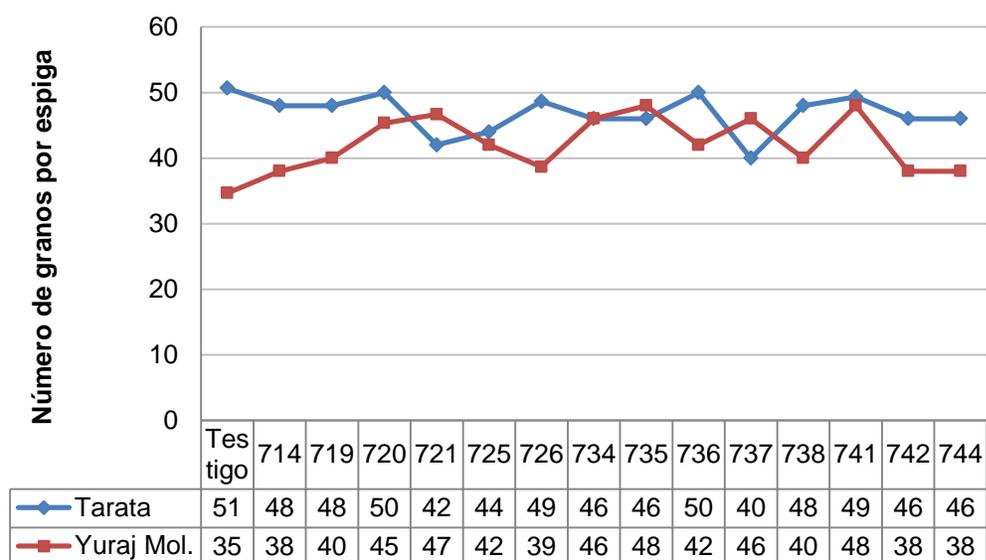
Para la interacción localidad por línea se realizó el análisis de efectos simples, se puede observar que para el factor localidad con líneas existe diferencias significativas en la localidad de Tarata y diferencias altamente significativas en Yuraj Molino, el factor de líneas con localidad muestra que existe diferencias altamente significativas en el testigo y las líneas 714, 719, 726, 736, 738, 742 y 744 esto indica que estas líneas se comportaron estadísticamente diferentes dentro de cada localidad (Cuadro 25).

**Cuadro 25. Cuadrados medios correspondientes al análisis de varianza de efectos simples para número de granos por espiga.**

Fuente de variación	G.L.	CM
Tarata (Líneas)	14	27,71*
Yuraj Mol. (Líneas)	14	55,21**
Testigo (Localidad)	1	384,00**
714 (Localidad)	1	150,00**
719 (Localidad)	1	96,00**
720 (Localidad)	1	32,67 <sup>ns</sup>
721 (Localidad)	1	32,67 <sup>ns</sup>
725 (Localidad)	1	6,00 <sup>ns</sup>
726 (Localidad)	1	150,00**
734 (Localidad)	1	0,00 <sup>ns</sup>
735 (Localidad)	1	6,00 <sup>ns</sup>
736 (Localidad)	1	96,00**
737 (Localidad)	1	54,00*
738 (Localidad)	1	96,00**
741 (Localidad)	1	2,67 <sup>ns</sup>
742 (Localidad)	1	96,00**
744 (Localidad)	1	96,00**
Error	60	12,04

\*\* Altamente significativo al 1%, \* Significativo al 5% y ns = no significativo

En la Figura 17, se puede observar que en la localidad de Tarata el testigo con 51 granos por espiga, las líneas 720 y 736 con 50 granos y las líneas 726 y 741 con 49 granos por espiga, superan a las demás líneas de trigo duro en el número de granos por espiga, mientras que en la localidad de Yuraj Molino las líneas 735 y 741 registran el mayor número de granos por espiga con 48 granos por espiga seguido de la línea 721 con 47 granos por espiga, mientras que el testigo en esta localidad registra el menor número de granos por espiga con 35 granos por espiga.



**Figura 17. Interacción (localidad\*línea) y comportamiento por localidad del número de granos por espiga en 14 elite de trigo duro y un testigo.**

El presente estudio muestra que el testigo tiene 43 granos por espiga mientras que las líneas elite de trigo duro se encuentran entre 43 y 49 granos por espiga, estos valores son superiores a los registrados por Torres (2012), en el estudio evaluación agronómica de líneas mejoradas de trigo duro (*Triticum durum*) en dos localidades del departamento de Cochabamba, donde indica que el número de granos por espiga para la variedad mexicano es de 36 granos por espiga mientras que las líneas de trigo duro tienen de 11 a 23 granos por espiga. Según Quiroga (2000), en el estudio respuesta del cultivo de trigo duro a diferentes niveles de fertilizantes indica que la variedad de trigo duro san martin utilizado para su estudio tiene 49 granos por espiga con fertilización y 43 granos por espiga sin fertilización.

López (1990), indica que el número de granos por espiga está en función del número de espiguillas por espiga y el número de flores fértiles por espiguilla manteniendo relación

directa con: potencial directo de la variedad para la formación de espiga, longitud de espiga, número de espiguillas y flores. Condiciones climáticas durante la formación de espiga espiguillas y flores. Ocurrencia y grado de infestación y de daño por enfermedades y plagas.

Corroborando Frank y Bauer (1982), citado por Torres (2012) en ensayos de fertilización encontraron que la adición de nitrógeno en el cultivo de trigo aumenta la cantidad de flores asimismo incrementa el número de granos por espiga y que sus componentes de rendimiento tienen la característica: espigas largas presencia de espigas fértiles en los macollos.

Según Zenteno (2000). Este componente es importante, de ello dependerá la cantidad y calidad de grano en el cultivo de trigo, este depende del factor ambiental, como disponibilidad de agua en el suelo durante la formación, también menciona que la fertilidad de la espiga y el número de granos por cada espiguilla, son muy importantes para una variedad, la fertilidad de la espiga dependerá de la alimentación del trigo durante el transcurso del periodo de encañado, espigado, floración y de la influencia de las condiciones atmosféricas.



**Figura 18. Evaluación del número de granos por espiga**

#### **4.4.1.6. Madurez fisiológica (MF)**

El análisis de varianza para la madurez fisiológica (MF) muestra que no existen diferencias significativas para localidades, existen diferencias altamente significativas para

líneas y para la interacción localidad por línea no existe diferencias significativas, el coeficiente de variación fue de 2,51% (Cuadro 26).

**Cuadro 26. Cuadros medios correspondientes al análisis de varianza para madurez fisiológica.**

Fuente de variación	G.L.	CM
Localidad	1	7,51 <sup>ns</sup>
Línea	14	75,29 <sup>**</sup>
Localidad*Línea	14	7,63 <sup>ns</sup>
Error	60	8,33
CV		2,51%
R <sup>2</sup>		0,70

\*\* Altamente significativo al 1% y ns = no significativo al 5%

CV = Coeficiente de variación

R<sup>2</sup> = R-cuadrado

La prueba de promedios de Duncan para localidades muestra que no existen diferencias significativas entre localidades, la media de la madurez fisiológica en ambas localidades fue de 115 días.

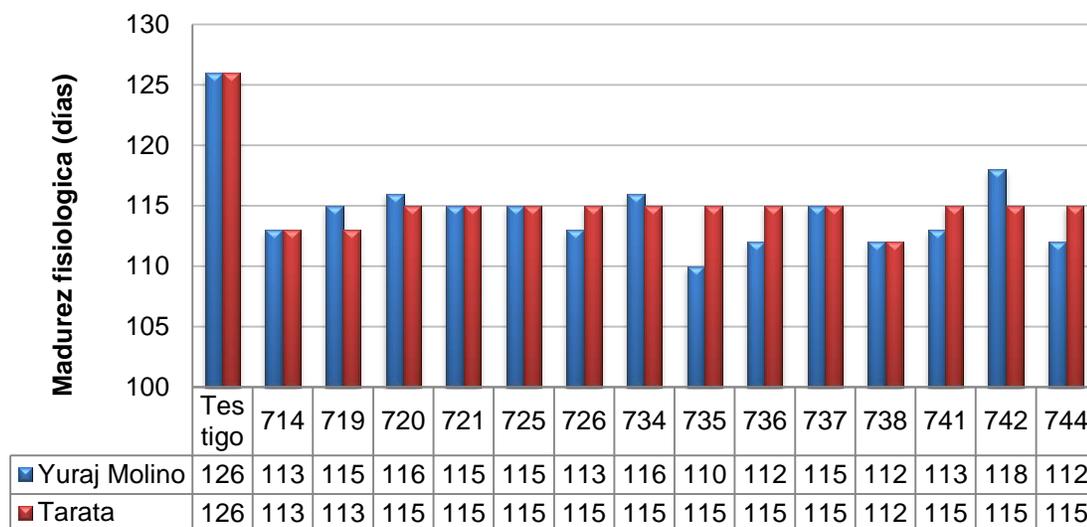
Sin embargo se puede apreciar que la prueba Duncan para líneas muestra diferencias significativas, el testigo y la línea 142 muestra diferencias significativas frente a las demás líneas de trigo duro, el testigo fue el que más tardó en llegar a la madurez fisiológica con 127 días, mientras que las líneas 738 y 735 fueron las que llegaron en menor tiempo a la madurez con 112 días (Cuadro 27).

**Cuadro 27. Comparación de medias de Duncan de líneas para madurez fisiológica.**

Línea	Media	Duncan
Testigo	127	A
742	117	B
720	116	B C
734	116	B C
737	115	B C D
721	115	B C D
725	115	B C D
726	114	B C D
741	114	B C D
719	114	B C D
714	113	B C D
736	113	C D
744	113	C D
735	112	D
738	112	D

Medias con la misma letra no son significativamente diferentes.

En la Figura 19, se puede observar el comportamiento por localidad de la madurez fisiológica, coincidentemente el testigo en ambas localidades tuvo 126 días al llegar a la madurez, en la localidad de Tarata la mayoría de las líneas llegó a la madurez fisiológica en 115 días, en la localidad de Yuraj Molino destaca la línea 735 con 110 días al llegar a la madurez.



**Figura 19. Comportamiento por localidad de la madurez fisiológica en 14 líneas elite de trigo duro y un testigo.**

En este estudio se observa que el testigo fue quien tardó más en llegar a la madurez en ambas localidades con 126 días, las demás líneas de trigo duro llegaron a las madures mucho antes de 110 a 118 días, según los resultados reportados por Torres (2012), la variedad mexicana llegó en 118 días a la madurez, y las otras líneas que utilizó en su estudio llegaron a la madurez en 104 días.

#### **4.4.1.7. Peso de mil granos (PMG)**

El análisis de varianza para peso de mil granos muestra el coeficiente de variación de 5,55% este valor indica la confiabilidad de los datos obtenidos, existe diferencia altamente significativa para las localidades, no existen diferencias significativas para las líneas, también se observa que existe diferencia altamente significativa en la interacción de localidad por línea (Cuadro 28).

**Cuadro 28. Cuadrados medios correspondientes al análisis de varianza para peso de mil granos.**

Fuente de variación	G.L.	CM
Localidad	1	1922,84**
Línea	14	25,03 <sup>ns</sup>
Localidad*Línea	14	15,80**
Error	60	4,72
CV		5,55%
R <sup>2</sup>		0,89

\*\* Altamente significativo al 1% y ns = no significativo al 5%

CV = Coeficiente de variación

R<sup>2</sup> = R-cuadrado

La prueba de promedios de Duncan para las localidades muestra que existen diferencias significativas, la localidad de Tarata expone superioridad con un promedio de 43,8 g frente a la localidad de Yuraj Molino que presenta un promedio de 34,5 g (Cuadro 29).

**Cuadro 29. Comparación de medias de Duncan de localidades para peso de mil granos.**

Localidad	Media	Duncan
Tarata	43,8	A
Yuraj Molino	34,5	B

Medias con la misma letra no son significativamente diferentes.

En la prueba de promedios de Duncan para líneas (Cuadro 30), se observa que la línea 721 presenta diferencias significativas frente a las demás líneas de trigo duro, con un promedio de 42,2 g siendo este el mayor peso de mil granos.

**Cuadro 30. Comparación de medias de Duncan de líneas para peso de mil granos.**

Línea	Media	Duncan
721	42,2	A
726	41,7	A B
734	40,8	A B
736	40,7	A B
Testigo	40,7	A B
714	40,2	A B
735	39,7	A B C
741	39,5	A B C
720	39,0	B C
725	39,0	B C
744	38,8	B C
742	36,8	C D
719	36,8	C D
737	36,0	D
738	35,5	D

Medias con la misma letra no son significativamente diferentes.

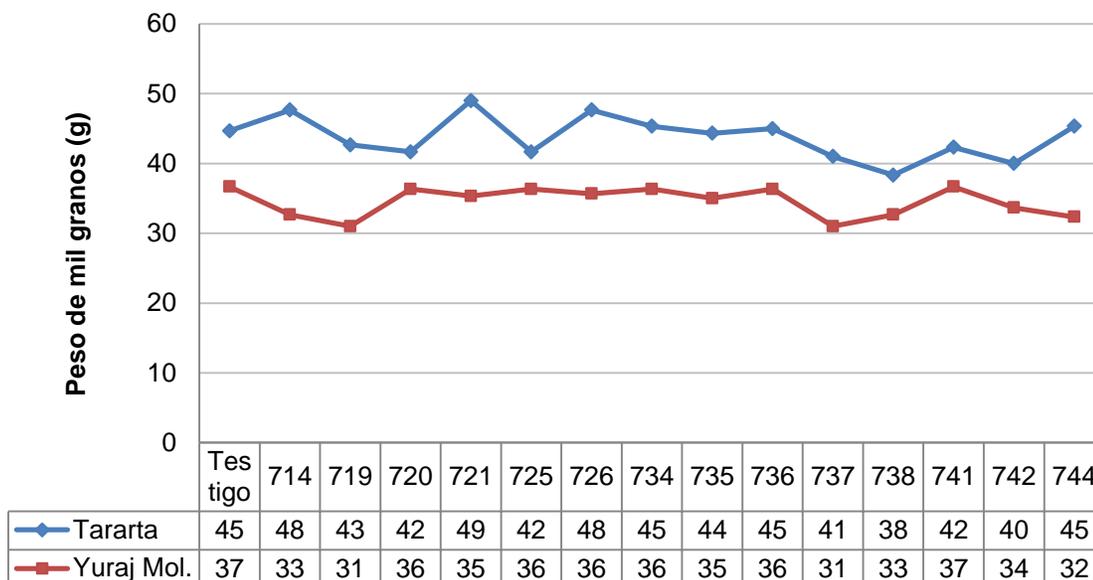
La interacción de localidad por línea muestra diferencias altamente significativas para ver estas variaciones se realizó el análisis de efectos simples, donde se puede observar que existen diferencias altamente significativas en todos los casos, para el factor localidad con líneas existe diferencias altamente significativas en ambas localidades Tarata y Yuraj Molino, para el factor línea con localidad indica que existe diferencias altamente significativas en todas las líneas debido al efecto de las localidades, esto indica que todas las líneas se comportaron de manera diferenciada en cada localidad (Cuadro 31).

**Cuadro 31. Cuadrados medios correspondientes al análisis de varianza de efectos simples para peso de mil granos.**

<b>Fuente de variación</b>	<b>G.L.</b>	<b>CM</b>
Tarata (Líneas)	14	27,60**
Yuraj Mol. (Líneas)	14	13,23**
Testigo (Localidad)	1	96,00**
714 (Localidad)	1	337,50**
719 (Localidad)	1	204,17**
720 (Localidad)	1	42,67**
721 (Localidad)	1	280,17**
725 (Localidad)	1	42,67**
726 (Localidad)	1	216,00**
734 (Localidad)	1	121,50**
735 (Localidad)	1	130,67**
736 (Localidad)	1	112,67**
737 (Localidad)	1	150,00**
738 (Localidad)	1	48,17**
741 (Localidad)	1	48,17**
742 (Localidad)	1	60,17**
744 (Localidad)	1	253,50**
ERROR	60	27,60**

\*\* Altamente significativo al 1%

La Figura 20, muestra el comportamiento del peso de mil granos por localidad, se puede observar que en la localidad de Tarata la línea 721 fue superiores en cuanto al peso de mil granos con 49 g, mientras que el peso de mil granos más bajo registro la línea 738 con 38 g. Así mismo, en la localidad de Yuraj Molino el peso mil granos más alto es para el testigo y la línea 741 ambas con 37 g, mientras que el peso de mil granos más bajo registrado fueron para las líneas 719 y 737 ambas con 31 g. Se puede indicar que el peso de mil granos fue superior en la localidad de Tarata.



**Figura 20. Interacción (localidad\*línea) y comportamiento por localidad del peso de mil granos en 14 líneas élite de trigo duro y un testigo.**

Quiroga (2000), indica el peso de mil granos al 18% de humedad la variedad de trigo duro san martin con la aplicación de fertilizante es de 41,2 g, en el presente estudio se puede observar que el peso de mil granos para el testigo fue en promedio 40,7 g este valor es similar a los que reporta Quiroga (2000), mientras que las líneas elite de trigo duro de este estudio llegan a tener hasta 42,2 g superando a los reportados por este mismo autor.

Según Waddington, (1998) citado por Angulo, (1993), en el estudio de efectos de épocas de siembra indica que el peso de 1000 granos es el último componente determinado y muy importante en el cultivo de trigo, puesto que si hay condiciones adversas durante su época de determinación (Llenado de grano) no hay ninguna posibilidad de compensación por efecto de anteriores; así que cualquier efecto destructor es irreversible, indica en su estudio que el peso de 1000 granos oscila entre 32 a 47 g, con una media de 37 g.

Corroborando Arteaga (1990), señala que los componentes de mayor asociación con el rendimiento y la fertilización son el número de espigas por metro cuadrado y el peso de las semillas.

López (1990), indica que el peso medio de mil granos fluctúa entre 30 y 55 g dependientes del tamaño y duración de la actividad funcional del aparato fotosintético en la parte superior de planta capacidad de transferencia de asimilados al grano. Duración

del periodo de formación de grano. Condiciones climáticas, nutricionales durante el llenado de grano (disponibilidad de humedad, nutrientes y temperatura)

Zenteno (2000), indica que para el peso de 1000 granos es importante el llenado de grano durante el ciclo vegetativo, así mismo disponibilidad de agua, nutrientes y época de siembra, esto garantiza el llenado de grano en el trigo.



**Figura 21. Evaluación del peso de mil granos**

#### 4.4.1.8. Peso hectolítrico (PH)

El análisis de varianza para peso hectolítrico (PH) muestra el coeficiente de variación de 2,35% este valor muestra la confiabilidad de los datos obtenidos, existe diferencia altamente significativa para las localidades, no existen diferencias significativas para las líneas y existen diferencias altamente significativas en la interacción de localidad por línea (Cuadro 32).

**Cuadro 32. Cuadrados medios correspondientes al análisis de varianza para peso hectolítrico**

Fuente de variación	G.L.	CM
Localidad	1	74,71**
Línea	14	16,83 <sup>ns</sup>
Localidad*Línea	14	8,31**
Error	60	3,21
CV		2,35%
R <sup>2</sup>		0,69

\*\* Altamente significativo al 1% y ns = no significativo al 5%

CV = Coeficiente de variación

R<sup>2</sup> = R-cuadrado

La prueba de promedios de Duncan para localidades muestra que existen diferencias significativas entre localidades, Tarata registró un promedio de 77,2 kg/hl superior al promedio registrado en la localidad de Yuraj Molino que fue de 75,4 kg/hl (Cuadro 33).

**Cuadro 33. Comparación de medias de Duncan de localidades para la variable peso hectolítrico.**

Localidad	Media	Duncan
Tarata	77,2	A
Yuraj Molino	75,4	B

Medias con la misma letra no son significativamente diferentes.

La prueba de promedios Duncan para líneas (Cuadro 34), muestra que la línea 736 tiene diferencias significativas frente a las demás líneas de trigo duro, registrando el promedio más alto de peso hectolítrico con 79,1 kg/hl mientras que el testigo registra el promedio más bajo con 72,3 kg/hl.

**Cuadro 34. Comparación de medias de Duncan de líneas para la variable peso hectolítrico.**

Línea	Media	Duncan
736	79,1	A
737	77,7	A B
720	77,5	A B
714	77,3	A B
741	77,0	A B C
725	77,0	A B C
742	77,0	A B C
721	76,5	B C
735	76,3	B C D
726	76,2	B C D
734	76,2	B C D
744	76,0	B C D
738	74,7	C D
719	74,0	D E
Testigo	72,2	E

Medias con la misma letra no son significativamente diferentes.

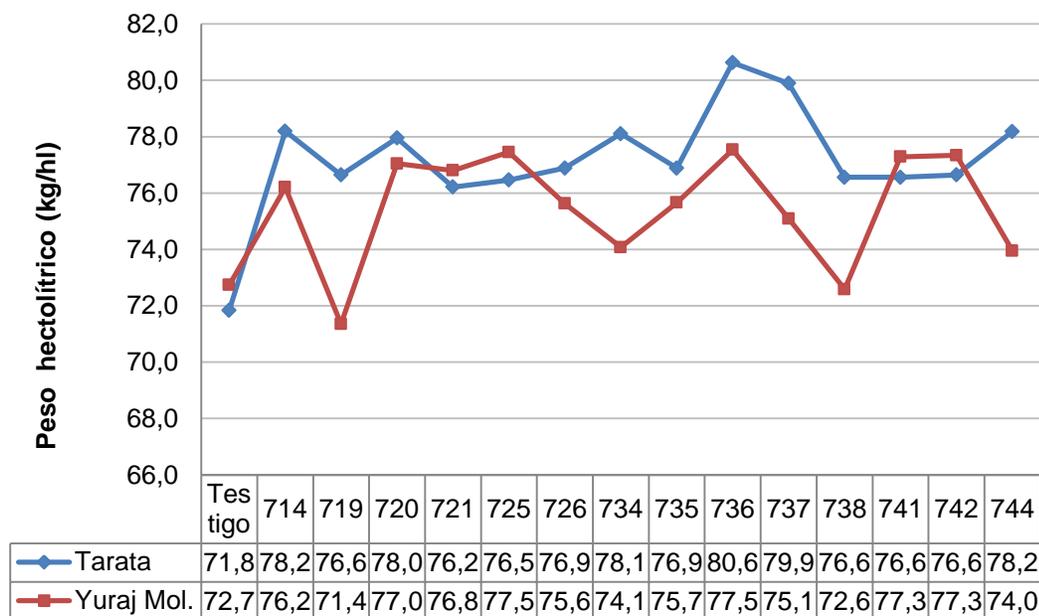
Como se puede apreciar en los resultados de análisis de varianza la interacción localidad por línea muestra diferencias altamente significativas, para ver estas variaciones se realizó el análisis de efectos simples, donde se observa que para el factor localidad con línea existe diferencias altamente significativas en las dos localidades Tarata y Yuraj Molino, para el factor línea con localidad existen diferencias altamente significativas en las líneas 719, 734, 737, 738 y 744 debido al efecto del factor localidad (Cuadro 35).

**Cuadro 35. Cuadros medios correspondientes al análisis de varianza de efectos simples para peso hectolítrico.**

Fuente de variación	G.L.	CM
Tarata (Líneas)	14	12,41**
Yuraj Mol. (Líneas)	14	12,72**
Testigo (Localidad)	1	1,50 <sup>ns</sup>
714 (Localidad)	1	6,00 <sup>ns</sup>
719 (Localidad)	1	42,67**
720 (Localidad)	1	1,50 <sup>ns</sup>
721 (Localidad)	1	0,17 <sup>ns</sup>
725 (Localidad)	1	2,67 <sup>ns</sup>
726 (Localidad)	1	1,50 <sup>ns</sup>
734 (Localidad)	1	28,17**
735 (Localidad)	1	2,67 <sup>ns</sup>
736 (Localidad)	1	13,50*
737 (Localidad)	1	32,67**
738 (Localidad)	1	24,00**
741 (Localidad)	1	0,67 <sup>ns</sup>
742 (Localidad)	1	0,67 <sup>ns</sup>
744 (Localidad)	1	32,67**
ERROR	60	3,21

\*\* Altamente significativo al 1%, \* Significativo al 5% y ns = no significativo

La Figura 22, muestra el comportamiento del peso hectolítrico por localidad, se puede observar que en la localidad de Tarata las líneas 736 y 737 fueron superiores con 80,6 y 79,9 kg/hl respectivamente. Así mismo, en la localidad de Yuraj Molino el peso hectolítrico más alto fue para las líneas 736 y 725 con 77,5 kg/hl.



**Figura 22. Interacción (localidad\*línea) y comportamiento por localidad del peso hectolítrico en 14 líneas élite de trigo duro y un testigo.**

En el presente estudio se observa que el testigo presentó un peso hectolítrico bajo con 72,3 kg/hl mientras las demás líneas de trigo duro muestran valores más altos que oscilan de 74 a 79,1 kg/hl en promedio de ambas localidades, estos resultados son iguales a los reportados por Torres (2012), en el estudio evaluación agronómica de líneas mejoradas de trigo duro (*Triticum durum*) en dos localidades del departamento de Cochabamba donde indica que el peso hectolítrico de la variedad mexicana es de 77,8 kg/hl mientras que las demás líneas tienen valores que oscilan entre 72 a 79 kg/hl, Quiroga (2000) indica que la variedad de trigo duro san martin tiene un peso hectolítrico de 76 kg/hl.

El peso hectolitro es la cantidad de grano que ingresa en un volumen determinado, que corresponde a un hectolitro o 100 litros. Los valores altos (>80 kg/hl) indican la presencia de granos robustos sin daño por enfermedad o estrés ambiental (Sissons, 2004 citado por Mora, 2012).

El peso hectolítrico es una medida de calidad de los trigos, un trigo es de mejor calidad cuando mayor es su peso específico o el peso hectolítrico, su valor oscila entre 73 y 84 kg/hl, aunque generalmente se encuentra entre 76 y 80 kg/hl (Guerrero, 1987 citado por Quiroga, 2000). En casos muy excepcionales la variedades muy productivas en condiciones óptimas, alcanzan los 80 kg/hl, por lo general un trigo será de mayor calidad si su peso hectolítrico o peso específico es mayor.



**Figura 23. Evaluación del peso hectolítrico.**

#### 4.4.1.9. Rendimiento en grano (RDTO)

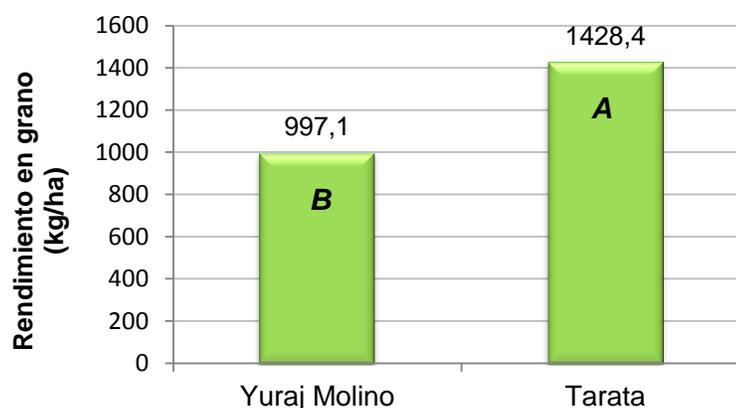
El análisis de varianza para el rendimiento en grano (RDTO) muestra un coeficiente de variación de 16,81% este valor indica la confiabilidad de los datos obtenidos, existe diferencia altamente significativas para las localidades, no existen diferencias significativas para las líneas, se puede observar que existe diferencia altamente significativa en la interacción de localidad por línea (Cuadro 36).

**Cuadro 36. Cuadros medios correspondientes al análisis de varianza para rendimiento.**

Fuente de variación	G.L.	CM
Localidad	1	4184796,10**
Línea	14	180117,06 <sup>ns</sup>
Localidad*Línea	14	121975,69**
Error	60	41578,12
Total	89	
CV	5,55%	16,81%
R <sup>2</sup>	0,89	0,77

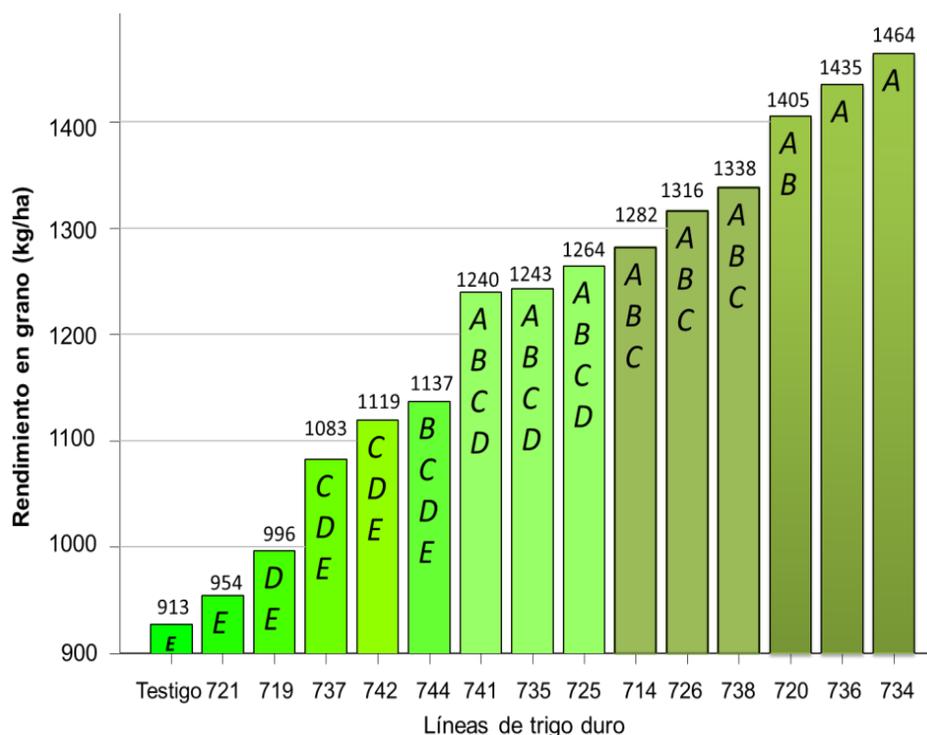
\*\* Altamente significativo al 1% y ns = no significativo  
 CV = Coeficiente de variación  
 R<sup>2</sup> = R-cuadrado

La prueba de promedios de Duncan para localidades muestra que existen diferencias significativas entre localidades, Tarata registro un rendimiento promedio de 1428,4 kg/ha superior al rendimiento registrado en la localidad de Yuraj Molino que fue de 997,1 kg/ha (Figura 24).



**Figura 24. Prueba de promedios de Duncan de localidades para rendimiento.**  
 Medias con la misma letra no son significativamente diferentes.

La prueba de promedios de Duncan para líneas, evaluadas en las localidades de Yuraj Molino y Tarata muestra que entre las línea 734 y 136 no existe diferencias significativas, pero en relación a las otras líneas de trigo duro si existe diferencias significativas, las demás líneas de trigo duro muestran diferencias significativas entre sí aunque estadísticamente similares, se puede observar que las líneas 734, 736 y 720 registraron los promedios más alto de rendimiento con 1464 1435 y 1405 kg/ha respectivamente, mientras que las líneas 719, 721 y el testigo registraron los promedios más bajos con 996, 954 y 913 kg/ha respectivamente (Figura 25).



**Figura 25. Prueba de promedios de Duncan de líneas para rendimiento.**

Medias con la misma letra no son significativamente diferentes.

Según los resultados del análisis de varianza para rendimiento se puede observar que existen diferencias altamente significativas para la interacción localidad por línea, para ver estas variaciones se realizó el análisis de efectos simples, donde indica que para el factor localidad con líneas existe diferencias altamente significativas en la localidad de Tarata y no existe diferencias significativas en la localidad de Yuraj Molino, así mismo para el factor líneas con localidad expone la existencia de diferencias altamente significativas en el testigo y las líneas 714, 720, 726, 734, 736, 737 y 738, la línea 744 muestra diferencias significativas debido al efecto de las localidades en las líneas (Cuadro 37), estas

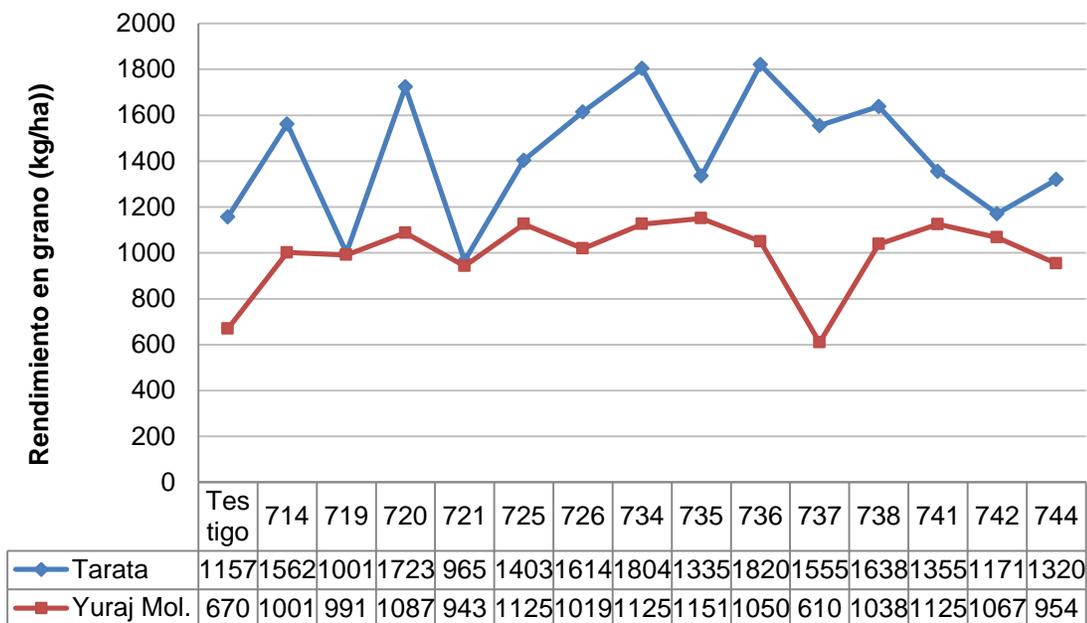
diferencias indican que las líneas se comportaron de manera diferentes dentro de cada localidad en cuanto al rendimiento en grano.

**Cuadro 37. Cuadrados medios correspondientes al análisis de varianza de efectos simples para rendimiento.**

Fuente de variación	G.L.	CM
Tarata (Líneas)	14	226558**
Yuraj Mol. (Líneas)	14	75535 <sup>ns</sup>
Testigo (Localidad)	1	355753**
714 (Localidad)	1	471521**
719 (Localidad)	1	140,17 <sup>ns</sup>
720 (Localidad)	1	606744**
721 (Localidad)	1	770,67 <sup>ns</sup>
725 (Localidad)	1	115926 <sup>ns</sup>
726 (Localidad)	1	532228**
734 (Localidad)	1	690204**
735 (Localidad)	1	50968 <sup>ns</sup>
736 (Localidad)	1	890120**
737 (Localidad)	1	1340483**
738 (Localidad)	1	540000**
741 (Localidad)	1	79811 <sup>ns</sup>
742 (Localidad)	1	16120 <sup>ns</sup>
744 (Localidad)	1	201667*
ERROR	60	41578,12

\*\* Altamente significativo al 1%, \* Significativo al 5% y ns = no significativo

La Figura 26, muestra el comportamiento del rendimiento en grano por localidad, se puede observar que en la localidad de Tarata las líneas 736, 734 y 720 registraron los mejores rendimientos con 1820, 1804 y 1723 kg/ha respectivamente mientras que los rendimientos más bajos registran las líneas 719 y 721 con 1001 y 965 kg/ha respectivamente, en la localidad de Yuraj Molino el rendimiento más alto registra la línea 735 con 1151 kg/ha, seguido de la línea 734 con un rendimiento de 1125 kg/ha, mientras el rendimiento más bajo registrado es para la línea 737 y el testigo con 610 y 670 kg/ha respectivamente. Se puede indicar que el rendimiento fue superior en la localidad de Tarata, debido a la disponibilidad de agua.



**Figura 26. Interacción (localidad\*línea) y comportamiento por localidad del rendimiento de 14 líneas elite de trigo duro y un testigo.**

Analizando los rendimientos de trigo duro en función a las líneas se puede observar que superaron al testigo, así mismo se observa que existe una superioridad de las líneas elite de trigo duro utilizadas en la investigación respecto al promedio registrado en zonas tradicionales productoras de trigo que oscila entre 0,7 a 1,0 t/ha, reportado por el (INIAF, 2015)

Torres (2012), es el estudio evaluación agronómica de líneas mejoradas de trigo duro (*Triticum durum*) en dos localidades del departamento de Cochabamba indica que el rendimiento de la variedad mexicano es de 101,5 kg/ha. Según Torrico (2010), la variedad de trigo duro mexicano tiene un rendimiento promedio de 600 a 1000 kg/ha en zonas productoras tradicionales, el presente estudio muestra que el testigo mexicano tiene un rendimiento promedio de 913 kg/ha, sin embargo las líneas de trigo duro superan al testigo con rendimientos desde 954 kg/ha a 1464 kg/ha, esta superioridad sobre el testigo puede deberse a que las líneas de trigo duro tuvieron mayor capacidad de aprovechamiento de los factores de crecimiento y una mejor utilización de las reservas existentes en el suelo.



**Figura 27. Evaluación del rendimiento en grano**

#### **4.4.2. Análisis de correlación**

##### **4.4.2.1. Análisis de correlación de variables agromorfológicas**

La correlación más alta según el Cuadro 38, son para las variables altura de planta (AP) y longitud de espiga (LE) con un valor de  $r=0,77^{**}$  al 1 % de nivel de significancia, esta correlación indica que existe una correlación positiva fuerte entre las variables altura de planta y longitud de espiga; es decir que a mayor altura de planta mayor será la longitud de espiga.

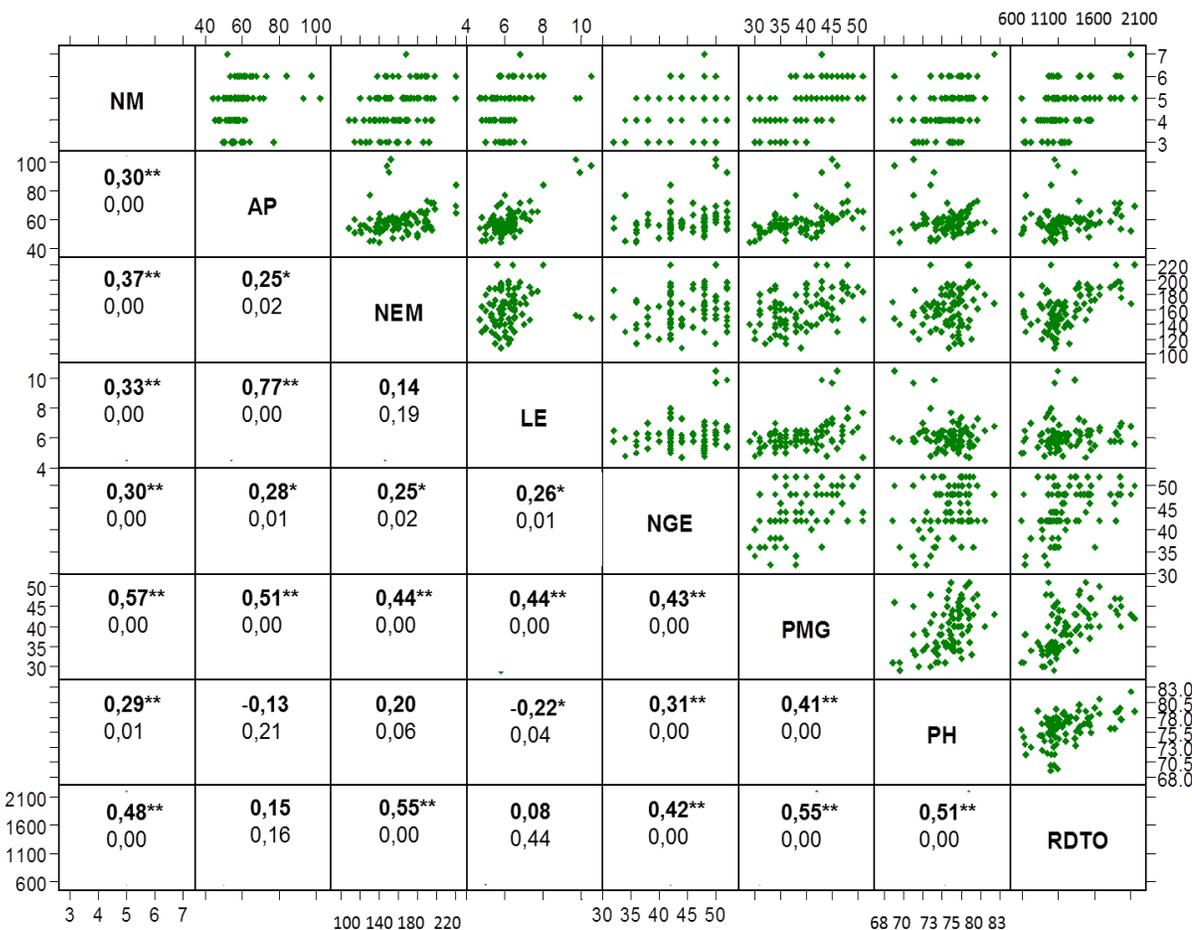
Las variables peso de mil granos (PMG) y número de macollos (NM) presentaron una correlación positiva moderada de  $r=0,57^{**}$ , esta correlación indica que el peso de mil granos incrementa cuando existe mayor número de macollos, el peso de mil granos también presenta una correlación positiva moderada de  $r=0,51^{**}$  con la altura de planta.

La variable peso hectolítrico (PH) mostró una correlación positiva débil con las variables NM ( $r=0,23^{**}$ ), NGE ( $r=0,31^{**}$ ) y PMG ( $r=0,41^{**}$ ), estas correlaciones indican que a mayor número de macollos, número de granos por espiga y peso de mil granos mayor será el peso hectolítrico.

La otra correlación de mayor relevancia fue para las variables rendimiento en grano (RDTO) y número de espigas por metro (NEM) con un valor de  $r=0,55^{**}$  que muestra una correlación positiva moderada, esta asociación sugiere que existe un incremento del rendimiento cuando número de espigas por metro cuadrado es mayor. Sin embargo el rendimiento (RDTO) también presenta una correlación positiva moderada con las

variables NM, NEM, NGE, PMG y PH con ( $r=0,48^{**}$ ), ( $r=0,55^{**}$ ), ( $r=0,42^{**}$ ), ( $r=0,55^{**}$ ) y ( $r=0,51^{**}$ ) respectivamente, estas asociaciones nos muestran que hay un incremento en el rendimiento cuando el número de macollos, número de espigas por metro cuadrado, número de granos por espiga, peso de mil granos y peso hectolítrico son mayores.

**Cuadro 38. Matriz de correlación de variables cuantitativas evaluadas en 14 líneas elite de trigo duro y un testigo las localidades de Yuraj Molino y Tarata del departamento de Cochabamba.**



\* La correlación es significativa en el nivel 0,05 (2 colas).

\*\*La correlación es significativa en el nivel 0,01 (2 colas).

Negrilla = Correlación

Normal = Significancia

NM; número de macollos por planta, AP; altura de planta, NEM; número de espigas por metro cuadrado, LE; longitud de espiga, NGE; número de granos por espiga, PMG; peso de mil granos, PH; peso hectolítrico y RDTO; rendimiento en grano.

En el presente estudio se observa que existe una correlación positiva entre las variables peso hectolítrico (PH) y peso de mil granos (PMG) de  $r=0,41^{**}$ , este resultado es igual a lo que menciona (Sissons, 2004 citado por Mora 2012), que indica que el peso hectolítrico

está asociado con la cantidad de sémola que puede producirse a partir de grano y que otro parámetro asociado al peso hectolitro es el peso de mil granos.

Según Rubianes (2007), el rendimiento también está correlacionado significativamente con el peso de 1000 granos y con el peso hectolítrico. En el presente estudio se observa que existe una correlación positiva entre el RDTO y las variables PMG ( $r=0,55^{**}$ ) y PH ( $r=0,51^{**}$ ). Se puede mencionar que los resultados encontrados en la investigación se encuentran dentro de las correlaciones que mencionan los anteriores autores.

#### **4.4.2.2. Análisis de correlación de variables de calidad**

El Cuadro 39, muestra el análisis de correlación de variables de calidad, se observa que las variables fuerza de gluten (FGL) y gluten (GL) presentan una correlación positiva perfecta de  $r=0,99^{**}$ , esta asociación indica que a mayor cantidad de gluten mayor será la fuerza de gluten. La variable fuerza de gluten (FGL) también presenta una correlación negativa fuerte de  $r=-0,68^{**}$  con la variable almidón (AL), esto indica que a mayor cantidad de almidón en el grano de trigo menor será la fuerza de gluten.

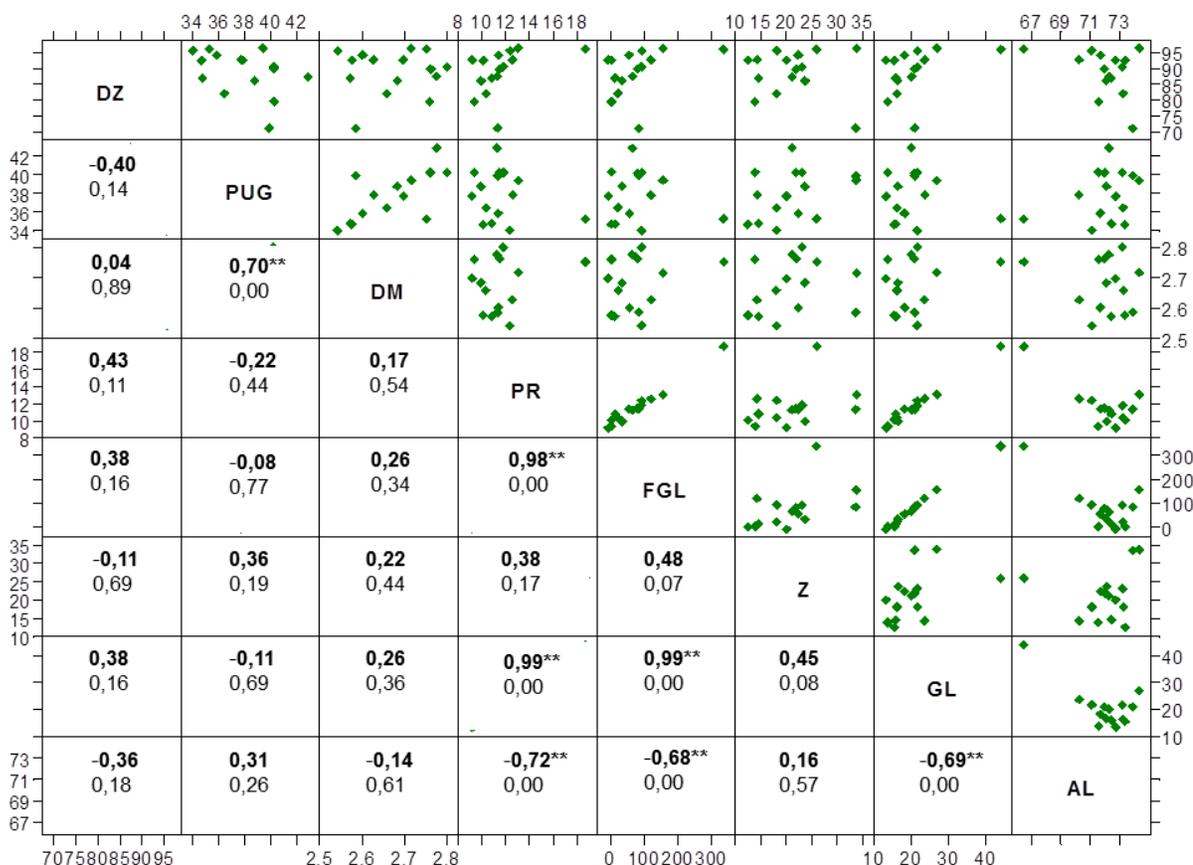
La variable proteína (PR) presenta una correlación positiva perfecta con las variables FGL ( $r=0,98^{**}$ ) y GL ( $r=0,99^{**}$ ), estas correlaciones indican que la proteína está estrechamente correlacionada con las variables fuerza de gluten y gluten, es decir que mientras el grano de trigo tenga mayor presencia de gluten mayor será la fuerza de gluten y por tanto también incrementara la proteína.

Sin embargo también se puede observar que la proteína (PR) presenta una correlación negativa fuerte de  $r=-0,72^{**}$  con la variable almidón (AL), esto indica que a mayor presencia de almidón en el grano menor será la proteína.

Otra correlación de importancia fue para las variables peso de un grano (PUG) y diámetro de grano (DM) que presento una correlación positiva fuerte de  $r=0,70^{**}$ , esta asociación indica que a mayor dureza de grano mayor será el peso de un grano.

Así mismo se puede observar que las variables almidón (AL) y gluten (GL) presentan una correlación negativa fuerte de  $r=-0,69^{**}$ , este valor sugiere que al existir mayor cantidad de almidón en el grano habrá una disminución en la cantidad de gluten.

**Cuadro 39. Matriz de correlación de variables de calidad evaluadas en 14 líneas elite de trigo duro y un testigo durante la campaña agrícola 2014.**



\*\*La correlación es significativa en el nivel 0,01 (2 colas).

Negrilla = Correlación

Normal = Significancia

DZ; dureza de grano, PUG; peso de un grano, DM; diámetro de grano, PR; proteína, FGL; fuerza de gluten, Z; calidad de pasta, GL; gluten y AL; almidón.

En la investigación los resultados muestran que las variables proteína (PR) presenta una correlación positiva perfecta con las variables FGL ( $r=0,98^{**}$ ) y GL ( $r=0,99^{**}$ ), estas correlaciones son iguales a las correlaciones que menciona Echenique (2007), indicando que la calidad del gluten o fuerza de gluten está asociada con el contenido e índice de gluten, el porcentaje de gluten de una sémola está relacionado con el contenido de proteínas del grano.

En el presente estudio se puede apreciar que la proteína y el almidón muestran una correlación negativa de ( $r=-0,72^{**}$ ), este resultado también es igual a la asociación que menciona Echenique (2007), donde indica que los trigos duros de buena calidad poseen

sémola con alta proteína y baja cantidad de partículas de almidón que al hidratarse de forma pareja durante el mezclado, produce fideos fuertes y elásticos.

Según Andrade (2006), la fuerza de gluten viene determinada por la cantidad de gluten a mayor gluten mayor fuerza de gluten, en este estudio se pudo evidenciar esta relación, pues la correlación entre las variables gluten (GL) y fuerza de gluten (FGL) fue de  $r=0,99^{**}$ .

Para establecer la calidad de la pasta se ha de tener en consideración características como contenido proteico, fuerza (calidad del gluten), viscosidad, firmeza, color y calidad culinaria, varios estudios han demostrado que existe una correlación entre la calidad de cocción superior (caracterizada por una alta firmeza, bajos niveles de compresibilidad y elevada elasticidad de la pasta cocida) y el aumento en el contenido proteínico del grano, se atribuye las diferencias en la calidad de cocción de la pasta al contenido total en proteína de la sémola (Rubianes, 2007).

#### **4.5. Análisis estadístico multivariado**

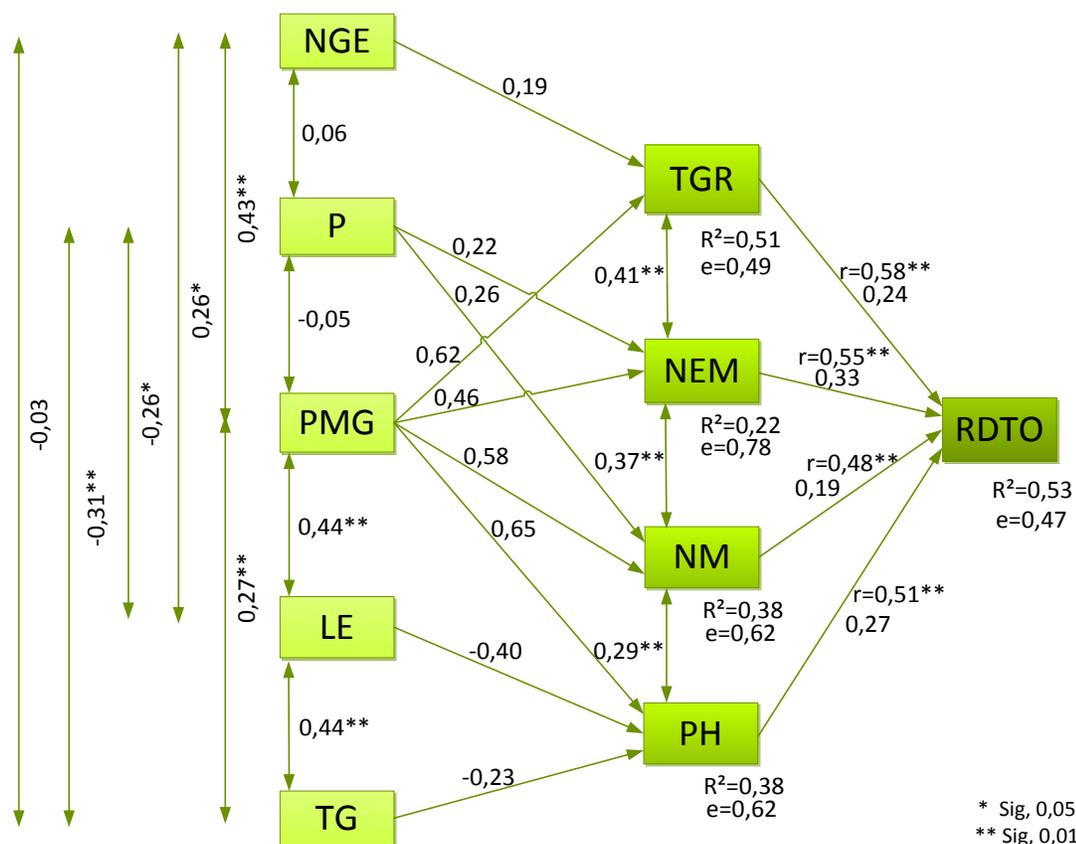
##### **4.5.1. Análisis de coeficientes de sendero**

Los resultados de coeficientes de sendero corresponden al estudio de análisis de componentes de rendimiento y calidad evaluado en 14 líneas de trigo duro y un testigo en las localidades de Yuraj Molino y Tarata del departamento de Cochabamba.

###### **4.5.1.1. Coeficientes de sendero para rendimiento**

La Figura 28, muestra el análisis de coeficientes de sendero para rendimiento en el estudio de componentes de rendimiento y calidad en 14 líneas élites de trigo duro y un testigo evaluadas en las localidades de Yuraj Molino y Tarata del departamento de Cochabamba. Los componentes secundarios influyeron sobre los componentes principales y, a través de ellos sobre el rendimiento, estableciendo un sistema de causa y efecto. Se observa los efectos directos e indirectos de los caracteres agronómicos respecto al rendimiento en trigo duro, entre las variables de primer orden dentro del sistema se encuentran las variables: tipo de grano (TGR), número de espigas por metro cuadrado (NEM), número de macollos (NM) y peso hectolítrico (PH) con regresiones de 0,24, 0,33, 0,19 y 0,27 respectivamente, las correlaciones de estas variables con el rendimiento fueron altamente significativas con  $r=0,58^{**}$ ,  $r=0,55^{**}$ ,  $r=0,48^{**}$  y  $r=0,51^{**}$

respectivamente, estas variables de primer orden son las que aportan al rendimiento de forma directa con una determinación total del sistema de  $R^2= 0,53$ . La contribución de estos componentes dependió de otras variables como el número de granos por espiga (NGE), precocidad (P), peso de mil granos (PMG), longitud de espiga (LE) y tamaño de grano (TG) estas variables son considerados de segundo orden y contribuyen al rendimiento indirectamente a través de las variables de primer orden.



**Figura 28. Diagrama de senderos para rendimiento evaluados en 14 líneas elite de trigo duro y un testigo en las localidades de Yuraj Molino y Tarata del departamento de Cochabamba durante la campaña agrícola 2013-2014.**

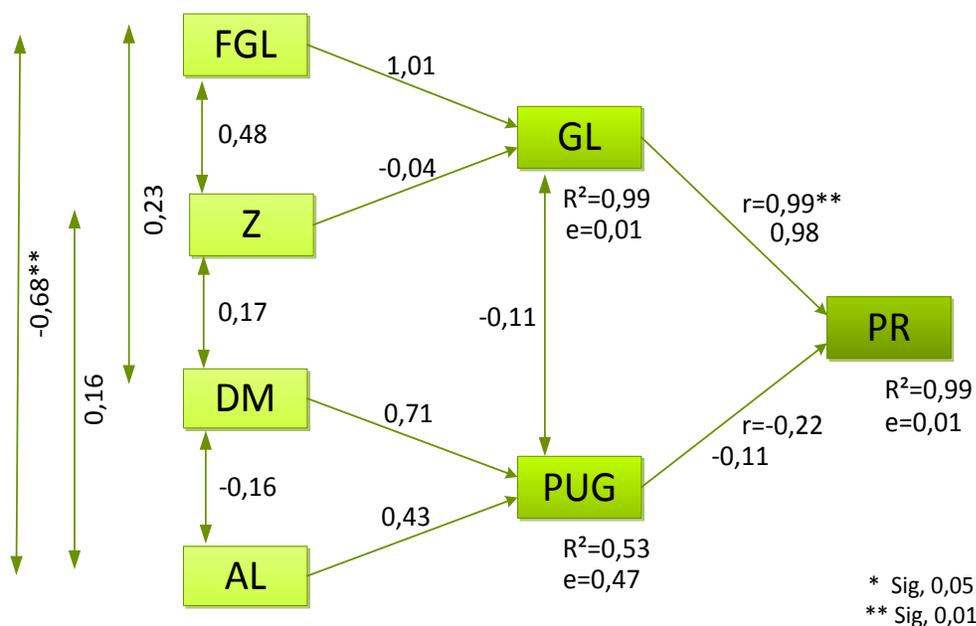
NM; número de macollos por planta, NEM; número de espigas por metro cuadrado, LE; longitud de espiga, NGE; número de granos por espiga, TG; tamaño de grano, TGR; tipo de grano, P; precocidad, PMG; peso de mil granos, PH; peso hectolítrico y RDTO; rendimiento en grano.

Los distintos componentes de rendimiento se establecen secuencialmente a lo largo del desarrollo de la planta, el momento previo a la antesis (número de espigas), en la antesis (número de granos por espiga) o entrada a la antesis y la madurez (tamaño de grano) estas variables se determinan secuencialmente, por lo que pueden interactuar en forma

compensatoria durante el desarrollo del cultivo. El número final de espigas depende de la combinación de dos variables, el número de tallos producidos y la proporción de estos que darán lugar a la espiga, no obstante un elevado número de tallos hijos puede agravar la competencia por los factores nutritivos y por la luz siendo por tanto las condiciones ambientales y la densidad de población las que determinan el porcentaje de tallos que darán lugar a la espiga y a los que morirán sin hacerlo. Por otra parte, un aumento en el número final de espigas por planta generalmente se acompaña de una disminución del número de granos por espiga y en el peso medio de los granos, debido al efecto de compensación durante desarrollo de los componentes de rendimiento, especialmente en condiciones de secano. Se ha encontrado que la retirada de un cierto número de macollos conduce a un aumento en el número de granos en la espiga del tallo principal, debido a la reducción en la competencia por los recursos disponibles permite que se inicien más espiguillas (García del Moral, 2005 citado por Sánchez, 2008).

#### **4.5.1.2. Coeficientes de sendero para calidad**

La Figura 29, muestra el análisis de coeficientes de sendero para calidad en el estudio de componentes de rendimiento y calidad en 14 líneas élite de trigo duro y un testigo (*Triticum durum*), evaluadas en las localidades de Yuraj Molino y Tarata del departamento de Cochabamba, entre las variables de primer orden dentro del sistema se encuentran las variables gluten (GL) y peso de un grano (PUG) con regresiones de 0,98 y -0,11 respectivamente, las correlaciones de estas variables con la proteína (PR) fueron de 0,99\*\* y -0,22 respectivamente, estas variables de primer orden son las que aportan a la proteína de forma directa con una determinación total del sistema 0,99. La contribución de estos componentes en el sistema dependió de otras variables como fuerza de gluten (FGL), calidad de pasta (Z), diámetro de grano (DM) y almidón (AL) estas variables contribuyeron a la calidad indirectamente y son considerados de segundo orden y aportan a la proteína (PR) a través de las variables de primer orden.



**Figura 29. Diagrama de sendero para calidad evaluado en 14 líneas elite de trigo duro y un testigo durante la campaña agrícola 2014.**

PR; proteína, GL; gluten, PUG; peso de un grano, FGL; fuerza de gluten, Z; calidad de pasta, DM; diámetro de grano y AL; almidón.

Andrade, (2006) menciona que la calidad de trigo duro deriva principalmente de dos características correlacionadas: dureza de grano y contenido proteínico. La dureza de grano y contenido proteínico son rasgos hereditarios que pueden ser afectadas fuertemente por condiciones ambientales anormales tales como la precipitación excesiva durante el periodo de cosecha, humedad y disponibilidad de nitrógeno del suelo durante la estación de crecimiento.

Otro factor que influye en la calidad es también la fuerza de unión entre las proteínas y el almidón, puede ser estimado, en cierta medida, por el porcentaje de dureza, de manera que a mayor dureza del endospermo, menor tendencia tendrá durante la molienda a reducirse a harina, que en términos semoleros es un subproducto, mientras que un grano poco duro tenderá a desagregarse en productos muy finos, en detrimento del rendimiento en sémolas (Rubianes, 2007).

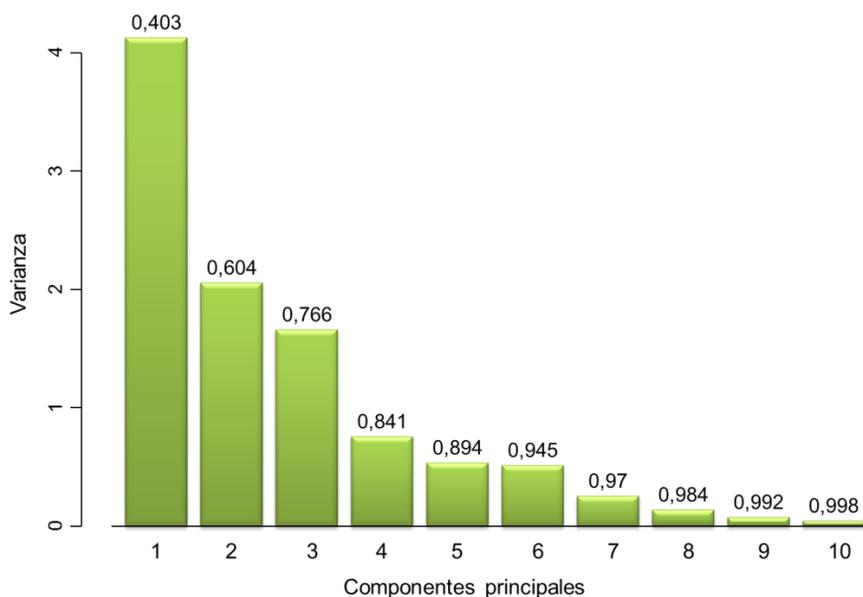
## 4.5.2. Análisis de componentes principales

### 4.5.2.1. Análisis de componentes principales de variables agromorfológicas

El análisis de componentes principales permite la transformación lineal de un conjunto de variables independientes expresando los resultados en valores y vectores propios.

Los resultados obtenidos en el estudio, se interpretaron en función al valor propio de la varianza de cada eje de diez componentes principales (Figura 30). De acuerdo al criterio de Cliff (1987); citado por Franco e Hidalgo (2003) que indicó que se deben considerar como aceptables los componentes cuyos valores propios expliquen un 70% o más de la varianza total, de acuerdo a ese criterio en este trabajo se consideró a tres de los componentes principales; el primero con 40,3 % el segundo componente principal aportó con el 20,1 % y el tercero con 16,2 % de la varianza, la sumatoria de los tres componentes representa el 76,6 % de la varianza total acumulada.

En la Figura 30, también se muestran los valores comunes, confirmando que más allá de tres componentes (del componente 4 al 10), la tasa de ganancia de información asociada a la inclusión de un componente adicional se reduce significativamente, donde cada variable ha contribuido diferencialmente a la formación de cada uno de los componentes principales.



**Figura 30. Gráfico de sedimentación varianza explicada por cada componente principal de 14 líneas elite de trigo duro y un testigo.**

El Cuadro 40, muestra las cargas de los cuatro componentes principales; el primero aportando con el 40,3 % de la varianza total, donde las variables sobresalientes fueron: altura de planta, longitud de espiga y tamaño de grano estas variables contribuyeron de forma negativa, a ello se suman las variables precocidad, peso hectolítrico y rendimiento que contribuyeron de forma positiva. Por tanto, se puede afirmar que este primer componente distingue a las líneas con buen rendimiento; por lo que se puede denominar a este como el factor de productividad.

El segundo componente principal contribuye con el 20,1% de la varianza, donde las variables con los coeficientes más altos fueron: tipo de grano, número de espiga por metro cuadrado, peso de mil granos y peso hectolítrico estas variables contribuyeron de forma positiva, la variable número de macollos apporto de forma negativa.

**Cuadro 40. Resumen de cargas para los cuatro primeros componentes de las variables comprendidas en el estudio de 14 líneas elite de trigo duro y un testigo.**

Variables	Componentes principales			
	1	2	3	4
Número de macollos	0,119	-0,440	0,424	0,275
Precocidad	0,381	-0,307	0,214	0,109
Altura de planta	-0,428	0,179	0,182	0,001
Número es espiga por m <sup>2</sup>	0,105	0,001	0,536	-0,502
Longitud de espiga	-0,434	0,001	0,158	0,001
Número de granos por espiga	0,171	0,361	0,272	0,502
Tipo de grano	0,223	0,495	-0,280	0,001
Tamaño de grano	-0,376	0,164	0,001	0,213
Peso de mil granos	-0,151	0,340	0,476	-0,223
Peso hectolítrico	0,356	0,300	0,001	-0,373
Rendimiento en grano	0,297	0,262	0,217	0,397
Importancia de componentes				
Desviación estándar	2,034	1,436	1,291	0,874
Varianza explicada (%)	40,3	20,1	16,2	7,5
Varianza total acumulada (%)	40,3	60,4	76,6	84,1

Con la finalidad de mostrar de forma conjunta la distribución de las variables, recurrimos a la construcción y representación gráfica de los mismos en un plano bidimensional para los dos primeros componentes principales, de manera que se puedan observar las proyecciones de las variables.

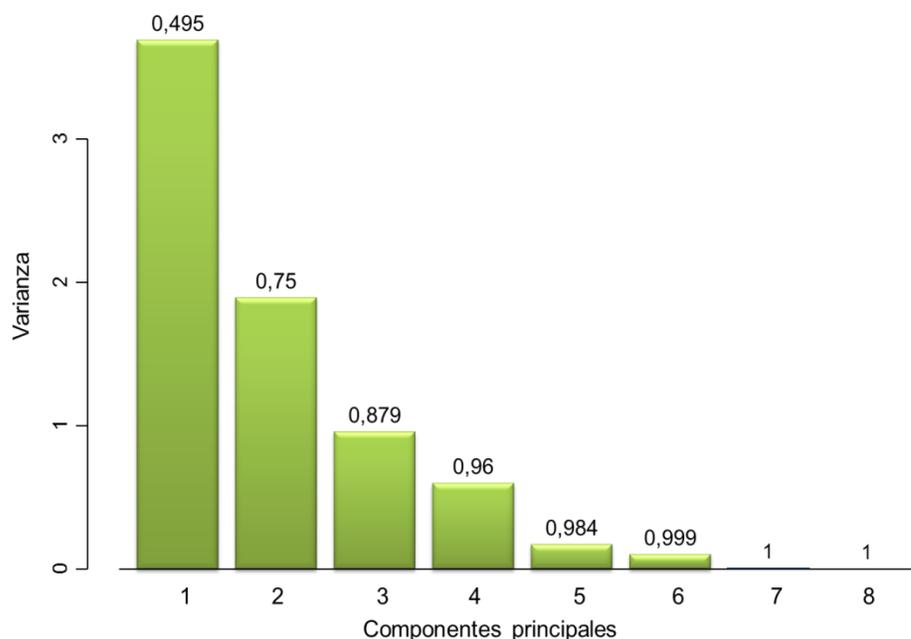
En el análisis Biplot se aprecia cierta tendencia entre las variables, es decir existe correlación entre caracteres que permiten diferenciar variables a nivel de grupos, las



#### 4.5.2.2. Análisis de componentes principales de variables de calidad

Los resultados obtenidos en el estudio, se interpretaron en función al valor propio de la varianza de cada eje de ocho componentes principales (Figura 32). De acuerdo al criterio de Cliff (1987); citado por Franco e Hidalgo (2003) indica que se deben considerar como aceptables los componentes cuyos valores propios expliquen un 70% o más de la varianza total, de acuerdo a ese criterio en este trabajo se consideró a dos de los componentes principales; el primero con 49,5 % el segundo componente principal aportó con el 29,1 % de la varianza, la sumatoria de los dos componentes representa el 75 % de la varianza total acumulada.

En la Figura 32, también se muestran los valores comunes, confirmando que más allá de dos componentes (del componente 3 al 8), la tasa de ganancia de información asociada a la inclusión de un componente adicional se reduce significativamente, donde cada variable ha contribuido diferencialmente a la formación de cada uno de los componentes principales.



**Figura 32. Gráfico de sedimentación varianza explicada por cada componente principal de 14 líneas elite de trigo duro y un testigo.**

El Cuadro 41, muestra las cargas de los cuatro componentes principales; el primero aportando con el 49,5 % de la varianza total, donde las variables sobresalientes fueron: proteína, gluten y fuerza de gluten estas variables contribuyeron de forma negativa, a ello

se suma la variable almidón que apporto de forma positiva. El primer componente principal está determinado por variables de calidad química.

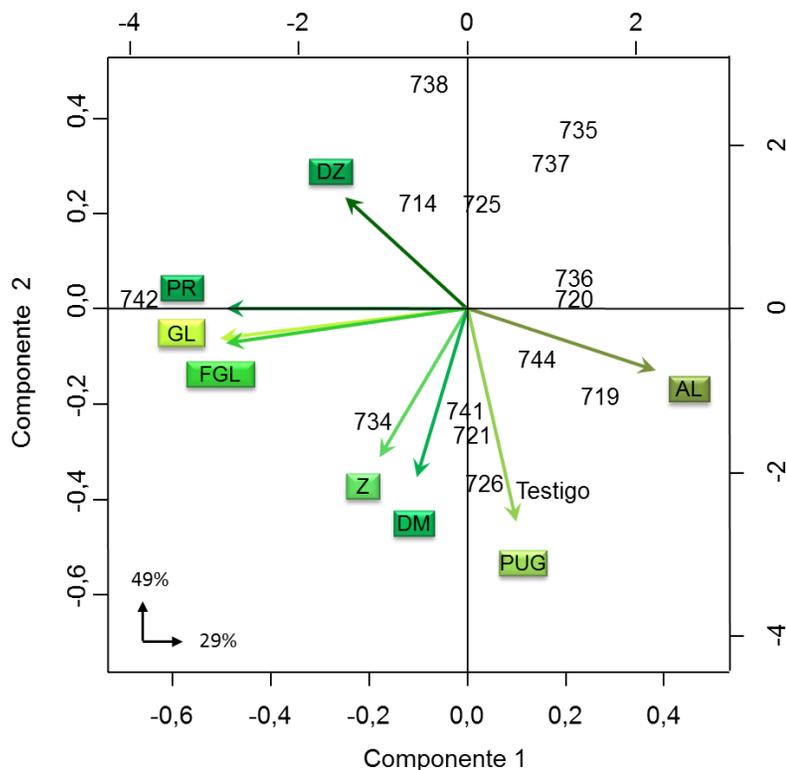
El segundo componente principal contribuye con el 29,1% de la varianza, donde las variables con los coeficientes más altos fueron: peso de un grano y diámetro de grano estas variables contribuyeron de forma negativa. El segundo componente principal está determinado por las variables de calidad física.

**Cuadro 41. Resumen de cargas para los cuatro primeros componentes de las variables comprendidas en el estudio de 14 líneas elite de trigo duro y un testigo.**

Variable	Componentes principales			
	1	2	3	4
Dureza de grano	-0,252	0,331	-0,122	-0,880
Peso de un grano	0,001	-0,631	-0,186	-0,143
Diámetro de grano	-0,104	-0,500	-0,591	-0,163
Proteína	-0,496	0,001	0,001	0,001
Fuerza de gluten	-0,493	0,001	0,001	0,001
Calidad de pasta	-0,181	-0,440	0,639	-0,138
Gluten	-0,494	0,001	0,001	0,001
Almidón	0,387	-0,183	0,416	-0,380
Importancia de componentes				
Desviación estándar	1,923	1,378	0,983	0,778
Varianza explicada (%)	49,5	29,1	12,9	8,1
Varianza total acumulada (%)	49,5	75	87,9	96

La Figura 33, muestra el Biplot para variables de calidad donde se observa a los vectores que representan a las variables proteína (PR), gluten (GL) y fuerza de gluten (FGL) se encuentran alejados del origen y forman ángulos agudos menores a 90° este grupo de variables se encuentra mejor representada en el componente 1 de manera inversa se encuentra la variable almidón (AL) también se encuentra dentro del componente 1, dentro de este grupo de encuentra la línea 472.

Las variables peso de un grano (PUG), diámetro de grano (DM) y calidad de pasta (Z) forman un segundo grupo y se encuentran mejor representadas en el componente 2, dentro de este grupo se encuentran las líneas 734, 741, 721, 726 y el testigo.



**Figura 33. Biplot de variables de calidad para componentes principales evaluado en 14 líneas elite de trigo duro y un testigo.**

PR; proteína, GL; gluten, PUG; peso de un grano, FGL; fuerza de gluten, Z; calidad de pasta, DM; diámetro de grano, AL; almidón y DZ; dureza de grano.

Al respecto Quispe (2010), en el estudio de habilidad de adaptación y producción de trigo, menciona las variables: altura de planta, peso de mil granos, longitud de espiga, rendimiento en grano, peso hectolítrico y número de granos por espiga como componentes principales. Estos componentes del rendimiento pueden ser afectados por factores ambientales, en este estudio se pudo evidenciar que un primer componente principal está conformado por las variables agromorfológicas, altura de planta, longitud de espiga y tamaño de grano aportando de forma negativa al componente 1, a ello se suman las variables precocidad, peso hectolítrico y rendimiento que contribuyeron de forma positiva.

## 5. CONCLUSIONES

Según los objetivos planteados y de acuerdo a los resultados obtenidos en el presente trabajo de investigación se llegó a las siguientes conclusiones:

- Según el análisis de coeficientes de sendero para componentes de rendimiento, las variables que aportan de forma directa al rendimiento son: tipo de grano, número de espigas por metro cuadrado, número de macollos y peso hectolítrico estas son las variables de primer orden, las variables que contribuyen al rendimiento indirectamente a través de las variables de primer orden son: número de granos por espiga, precocidad, peso de mil granos, longitud de espiga y tamaño de grano estas variables son de segundo orden.
- Según el análisis de coeficientes de sendero para componentes de calidad, las variables que aportan directamente a la proteína son: gluten y peso de un grano estas variables son consideradas de primer orden, y a través de ellas las variables que contribuyen a la calidad indirectamente son: fuerza de gluten, calidad de pasta, diámetro de grano y almidón estas variables son consideradas de segundo orden.
- El análisis de componentes principales muestra a las características agronómicas: rendimiento y peso hectolítrico correlacionadas representadas en el componente 1, dentro de esta agrupación de variables se encuentran las líneas 736, 725 y 735 con rendimientos de 1435, 1264 y 1243 kg/ha respectivamente estas son las líneas de porte pequeño, dentro del componente 1 también se encuentran las variables tamaño de grano, longitud de espiga y altura de planta correlacionadas dentro de este grupo de variables se encuentra el testigo con un rendimiento de 913 kg/ha y es una planta de porte alto.
- El análisis de componentes principales para calidad también muestra que las variables de calidad proteína, gluten y fuerza de gluten se encuentran agrupadas y dentro de este grupo sobresale la línea 742, es decir que en esta línea se encuentra la presencia de estos tres caracteres.

- El análisis de varianza y prueba de promedios de Duncan, muestran que existe diferencias estadísticas altamente significativas entre localidades y entre líneas, en el rendimiento en grano de las líneas elite de trigo duro estudiadas. Las líneas que presentan mayor rendimiento en promedio de ambas localidades son: 734, 736 y 720 con rendimientos de 1464, 1435 y 1405 kg/ha respectivamente, mientras que las líneas 719, 721 y el testigo registraron los promedios más bajos con 996, 954 y 913 kg/ha respectivamente.
- El rendimiento en grano fue superior en la localidad de Tarata, las líneas 736, 734 y 720 registraron los mejores rendimientos con 1820, 1804 y 1723 kg·ha<sup>-1</sup> respectivamente mientras que los rendimientos más bajos registran las líneas 719 y 721 con 1001 y 965 kg/ha respectivamente.
- En la localidad de Yuraj Molino el rendimiento más alto registra la línea 735 con 1151 kg/ha, los rendimientos más bajo fueron para la línea 737 y el testigo con 610 y 670 kg/ha respectivamente. La línea 734 con un rendimiento de 1125 kg/ha se encuentra entre los rendimientos más elevados en esta localidad, coincidentemente esta línea también muestra un rendimiento elevado en la localidad de Tarata.

## 6. RECOMENDACIONES

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

- Se recomienda continuar con los estudios de investigación en las posteriores campañas agrícolas con la posibilidad de incrementar el número de localidades en estudio de forma que se pueda apreciar mejor el comportamiento de las líneas elite, a fin de consolidar los resultados obtenidos.
- Los resultados obtenidos en este trabajo demostraron la inconveniencia de usar solo correlaciones simples para estudiar el grado de asociación e interacción entre los caracteres componentes del rendimiento y calidad en trigo duro, por ello se recomienda utilizar el método de coeficientes de sendero porque permite conocer la contribución real de un grupo de variables independientes sobre la variable dependiente por medio de sus efectos directos e indirectos.
- Las líneas 734, 736, 720, 738 y 726 sobresalen en cuanto a rendimiento se refiere por lo que se debe dar énfasis el manejo y manipulación de este material genético, ya que los mismos aún pueden ser objeto de estudio hasta la liberación de una nueva variedad de trigo duro.
- En cuanto a calidad destaca la línea 742 por el alto contenido de proteína, gluten y fuerza de gluten por lo que se recomienda incluir a esta línea en posteriores estudios.

## 7. BIBLIOGRAFÍA

- Andrade, M. 2006. Evaluación de calidad de harinas de trigo comerciales y nativas. Tesis Mag. Sc. Sonora. México. 120 p.
- Angulo, A. 1993. Efecto de épocas de siembra y condiciones climáticas en el desarrollo de la roya de la hoja del trigo. Tesis Lic. Ing. Agr. Santa Cruz, Bolivia. 83 p.
- AMDECO (Asociación de Municipios de Cochabamba, BO). 2015. Municipio de Pocona zona Cono Sur (en línea). 8 p. Consultado 16 feb. 2015. Disponible en <http://amdeco.org.bo/internas/municipios.html>
- Arizpe, R. 2007. Determinación del potencial de rendimiento de líneas y variedades de trigo (*Triticum* ssp) bajo condiciones de la Estación Experimental Agrícola Saavedra (EEAS) invierno 2005. Tesis Ing. Agr. Cochabamba, Bolivia. UMSS. 81 p.
- Arteaga, S. M. 1990. Aplicación de niveles recientes de N y P en dos variedades de trigo en la Tamborada. Tesis ing. Agr. Cochabamba, Bolivia. UMSS. 94 p.
- ASA (Asociación de Semilleros Argentinos, AR). 2013. Biotecnología. Fitomejoramiento. Líneas elite o variedades elite (en línea). Argentina. Consultado 29 ene. 2016. Disponible en <http://www.asabiotecnologia.com.ar/fitomejoramiento>
- Calderini, D. 2013. Evolución del rendimiento de trigo y su estabilidad. Factores genéticos y de manejo que lo controlan. Universidad Austral de Chile. Jornadas Variabilidad del Rendimiento. Presentación en Power point (en línea). Chile. 64 p. Consultado 16 feb. 2014. Disponible en <http://rendimiento.trigo.com.ch>
- Carrillo, J. y Vázquez, J. 2006. Mejora de calidad del trigo. Valencia. p. 129-164
- Castellarin, J.M. 2010. Influencia de las prácticas de manejo sobre la generación del rendimiento en el cultivo de trigo. Estación Experimental Agropecuaria Rafaela – INTA (en línea). Argentina. p. 3. Consultado 16 feb. 2014. Disponible en <Http://inta.jmcastellarin.gov.ar/>

- CIMMYT (Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo, MX). 2012. Instrucciones para la dirección e información de resultados para los programas de trigo. D. F., México. 22 p.
- Díaz, P. P. 2003. Manejo agronómico del cultivo del trigo. Presentación en Power point (en línea). 34 p. Argentina. Consultado 16 feb. 2014. Disponible en <http://manejo.agronomico.trigo.com.ar>
- Edel, A. y Rosell, C. 2007. De tales harinas, tales panes: granos, harinas y productos de panificación en Iberoamérica (en línea). 1<sup>ra</sup> ed. Córdoba Argentina. p. 30 y 36. Consultado 20 feb. 2014. Disponible en <Http://baezimpresiones@yahoo.com.ar>
- Echenique, V. 2007. Análisis Genómico de Caracteres de Calidad y Componentes del Rendimiento en Trigo Candeal. Argentina. 17 p.
- Estrada, J. R; Medina, HT. y Roldan, CH. A. 2006. Manual para caracterización *In situ* de cultivos nativos conceptos y procedimientos. Lima, Perú. 23 p.
- FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura, IT). 2007. FAO Statistical data bases (en línea). Consultado 5 mar. 2014. Disponible en <http://faostat.fao.org/default.aspx>
- Fernández, E. 2011. Evaluación de tres sistemas de siembra en trigo, con fines de conservación de agua "*in-situ*" en las localidades de Sacabamba y Tarata del departamento de Cochabamba. Tesis Ing. Agr. Cochabamba, Bolivia. UMSS. 62 p.
- Fonseca, E. y Gonzales, J. 1986. Producción de trigo. Cuaderno de actualización técnica N° 32. Segunda edición. Buenos Aires, Argentina. Editorial AACREA. 131 p.
- Franco, T. e Hidalgo, R. 2003. Análisis estadístico de datos de caracterización morfológica de recursos fitogenéticos. Boletín técnico no. 8, Instituto internacional de recursos filogenéticos (IPGRI), Cali, Colombia. p. 8, 20, 22,30-31.
- GAMT (Gobierno Autónomo del Municipio de Tarata); Plan de Desarrollo Municipal 2001. PDM Municipio de Tarata Primera Sección de la Provincia Esteban Arce, Cochabamba, Bolivia. p. 3-8.

- Herbas, R. 2008. El estado de situación del trigo en Bolivia y el contexto internacional. 1<sup>ra</sup> ed. La Paz, Bolivia. 34 p.
- IBCE (Instituto Boliviano de Comercio Exterior, BO). 2014. Trigo una oportunidad para la soberanía alimentaria. Santa Cruz, Bolivia. 24 p.
- Infante, N., P. Madriz y T. González. 2003. Fases de desarrollo y componentes del rendimiento de tres cultivares de frijol mungo (*Vigna radiata* Wilczek) en Maracay, Estado Aragua de Venezuela (en línea). Venezuela. p. 417-429. Consultado 16 feb. 2014. Disponible en: <http://www.scielo.org.ve/scielo.php/pid>.
- INE (Instituto Nacional de Estadística, BO). 2015. Censo Agropecuario 2013. Datos preliminares. Unidad de difusión y comunicación INE. Santa cruz, Bolivia.
- INE (Instituto Nacional de Estadística, BO). 2011. Importaciones – exportaciones. Dependencia de la importación de trigo.
- INIAF (Instituto Nacional de Innovación Agropecuaria y Forestal, BO) 2012. Plan de implementación y avances del programa nacional de trigo. La Paz, Bolivia. 40 p.
- INIAF (Instituto Nacional de Innovación Agropecuaria y Forestal, BO) 2015. Boletín informativo. Cochabamba, Bolivia. 8 p.
- Interlab (Interlab Diagnostica Limitada, CL). 2012. Análisis NIR (en línea). Boletín 4 p. Consultado 29 ene. 2016. Disponible en <http://www.interlab.cl>
- López, B. 1990. Cultivos herbáceos. Vol. 1. Cereales. Ediciones Mundi prensa. Madrid 539 p.
- Mac Key, J. 2005. Wheat: Its concept, evolution y taxonomy: Durum Wheat Breeding: Current Approaches and Future Strategies. Volumen 1. New York. 80 p.
- Málaga, U. 2008. Bioestadística: Métodos y aplicaciones. Medidas descriptivas. p. 39-68.
- Mariotti, J.A. 1986. Fundamentos de genética biométrica. Aplicaciones al mejoramiento genético vegetal. Secretaría General de la Organización de los Estados Americanos. Programa Regional de Desarrollo Científico y Tecnológico. Washington, DC.

- Martínez y Tico. 1998. Agricultura práctica. Editorial Ramón Sopena, S.A. Barcelona, España. p. 257-263.
- Marza, F.; Butrón, R. y Chávez, S. 2013. Bioestadística aplicada a la experimentación agrícola. Instituto Nacional de Innovación Agropecuaria y Forestal, INIAF. Programa nacional de trigo. 1<sup>ra</sup> ed. La Paz, Bolivia. 180 p.
- Marza, F. y Quispe, F. 2013. Guía práctica para el investigador en trigo. Instituto Nacional de Innovación Agropecuaria y Forestal, INIAF. Programa Nacional de Trigo. 1<sup>ra</sup> ed. La paz, Bolivia. 73 p.
- Mora, A. 2012. Evaluación de la calidad de cocción y calidad sensorial de pasta elaborada a partir de mezclas de sémola de trigo y harina de quinua. Tesis Mag. Sc. en tecnología de alimentos. Medellín, Colombia. Universidad Nacional de Colombia. p. 18-21.
- Morales, V. 2011. Correlación y regresión, simple y múltiple. Universidad Pontificia Comillas. Facultad de Ciencias Humanas y Sociales (en línea). Madrid, España. 24 p. Consultado 5 mar. 2014. Disponible en <http://www.upcomillas.es/personal/peter/inv./AnalisisMultivariado>
- Ochoa, R. 2008. Bioestadística. 1<sup>ra</sup> ed. La Paz, Bolivia. 245 p.
- Ochoa, R. 2009. Diseños experimentales. 1<sup>ra</sup> ed. La Paz, Bolivia. 387 p.
- Perten Instruments. 2013. SKCS 4100 Single Kernel Characterization System. Specialists in quality control of grain, flour, food and feed (en línea). Consultado 29 feb. 2016. Disponible en <http://butter.en.hisupplier.com/about-detail-711399-Single-Kernel-Characterization-System-SKCS.html>
- Quispe, F. 2011. Habilidad de adaptación y productividad de 146 líneas avanzadas de trigo del vivero internacional del CIMMYT en el altiplano norte de Bolivia. Tesis Ing. Agr. La Paz, Bolivia. UPEA. 111 p.
- Quiroga, R. 2000. Respuesta del cultivo de trigo (*Triticum durum* L.) a diferentes niveles de fertilizantes orgánicos. Tesis Ing. Agr. Cochabamba, Bolivia. UMSS. 61 p.

- Rodríguez, J. 2000. Análisis estadístico de la producción y el consumo de trigo en el Ecuador. Universidad de Salamanca estadístico de la producción y el consumo de Trigo en el Ecuador. Escuela superior politécnica del litoral – Instituto de ciencias matemáticas. Guayaquil, Ecuador. p. 80 y 81
- Rubianes, J. 2007. Prolaminas y marcadores moleculares relacionados con la calidad en Trigo Duro (*Triticum turgidum* L.). Tesis Ph. D. Madrid, España. Universidad Politécnica de Madrid. Escuela Técnica Superior de Ingenieros Agrónomos. p. 1-22.
- Sanchez, J. 2008. Análisis ecofisiológicos y molecular del impacto de la mejora genética del trigo duro en ambiente mediterráneo sobre la formación del rendimiento y la acumulación de aminoácidos y proteínas. Tesis Ph. D. Granada, España. Universidad de Granada Facultad de Ciencias departamento de Fisiología Vegetal. p. 15-23.
- SENAMHI (Servicio Nacional de Meteorología e hidrología,BO). 2014. Datos climáticos históricos gestión 2004-2014. 1 disco compacto, 8 mm.
- Torres, E. 2012. Evaluación agronómica de líneas mejoradas de trigo duro (*Triticum durum*) en dos localidades del departamento de Cochabamba. Tesis Ing. Agr. Cochabamba, Bolivia. UMSS. 67 p.
- Torrice, C. 2010. Estudio socio productivo en las subcentrales que se dedican a la producción de trigo del Municipio de Totora. Trabajo dirigido Ing. Agr. Cochabamba, Bolivia. UMSS. 75 p.
- Vila, A. 2003. Correlación lineal y análisis de regresión: Análisis de regresión y correlación lineal (en línea). Proyecto e-Math, financiado por la secretaria de estado de educación y universidades (MECD). p. 4. Consultado 5 mar. 2014. Disponible en <http://www.uoc.edu>
- Zenteno, A. 2000. Efecto de los abonos orgánicos mineralizados y fertilizantes mineralizados en el cultivo de trigo (*Triticum aestivum* L.) en la provincia Esteban Arce. Tesis Ing. Agr. Cochabamba, Bolivia. UMSS. 99 p.

## **8. ANEXOS**

**Anexo 1. Croquis del ensayo; líneas elite de trigo duro repetido en dos localidades Yuraj Molino y Tarata del departamento de Cochabamba**

<u>BLOQUE I</u>	<u>BLOQUE II</u>	<u>BLOQUE III</u>		
Testigo (701)	737	714	15 m	
742	720	725		
714	744	726		
738	741	Testigo (701)		
734	721	734		
720	736	719		
726	742	721		
744	735	744		
719	714	738		
737	726	735		
736	725	737		
735	738	742		
741	719	720		
721	Testigo (701)	741		
725	734	736		
4 m	<u>1 m</u>	4 m		<u>1 m</u>

**Anexo 2. Líneas de trigo duro y testigo variedad mexicano**



### Anexo 3. Resultados de laboratorio de calidad de equipo SKCS

ID	Línea	Dureza de grano	Peso de un grano	Diámetro de grano
1	Testigo	71,09	39,89	2,59
2	714	92,72	37,85	2,63
3	719	79,51	40,26	2,76
4	720	82,06	36,46	2,66
5	721	90,41	40,23	2,80
6	725	94,19	35,87	2,60
7	726	87,41	42,86	2,78
8	734	96,29	39,39	2,72
9	735	92,56	34,68	2,58
10	736	92,58	37,72	2,70
11	737	86,95	34,77	2,57
12	738	95,57	34,05	2,54
13	741	89,80	40,22	2,76
14	742	95,98	35,28	2,75
15	744	86,07	38,77	2,68

### Anexo 4. Resultados de laboratorio de calidad de equipo NIR

ID	Línea	Proteína	Fuerza de gluten	Gluten	Calidad de pasta	Almidón
1	Testigo	11,3	84,2	21,0	33,6	73,9
2	714	12,6	120,7	23,7	14,3	70,2
3	719	9,4	3,0	13,8	13,9	71,6
4	720	10,3	22,4	16,2	18,1	73,2
5	721	11,8	92,2	21,7	23,1	73,2
6	725	11,4	56,0	18,3	22,3	71,7
7	726	11,3	65,3	20,1	21,2	72,3
8	734	13,1	156,4	26,9	33,8	74,3
9	735	10,1	3,0	15,5	12,5	73,4
10	736	9,2	-6,9	13,3	20,1	72,7
11	737	10,8	13,7	15,9	14,6	72,4
12	738	12,4	92,7	21,7	18,1	71,1
13	741	11,5	80,8	21,0	21,9	72,0
14	742	18,7	337,1	44,1	26,0	66,5
15	744	9,9	34,6	16,5	23,7	72,1