

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



**TESIS DE GRADO**

**ADAPTABILIDAD Y ESTABILIDAD FENOTÍPICA DE 50  
GENOTIPOS DE TRIGO HARINERO (*Triticum aestivum* L.) EN  
CUATRO LOCALIDADES TRIGUERAS DE COCHABAMBA.**

**Por:**

**Gonzalo Quispe Choque**

**EL ALTO – BOLIVIA**

**Septiembre, 2016**

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

**ADAPTABILIDAD Y ESTABILIDAD FENOTÍPICA DE 50 GENOTIPOS DE TRIGO  
HARINERO (*Triticum aestivum* L.) EN CUATRO LOCALIDADES TRIGUERAS DE  
COCHABAMBA**

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

**Gonzalo Quispe Choque**

**Asesores:**

Dr. Ing. Félix Marza Mamani .....

Dr. Ing. Francisco Mamani Pati .....

**Tribunal Revisor:**

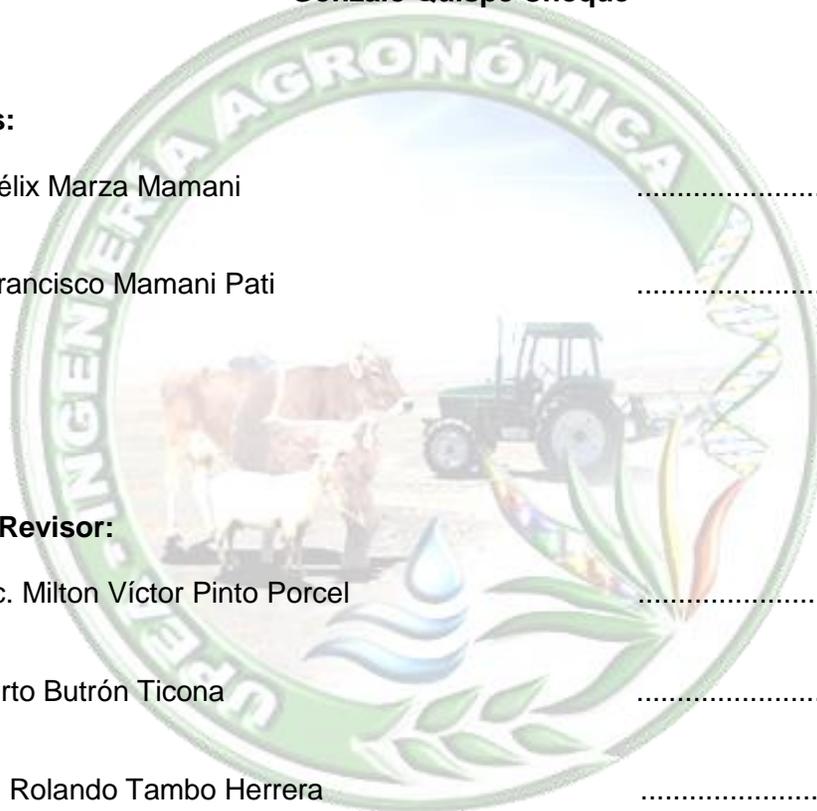
Ing. M. Sc. Milton Víctor Pinto Porcel .....

Ing. Roberto Butrón Ticona .....

Ing. René Rolando Tambo Herrera .....

**Aprobada**

Presidente Tribunal Examinador .....



### **DEDICATORIA**

*A mis padres Toribia Choque Corini y Gabino Quispe Limachi quienes con gran cariño, empeño y sacrificio han hecho posible que escale un peldaño más en mi vida inculcándome responsabilidad y esmero, para alcanzar mis metas propuestas.*

*A mis hermanos Irene, Nancy, Jesus y Guido (†) mi eterna gratitud por sus consejos y apoyo los cuales me forjaron como persona perseverante.*

*A aquellas amistades con los que compartí alegrías y tristezas en esta etapa de mi vida.*

## **AGRADECIMIENTOS**

Agradecer a Dios, a mi amada familia por su apoyo y comprensión en esta etapa de mi formación profesional.

A la carrera Ingeniería Agronómica de la Universidad Pública de El Alto, por darme la oportunidad de formarme como Ingeniero agrónomo, a todo el personal Docente y Administrativo que contribuyeron de alguna manera en mi formación.

Al Programa Nacional de Trigo del INIAF y al Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo (CIMMYT), por proporcionarme el material genético para este trabajo y haberme permitido contribuir a la investigación de este cultivo.

Al Dr. Félix Marza y Dr. Francisco Mamani asesores del presente trabajo, por sus acertadas sugerencias, enseñanzas y contribuciones para enriquecer este documento.

Al Ing. René Tambo y al M.Sc. Milton Pinto por el asesoramiento y el detalle de sus sugerencias de manera muy cordial y dedicada.

Al Ing. Roberto Butrón, más que Tribunal amigo, que compartió sus conocimientos y apoyo en la consolidación de este documento, muchas gracias.

A Nancy Huanca por su apoyo constante y desinteresado en el trabajo de campo, y por sus contribuciones en el análisis de la información y en la redacción del documento, muchas gracia.

**CONTENIDO**

ÍNDICE DE TEMAS.....	ii
ÍNDICE DE CUADROS .....	vi
ÍNDICE DE FIGURAS .....	viii
ÍNDICE DE ANEXOS .....	xi
ABREVIATURAS .....	xiii
RESUMEN .....	xiv
ABSTRACT .....	xv

## ÍNDICE DE TEMAS

1.	INTRODUCCIÓN.....	1
1.1.	Antecedentes.....	1
1.2.	Planteamiento del problema .....	2
1.3.	Justificación .....	2
1.4.	Objetivos.....	3
1.4.1.	Objetivo general.....	3
1.4.2.	Objetivos específicos .....	3
1.5.	Hipótesis.....	3
2.	REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA.....	4
2.1.	Generalidades .....	4
2.1.1.	Centro de origen del trigo.....	4
2.1.2.	Taxonomía .....	5
2.1.3.	Descripción morfológica .....	5
2.1.4.	Desarrollo fenológico del trigo.....	6
2.1.5.	Principales enfermedades del cultivo de trigo .....	7
2.1.1.	Principales plagas del cultivo de trigo.....	7
2.1.1.	Requerimientos edafoclimáticas.....	8
2.2.	El cultivo de trigo en Bolivia .....	8
2.2.1.	Uso y consumo del trigo en Bolivia.....	8
2.2.2.	La producción de trigo en el área Tradicional de Bolivia.....	9
2.2.1.	Programas de mejoramiento de trigo en Bolivia .....	9
2.2.2.	Utilización del vivero SAWYT en Bolivia.....	10
2.3.	Estabilidad y adaptabilidad fenotípica .....	10
2.3.1.	Estabilidad .....	11
2.3.2.	Adaptabilidad .....	11

2.4.	Análisis estadístico en estudios de la estabilidad y adaptabilidad .....	13
2.4.1.	Análisis univariado .....	13
2.4.1.1.	Estadística descriptiva.....	13
2.4.1.2.	Análisis de varianza (ANVA) .....	13
2.4.2.	Modelos de Eberhart – Russell (1966) .....	14
2.4.3.	Técnicas de análisis multivariado .....	14
2.4.3.1.	Coefficiente de correlación (r).....	15
2.4.3.2.	Análisis de componentes principales (ACP) .....	15
2.4.4.	Modelos GGE biplot .....	16
3.	MATERIALES Y MÉTODOS .....	17
3.1.	Localización .....	17
3.1.1.	Ubicación Geográfica .....	17
3.1.2.	Características climáticas.....	18
3.1.3.	Vegetación .....	20
3.1.4.	Características edáficas .....	20
3.2.	Materiales .....	21
3.2.1.	Material genético.....	21
3.2.2.	Material de campo y laboratorio .....	25
3.2.3.	Material de gabinete.....	25
3.3.	Metodología .....	25
3.3.1.	Fase de instalación del experimento .....	25
3.3.2.	Fase de manejo del cultivo.....	26
3.3.3.	Fase de evaluación de la investigación .....	26
3.3.3.1.	Variables cuantitativas.....	26
3.3.3.2.	Variables cualitativas.....	29
3.3.4.	Diseño experimental .....	34

3.3.5.	Métodos de análisis estadísticos .....	35
3.3.6.	Análisis estadístico descriptivo .....	35
3.3.6.1.	Análisis de varianza (ANVA) .....	35
3.3.6.2.	Prueba de medias .....	36
3.3.6.3.	Análisis de correlación (r) .....	36
3.3.6.4.	Análisis de componentes principales (ACP) .....	36
3.3.6.5.	Modelo de Eberhart y Russell.....	37
3.3.6.6.	Modelo GGE biplot .....	37
4.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....	39
4.1.	Análisis descriptivo .....	39
4.2.	Análisis de varianza .....	40
4.2.1.	Análisis de varianza por localidad .....	40
4.2.2.	Comparación de medias de rendimiento por localidad .....	43
4.2.3.	Análisis de varianza combinado de localidades.....	45
4.3.	Análisis de prueba de promedios .....	47
4.3.1.	Altura de planta .....	47
4.3.2.	Número de macollos por planta.....	48
4.3.3.	Número de espigas por metro .....	50
4.3.4.	Longitud de espiga.....	52
4.3.5.	Número de granos por espigas .....	53
4.3.6.	Peso de mil granos .....	55
4.3.7.	Peso Hectolítrico .....	57
4.3.8.	Rendimiento en grano .....	59
4.4.	Análisis de frecuencia para variables cualitativas.....	61
4.5.	Análisis de correlación .....	63
4.6.	Análisis de componentes principales .....	64

4.7.	Modelo de Eberhart y Russell (1966) .....	68
4.7.1.	Análisis de coeficiente de regresión lineal y desvío de la regresión.....	68
4.8.	Análisis por el modelo GGE Biplot .....	71
4.8.1.	Identificación del mejor genotipo para cada ambiente .....	71
4.8.2.	Ranking de genotipos respecto al genotipo ideal .....	72
4.8.3.	Rendimiento medio y estabilidad de los genotipos .....	73
5.	CONCLUSIONES.....	75
6.	RECOMENDACIONES.....	77
7.	BIBLIOGRAFÍA .....	78
8.	ANEXOS .....	87

## ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1.	Interpretación de los parámetros de estabilidad del modelo de Eberhart y Russell (1966).....	14
Cuadro 2.	Características edáficas de las cuatro localidades trigueras de Cochabamba en el estudio de la estabilidad y adaptabilidad de 50 genotipos de trigo harinero.....	21
Cuadro 3.	Descripción del material genético del vivero internacional 20TH SEMI ARID WHEAT YT (F8) del CIMMYT.....	22
Cuadro 4.	Estadística descriptiva de características cuantitativas de 50 genotipos de trigo harinero, evaluadas en cuatro localidades trigueras de Cochabamba, campaña agrícola 2013-2014. ....	39
Cuadro 5.	Análisis de varianza por localidad para las variables altura de planta (AP) y número de macollos por planta (NM) de 50 genotipos de trigo harinero, evaluados durante la campaña agrícola 2013-2014.....	40
Cuadro 6.	Análisis de varianza por localidad para las variables longitud de arista (LA) y número de espigas por metro (NEM) de 50 genotipos de trigo harinero, evaluados durante la campaña agrícola 2013-2014.....	41
Cuadro 7.	Análisis de varianza por localidad para las variables longitud de espiga (LE) y número de granos por espiga (NGE) de 50 genotipos de trigo harinero, evaluados durante la campaña agrícola 2013-2014.....	42
Cuadro 8.	Análisis de varianza por localidad para las variable peso de mil granos (PMG) y peso hectolítrico (PH) de 50 genotipos de trigo harinero, evaluados durante la campaña agrícola 2013-2014.....	42
Cuadro 9.	Análisis de varianza por localidad para las variable rendimiento en grano (RDTO) de 50 genotipos de trigo harinero, evaluados durante la campaña agrícola 2013-2014.....	43
Cuadro 10.	Análisis combinado entre localidades para las variables cuantitativas: altura de planta (AP), número de macollos (NM), número de espigas por m <sup>2</sup> (NEM), longitud de espiga (LE) y longitud de espiga (LE) de 50 genotipos de trigo harinero evaluados en cuatro localidades trigueras de Cochabamba durante la campaña agrícola 2013-2014.....	45

Cuadro 11.	Análisis combinado entre localidades para las variables cuantitativas: número de granos por espiga (NGE), peso de mil granos (PMG), peso hectolítrico (PH) y rendimiento en grano (RDTO) de 50 genotipos de trigo harinero, evaluados en cuatro localidades trigueras de Cochabamba durante la campaña agrícola 2013-2014.....	46
Cuadro 12.	Coefficiente de correlación de Pearson para características cuantitativas de 50 genotipos de trigo harinero, evaluados durante la campaña agrícola 2013-2014.....	64
Cuadro13.	Valores propios y correlación asociada a los dos primeros componentes principales de 50 genotipos de trigo harinero, evaluados en cuatro localidades trigueras de Cochabamba durante la campaña agrícola 2013-2014.....	66

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.	Base genética del trigo ( <i>Triticum aestivum</i> L.) fuente (CGIAR, 2014).....	4
Figura 2.	Desarrollo fenológico según la escala decimal de Zadocks (1974).....	7
Figura 3.	Ubicación geográfica de las cuatro localidades trigueras del Departamento de Cochabamba donde se realizó el estudio de la adaptabilidad y estabilidad de 50 genotipos de trigo harinero, campaña agrícola 2013-2014. ....	17
Figura 4.	Climadiagrama correspondiente a la Estación Experimental de Tarata de la Provincia Estaban Arce del Departamento de Cochabamba (2013-2014).....	18
Figura 5.	Climadiagrama correspondiente al Municipio de Pocona de la Provincia Carrasco del Departamento de Cochabamba (2013-2014).....	19
Figura 6.	Climadiagrama correspondiente al Municipio de Totora de la Provincia Carrasco del Departamento de Cochabamba (2013-2014).....	20
Figura 7.	Fotografía de la evaluación de las variables a) Número de espigas por metro, b) Altura de planta y c) Longitud de espiga.....	27
Figura 8.	Fotografía de la evaluación de las variables a) Número de macollos por planta, b) Longitud de arista c) Número de granos por espiga, d) Peso de mil granos, e) Peso hectolítrico y f) rendimiento.....	28
Figura 9.	Fotografía de la evaluación de las variables a) Tamaño de grano, b) Tipo de grano.....	30
Figura 10.	Fotografía de la evaluación de las variables a) Porte de la planta, b) Precocidad y c) Densidad de espiga.....	32
Figura 11.	Fotografía de la evaluación de las variables a) tolerancia a roya y b) tolerancia a septoria.....	33
Figura 12.	Panel Trellis para rendimiento promedio (kg/ha) para 50 genotipos de trigo harinero, evaluados en la campaña agrícola 2013-2014.....	44

Figura 13.	Comparación de medias de altura de planta entre genotipos de trigo harinero, evaluados en cuatro localidades trigueras de Cochabamba durante la campaña agrícola 2013-2014.....	47
Figura 14.	Comparación de medias de altura de planta entre localidades, evaluados durante la campaña agrícola 2013-2014.....	48
Figura 15.	Comparación de medias de número de macollos entre genotipos de trigo harinero, evaluados en cuatro localidades trigueras de Cochabamba durante la campaña agrícola 2013-2014.....	49
Figura 16.	Comparación de medias de número de macollos entre localidades, evaluados durante la campaña agrícola 2013-2014.....	50
Figura 17.	Comparación de medias de número de espigas por metro cuadrado entre genotipos de trigo harinero, evaluados en cuatro localidades trigueras de Cochabamba durante la campaña agrícola 2013-2014.....	51
Figura 18.	Comparación de medias de número de espigas por metro cuadrado entre localidades, evaluados durante la campaña agrícola 2013-2014.....	51
Figura 19.	Comparación de medias de longitud de espigas entre genotipos de trigo harinero, evaluados en cuatro localidades trigueras de Cochabamba durante la campaña agrícola 2013-2014.....	52
Figura 20.	Comparación de medias de longitud de espigas entre localidades, evaluados durante la campaña agrícola 2013-2014.....	53
Figura 21.	Comparación de medias de número de granos por espigas entre genotipos de trigo harinero, evaluados en cuatro localidades trigueras de Cochabamba durante la campaña agrícola 2013-2014.....	54
Figura 22.	Comparación de medias de número de granos por espigas entre localidades, evaluados durante la campaña agrícola 2013-2014.....	55
Figura 23.	Comparación de medias de peso de mil granos entre genotipos de trigo harinero, evaluados en cuatro localidades trigueras de Cochabamba durante la campaña agrícola 2013-2014.....	56
Figura 24.	Comparación de medias de peso de mil granos entre localidades, evaluados durante la campaña agrícola 2013-2014.....	57
Figura 25.	Comparación de medias de peso hectolítrico entre genotipos de trigo harinero, evaluados en cuatro localidades trigueras de Cochabamba durante la campaña agrícola 2013-2014.....	58

Figura 26.	Comparación de medias de peso hectolítrico entre localidades, evaluados durante la campaña agrícola 2013-2014.....	59
Figura 27.	Comparación de medias de rendimiento en grano entre genotipos de trigo harinero, evaluados en cuatro localidades trigueras de Cochabamba durante la campaña agrícola 2013-2014.....	60
Figura 28.	Comparación de medias de rendimiento en granos entre localidades, evaluados durante la campaña agrícola 2013-2014.....	61
Figura 29.	Gráfico de frecuencias para variables cualitativas de 50 genotipos de trigo harinero, evaluados durante la campaña agrícola 2013-2014.....	62
Figura 30.	Gráfico de sedimentación de los componentes principales, de acuerdo a la varianza en el estudio de 50 genotipos de trigo harinero, evaluados durante la campaña agrícola 2013-2014.....	65
Figura 31.	Diagrama de Biplot, asociación de características agromorfológica y componentes de rendimiento de 50 genotipos de trigo harinero, evaluados durante la campaña agrícola 2013-2014.....	67
Figura 32.	Coefficiente de regresión vs Rendimiento promedio en grano (kg/ha) para 50 genotipos de trigo harinero, evaluados en cuatro localidades trigueras de Cochabamba durante la campaña agrícola 2013-2014.....	70
Figura 33.	GGE biplot para la identificación de los mejores cultivares de trigo para cada ambiente en el estudio de la estabilidad y adaptabilidad de 50 genotipos de trigo harinero, evaluados en cuatro localidades trigueras de Cochabamba durante la campaña agrícola 2013-2014.....	71
Figura 34.	Ranking respecto al genotipo ideal de 50 genotipos de trigo harinero, evaluados en cuatro localidades trigueras de Cochabamba durante la campaña agrícola 2013-2014.....	73
Figura 35.	Rendimiento medio de genotipo y estabilidad de los 50 genotipos de trigo harinero, evaluados en cuatro localidades trigueras de Cochabamba durante la campaña agrícola 2013-2014.....	74

## ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1.	Croquis del ensayo experimental 20THSAWYT de 49 líneas avanzadas más el testigo Tepoca T89 evaluado en cuatro localidades de Cochabamba.....	88
Anexo 2.	Planilla de registro de variables para 50 genotipos de trigo harinero del vivero 20HTSAWYT.....	88
Anexo 3.	Datos climáticos correspondientes a la E.E. Tarata de la provincia Esteban Arce del departamento de Cochabamba 2013-2014.....	89
Anexo 4.	Datos climáticos correspondientes al municipio Tototra de la provincia Carrasco del departamento de Cochabamba 2013-2014.....	89
Anexo 5.	Datos climáticos correspondientes a municipio de Pocona de la provincia Carrasco del departamento de Cochabamba 2013-2014.....	89
Anexo 6.	Promedio de las variables peso de mil granos, pesos hectolítrico y rendimiento en grano de 50 genotipos de trigo harinero evaluados en cuatro localidades trigueras de Cochabamba durante la campaña agrícola 2013-2014.....	90
Anexo 7.	Variables categóricas de 50 genotipos de trigo harinero, evaluados en cuatro localidades trigueras de Cochabamba durante la campaña agrícola 2013-2014.....	93
Anexo 8.	Prueba de Duncan de variables cuantitativas de 50 genotipos de trigo Harinero, evaluados en cuatro localidades trigueras de Cochabamba durante la campaña agrícola 2013-2014	95
Anexo 9.	Rendimiento promedio (kg/ha) y parámetros de estabilidad de acuerdo al modelo de Eberhart y Russell ( $B_i$ y $S^2d_i$ ) de 50 genotipos de trigo harinero, evaluados en cuatro localidades trigueras de Cochabamba durante la campaña agrícola 2013-2014.....	98
Anexo 10.	Análisis de varianza de parámetros de estabilidad de 50 genotipos de trigo harinero, evaluados en cuatro localidades trigueras de Cochabamba, durante la campaña agrícola 2013-2014.....	99
Anexo 11.	Índice ambiental correspondiente al rendimiento en grano de 50 genotipos de trigo harinero, evaluados en cuatro localidades trigueras de Cochabamba, durante la campaña agrícola 2013-2014.....	101
Anexo 12.	Fotografía de la preparación de terreno de experimentación para 50 genotipos de trigo harinero, evaluadas en cuatro localidades trigueras de Cochabamba, durante la campaña agrícola 2013-2014.....	102

Anexo 13.	Fotografía de la siembra del material genético en las cuatro localidades trigueras de Cochabamba durante la campaña agrícola 2013-2014.....	102
Anexo 14.	Fotografías de las labores culturales en las cuatro localidades.....	103
Anexo 15.	Fotografías de la toma de datos de las variables en estudio en las cuatro localidades.....	103
Anexo 16.	Fotografías de la cosecha del material genético en las cuatro localidades .....	104
Anexo 17.	Fotografías del trillado del material genético en las cuatro localidades.....	104

**ABREVIATURAS**

CIMMYT	Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo
IBTA	Instituto Boliviano de Tecnología Agropecuaria
SIBTA	Sistema Boliviano de Tecnología Agropecuaria
PROTRIGO	Programa Trigo
SAWYT	Semi-Arid Wheat YT
VIBOT	Vivero Boliviano de Trigo
MDRyT	Ministerio de Desarrollo Rural y Tierras
INIAF	Instituto Nacional de Innovación Agropecuaria y Forestal
PN-TRIGO	Programa Nacional de Trigo
ANAPO	Asociación Nacional de Productores de Oleaginosas
FAO	Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura
GGE	Genotipo, Genotipo por Ambiente
ACP	Análisis de Componentes Principales
SEDAG	Servicio Departamental Agropecuario

## RESUMEN

Con la finalidad de seleccionar e identificar genotipos de alta productividad, estables y adaptadas, se evaluaron 49 líneas avanzadas de trigo harinero provenientes del vivero 20<sup>TH</sup>SAWYT, cuyo germoplasma fue mejorado por el CIMMYT para zonas semi áridas, más una variedad local (Tepoca T89), que se diversifica en el área tradicional, el cual fue proporcionado por el PN-Trigo del INIAF. El estudio se realizó en la campaña agrícola de verano 2013-2014, en las localidades de Chullpa Chullpa Bajo, Uyax Tipunta, Yuraj Molino y E.E. Tarata, pertenecientes al departamento de Cochabamba. Los resultados se obtuvieron aplicando análisis univariado y multivariado a 18 variables entre agronómicas de adaptabilidad y de componentes de rendimiento, que permitieron conocer los atributos de cada genotipo en estudio. Para analizar la estabilidad se usaron los modelos de Eberhart y Russell y el GGE biplot. El análisis de estadística descriptiva evidenció una variabilidad genética, en cuanto a número de macollos (NM), longitud de espiga (LE), peso de mil granos (PMG), número de espigas en un metro cuadrado (NEM) y rendimiento en grano (RDTO). De acuerdo al análisis de varianza combinado (ANVA), se identificaron diferencias significativas y altamente significativas entre líneas, localidades y la interacción de localidad por línea, indicando que los genotipos no se comportan de manera similar entre las variaciones ambientales de las diferentes localidades en consecuencia existe líneas que expresan buenos rendimientos para algunas localidades pero que no responden bien en otras. El análisis de componentes principales (ACP) estableció que las variables más ligadas a la productividad son las relacionadas a los componentes de rendimiento como número de espigas en un metro cuadrado (NEM), longitud de espiga (LE), peso de mil granos (PMG), peso hectolítrico (PH) y rendimiento en grano (RDTO), denotando genotipos vinculados a ellas 313, 329, 311, 327, 315, 347 y 333, los cuales tienden a ser tolerantes a roya y septoria. El modelo de Eberhart y Russell permitió identificar a los genotipos L313 y L327, como los más estables, los cuales tienden a superar en 5 y 4% a la variedad testigo (Tepoca T89), en un 65 y 62% al promedio general en rendimiento de grano. El análisis GGEbiplot identificó a la línea L313 como genotipo ideal y estable, con alta capacidad productiva, el cual podría ser una alternativa tecnológica para los productores y de alguna manera puede modificar el patrón productivo de este cereal en la zona tradicional.

## ABSTRACT

With the purpose to select and to identify high-yield, stable genotypes and adapted, the originating advance guards of flour-bin wheat of the nursery evaluated 49 lines themselves 20THSAWYT, whose germoplasma was improved by the CIMMYT for half-way arid zones, plus a local variety (Tepoca T89), that becomes diversified in the traditional area, which was provided by the PN the INIAF's Wheat. The study sold off in the crop year of summer 2013-2014 itself, at Chullpa Chullpa Bajo's, Uyax Tipunta's, Yuraj Molino's and E.E. Tarata's localities, pertenecientes to Cochabamba's apartment. They obtained the results applying to uni-varied and multi-varied analysis 18 variables, enter agronomic of adaptability and of components of performance, that they allowed knowing the attributes out of every genotype under consideration. Eberhart's models and Russell and the GGE used biplot themselves in order to examine the stability. The analysis of descriptive statistics I evidence a genetic variability, as to number of macollos (NM), length of spike (LE), weight of thousand grains (PMG), number of spikes in a square meter (NEM) and performance in grain (RDTO). According to the combined analysis of variance (ANVA), they identified significant and highly significant differences between lines, localities and the interaction of locality for line, indicating that they do not entail genotypes in a similar way between the environmental variations of the different localities in consequence exists lines that express good performances for some localities but that they do not respond well in another one. The principal component analysis (ACP) established that the more variables leagued to productivity are the related to the components of performance like number of spikes in a square meter (NEM), length of spike (HIM), weight of thousand grains (PMG), I weigh hectolítrico (PH) and performance in grain (RDTO), denoting genotypes once they were entailed on 313, 329, 311, 327, 315, 347 and 333, which tend to be tolerant to rust and septoria. Eberhart's and Russell's model allowed identifying L313 and L327 to the genotypes, like the more stable which they tend to surpass in 5 and 4 % to the variety control to the general average in performance of grain (Tepoca T89), in a 65 and 62 %. Analysis GGEbiplot identified L313 like ideal and stable genotype, with loud production capacity to the line, which would be able to be a technological alternative for the producers and somehow it can modify the productive pattern of this cereal at the traditional zone.

## 1. INTRODUCCIÓN

El trigo (*Triticum aestivum* L.) junto al maíz y arroz, constituyen los tres granos básicos, cubriendo juntas el 40% de la superficie global cultivada, que es de 1.4 billones de hectáreas. Este cereal con 220 millones de ha, es el cultivo más sembrado y con amplia distribución a nivel mundial, debido a la importante contribución en fuentes de hidratos de carbono, proteínas y lípidos, además de aportar fibra, vitaminas y sales minerales; consolidándose así un cereal primordial dentro de la dieta alimentaria de la población mundial (FAO-STAT, 2009). Este comportamiento, es similar en Bolivia debido a que este cereal aporta más del 20% de los requerimientos energéticos de la población boliviana, el cual tiene una distribución geográfica desde pequeñas superficies en el altiplano (Potosí, La Paz y Oruro) y valles (Chuquisaca, Cochabamba y Tarija) hasta los extensos territorios del área tropical (Santa Cruz); donde las superficies de siembra refleja una tendencia relativamente estable de 210 mil hectáreas, con rendimientos que fluctúan entre 0.9 a 1.4 t/ha (INIAF, 2015).

Sin embargo, a pesar de su amplia distribución geográfica debido a su habilidad de adaptación a diferentes ecosistemas, el trigo también se caracteriza por su acentuada interacción genotipo por ambiente (IGA), o sea, una misma variedad difícilmente se comporta de forma semejante en todas las localidades; posiblemente debido a los ambientes tan contrastantes de clima, suelo y fertilidad, donde el trigo es cultivado. Entonces es de fundamental importancia el conocimiento de la adaptabilidad y estabilidad de los genotipos, basándose en los efectos de interacción genotipo por ambiente. Para producir variedades estables en su producción, principalmente para rendimiento en grano y calidad harinera, es importante para los agricultores cuando adoptan cultivares nuevos (Condón *et al.*, 2004; Hugo, 1991 y Freire, 2005). En tal sentido para el conocimiento de la estabilidad y adaptabilidad de genotipos, varios modelos matemáticos han sido desarrollados y las más utilizadas son modelos univariados que usan la regresión lineal (Eberhart y Russell, 1966) y multivariados como el GGEBiplot (Yan *et al.*, 2000).

### 1.1. Antecedentes

La formación de redes de ensayos en múltiples localidades para la selección de líneas avanzadas o variedades con características deseables, los cuales están enfocados en el estudio de la estabilidad y adaptabilidad fenotípica lo inicio el IBTA en los 90, llegando a generar algunas variedades como IBTA Waylla, IBTA Barja, Totorá-80 y Tiraque. Posteriormente entre 1998 a 2001 el PROTRIGO evaluó 6900 líneas de trigo en 78

localidades, llegando a liberar las variedades Charcas y Tepoca T89 caracterizadas por su precocidad y su amplia adaptabilidad a los nichos trigueros del área tradicional (PROTRIGO, 2001 y Albarracín, 2009).

Entre el 2010 y 2012 el INIAF y PROINPA, consolidaron la implementación del Ensayo Nacional de Líneas Avanzadas de Trigo Harinero donde se estudió la estabilidad fenotípica de 14 líneas avanzadas que provienen de las acciones de investigación del proyecto PROTRIGO, en las mismas gestiones, con el propósito de establecer la adaptabilidad y estabilidad del rendimiento en grano de variedades históricas y de reciente liberación, se llevó a cabo el ensayo nacional de variedades de trigo harinero. Cuya estabilidad fenotípica de las variedades y líneas con respecto al rendimiento en ambos casos fueron determinada usando el coeficiente de regresión, la desviación de la regresión de Eberhart y Russell 1966 y el modelo AMMI, donde la variedad Tepoca T89 resultó ser la más estable en las localidades evaluadas.

## **1.2. Planteamiento del problema**

A pesar de los ligeros incrementos en la productividad de este cereal en el país, las variedades cultivadas (criollas, históricas y de reciente liberación) siguen siendo afectadas por una serie de problemas entre ellos: los bajos rendimientos e inestables, susceptibles a los factores adversos bióticos y abióticos, además cultivares de ciclos vegetativos largos, 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, creando en el tiempo incertidumbre al productor y pone en riesgo la seguridad alimentaria de la población boliviana.

## **1.3. Justificación**

Por las razones expuestas en el planteamiento del problema, se realizó el estudio de adaptabilidad y estabilidad fenotípica de 50 genotipos de trigo harinero en cuatro localidades trigueras de Cochabamba, para estimar el potencial de rendimiento y la estabilidad de variedades, que constituya una guía confiable en la selección de los mejores cultivares, para nuevas localidades o años futuros. Resultado de ello modifique el patrón productivo y rendimiento de este grano y de alguna manera sea una alternativa de producción en las zonas trigueras.

## **1.4. Objetivos**

### **1.4.1. Objetivo general**

- Determinar la adaptabilidad y estabilidad fenotípica de 50 genotipos de trigo harinero en cuatro localidades trigueras de Cochabamba, que permitan generar una nueva alternativa productiva para los pequeños y medianos productores de trigo en el país.

### **1.4.2. Objetivos específicos**

- Analizar las variables agronómicas y de componentes de rendimiento en 50 genotipos de trigo harinero en cuatro localidades trigueras de Cochabamba.
- Identificar líneas elite de trigo que muestren adaptabilidad, estabilidad fenotípica y alto potencial de rendimiento en grano en relación al testigo local Tepoca T89.

## **1.5. Hipótesis**

- No existen diferencias estadísticas entre los 50 genotipos de trigo harinero en los parámetros agronómicos y de componentes de rendimiento en las diferentes áreas en estudio.
- No existe líneas elite de trigo que muestren adaptabilidad, estabilidad fenotípica y alto potencial de rendimiento en grano en relación al testigo local Tepoca T89.

## 2. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

### 2.1. Generalidades

#### 2.1.1. Centro de origen del trigo

El trigo es cultivado desde comienzos de la agricultura. Los estudios de Candolle indican que el trigo es originario de Mesopotania; mientras que Vavilov afirma que las especies del genero *Triticum* han tenido su centro de diversificación en Turquía, Afganistán e India. Sin embargo; otros investigadores afirman que la evolución del trigo a partir de gramíneas silvestres tuvo lugar, probablemente, en algún lugar del Cercano Oriente posiblemente en el área conocida como el creciente fértil (López, 1990)

Camacho (2011), afirma que el trigo era en su principio, una hierba silvestre llamada "EINKORN". Las evidencias nos muestra que creció primero en la Mesopotania entre los valles de los ríos Tigris y Éufrates en el Oriente Medio, área que se denomina comúnmente el Arco Fértil, casi hace 10.000 años a. C., el cual se constituía como la dieta básica de los grupos de cazadores que la habitaban en esa región.

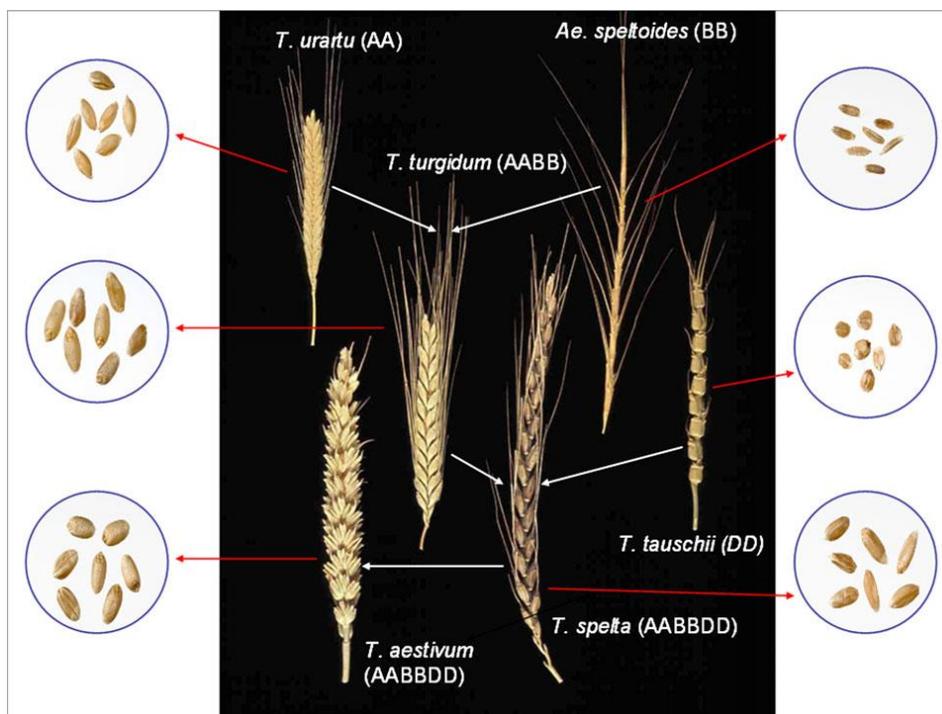


Figura 1. Base genética del trigo (*Triticum aestivum* L.) fuente (CGIAR, 2014)

### 2.1.2. Taxonomía

Según Robles (1990), el trigo tiene la siguiente clasificación taxonómica.

**Orden:** Poales

**Familia:** Poaceae

**Género:** Triticum

**Especie:** Vulgare, aestivum

**Nombre científico:** *Triticum aestivum* L.

### 2.1.3. Descripción morfológica

**Raíces:** Soldano (1985), menciona que el sistema radicular del trigo está compuesta por una raíz fibrosa, los cuales se extienden en superficie y profundidad de acuerdo a las condiciones del suelo en que se la cultiva, por lo general constituyen un sistema radicular superficial. López, (1990), indica que existe dos tipos de raíces denominadas unas primarias o seminales y otras secundarias o adventicias, las seminales están preformadas en el embrión y posteriormente son remplazadas en el estadio de plántula por raíces adventicias y estas se desarrollan en los nudos inferiores del tallo.

**Tallo:** Robles (1990), describe que el tallo es cañoso, erecto y ascendente, con nudos y entrenudos, siendo los entrenudos basales cortos y gradualmente más grandes hacia la parte apical llegando alcanzar una altura promedio entre 60 a 120 cm. También Soldano (1985), indica que existe un tallo principal y varias secundarias denominados macollos, la estructura es la misma; pero el tallo principal nace del embrión, mientras que los macollo se desarrollan de los nudos basales del tallo primario o de otros macollos.

**Hoja:** La hoja es de forma lanceolada, en cada tallo presenta un número relativo de 4 a 6, cada hoja está compuesta por dos partes principales que son las vainas y la lámina, además de dos estructuras accesorias, la lígula y la aurícula (Robles, 1990). La vaina se desarrolla como un tubo de forma vertical y envuelve el entrenudo superior, entre el punto de transición entre la vaina y la lámina, una prolongación de la epidermis de la vaina se transforma en lígula. Ambos lados de la lígula se ven apéndices llamados aurículas; la lígula de la longitud media, mientras que las auriculares son despuntadas y presentan pubescencia (Soldano, 1985).

**Inflorescencia:** La espiga está constituida por un eje central denominado raquis en ella están insertadas las espiguillas alternativamente a derecha e izquierda formando así 8 carriles, cada una está compuesta de 2 a 5 flores de las cuales se forman 2 a 4 granos, debido a que no todas las flores son fértiles. La primera y segunda flor están cubiertas exteriormente por las glumas y los granos están insertados en el lema pudiendo presentar prolongaciones denominadas barbas o aristas (Robles, 1990 y Soldano, 1985).

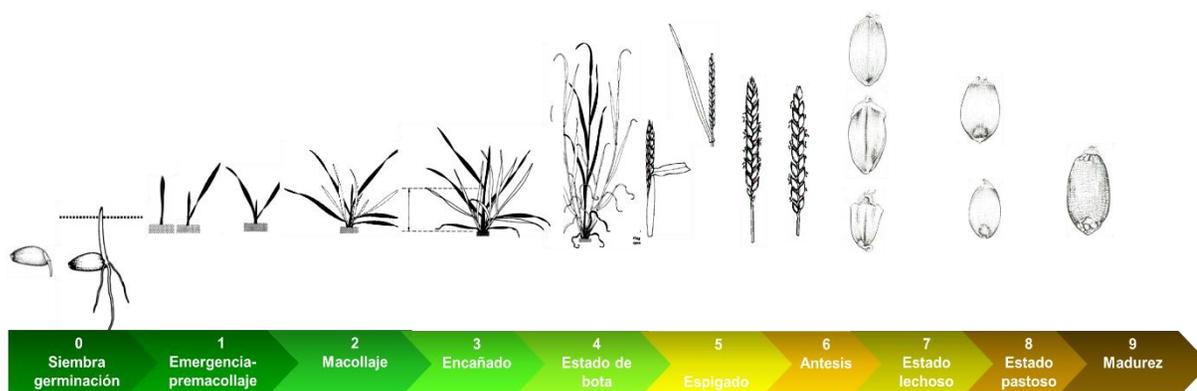
**Flor:** Soldano (1985), indica que el trigo tiene una flor hermafrodita, que presenta dos estilos que llevan unos estigmas plumosas a los que le rodean tres estambres; todo el conjunto floral está encerrado en una casilla llamado antecio, formada por dos brácteas denominadas glumelas; la inferior recibe el nombre de lema y la superior de palea, esta última es por lo general más corto que la lema. La flor da lugar a un único fruto denominado grano, que posee el embrión.

**Fruto:** El fruto es una cariósipide de forma ovoide con una ranura o pliegue en la parte ventral, en un extremo lleva el germen y en el otro tiene una pubescencia denominada brodia. El grano está protegido por el pericarpio, el cual puede ser de color rojo o blanco de acuerdo a la variedad, el resto que es la mayor parte del grano está formado por el endospermo (Robles, 1990).

#### **2.1.4. Desarrollo fenológico del trigo**

Silva (2011), menciona que el desarrollo es un proceso de cambios cualitativos en el que se forman y o mueren diferentes estructuras de la planta, siguiendo una secuencia que a veces se sobrepone, la velocidad con que estos cambios suceden en la planta está en función de la temperatura del lugar donde se desarrolla el cultivo, como resultado cada estado de desarrollo se logra en distinto tiempo.

El desarrollo fenológico de este cereal se mide por diferentes escalas; la más utilizada es la de Zadoks *et al.* (1974), mismo que describe a los estados morfológicos externos del cultivo, tanto en crecimiento como en desarrollo.



**Figura 2. Desarrollo fenológico según la escala decimal de Zadocks (1974)**

### 2.1.5. Principales enfermedades del cultivo de trigo

Prescott *et al.* (1986), señalan que las enfermedades que disminuyen la productividad y rentabilidad de este cereal, son las involucradas con hongos y en consecuencia una identificación categórica debe basarse en su morfología y las que se presentan con frecuencia son las royas que están conformadas por: roya amarilla o estriada (*Puccinia striiformis*), roya de la hoja o anaranjada (*Puccinia recóndita*), roya negra o del tallo (*Puccinia graminis f. sp. Tritici*); las enfermedades de la espiga son los carbones causantes de enanismo como el carbón volador (*Ustilago tritici*), caries o carbón ediondo (*Tilletia foetida*, *Tilletia caries*, y *Tilletia controversa*). Enfermedades foliares que están compuestas por mancha foliar o septoriosis (*Septoria tritici*) mancha amarilla, bronceado tostada (*Tritici repentis*) y oídio (*Blumeria graminisf. Sp tritici*).

Según PROTRIGO (2001), las enfermedades que predominan en el área triguera de Bolivia son la roya de la hoja (*Puccinia recóndita*), roya del tallo (*Puccinia graminis f. sp. Tritici*), roya amarilla (*Puccinia striiformis*) y la septoria (*Septoria tritici*) que tiene más incidencia en las áreas de climas fríos y húmedos

#### 2.1.1. Principales plagas del cultivo de trigo

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

### **2.1.1. Requerimientos edafoclimáticas**

Díaz (2003), citado por Quispe (2011), el trigo requiere suelos profundos, con un drenaje óptimo, para poder desarrollar el sistema radicular, mismo que prefiere un pH entre 6 y 7.5. 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. En cuanto a la humedad y precipitación, se ha demostrado en años secos que un 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.

## **2.2. El cultivo de trigo en Bolivia**

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

### **2.2.1. Uso y consumo del trigo en Bolivia**

Este cereal en sus diferentes formas de consumo constituye un alimento básico en los hogares de bajos ingresos. Los principales usos del trigo en nuestro país, se destina el 72 % a la panificación, 24 % para producción de pastas alimenticias y los restantes 4 % para la industria de galletas, pastelería y otros (Herbas, 2008). El consumo per cápita del trigo en nuestro país es estable, un promedio de 69 kg/año, esto se incrementa con el crecimiento poblacional, para el año 2014 el consumo de trigo fue aproximadamente de 700.000 t (INIAF, 2014).

### **2.2.2. La producción de trigo en el área Tradicional de Bolivia**

La producción en la zona tradicional triguera del occidente boliviano, está concentrada principalmente a los valles interandinos y algunas zonas específicas del Altiplano, donde se practica una agricultura tradicional (Crespo, 2000). Concentrando las unidades agrícolas productoras más importantes de trigo en los valles de Chuquisaca, Cochabamba, Potosí, Tarija y una área limitada en La Paz y Oruro (Herbas, 2008). Mostrando diferencias marcadas de rendimiento entre parcelas en una misma unidad familiar de una gestión a otra y de un espacio a otro, dando como resultado cambios drásticos en los volúmenes de producción, así como en los ingresos pese a la existencia de un patrón de siembra más o menos definido en cada gestión agrícola y cada unidad familiar (IBCE, 2014).

Entre 2005 y el 2012 se han sembrado en promedio 905,58 hectáreas por año, con una producción de 575.88 toneladas concentrado en los Departamentos de La Paz, Oruro, Chuquisaca, Potosí, Cochabamba y Tarija, reflejando rendimientos con una tendencia estable de 0.7 a 1.0 t/ha, esta producción obedece a tres racionalidades bien marcadas entre ellas la alimentación familiar, la alimentación animal y la generación de ingresos económicos. La producción de este cultivo está correlacionada al comportamiento de las lluvias; por lo tanto los paquetes tecnológicos deben estar orientados a generar cultivares con tolerancia a sequía y adaptadas a las principales zonas trigueras mismos que garanticen la seguridad alimentaria (MDRyT, 2012).

#### **2.2.1. Programas de mejoramiento de trigo en Bolivia**

El proceso de generación de tecnología en Bolivia estuvo marcado por una falta de continuidad de acciones, en los 90's, el Instituto Boliviano de Tecnología agropecuaria (IBTA), con financiamiento del Banco Mundial, generó algunas variedades y contribuyó a la formación de recursos humanos. Entre 1998 a 2001, fue implementado un Programa de Investigación y Transferencia de Tecnología para el Cultivo de Trigo (PROTRIGO), con apoyo financiero del Programa PL-480-Título III, del Programa PASA, con financiamiento de la Unión Europea y la contraparte de las prefecturas de Cochabamba, Chuquisaca, Potosí y Tarija y trabajo con dos componentes: 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 este programa no se dieron iniciativas nacionales para impulsar el rubro; sin embargo continuaron acciones puntuales de actores generadores de conocimientos tendientes a fomentar la producción de trigo a través de sus respectivos programas de

investigación como PROINPA y ANAPO. A pesar de los esfuerzos y financiamiento invertidos, no se logró superar los problemas de baja productividad. Bajo estas condiciones se estructuró el Programa Nacional de Trigo del INIAF que en la actualidad viene realizando actividades de investigación, cuyo objetivo es desarrollar tecnologías de producción en el cultivo de trigo que permitan mejorar los índices de productividad (MACA, 2001 y INIAF, 2014).

### **2.2.2. Utilización del vivero SAWYT en Bolivia**

Ante el cambio climático actual, los desafíos son mayores en los programas de mejoramiento genético de plantas. En este sentido CIMMYT ha desarrollado programas de mejoramiento de trigo para 12 mega ambientes, entre ellos se destaca el mega ambiente 4 caracterizado por presentar precipitaciones entre 200 a 400 mm/año. Para este propósito, emplea germoplasma mejorado denominado ensayos de rendimiento para zonas semi áridas SAWYT (Semi Arid Wheat Yield Trial) constituidos de 49 líneas avanzadas, que tiene características de alto rendimiento con tolerancia a estrés hídrico, temperaturas bajas y tolerantes a las principales enfermedades propias del ambiente. Esta población de líneas es una de las más promisorias para el escenario del área tradicional triguera de Bolivia (Benegas y Guzmán, 2001).

Los primeros ensayos de SAWYT fueron introducidos a través de PROTRIGO a nuestro país, durante los años 1999 a 2000. Posteriormente el Programa Nacional de Trigo del INIAF a partir del año 2012 continúa con la introducción de germoplasma anualmente y estas, son establecidos en las localidades de Pocona, Rodeo Grande, Tarata, Alcalá, Zudáñez, Lampaya, Condoriri, Charazani, Yesera Norte y San Pedro (PROTRIGO, 2001 y INIAF, 2014).

### **2.3. Estabilidad y adaptabilidad fenotípica**

Según Vallejo *et al.* (2010), los términos de estabilidad y adaptabilidad, en ciertos casos, son usados como sinónimos, pero en otros casos están asociados a dos conceptos distintos; sin embargo algunos investigadores utilizan el término de análisis de sensibilidad. En cambio, el término de estabilidad describe el comportamiento uniforme y predecible de un genotipo determinado a través del tiempo o a través de diferentes prácticas agronómicas, de un genotipo en una determinada localidad. La adaptabilidad se refiere a un comportamiento uniforme y predecible en un determinado genotipo a través de distintas localidades (Ceballos, 1999).

### **2.3.1. Estabilidad**

Tradicionalmente, los fitomejoradores han utilizado el término de estabilidad para caracterizar aquellas variedades que muestran un rendimiento constante en diversos ambientes, es decir, que muestran una varianza mínima frente a éstos. Al respecto Cubero (2011), menciona que los investigadores coinciden en la importancia de obtener variedades estables (se sobre entiende estable en ambientes muy diversos) en términos de alto rendimiento. El mismo autor, se refiere a la estabilidad al estudio de un sitio durante varios años o en ambientes diferentes. Por el contrario (Dyke *et al.*, 1995) citado por Damba (2008), sostiene que no existe una definición única de estabilidad, algunos investigadores prefieren usar la terminología de análisis de sensibilidad fenotípica.

Para Becker (1981) citado por Rodríguez *et al.* (2002), la estabilidad fenotípica del rendimiento ha tenido varias interpretaciones, por lo cual este investigador propuso dos conceptos: el biológico, cuyo genotipo ideal es el de mínima varianza a través de ambientes, mostrando un rendimiento constante en cualquier condición de producción, dando como resultado una varianza estadística mínima, y el agronómico que representa una mínima interacción genotipo ambiente, lo cual está asociado a la pretensión de obtener un incremento del rendimiento en respuesta a una amplia variedad de condiciones para la obtención de genotipos estables. Esta estrategia supone la conducción de ensayos repetidos en espacio y tiempo, y la posterior evaluación de los mismos en forma conjunta.

### **2.3.2. Adaptabilidad**

Adaptación se define como el proceso por el cual individuos y especies, cambian de forma o función de tal forma que sobreviven mejor en ciertas condiciones ambientales, puede definirse también como el comportamiento de un genotipo o una población genotípica en un ambiente (Gómez, 2001); sin embargo, para Sevilla (2004), la adaptación es un proceso genético mediante el cual las poblaciones de plantas modifican la frecuencia de sus genes para ajustarse a las particulares condiciones de un ambiente nuevo. El mismo autor menciona para que una población de plantas se adapte a ambientes ya sean específicos o generales estos deben contemplar amplia variación genética, así como resultado se tendrá la modificación de la frecuencia de sus genes.

Vásquez (1990), lo define como la habilidad del individuo o de la población de responder en la misma forma a los ambientes a los que se someten a prueba, en tal sentido tendrá igual significado que estabilidad; es decir algo que no cambia a través del tiempo o el

espacio. Por lo tanto el termino adaptación, implica el desarrollo normal, suficiente producción de gametos sin restricción de producción en grano y un rendimiento aceptable, siendo esto una característica varietal. Así mismo, existen diferencias notables en la capacidad adaptativa entre variedades calificándose a una variedad con buena adaptabilidad general, a aquella que se adapta bien a un rango amplio de ambientes (Mamani, 1999).

Simmonds (1979) citado por Damba (2008), sostiene que la adaptabilidad es una habilidad de un genotipo o población de genotipos que permiten la alteración de las normas de adaptación en respuesta a distintas presiones de selección; mientras que la adaptación es la adecuación a un ambiente dado. Este autor, distingue cuatro conceptos: adaptación específica de un genotipo, es la adaptación concreta del genotipo correspondiente a un ambiente limitado; adaptación genotípica general es la capacidad de un genotipo para producir en un rango de fenotipos compatibles con un rango de ambientes determinado; adaptación específica de una población, es la parte de la adaptación específica de una población heterogénea que es atribuible a la interacción entre los componentes más que a la adaptación de los componentes por sí mismos y la adaptación general de una población es la capacidad de poblaciones heterogéneas para adaptarse a variedades de ambientes.

En este sentido, para evaluar el comportamiento agronómico de los cultivares, generados de los programas de mejoramiento genético de cualquier rubro agrícola, es necesario medir la estabilidad y adaptabilidad fenotípica de los genotipos sometidos a la totalidad de los ambientes predominantes en una región potencial de adaptación, así tener como resultado variedades estables en su rendimiento, atributo que tiende a ser importante para los agricultores cuando adoptan cultivares nuevos (Yan y Holland, 2010).

Rodríguez *et al.* (2002), indican que la ocurrencia a menudo de interacción genotipo ambiente (IGA) en este tipo de ensayos exige la realización de estudios adicionales con el propósito de precisar la selección de individuos con adaptabilidad y estabilidad general o específica. Por lo cual los fitomejoradores buscan el tipo de interacción sin cruce, esto es, genotipos con adaptación general y el tipo de interacción con cruce para adaptación específica (Okoye *et al.*, 2008).

## **2.4. Análisis estadístico en estudios de la estabilidad y adaptabilidad**

### **2.4.1. Análisis univariado**

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

#### **2.4.1.1. Estadística descriptiva**

Málaga (2008), menciona que 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.

#### **2.4.1.2. Análisis de varianza (ANVA)**

El análisis de varianza es el procedimiento por el cual se puede decidir si más de dos poblaciones tienen media igual. Dando la posibilidad de desdoblar la varianza de un conjunto de observaciones en componentes, donde uno de ellos es la variación de la muestra y otra es la variación existente en las observaciones dentro de cada muestra (Caballero, 1975).

Santesmases (1997), indica que esta técnica estadística fue desarrollada para determinar la existencia de diferencias significativas entre los valores medios de una variable dependiente. Esta técnica es superior a la t de student para examinar diferencias entre medias ya sean independientes o relacionadas, por tanto permite analizar diferencias entre más de dos medias.

### 2.4.2. Modelos de Eberhart – Russell (1966)

En la identificación de cultivares estables se usaron métodos paramétricos univariados como los de Eberhart y Russell (1969). Según estos autores tanto el coeficiente de regresión " $b_i$ " como las desviaciones de la recta de regresión " $S^2d_i$ " deben tomarse en cuenta para identificar genotipos estables, y sugiere que el mejor cultivar es aquel que presenta el mayor rendimiento medio (promedio del genotipo evaluado en todos los ambientes evaluados) y la estabilidad promedio (coeficiente de regresión igual a 1 y desvío de la regresión igual a cero). Los genotipos con coeficientes de regresión mayores a uno ( $b_i > 1$ ), se adaptarían específicamente a los ambientes con mayores promedios (ambientes favorables), mientras que, con coeficientes de regresión menores que uno ( $b_i < 1$ ), se dice que se adaptan específicamente a los ambientes con promedios bajos (ambientes desfavorables). Para el mejor entendimiento de la interpretación de los parámetros de estabilidad de este modelo se presenta el Cuadro 1.

**Cuadro 1. Interpretación de los parámetros de estabilidad del modelo de Eberhart y Russell (1966)**

$b_i$	$Sd_i^2$	Interpretación
1	0	A) Variedad estable y predecible.
1	> 0	B) Buena respuesta en todos los ambientes, pero no predecible.
< 1	0	C) Mejor respuesta en ambientes desfavorables y predecibles.
< 1	> 0	D) Mejor respuesta en ambientes desfavorables, pero poco predecible.
> 1	0	E) Mejor respuesta en ambientes favorables y predecible
> 1	> 0	F) Mejor respuesta en ambientes favorables, pero poco predecible.

Este método requieren pocos cálculos y sus parámetros son fáciles de interpretar biológicamente, pero tienen utilidad limitada cuando la respuesta de los genotipos a los ambientes no es lineal.

### 2.4.3. Técnicas de análisis multivariado

Se refiere a todo un conjunto de métodos estadísticos que analizan simultáneamente medidas de dos o más variables de cada individuo, el cual consiste en permitir la descripción de los individuos tomando en cuenta simultáneamente varias características, sin dejar de

considerar la relación existente entre ellas (Hair *et al.*, 1992 citado por Franco e Hidalgo, 2003).

Pla (1986), sostiene que el análisis multivariado es una rama a fin a las matemáticas que está relacionado al estudio y análisis de una población “p” variada, es decir de un conjunto de individuos donde sean observado o medido “p” características o propiedades, en donde se dispondrá de p medias, p varianzas y  $(1/2) p (p - 1)$  covarianzas que no solo deben ser estimadas, sino que deben ser interpretadas.

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

El coeficiente de correlación múltiple, analiza más de dos variables a la vez, y mide el grado de asociación lineal entre dos variables, tomando valores entre  $-1$  y  $+1$ . Los valores próximos a 1 indican la fuerza de asociación lineal positiva entre dos variables (es decir que a medida que aumenta el valor de una variable, aumentan los de la otra); valores próximos a  $-1$  indican fuerte asociación lineal negativa y los valores próximos a cero indican que no existe asociación lineal (Morales, 2011y Rodríguez, 2000).

#### **2.4.3.2. Análisis de componentes principales (ACP)**

El análisis de componentes principales (ACP) es una técnica estadística de síntesis de la información, o reducción de la dimensión (número de variables), el objetivo será reducirlas a un menor número perdiendo la menor cantidad de información y presentar, bajo una forma gráfica la máxima información contenida en una tabla de datos. Esta tabla debe estar constituida de líneas, para los “individuos” (parcela, animales, unidades taxonómicas, etc.), sobre los cuales se miden “variables cuantitativas” o lo que sea considerado como tal (rendimiento, aumento de peso, calificación, etc.), lo que es ubicado en columnas (Philippeau, 1990).

Franco e Hidalgo (2003), indican que los componentes principales contienen información en diferentes proporciones de todas las variables originales y su número depende del número de éstas, que se incorporen en el análisis. La contribución de las variables a cada componente principal se expresa en valores y vectores propios, permitiendo conocer la relación existente entre las variables cuantitativas consideradas y la semejanza entre los genotipos.

Uno de los objetivos del análisis de componentes principales es la identificación de la relación que se presentan entre p variables correlacionadas (que miden información común), se puede transformar el conjunto original de variables en otro conjunto de nuevas

variables llamado conjunto de componentes principales, los cuales recogen la mayor parte de la variabilidad, hecho que permite representar los datos según dos o tres dimensiones si se conservan dos o tres ejes, pudiéndose identificar entonces grupos naturales entre las observaciones (Fuente, 2011).

#### **2.4.4. Modelos GGE biplot**

La identificación de cultivares sobresalientes también puede efectuarse desde una perspectiva multivariada con la técnica de componentes principales GGE biplot para el análisis gráfico de los datos de pruebas en múltiples ambientes (MET), metodología propuesta por Yan *et al.* (2000), donde se ilustra los genotipos y los ambientes de los datos MET, grafica que se constituye mediante el trazado de los dos primeros componentes principales (PC1 y PC2), también llamados efectos primarios y secundarios derivados de la descomposición en valores singulares (SVD), de los datos centrados en el ambiente (Yan, 2001). Uno de los méritos que atribuye el uso del modelo GGE biplot es que puede mostrar gráficamente “quién (que cultivar) ganó dónde (en qué localidad)” en un conjunto de datos (Yan *et al.*, 2000). Este grafico permite identificar al genotipo ideal como aquel con alta puntuación en el primer eje del componente principal (CP1) que está asociada a altos rendimientos (si fuese la variable en estudio) y las puntuaciones cercanas a cero en el segundo eje del componente principal (CP2), está relacionado con buena estabilidad del genotipo a través de todos los ambientes (Yan y Kang, 2003).

Además en el GGE, los genotipos que se encuentran ubicados hacia el centro de la figura son menos respondedores que aquellos localizados en los vértices del polígono (positiva o negativamente). También pueden ser identificados los mejores y peores sitios, esta información es utilizada para identificar mega-ambientes (Yan y Rajcan, 2002).

### 3. MATERIALES Y MÉTODOS

#### 3.1. Localización

##### 3.1.1. Ubicación Geográfica

El estudio se realizó en la campaña agrícola de verano 2013-2014, en cuatro localidades trigueras del departamento de Cochabamba. El primer ensayo se estableció en la Estación Experimental de Tarata (SEDAG), ubicada en el municipio de Tarata de la provincia Esteban Arce a 2754 msnm, entre los 17° 36' 44.1" de Latitud Sur y 66° 00' 43.1" Longitud Oeste. El segundo ensayo fue establecido en la localidad de Yuraj Molino ubicada en el municipio de Pocona a 2492 msnm entre los 17° 39' 56.3" Latitud Sur y 65° 19' 19" Longitud Oeste.

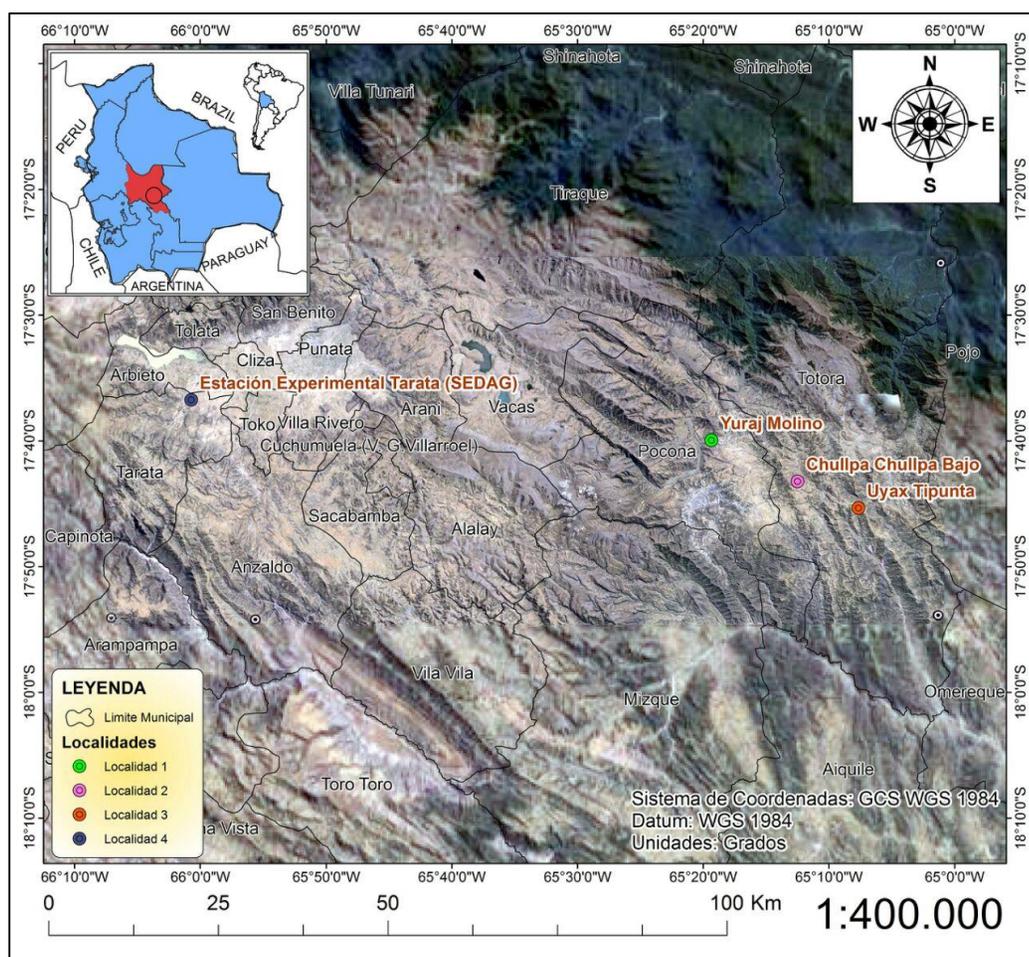


Figura 3. Ubicación geográfica de las cuatro localidades trigueras del Departamento de Cochabamba donde se realizó el estudio de la adaptabilidad y estabilidad de 50 genotipos de trigo harinero, campaña agrícola 2013-2014.

El tercero se implementó en la localidad de Chullpa Chullpa Bajo a 3002 msnm entre los 17° 43' 13" Latitud Sur y 65°12' 28" Longitud Oeste, finalmente la cuarta en la localidad de Uyax Tipunta a 2899 msnm entre los 17° 45' 20" Latitud Sur y 65°07'38" Longitud Oeste, ambas ubicadas en el municipio de Totora de la provincia Carrasco (Figura 3). Las cuales fisiográficamente se encuentran en el valle alto del departamento de Cochabamba, donde la producción de trigo se encuentra más en la planicies, precisamente porque son las zonas más secas y constituye muchas veces el cultivo principal (PROTRIGO, 2001).

### 3.1.2. Características climáticas

Tarata presenta condiciones climáticas semiáridas, con una temperatura media de 18.4°C, y con temperaturas extremas desde 9.5 °C hasta 27.3 °C. En los meses de diciembre y enero se concentran las máximas precipitaciones pluviales, los cuales van en descenso entre los meses de abril a mayo llegándose a acumular 364 mm por ciclo (Figura 4).

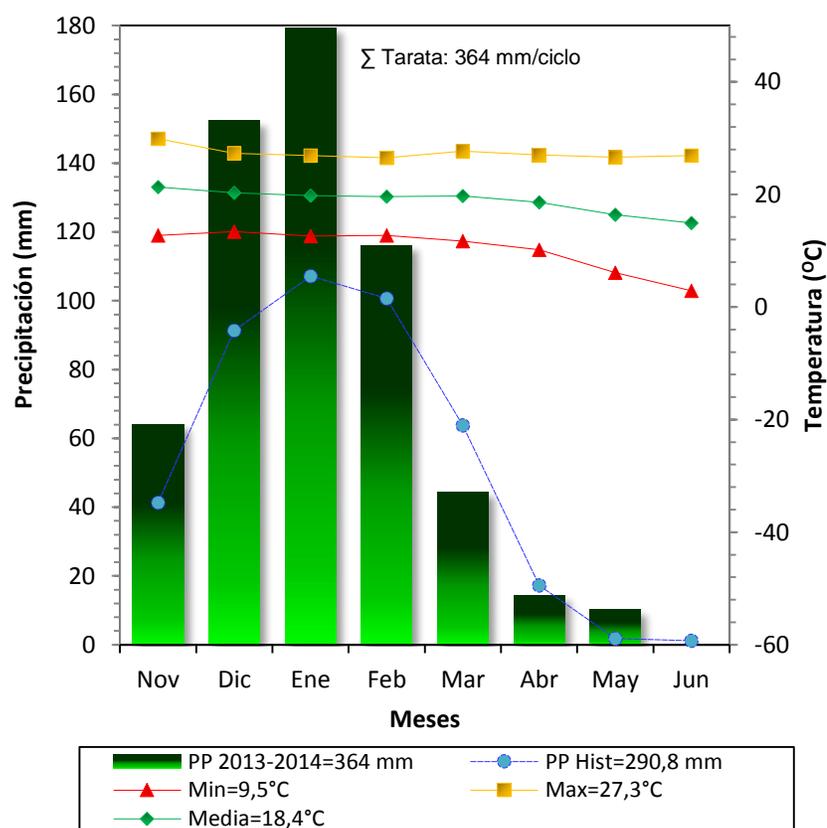
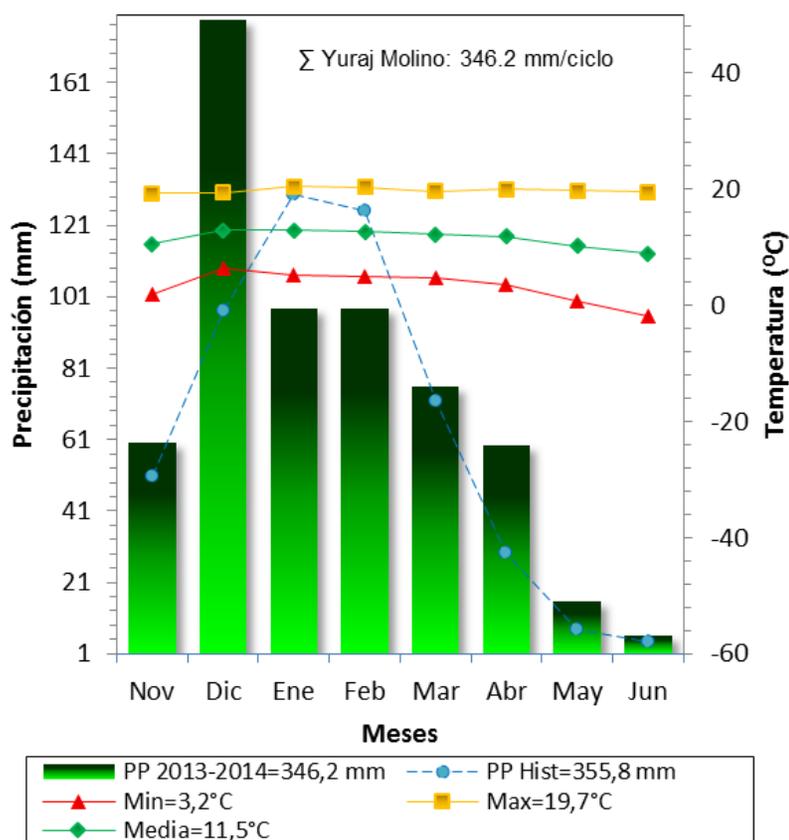


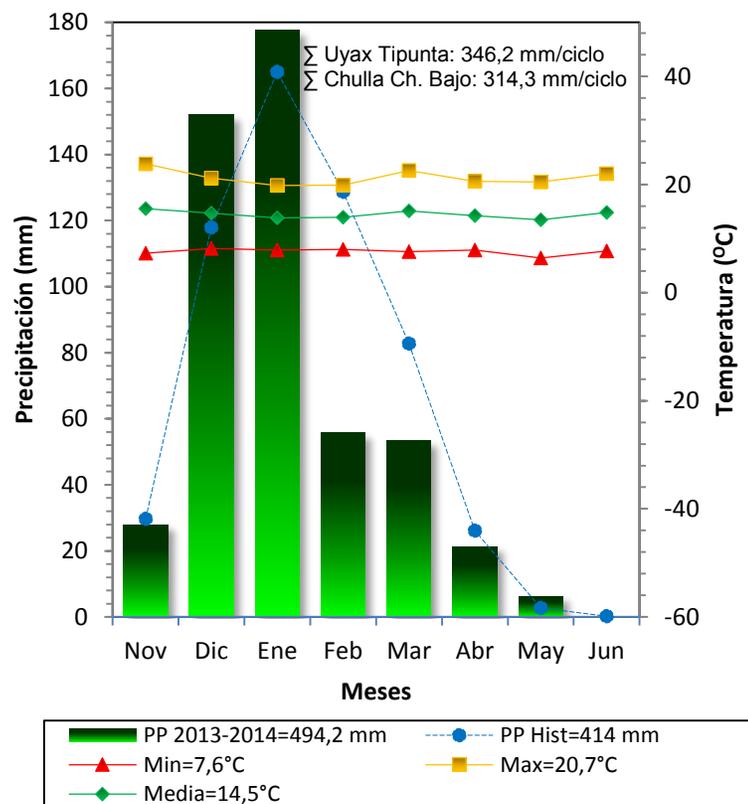
Figura 4. Climadiagrama correspondiente a la Estación Experimental de Tarata de la Provincia Estaban Arce del Departamento de Cochabamba (2013-2014).

Las condiciones climáticas de Pocona, corresponden a la clasificación de valles templados, la cual es muy propensa a sequías, debido a la distribución variable de la precipitación en la zona, la cual registra una precipitación acumulada de 346.2 mm por ciclo. Con temperaturas mínimas de 3.2 °C y 23 °C como máxima (Figura 5).



**Figura 5. Climadiagrama correspondiente al Municipio de Pocona de la Provincia Carrasco del Departamento de Cochabamba (2013-2014).**

Según Koppen, la localidad de Totora corresponde a un clima semiárido, con una precipitación promedio anual de 494.2 mm. El cual registra una temperatura mínima de 8°C para la época lluviosa y de 7.3°C para la época seca; en cuanto a la temperatura máxima para la época lluviosa es de 20.3°C y para la época seca es de 21.14°C (Figura 6).



**Figura 6. Climadiagrama correspondiente al Municipio de Totora de la Provincia Carrasco del Departamento de Cochabamba (2013-2014).**

### 3.1.3. Vegetación

La zona de estudio presentó una diversidad de especies vegetales entre perennes y arbustivas, las cuales son consideradas plantas invasoras para el cultivo de trigo, entre estas especies de estrato bajo se encuentran como: el Arrocillo (*Avenas fatua*), la grama (*Cyloдон dactylon*), el muni muni (*Bidens pilosa*) y nabo (*Brasica campestris*).

### 3.1.4. Características edáficas

Las características edáficas de las partes planas son profundas de morfología poco desarrollada de origen fluviolacustre con granulometría entre media y gruesa de permeabilidad lenta, son pobres en nitrógeno y fósforo. El potasio varía de medio a bajo presentando alto grado de erosión (PROTRIGO, 2001). Para contribuir con información precisa de las características edáficas, se realizó los análisis de los suelos de las localidades en estudio en el laboratorio de la carrera de Ingeniería Agronómica (UPEA), según estos resultados del Cuadro 2, la localidad Yuraj Molino presenta un suelo Franco-

arcilloso (FY) con pH de 5.6 y materia orgánica de 1.25%, mientras la localidad de Chullpa Chullpa Bajo presentó un suelo Franco-arenoso (FA), con pH 5.5 y materia orgánica de 1.23%, y la localidad de Uyax Tipunta presentó un suelo Franco-arcilloso (FY), con pH de 5.7 y materia orgánica de 1.37% y finalmente la Estación Experimental de Tarata (SEDAG) presentó un suelo Franco Limoso, con pH de 5.4 y materia orgánica de 1.26%.

**Cuadro 2. Características edáficas de las cuatro localidades trigueras de Cochabamba en el estudio de la estabilidad y adaptabilidad de 50 genotipos de trigo harinero.**

Provincia	Municipio	Localidad	MO (%)	pH	Textura
Carrasco	Pocona	Yuraj Molino	1.25	5.6	FY
Carrasco	Totora	Chullpa Chullpa Bajo	1.23	5.5	FA
Carrasco	Totora	Uyax Tipunta	1.17	5.7	FY
Esteban Arce	Tarata	E.E. Tarata (SEDAG)	1.26	5.4	FL

MO=Materia Orgánica; FY= Franco Arcilloso; FA= Franco Arenoso; FL=Franco Limoso y E.E.= Estación Experimental.

## 3.2. Materiales

### 3.2.1. Material genético

El material genético en estudio, está conformado por 49 líneas avanzadas que corresponden a la generación F8 de trigo harinero, corresponden al vivero 20<sup>TH</sup> SAWYT (Ensayo de rendimiento para zonas semiáridas) (Cuadro 3), los cuales proceden del Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo (CIMMYT). A este set de material genético se incorporó una variedad testigo Tepoca T89, seleccionado por su alta estabilidad fenotípica en las zonas productoras de trigo y además es cultivado en mayor proporción en términos de superficie y volumen. La semilla fue provisto por el Programa Nacional de Trigo (PN-Trigo) del Instituto Nacional de Innovación Agropecuaria y Forestal (INIAF).

**Cuadro 3. Descripción del material genético del vivero internacional 20<sup>TH</sup> SEMI ARID WHEAT YT (F8) del CIMMYT utilizado en este estudio.**

N°	Nombre de los cruzamientos	Historial de selección	Genotipo
1	Tepoca T89		301
2	DHARWAR DRY	-0IND	302
3	VOROBAY	CMSS96Y02555S-040Y-020M-050SY-020SY-27M-0Y	303
4	W15.92/4/PASTOR//HXL7573/2*BAU/3/WBLL1	PTSS02B00102T-0TOPY-0B-0Y-0B-11Y-0M-0SY	304
5	GK ARON/AG SECO 7846//2180/4/2*MILAN/KAUZ//PRINIA/3/BAV92	CMSA05Y00954T-040M-040ZTP0Y-040ZTM-040SY-12ZTM-01Y-0B	305
6	BOW/VEE/5/ND/VG9144//KAL/BB/3/YACO/4/CHIL/6/CASKOR/3/CROC_1/AE.SQUARROSA (224)//OPATA/7/PASTOR//MILAN/KAUZ/3/BAV92	CMSA04M01201T-050Y-040ZTP0M-040ZTY-040ZTM-040SY-6ZTM-01Y-0B	306
7	BOW/VEE/5/ND/VG9144//KAL/BB/3/YACO/4/CHIL/6/CASKOR/3/CROC_1/AE.SQUARROSA (224)//OPATA/7/PASTOR//MILAN/KAUZ/3/BAV92	CMSA04M01201T-050Y-040ZTP0M-040ZTY-040ZTM-040SY-6ZTM-03Y-0B	307
8	D67.2/PARANA 66.270//AE.SQUARROSA (320)/3/CUNNINGHAM/4/VORB	CMSA06M00431S-040ZTM-040ZTY-31ZTM-02Y-0B	308
9	D67.2/PARANA 66.270//AE.SQUARROSA (320)/3/CUNNINGHAM/4/VORB	CMSA06M00431S-040ZTM-040ZTY-31ZTM-04Y-0B	309
10	H45/4/KRICHAUFF/FINSI/3/URES/PRL//BAV92	CMSA06M00501S-040ZTM-040ZTY-11ZTM-0Y-0B	310
11	VORB/SOKOLL	CMSA06M00621S-040ZTM-040ZTY-16ZTM-01Y-0B	311
12	VORB/SOKOLL	CMSA06M00621S-040ZTM-040ZTY-16ZTM-03Y-0B	312
13	VORB/SOKOLL	CMSA06M00621S-040ZTM-040ZTY-16ZTM-04Y-0B	313
14	DUCULA/GONDO//SOKOLL	CMSA06M00645S-040ZTM-040ZTY-19ZTM-03Y-0B	314
15	VORB/3/T.DICOCCON PI94625/AE.SQUARROSA (372)//3*PASTOR	CMSA06M00667S-040ZTM-040ZTY-50ZTM-02Y-0B	315
16	CNO79//PF70354/MUS/3/PASTOR/4/BAV92/5/MILAN/KAUZ//PRINIA/3/BAV92	CMSA06Y00093S-040ZTP0Y-040ZTM-040SY-5ZTM-0Y-0B	316
17	EGA BONNIE ROCK/4/MILAN/KAUZ//PRINIA/3/BAV92	CMSA06Y00125S-040ZTP0Y-040ZTM-040SY-2ZTM-01Y-0B	317
18	EGA BONNIE ROCK/4/MILAN/KAUZ//PRINIA/3/BAV92	CMSA06Y00125S-040ZTP0Y-040ZTM-040SY-2ZTM-02Y-0B	318
19	CNDO/R143//ENTE/MEXI_2/3/AEGILOPS SQUARROSA (TAUS)/4/WEAVER/5/2*JANZ/6/D67.2/PARANA 66.270//AE.SQUARROSA (320)/3/CUNNINGHAM	CMSA06Y00262S-040ZTP0Y-040ZTM-040SY-79ZTM-0Y-0B	319

**Cuadro 2. (Continuación).**

<b>N°</b>	<b>Nombre de los cruzamientos</b>	<b>Historial de selección</b>	<b>Genotipo</b>
20	INQALAB 91*2/KUKUNA/4/TC14/2*HTG//DUCULA/3/PRINIA	CMSA05Y01455S-040M-040ZTY-040ZTM-040SY-16ZTM-0Y-0B	320
21	KANZ/5/CNO79//PF70354/MUS/3/PASTOR/4/BAV92/6/PRL/SARA//TSI/VEE#5	CMSA05M00652T-050Y-040ZTM-040ZTY-040ZTM-040SY-15ZTM-0Y-0B	321
22	BABAX/KS93U76//BABAX/3/2*SOKOLL	CMSA06M00008T-024(PINBD1BHET)Y-040ZTM-026(PINBD1BPOS)ZTY-20ZTM-0Y-0B	322
23	BABAX/KS93U76//BABAX/3/2*SOKOLL	CMSA06M00008T-024(PINBD1BHET)Y-040ZTM-026(PINBD1BPOS)ZTY-28ZTM-01Y-0B	323
24	BABAX/KS93U76//BABAX/3/2*SOKOLL	CMSA06M00008T-024(PINBD1BHET)Y-040ZTM-026(PINBD1BPOS)ZTY-28ZTM-02Y-0B	324
25	MILAN/KAUZ//PRINIA/3/BAV92/4/2*SOKOLL	CMSA06M00017T-030(CSLV34HET)Y-040ZTM-049(CSLV34POS)ZTY-68ZTM-0Y-0B	325
26	SLVS/ATTILA//WBLL1*2/3/GONDO/CBRD	CMSA06M00128T-029(PINBD1BHET)Y-040ZTM-029(PINBD1BPOS)ZTY-11ZTM-0Y-0B	326
27	SLVS/ATTILA//WBLL1*2/3/GONDO/CBRD	CMSA06M00128T-029(PINBD1BHET)Y-040ZTM-029(PINBD1BPOS)ZTY-67ZTM-0Y-0B	327
28	SLVS/ATTILA//WBLL1*2/3/GONDO/CBRD	CMSA06M00128T-029(PINBD1BHET)Y-040ZTM-029(PINBD1BPOS)ZTY-75ZTM-0Y-0B	328
29	HUANIL/5/2*CNO79//PF70354/MUS/3/PASTOR/4/BAV92	CMSA05M00750T-050Y-041ZTM-040ZTY-040ZTM-040SY-10ZTM-0Y-0B	329
30	PBW343*2/KUKUNA//WBLL1*2/KUKUNA	CMSA05M00118S-0100ZTM-029(LR34 HOM+HET)ZTY-040ZTM-040SY-2ZTM-0Y-0B	330
31	PBW343*2/KUKUNA//WBLL1*2/KUKUNA	CMSA05M00118S-0100ZTM-029(LR34 HOM+HET)ZTY-040ZTM-040SY-16ZTM-0Y-0B	331
32	PBW343*2/KUKUNA//WBLL1*2/KUKUNA	CMSA05M00118S-0100ZTM-029(LR34 HOM+HET)ZTY-040ZTM-040SY-45ZTM-0Y-0B	332
33	SLVS/ATTILA//WBLL1/4/FRAME*2/3/URES/JUN//KAUZ	CMSA05M00140S-021(CRE1M19-GWM577BO1)M-028(BO1 POS& CRE1 POS)ZTY-040ZTM-040SY-11ZTM-0Y-0B	333
34	SLVS/ATTILA//WBLL1/4/FRAME*2/3/URES/JUN//KAUZ	CMSA05M00140S-021(CRE1M19-GWM577BO1)M-028(BO1 POS& CRE1 POS)ZTY-040ZTM-040SY-16ZTM-0Y-0B	334
35	D67.2/PARANA 66.270//AE.SQUARROSA (320)/3/CUNNINGHAM/4/SKAUZ/BAV92	CMSA06M00430S-040ZTM-040ZTY-22ZTM-0Y-0B	335
36	T.DICOCCON PI225332/AE.SQUARROSA (895)//WBLL1/3/2*WBLL1/4/SOKOLL	CMSA06M00709S-040ZTM-040ZTY-21ZTM-0Y-0B	336
37	KRICHAUFF/2*PASTOR//SOKOLL	CMSA06Y00098S-040ZTP0Y-040ZTM-040SY-1ZTM-0Y-0B	337

**Cuadro 2. (Continuación).**

<b>N°</b>	<b>Nombre de los cruzamientos</b>	<b>Historial de selección</b>	<b>Genotipo</b>
38	PVN//CAR422/ANA/5/BOW/CROW//BUC/PVN/3/YR/4/TRAP#1/6/WORRAKATTA/2*PASTOR/7/PRL/2*PASTOR	CMSA06Y00821T-040ZTM-040ZTP0Y-040ZTM-040P0Y-16ZTM-0Y-0B	338
39	KRICHAUFF/2*PASTOR/4/MILAN/KAUZ//PRINIA/3/BAV92	CMSA06Y00337S-040ZTP0Y-040ZTM-040P0Y-4ZTM-0Y-0B	339
40	BWD-4/3/ATTILA/BAV92//PASTOR/4/ATTILA*2/PBW65	CMSA06Y00896T-040ZTM-040ZTP0Y-040ZTM-040SY-15ZTM-0Y-0B	340
41	HEILO//SUNCO/2*PASTOR	CMSA06Y00492S-040ZTY-040ZTM-040SY-2ZTM-0Y-0B	341
42	HEILO//SUNCO/2*PASTOR	CMSA06Y00492S-040ZTY-040ZTM-040SY-6ZTM-0Y-0B	342
43	CHIH95.7.4//INQALAB 91*2/KUKUNA	PTSS06GHB00007S-0Y-040ZTM-040ZTY-4ZTM-0Y-0B	343
44	CHIH95.7.4//INQALAB 91*2/KUKUNA	PTSS06GHB00007S-0Y-040ZTM-040ZTY-11ZTM-0Y-0B	344
45	SOKOLL//INQALAB 91*2/KUKUNA	PTSS06GHB00021S-0Y-040ZTM-040ZTY-5ZTM-0Y-0B	345
46	SOKOLL//INQALAB 91*2/KUKUNA	PTSS06GHB00021S-0Y-040ZTM-040ZTY-27ZTM-0Y-0B	346
47	D67.2/PARANA 66.270//AE.SQUARROSA (320)/3/CUNNINGHAM/4/SKAUZ/BAV92	CMSA06M00430S-040ZTM-0NJ-0NJ-18Y-3B-0Y-0B	347
48	KRICHAUFF/2*PASTOR//2*SOKOLL	CMSA06M00010T-040Y-040ZTM-0NJ-0NJ-4Y-1B-0Y-0B	348
49	KRICHAUFF/2*PASTOR//2*SOKOLL	CMSA06M00010T-040Y-040ZTM-0NJ-0NJ-9Y-1B-0Y-0B	349
50	BJY/COC//PRL/BOW/3/SARA/THB//VEE/4/PIFED/5/KIRITATI	CMSA06Y00240S-040ZTP0Y-040ZTM-0NJ-0NJ-17Y-1B-0Y-0B	350

### **3.2.2. Material de campo y laboratorio**

Los materiales que se utilizaron en actividades de campo fueron tractor agrícola, picota, rastrillo, cinta métrica, flexómetro, lienzo, estacas de madera, surcadora manual de 5 aletas, hoces, bolsa de yute, trilladora de grano, venteadora de grano, sobres de papel, marbetes y libro de campo. Los materiales de laboratorio fueron: balanza analítica, balanza volumétrica, contador de grano y vernier (calibrador) y cámara fotográfica.

### **3.2.3. Material de gabinete**

Para el procesamiento y análisis de los datos se utilizó una computadora y los paquetes estadísticos SPSS versión 22, SAS versión 9.2, SPLUS 2000, R project 3.2.3 para Windows y Excel 2013, además de todo el material de escritorio necesario para plasmar los resultados en un documento final.

## **3.3. Metodología**

### **3.3.1. Fase de instalación del experimento**

- **Preparación del terreno.-** La preparación de los terrenos para establecer los ensayos, se realizó luego de las lluvias del mes de noviembre y diciembre (Anexo 12), el suelo se removió con la maquina agrícola (tractor de arado), que consistió en el desterronado y mullido del suelo a una profundidad de 20 a 25 cm que tuvo la finalidad de facilitar la aireación del suelo y eliminación de plantas invasoras, así mismo, se hizo el mullido y nivelado del suelo, dejando listo para la siembra.

**Preparación de las semillas y siembra.-** Se preparó 10 g de semilla de cada genotipo en pequeñas bolsas de plástico con sus respectivas identificaciones (entrada y localidad) el 28 de diciembre de 2013, esta cantidad de semilla equivale a una densidad de siembra de 100 kg/ha. El establecimiento de los ensayos, se realizó el 31 de diciembre de 2013 en la localidad de Yuraj Molino, el 7 y 8 de enero de 2014 en la localidad de U yax Tipunta y Chullpa Chullpa Bajo y finalmente el 20 de enero de 2014 en la Estación Experimental Tarata, en surcos de 5 m de largo y distancia entre surcos de 0.25 m, distribuyendo las semillas en el fondo de cada surco homogéneamente a chorro continuo (Anexo 13).

### 3.3.2. Fase de manejo del cultivo

- a) **Labores culturales.-** Se realizó el primer deshierbe en la etapa de macollamiento del 6 al 8 de marzo del 2014, se eliminó las plantas invasoras presentes (muni muni, alpiste, avena y otros), el ultimo después de la floración, en fechas del 20 al 25 de marzo del 2014, respectivamente en cada localidad bajo cronogramas (Anexo 14), esta actividad se realizó con el fin de evitar la competencia de las plantas invasoras con los cultivares de trigo por agua y nutrientes.
- b) **Cosecha.-** La cosecha se realizó cuando las plantas llegaron a la madurez fisiológica, el 5 y 6 de mayo en la Estación Experimental de Tarata y Yuraj Molino, 10 y 18 de julio de 2014 en las localidades de Uyax Tipunta y Chullpa Chullpa Bajo, respectivamente, cada unidad experimental se cosechó en yutes, con la ayuda de un hoz (Anexo 16).
- c) **Trillado y venteado.-** El trillado se realizó en el mes de junio con la ayuda de una trilladora de granos y al mismo tiempo se realizó el venteo para obtener granos limpios y finalmente se efectuó el envasado de las semillas de cada línea avanzada en bolsas de papel para su posterior evaluación en laboratorio (Anexo 17).

### 3.3.3. Fase de evaluación de la investigación

Se registraron 18 variables cuantitativas y cualitativas descritas en la guía de evaluación propuesta por Marza y Quispe (2013), los cuales fueron evaluados durante el desarrollo fenológico del cultivo, mientras que el registro de las variables de grano se efectuaron en laboratorio luego de la cosecha y trilla, caracteres que tienen importancia en la selección e identificación de genotipos con características deseables para un programa de mejoramiento y estas se describen a continuación (Anexo 15).

#### 3.3.3.1. Variables cuantitativas

##### a) **Número de espigas por metro cuadrado (NEM)**

Para la obtención de los datos de esta variable se realizó el conteo de las espigas correspondientes en un metro lineal de la parte central de ambos surcos, de cada unidad experimental (Figura 7a).

##### b) **Altura de planta (AP)**

Esta variable se registró, cuando las plantas alcanzaron la madurez fisiológica. Tomando en cuenta desde la base inicial del tallo hasta la punta de la espiga excluyendo la barba, la cual fue medida en tres plantas de cada unidad experimental expresada en centímetros (Figura 7b).

### a) Longitud de espiga (LE)

Para la obtención de los datos de la longitud de espiga expresada en centímetros, se hizo la medición de tres espigas muestreadas de cada unidad experimental, desde el punto de inserción de la espiga hasta la punta del mismo excluyéndose la barba o arista (Figura 7c).



**Figura 7. Fotografía de la evaluación de las variables a) Número de espigas por metro, b) Altura de planta y c) Longitud de espiga.**

### b) Número de macollo por planta (NM).

Para la obtención de los datos de esta variable se eligieron tres plantas muestreadas por cada unidad experimental, realizando el conteo directo y posteriormente se promedió (Figura 8 a).

**c) Longitud de la arista (LA)**

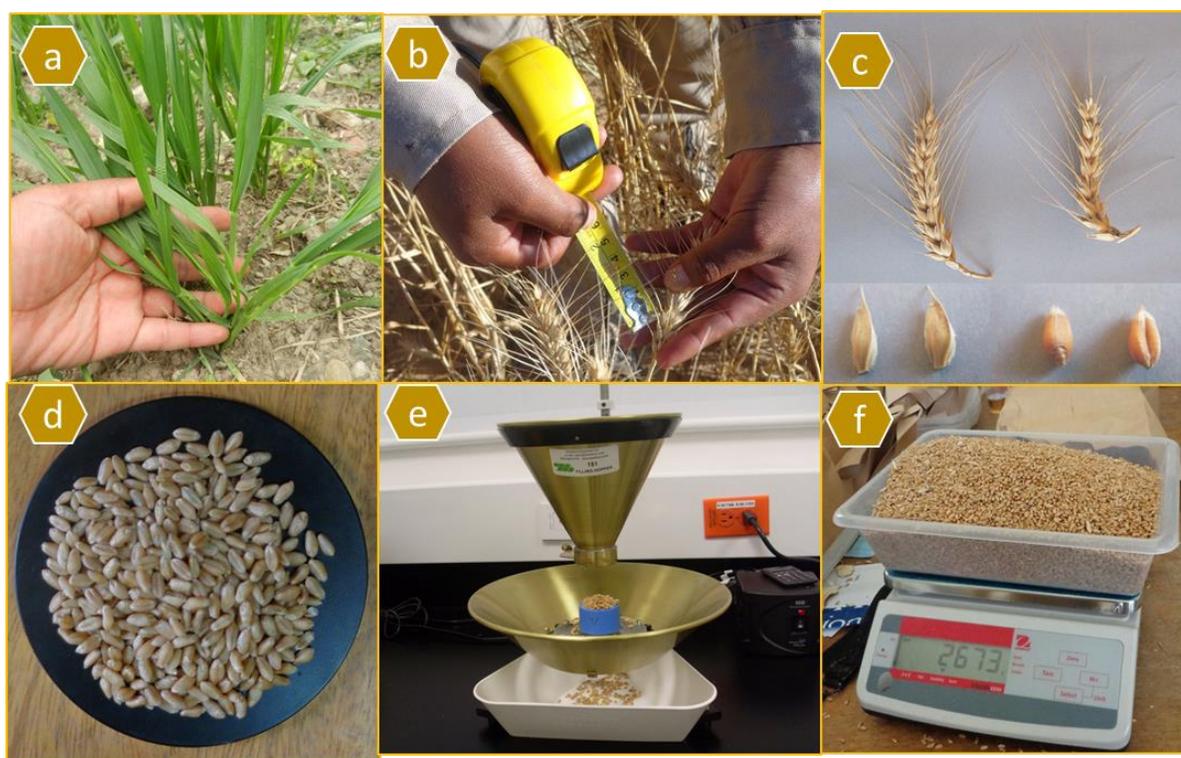
Para la obtención de los datos de la longitud de arista, se realizó la medición de tres espigas muestreadas de cada unidad experimental, desde el punto de inserción de la arista hasta la punta del mismo excluyéndose la espiga (Figura 8 b).

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

Estos datos, se obtuvieron realizando el conteo de todos los granos de cada espiga, al final del estadio de la maduración fisiológica de las tres plantas muestreadas de cada unidad experimental, para posteriormente sacar un promedio (Figura 8 c).

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

Para obtener los datos de esta variable, se pesó 1000 granos de una muestra aleatoria de cada unidad experimental, inmediato de ser cosechado, trillado y venteado, haciendo uso de una balanza analítica (Figura 8 d).



**Figura 8. Fotografía de la evaluación de las variables a) Número de macollos por planta, b) Longitud de arista c) Número de granos por espiga, d) Peso de mil granos, e) Peso hectolítrico y f) rendimiento.**

**f) Peso hectolítrico (PH)**

El peso hectolítrico se determinó utilizando la balanza volumétrica en relación peso/volumen del grano expresado en kilogramo por hectolitro (kg/hl) de cada tratamiento (Figura 8 e).

**g) Rendimiento en grano (RDTO)**

Para la evaluación del rendimiento en grano, se pesó el total de los granos cosechados de cada unidad experimental, expresados en kg/ha (Figura 8 f).

**3.3.3.2. Variables cualitativas****a) Tamaño de grano (TG)**

Para el registro de esta variable, se realizó la medición aleatoria de los granos de cada tratamiento en milímetros con la ayuda de un vernier, utilizando la siguiente escala (Figura 9 a):

- 1 = Grano pequeño (<6 mm)
- 3 = Grano mediano (6-7 mm)
- 5 = Grano grande (>7 mm)

**b) Tipo de grano (TGR)**

El tipo de grano se registró a simple observación, utilizando la siguiente escala (Figura 9 b):

- 1 = Muy chupado
- 2 = Chupado
- 3 = Casi lleno
- 4 = Lleno
- 5 = Muy lleno

**c) Color de grano (CG)**

Para la evaluación de esta variable, el grano se clasificó de acuerdo a la siguiente escala:

- 1 = Púrpura (morado)
- 3 = Rojo
- 5 = Blanco

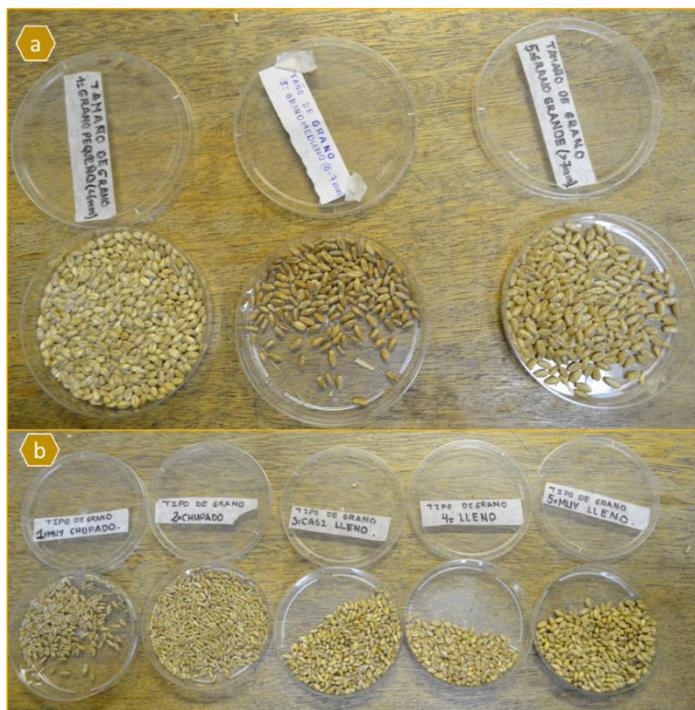


Figura 9. Fotografía de la evaluación de las variables a) Tamaño de grano, b) Tipo de grano.

#### d) Porte de la planta (PP)

En la madures fisiológica, se registró esta variable, observando el hábito de crecimiento de las tres plantas muestreadas de cada unidad experimental, determinados por la siguiente escala (Figura 10 a):

1 = Muy decumbente

2 = Decumbente

3= Semi-decumbente

4 = Semi-erecto

5 = Erecto

**e) Precocidad (P)**

La precocidad de los genotipos de trigo se determinó en la etapa de la madurez fisiológica (cuando no se marca la impresión de la uña al apretar el grano), según la siguiente escala (Figura 10 b):

1 = Muy tardío

2 = Tardío

3 = Intermedio

4 = Precoz

5 = Muy precoz

**f) Densidad de la espiga (DES)**

Esta variable se registró en tres plantas de cada unidad experimental a simple observación, considerando la siguiente escala (Figura 10 c):

1 = Muy laxa

2 = Laxa

3 = Moderadamente compacta

4 = Compacta

5 = Muy compacta

**g) Tolerancia a Roya**

Se determinó de forma visual la presencia de la enfermedad en cada genotipo muestreado, bajo la siguiente escala (Figura a):

1 = Muy susceptible

2 = Susceptible

3 = Moderadamente tolerante

4 = Tolerante

5 = Muy tolerante



**Figura 10. Fotografía de la evaluación de las variables a) Porte de la planta, b) Precocidad y c) Densidad de espiga.**

#### **h) Tolerancia a Septoria**

Se determinó de forma visual la presencia de la enfermedad en cada genotipo muestreado, bajo la siguiente escala (Figura b):

- 1 = Muy susceptible
- 2 = Susceptible
- 3 = Intermedio
- 4 = Tolerante
- 5 = Muy tolerante



**Figura 11. Fotografía de la evaluación de las variables a) tolerancia a roya y b) tolerancia a septoria.**

#### **i) Tolerancia a la sequía**

Esta variable se registró valorando la tolerancia a la mínima disponibilidad de humedad en el entorno el que se desarrolló. Su estimación se realizó por la siguiente escala:

1 = Muy susceptible

2 = Susceptible

3 = Intermedio

4 = Tolerante

5 = Muy tolerante

### 3.3.4. Diseño experimental

En programas de mejoramiento es común tener varios experimentos con un gran número de tratamientos pero con un número reducido de repeticiones para estos casos se emplea el diseño Alfa Láttice (Mendiburu, 2014), el cual corresponde al grupo de diseños incompletos propuestos por Patterson y Willians (1976), con ventajas sobre un diseño de bloques al azar, que dividen las repeticiones en bloques incompletos conteniendo una fracción del total del número de entradas, de manera que cada par de genotipos quede distribuido en alguno de los bloques incompletos en igual frecuencia.

Se realizaron análisis de varianza individual por localidad y combinados de localidades. El modelo lineal utilizado para el análisis individual de acuerdo a lo propuesto por Patterson y Willians (1976), fue el siguiente:

$$y_{ijk} = \mu + \alpha_j + \beta_{k(j)} + \tau_i + \varepsilon_{ijk}$$

$$i = 1,2, \dots \text{genotipos}, j = 1,2 \dots \text{repeticiones}, k = 1,2 \dots \text{subbloques}$$

Dónde:

$y_{ijk}$  = Valor del genotipo  $i$  en el sub-bloque  $k$  en la repetición  $j$

$\mu$  = Media general de todas las observaciones

$\alpha_j$  = Efecto de la repetición  $k$

$\beta_{k(j)}$  = Efecto del subbloque  $k$  dentro de la repetición  $j$

$\tau_i$  = Efecto del  $i$ -esimo genotipo

$\varepsilon_{ijk}$  = Error experimental

$$\text{Eficiencia Relativa} = \frac{\text{Cuadrados Medio del Error RCBD}}{\text{Cuadrados Medios del Error alpha lattice}} * 100$$

Con relacion al análisis combinado, el modelo lineal elegido para explicar el comportamiento de los genotipos en los diferentes ambientes de acuerdo a lo propuesto por Martínez (1988) citado por Lozano (2014) fue:

$$Y_{ijkl} = \mu + \alpha_{k(j)} + \beta_{l(kj)} + \tau_i + \delta_j + (\tau\delta)_{ij} + \varepsilon_{ijkl}$$

$i = 1, 2, \dots$  genotipos,  $j = 1, 2 \dots$  ambiente,  $k = 1, 2 \dots$  repeticiones,  $l = 1, 2, \dots$  subbloques

Dónde:

$Y_{ijkl}$  = Comportamiento medio del genotipo  $i$  en bloque  $l$  en la repetición  $k$  en el ambiente  $j$ ;

$\mu$  = Media general

$\alpha_{k(j)}$  = Efecto de la repetición  $k$  dentro del ambiente  $j$

$\beta_{l(kj)}$  = Efecto del bloque  $l$  dentro de la repetición  $k$  en el ambiente  $j$

$\tau_i$  = Efecto del  $i$ -ésimo genotipo;  $\delta_j$  = Efecto del  $j$ -ésimo ambiente

$(\tau\delta)_{ij}$  = Efecto de la interacción (GE) del  $i$ -ésimo genotipo en el  $j$ -ésimo ambiente

$\varepsilon_{ijkl}$  = Error experimental.

### 3.3.5. Métodos de análisis estadísticos

Para el análisis de los datos registrados de la evaluación de 49 líneas avanzadas de trigo más el testigo local Tepoca T89 en la presente investigación, se construyó una matriz básica ( $n \times p$ ), una para variables cuantitativas y otra para variables cualitativas, posteriormente fueron sometidos a diferentes análisis estadísticos para dar respuesta a los objetivos planteados.

### 3.3.6. Análisis estadístico descriptivo

Para la interpretación del comportamiento de cada línea avanzada de trigo harinero en estudio en relación a cada carácter, se consideró los estadísticos descriptivos de tendencia central, dispersión y de distribución de cada variable cuantitativa. Asimismo, permitió determinar la frecuencia relativa y frecuencia absoluta de los diferentes estados de las variables cualitativas. El análisis estadístico descriptivo se realizó con el software SPSS versión 22.

#### 3.3.6.1. Análisis de varianza (ANVA)

Se analizó la variación total de los resultados experimental del diseño Alfa Láttice, descomponiéndolo en fuentes de variación, independientes y atribuibles a cada uno de los efectos en que constituye el diseño experimental. Llevándose a cabo un análisis por localidad con el fin de comprobar la existencia de diferencias entre líneas avanzadas y los

análisis combinados se realizaron con la finalidad de determinar la existencia de diferencias significativas entre líneas avanzadas a través de todas las localidades, así determinar los genotipos más promisorios en términos productivos. El ANVA se calculó aplicando PROC GLM del software SAS versión 9.2.

#### **3.3.6.2. Prueba de medias**

En el análisis de los Alfa Láttices para la comparación de los tratamientos existe la necesidad de realizar un ajuste en los promedios de los tratamientos que tenga en cuenta los efectos de los bloques para realizar adecuadamente la comparación de las medias. Por esta razón, para el análisis de este tipo de experimentos se utilizan modelos mixtos los cuales toman en consideración el análisis intra e inter bloque. Un modelo mixto es un modelo lineal en el cual más de un efecto es aleatorio y otro aparte de la media general es fijo (Piepho, 2008). Para la comparación de las medias se ha aplicado la prueba de rango múltiple de Duncan.

#### **3.3.6.3. Análisis de correlación (r)**

El coeficiente de correlación nos permitió conocer el grado de asociación entre las variables, cuantificando en términos relativos, el grado de asociación íntima o variación conjunta entre dos variables cuantitativas, los cuales presentaron distintas unidades tales como: centímetros, días, kilogramos y gramos. Este coeficiente fue calculado aplicando la opción Correlación del programa SPSS versión 22.

#### **3.3.6.4. Análisis de componentes principales (ACP)**

Con este análisis se construyeron nuevas variables o componentes principales para la identificación de la relación que se presentan entre  $p$  variables que miden información común (correlacionadas). Cada componente principal contiene información en diferentes proporciones de todas las variables originales, mismos que deben ser interpretados independientemente uno del otro, cuyo análisis fueron expresados en valores y vectores propios. Los componentes principales se estimaron con la opción componentes principales del software SPLUS versión 2000.

### 3.3.6.5. Modelo de Eberhart y Russell

Para determinar los parámetros de adaptabilidad y estabilidad fenotípica, se tuvo en cuenta la metodología propuesta por Eberhart y Russell (1966), los cuales propusieron un modelo de regresión lineal. En este modelo además del promedio general y del coeficiente de regresión lineal de cada genotipo, también se considera como parámetros de estabilidad la varianza de los desvíos de la regresión de cada genotipo. Los parámetros para el estudio de la estabilidad son definidos por el siguiente modelo:

$$y_{ij} = \mu_{ij} + \beta_i I_j + \delta_{ij} + \varepsilon_{ij}$$

$i = 1, 2, \dots \text{promedio genotipos}, j = 1, 2 \dots \text{ambiente}$

Donde:

$y_{ij}$  = promedio del  $i$ -ésimo genotipo en el  $j$ -ésimo ambiente

$\mu_{ij}$  = media del  $i$ -ésimo genotipo en todos los ambientes

$\beta_i$  = coeficiente de regresión que mide la respuesta del  $i$ -ésimo genotipo a la variación ambiental

$I_j$  = índice ambiental

$\delta_{ij}$  = desvío de la regresión del  $i$ -ésimo genotipo en el  $j$ -ésimo ambiente

$\varepsilon_{ij}$  = desviación de la regresión de la variedad y el ambiente.

El ANVA y los parámetros de estabilidad fueron calculados con el EXCEL 2013. La grafica de rendimiento versus el coeficiente de regresión fueron realizados con el software SPLUSS 2000.

### 3.3.6.6. Modelo GGE biplot

El modelo GGE biplot se usó para el análisis de estabilidad fenotípica (Yan *et al.*, 2000). El análisis se basó en el gráfico producido del biplot simétrico obtenido del programa desarrollado por Burgueño *et al.* (2001). El modelo básico GGE biplot es:

$$Y_{ij} - \bar{Y}_j = \lambda_1 \varepsilon_{i1} n_{j1} + \lambda_2 \varepsilon_{i2} n_{j2} + e_{ij}$$

Donde:

$Y_{ij}$  = rendimiento medio del genotipo  $i$  en el ambiente  $j$

$\bar{Y}_j$  = rendimiento promedio de todos los genotipos en el ambiente  $j$

$\lambda_1 \lambda_2$  = valores singulares para CP1 y CP2

$\varepsilon_{i1} \varepsilon_{i2}$  = valores del CP1 y CP2 para el genotipo  $i$

$n_{j1} n_{j2}$  = valores del CP1 y CP2 para el ambiente  $j$

$e_{ij}$  = residual del modelo asociado con el *genotipo  $i$  en el ambiente  $j$*

El análisis de estabilidad fenotípica del modelo GGE biplot se estimaron con el uso del software R versión 3.2.2.

## 4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 4.1. Análisis descriptivo

El comportamiento de las líneas avanzadas de trigo provenientes del vivero 20<sup>TH</sup>SAWYT a en las 4 localidades se describe en el Cuadro 4. Estos resultados muestran las variaciones obtenidas a través de los parámetros estadísticos de tendencia central, dispersión y distribución en función a nueve variables. Entre las características agromorfológicas, se distinguen la altura de planta (AP) con un rango de 52.5 cm y longitud de arista (LA) con un rango de 7.4 cm, con una media de 65.75 y 6.06 cm respectivamente.

**Cuadro 4. Estadística descriptiva de características cuantitativas de 50 genotipos de trigo harinero, evaluadas en cuatro localidades trigueras de Cochabamba, campaña agrícola 2013-2014.**

Variables	Media	Desv stan	Asimetría	Curtosis	Rango	Mínimo	Máximo
<b>Características agromorfológicas</b>							
AP	65.75	9.31	-0.01	-0.42	52.5	40.5	93
LA	6.06	1.26	0.33	-0.02	7.4	2.6	10
<b>Componentes de productividad</b>							
NM	4	1.07	0.39	-0.54	4	2	6
NEM	185	44.99	0.20	-0.19	220	76	296
LE	7.97	1.06	-0.16	-0.14	6.2	4.6	10.8
NGE	49	8.05	0.54	-0.59	36	32	68
PMG	42.22	5.79	0.41	-0.01	35	26	61
RDTO	1649.42	541.44	1.01	0.56	2746	904	3650
<b>Componentes de calidad</b>							
PH	77.75	2.01	-0.25	0.18	12.45	70.54	82.99

AP = Altura de planta (cm); LA = Longitud de arista (cm); NM = Número de Macollos por planta (n°); NEM = Número de espigas por metro cuadrado (m<sup>2</sup>); LE = Longitud de espiga (cm); NGE = Número de granos por espiga (n°); PMG = Peso de mil granos (g); RDTO = Rendimiento en grano (kg/ha) y PH = Peso hectolítrico (kg/hl).

Se destacan también las características relacionadas con los componentes de productividad mostrando comportamientos relativamente dispersos, como: número de macollos por planta (NM) con un promedio de 4 macollos, número de espigas (NEM) que oscilan entre 76 y 296 espigas, la longitud de espiga (LE) alcanzó un promedio de 7.97 cm con una máxima de 10.8 cm y una mínima de 4.6 cm para las líneas. En cuanto al promedio para número de granos por espiga (NGE) fue de 49.19 granos con una desviación estándar de 8.5, presentando un máximo de 61 g y un mínimo de 26 g para el peso de mil granos (PMG). El rendimiento en grano (RDTO) registró un promedio de 1649.42 kg/ha, siendo

esta una de las variables que tuvo mayor variación, que puede atribuirse a las condiciones edafoclimáticas de las 4 localidades. Finalmente el peso hectolítrico (PH) alcanzó un promedio de 77.75 kg/hl con una mínima de 70.54 kg/hl y una máxima de 82.99 kg/hl.

## 4.2. Análisis de varianza

### 4.2.1. Análisis de varianza por localidad

En el Cuadro 5, se muestra el análisis de varianza por localidad para las variables: altura de planta (AP) y número de macollos (NM). También, se presenta los parámetros correspondientes a los valores de coeficientes de variación, de determinación y promedios, para cada variable en los distintos ambientes de evaluación. Los cuadrados medios para altura de planta (AP) de las líneas no mostraron diferencias significativas en todas las localidades a una probabilidad del  $P < 0.05$ , esto puede ser debido a que el material desarrollado por CIMMYT es de porte bajo y tolerante al acame. En respecto al desarrollo de número de macollos por planta (NM), los cuadrados medios para líneas de las cuatro localidades denotaron diferencias significativas al ( $P < 0.05$ ), presentando un coeficiente de variación con una amplitud de 0.56 % (Chullpa Chullpa Bajo) a 23.84 % (Yuraj Molino), los cuales están dentro de los marcos establecidos para experimentos en campo y que dan una confiabilidad de los mismos.

**Cuadro 5. Análisis de varianza por localidad para las variables altura de planta (AP) y número de macollos por planta (NM) de 50 genotipos de trigo harinero, evaluados durante la campaña agrícola 2013-2014.**

FV	GL	Cuadrados Medios							
		Chullpa Chullpa Bajo		E.E. Tarata		Uyax Tipunta		Yuraj Molino	
		AP	NM	AP	NM	AP	NM	AP	NM
Línea	49	36.82ns	0.89*	54.15ns	1.08*	35.10ns	0.32*	10.27ns	1.91*
Repetición	1	2355.16*	2.25*	1987.38*	0.01ns	42.90ns	0.01ns	14.52ns	0.09ns
Bloq (rep)	8	100.15*	0.40ns	57.8ns	0.61ns	76.76*	0.31ns	11.42ns	1.79*
Error	41	45.63	0.32	51.77	0.48	22.57	0.17	7.5	0.73
R <sup>2</sup>		0.72	0.79	0.71	0.74	0.72	0.72	0.66	0.78
CV		9.4	0.56	12.33	18.14	6.58	16.74	4.53	23.84
Media		71.83	4.17	58.37	3.81	72.33	2.49	60.47	3.59

\* Significativo con una probabilidad  $P \leq 0.05$ ; ns = No significativo; FV = Fuentes de variación; GL = Grados de libertad; Bloq (Rep) = Subbloques anidados en repeticiones; CV = Coeficiente de variación; R<sup>2</sup> = Coeficiente de determinación; AP = cm y NM = n°.

El Cuadros 6, ilustra el análisis de varianza por localidad para las variables: longitud de espiga (LE), número de espigas por metro (NEM) y los valores correspondientes a coeficientes de variación, de determinación y el promedio de cada carácter dentro de cada localidad. Los cuadrados medios para líneas de la variable longitud de arista (LA) mostraron diferencias significativas para tres localidades, y no significativa para la localidad Yuraj Molino, con un coeficiente de variación que va desde 12.09% (Uyax Tipunta) a 16.95% (Chullpa Chullpa Bajo).

Los cuadrados medios correspondiente a líneas de la variable número de espigas por metro (NEM), mostraron diferencias significativas para todas las localidades y dentro de repeticiones, solo se evidenció diferencias significativas para las localidades de E.E. Tarata y Yuraj Molino. Los coeficientes de variación presentaron una amplitud de 15.42 % (E.E. Tarata) a 18.41 % (Yuraj Molino).

**Cuadro 6. Análisis de varianza por localidad para las variables longitud de arista (LA) y número de espigas por metro (NEM) de 50 genotipos de trigo harinero, evaluados durante la campaña agrícola 2013-2014.**

FV	GL	Cuadrados Medios							
		Chullpa Ch. Bajo		E.E. Tarata		Uyax Tipunta		Yuraj Molino	
		LA	NEM	LA	NEM	LA	NEM	LA	NEM
<b>Línea</b>	49	2.54*	2214.41*	1.40*	3139.63*	1.39*	2036.39*	0.51ns	1874.83*
<b>Repetición</b>	1	15.52*	334.89ns	4.97*	6256.81*	0.17ns	43.56ns	1.02ns	5329.00*
<b>Bloq (rep)</b>	8	1.61ns	1081.48ns	0.37ns	2377.45ns	1.20ns	908.39ns	0.51ns	264.24ns
<b>Error</b>	41	1.28	725.9	0.61	1381.12	0.66	919.25	0.36	954.88
<b>R<sup>2</sup></b>		0.74	0.8	0.75	0.76	0.74	0.74	0.67	0.72
<b>CV</b>		16.95	17.32	14.43	18.41	12.09	16.76	11.12	15.42
<b>Media</b>		6.69	155.57	0.78	201.91	6.74	180.9	5.36	200.38

\* Significativo con una probabilidad  $P \leq 0.05$ ; ns = No significativo; FV = Fuentes de variación; GL = Grados de libertad; Bloq (Rep) = Subbloques anidados en repeticiones; CV = Coeficiente de variación; R<sup>2</sup> = Coeficiente de determinación; LA = cm y NEM = m<sup>2</sup>.

En la fuente de variación correspondiente a líneas avanzadas del Cuadros 7, se presentaron diferencias significativas para la variable longitud de espiga (LE) en las localidades de Chullpa Chullpa Bajo, Uyax Tipunta y Yuraj Molino. En cambio para la variable número de granos por espiga (NGE), no mostraron diferencias significativas entre las líneas avanzadas. Los coeficientes de variación presentaron una amplitud desde 9.24% en Yuraj Molino hasta 13.9% en Uyax Tipunta.

**Cuadro 7. Análisis de varianza por localidad para las variables longitud de espiga (LE) y número de granos por espiga (NGE) de 50 genotipos de trigo harinero, evaluados durante la campaña agrícola 2013-2014.**

FV	GL	Cuadrados Medios							
		Chullpa Chullpa Bajo		E.E. Tarata		Uyax Tipunta		Yuraj Molino	
		LE	NGE	LE	NGE	LE	NGE	LE	NGE
Línea	49	1.41*	58.89ns	1.18ns	55.80ns	1.25*	47.53	0.93*	21.06ns
Repetición	1	40.20*	334.89*	46.65*	1790.14*	0.18ns	7.84	0.27ns	37.21ns
Bloq (rep)	8	1.72*	108.80*	0.86ns	61.17ns	0.50ns	52.26	0.35ns	21.57ns
Error	41	0.59	40.35	0.72	42.9	0.56	43.22	0.37	17.07
R <sup>2</sup>		0.84	0.71	0.79	0.74	0.74	0.61	0.76	0.64
CV		9.46	11.37	10.69	13.39	9.65	13.9	7.53	9.24
Media		8.09	55.87	7.96	48.91	7.79	47.3	8.06	44.69

\* Significativo con una probabilidad  $P \leq 0.05$ ; ns = No significativo; FV = Fuentes de variación; GL = Grados de libertad; Bloq (Rep)= Subbloques anidados en repeticiones; CV = Coeficiente de variación; R<sup>2</sup> = Coeficiente de determinación; LE = cm y NGE = n°.

Se identificaron diferencias significativas ( $P < 0.05$ ), en peso de mil granos (PMG) y peso hectolítrico (PH) de las diferentes líneas avanzadas en todas las localidades evaluadas (Cuadro 8). El promedio de peso de mil granos (PMG) varió de 38.15 (Yuraj Molino) a 47.87 (Chullpa Chullpa Bajo), con coeficientes de variación que presentaron una amplitud desde 4.92% (E.E. Tarata) a 6.53% (Yuraj Molino). Los coeficientes de variaciones entre las diferentes líneas avanzadas para peso hectolítrico (PH) en las diferentes localidades fueron desde 1.39% (Chullpa Chullpa Bajo) a 1.91% (Yuraj Molino).

**Cuadro 8. Análisis de varianza por localidad para las variable peso de mil granos (PMG) y peso hectolítrico (PH) de 50 genotipos de trigo harinero, evaluados durante la campaña agrícola 2013-2014.**

FV	GL	Cuadrados Medios							
		Chullpa Chullpa Bajo		E.E. Tarata		Uyax Tipunta		Yuraj Molino	
		PMG	PH	PMG	PH	PMG	PH	PMG	PH
Línea	49	37.81*	2.20*	29.49*	5.72*	39.76*	5.77*	22.26*	5.09*
Repetición	1	320.41*	25.70*	1.44ns	8.58*	38.32*	0.10 ns	8.88ns	18.49*
Bloq (rep)	8	11.45ns	1.12*	3.99ns	1.77*	5.06ns	3.38ns	8.42ns	2.41ns
Error	41	7.33	1.16	3.84	1.46	6.32	2.16	6.22	2.19
R <sup>2</sup>		0.88	0.75	0.9	0.84	0.89	0.77	0.82	0.76
CV		5.66	1.39	4.92	1.56	5.85	1.86	6.53	1.91
Media		47.87	77.23	39.86	77.17	42.98	79.19	38.15	77.42

\* Significativo con una probabilidad  $P \leq 0.05$ ; ns = No significativo; FV = Fuentes de variación; GL = Grados de libertad; Bloq (Rep) = Subbloques anidados en repeticiones; CV= Coeficiente de variación; R<sup>2</sup> = Coeficiente de determinación; PMG= g y PH=kg/hl.

Los cuadrados medios para rendimiento del Cuadro 9, muestra la existencia de diferencias significativas ( $P < 0.05$ ), entre líneas avanzadas en todas las localidades de evaluación, indicando diferencias en la expresión del potencial genético de cada cultivar, y así permitiendo discriminar genotipos de alto rendimiento. Los coeficientes de variación presentaron una amplitud de 14.24% (Uyax Tipunta) a 19.87% (E.E. Tarata), los cuales están dentro de los marcos establecidos para experimentos en campo y que dan una confiabilidad de la recolección de los datos.

**Cuadro 9. Análisis de varianza por localidad para la variable rendimiento en grano (RDTO) de 50 genotipos de trigo harinero, evaluados durante la campaña agrícola 2013-2014.**

FV	GL	Cuadrado medio			
		Chullpa Ch. Bajo	E.E. Tarata	Uyax Tipunta	Y. Molino
		RDTO	RDTO	RDTO	RDTO
Línea	49	288970.94*	263068.96*	87159.39*	84010.88*
Repetición	1	15338188.96*	208209.69ns	9880.360ns	21667.84ns
Bloq (Rep)	8	274835.62ns	167593.08	62634.55 ns	7352364ns
Error	41	130213.73	157565.59	33668.96	37859
R <sup>2</sup>		0.86	0.69	0.78	0.75
CV		18.2	19.87	14.24	14.64
Eficiencia		141.18	120.75	136.3	137.89
Promedios		1982.7	1998.07	1288.42	1328.48

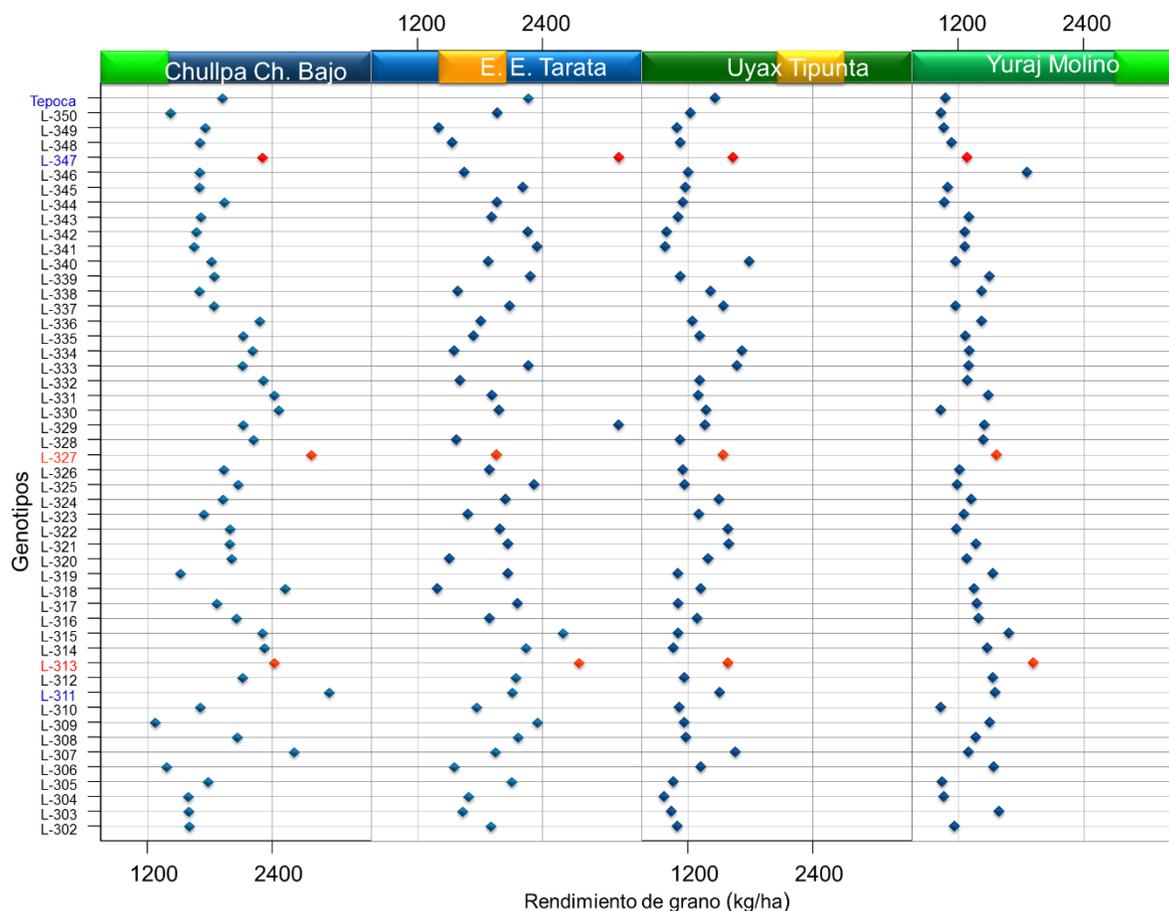
\* Significativo con una probabilidad  $P \leq 0.05$ ; ns= No significativo; FV = Fuentes de variación; GL = Grados de libertad; Bloq (Rep) = Subbloques anidados en repeticiones; CV= Coeficiente de variación; R<sup>2</sup> = Coeficiente de determinación y RDTO = kg/ha

En general, se puede señalar que las fuentes de variación correspondientes a líneas, repeticiones y subbloques anidado a repeticiones para cada variables en las diferentes localidades evaluadas que presentaron diferencias significativas ( $P \leq 0.05$ ), muestran un patrón de comportamiento variado de los genotipos en cada localidad; y donde no se presentó significancia implica que esos ambiente no alteran el comportamiento de los genotipo o en caso contrario son ambientes que discriminan genotipos.

#### 4.2.2. Comparación de medias de rendimiento por localidad

El panel de trellis de la Figura 12, muestra las medias de rendimientos de las cuatro localidades de evaluación. Se advierte que en Chulla Chullpa Bajo y la E. E. Tarata presentan rendimientos superiores a 2000 kg/ha, mientras que en Uyax Tipunta y Yuraj Molino el rendimiento fue superior a 1000 kg/ha. Estas diferencias fundamentalmente puede ser debido a las condiciones ambientales y la temperatura pudiendo incidir en el

rendimiento, también el aumento o disminución de la fase fenológica provoca variaciones en el comportamiento del cultivo (Plana *et al.*, 2006).



**Figura 12. Panel Trellis para rendimiento promedio (kg/ha) para 50 genotipos de trigo harinero, evaluados en la campaña agrícola 2013-2014.**

La respuesta de los genotipos de trigo harinero fue particular en cada localidad, sin embargo el genotipo L313, muestra superioridad en su expresión de rendimiento en relación a las demás cultivares y al testigo, registrando así en las localidades de E. E. Tarata y Yuraj Molino, un rendimiento promedio de 2751.5 y 1918.45 kg/ha, respectivamente y esta seguida por el genotipo L327, siendo la más rendidora en las localidades de Chullpa bajo y Yuraj Molino, con rendimientos promedios de 2775.7 y 1563.9 kg/ha, respectivamente. Cabe resaltar la existencia de genotipos que expresaron alto potencial de rendimiento en una localidad específicas como la L347 y L329 con 1283.1 y 1448.7 kg/ha, con superioridad

en rendimiento en la localidad de E.E. Tarata y seguido por la L346 con 1857.85 kg/ha para la localidad Yuraj Molino.

#### 4.2.3. Análisis de varianza combinado de localidades

El Cuadro 10, muestra los cuadrados medios del análisis de varianza combinado de localidades para las variables cuantitativas: altura de planta (AP), número de macollos por planta (NM), número de espigas por metro cuadrado (NEM), longitud de espiga (LE) y longitud de arista (LA). Este análisis denota diferencias altamente significativas ( $P < 0.01$ ) y significativas ( $P < 0.05$ ) entre localidades, líneas y localidades por líneas para todas las variables evaluadas. Con excepción en la interacción localidades por líneas para la variable altura de planta (AP), esto puede ser debido a que los materiales del CIMMYT son de porte bajo y no presenta diferencias en gran magnitud de un ambiente a otro. Con coeficientes de variación de 8.58, 18.55, 17.08, 9.39 y 14.11%, respectivamente. Los cuales están dentro del rango aceptable para experimento en campo.

**Cuadro 10. Análisis combinado entre localidades para las variables cuantitativas: altura de planta (AP), número de macollos (NM), número de espigas por m<sup>2</sup> (NEM), longitud de espiga (LE) y longitud de espiga (LE) de 50 genotipos de trigo harinero evaluados en cuatro localidades trigueras de Cochabamba durante la campaña agrícola 2013-2014.**

FV	GL	Cuadrados Medios				
		AP	NM	NEM	LE	LA
Localidad	3	5425.45**	52.41**	46834.77**	1.81*	57.91**
Rep (Loc)	4	1099.99**	0.59*	2991.07*	21.82**	5.42**
Bloq (Rep*Loc)	32	66.18**	0.87*	2466.94**	1.27**	1.60**
Línea	49	61.09**	2.17**	4109.74**	2.18**	2.27**
Loc*Línea	147	24.09 <sup>ns</sup>	0.65**	1438.95*	0.78*	1.04*
Error	164	31.89	0.43	995.29	0.56	0.73
CV (%)		8.58	18.55	17.08	9.39	14.11
R <sup>2</sup>		0.85	0.85	0.8	0.79	0.81
Promedio		65.75	3.5	148.69	7.97	6.06

\* Significativo con una probabilidad  $P \leq 0.05$ ; \*\* altamente significativo con una probabilidad de  $P \leq 0.01$ ; FV = Fuentes de variación; GL = Grados de libertad; Loc\*Línea = Localidad por Línea Avanzada; Rep(Loc) = Repeticiones anidadas en localidades; Bloq(Rep\*loc) = Bloques anidados en repeticiones por localidades; CV = Coeficiente de variación y R<sup>2</sup> = Coeficiente de determinación.

Los resultados del análisis de varianza combinado entre localidades para los caracteres de productividad: número de granos por espiga (NGE), peso de mil granos (PMG), peso hectolítrico (PH) y rendimiento en grano (RDTO), se presenta en el Cuadro 11, estos resultados muestra diferencias altamente significativas ( $P < 0.01$ ) y significativas ( $P < 0.05$ )

entre localidades, genotipos, localidades por genotipos. Mostrando un patrón de comportamiento diferencial de los genotipos. Dando valores para coeficiente de variación de 12.18, 5.77, 1.69 y 18.17 %, respectivamente. Los cuales están dentro del rango aceptable, dejando como evidencia que se tuvo un control aceptable del ambiente experimental.

**Cuadro 11. Análisis combinado entre localidades para las variables cuantitativas: número de granos por espiga (NGE), peso de mil granos (PMG), peso hectolítrico (PH) y rendimiento en grano (RDTO) de 50 genotipos de trigo harinero, evaluados en cuatro localidades trigueras de Cochabamba durante la campaña agrícola 2013-2014.**

FV	GL	Cuadrados Medios			
		NGE	PMG	PH	RDTO
Localidad	3	2284.11**	1818.93**	93.26**	15531862.15**
Rep(Loc)	4	542.52**	92.26**	13.22**	3894486.71**
Bloq(Rep*Loc)	32	74.86**	24.04**	4.37**	330585.68**
Línea	49	54.53*	84.48**	9.02**	121483.53*
Localidad*Línea	147	39.89*	11.29**	2.77**	121483.53*
Error	164	35.88	5.93	1.74	89826.8
CV (%)		12.18	5.77	1.69	18.17
R2		0.77	0.93	0.82	0.87
Promedio		49.19	42.22	77.75	1649.42

\* Significativo con una probabilidad  $P \leq 0.05$ ; \*\* altamente significativo con una probabilidad de  $P \leq 0.01$ ; FV = Fuentes de variación; GL = Grados de libertad; LocxLínea = Localidad por Línea Avanzada; Rep (Loc) = Repeticiones anidadas en localidades; Bloq (Repxloc)= Bloques anidados en repeticiones por localidades; CV = Coeficiente de variación y  $R^2$  = Coeficiente de determinación.

La significancia encontrada para interacción genotipo por localidad, para todos caracteres evaluados, es un indicativo de la respuesta diferencial de las líneas que formaron parte de este estudio a las variaciones ambientales en las diferentes localidades. Esto sugiere la necesidad de un estudio más detallado para analizar y cuantificar la naturaleza de dicha interacción y establecer los ambientes que más contribuyen a dicha interacción y cuales permiten una mejor discriminación, en cuanto al potencial productivo de los diferentes genotipos. Adicionalmente, determinar genotipos de adaptación específica y la posibilidad de agrupar ambientes que presenten un mismo patrón de respuesta.

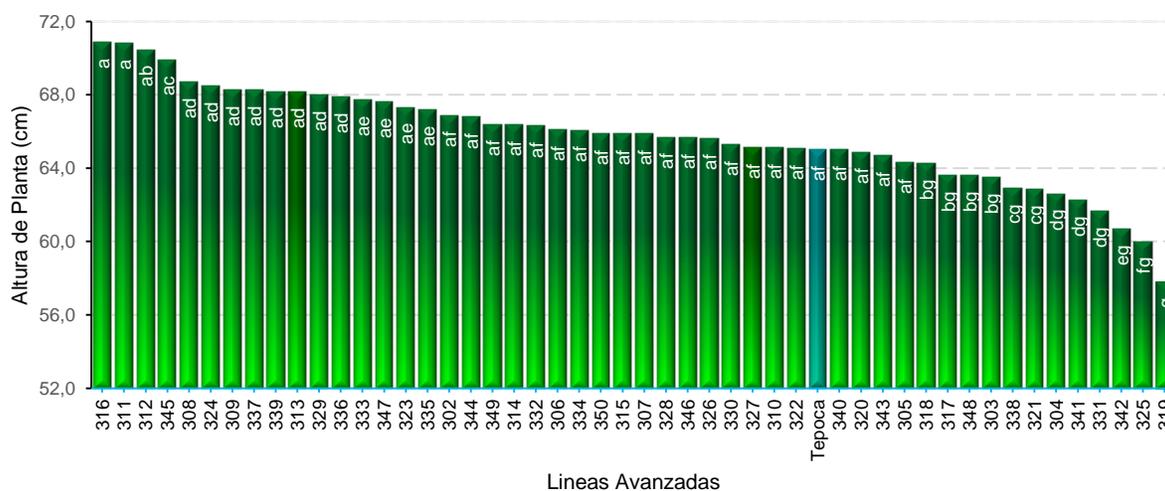
Resultados similares sobre la significancia de la IGA en trigo fueron publicados por Velasco *et al.* (2001), en la evolución en múltiples localidades para los valles trigueros del área tradicional mostrando diferencias altamente significativas para variedades, localidades y

significativo para la interacción de variedad por localidad, los cuales no diferencian al análisis de varianza de la presente investigación, habiendo líneas avanzadas que no se comportaron de igual manera ante las variaciones de las diferentes localidades.

### 4.3. Análisis de prueba de promedios

#### 4.3.1. Altura de planta

En la prueba de Duncan al 5% de significancia (Figura 13), se estableció 7 grupos para la variable altura de planta. Sin embargo, existen genotipos con mayor desarrollo para este carácter en relación al testigo como: L316, L311, L312 y L345, mientras que las líneas L331, L342, L325 y L319, presentaron menor desarrollo. En cuanto, al testigo Tepoca T89 registró una altura de 65 cm. Esta variación en la altura de planta, puede estar ligado al carácter genético de las líneas avanzadas en respuesta a las condiciones ambientales donde se desarrolló el cultivo.

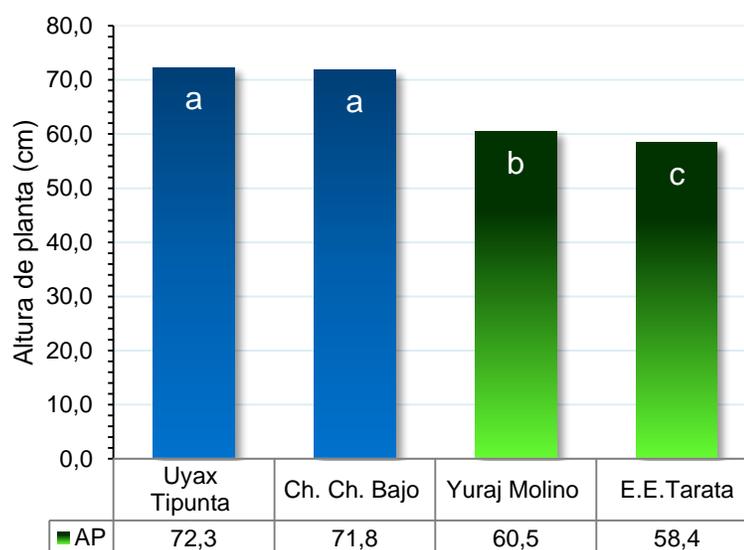


**Figura 13. Comparación de medias de altura de planta entre genotipos de trigo harinero, evaluados en cuatro localidades trigueras de Cochabamba durante la campaña agrícola 2013-2014.**

Arispe (2007) y López (1990), indican que la altura de planta del trigo está ligada a la característica propia de cada especie, esto puede variar dependiendo de la variedad, época de siembra, como también de la fertilidad del suelo. Los mismos autores indican que en

programas de fitomejoramiento se busca reducir el riesgo de acame en cereales mediante la selección de variedades de porte bajo.

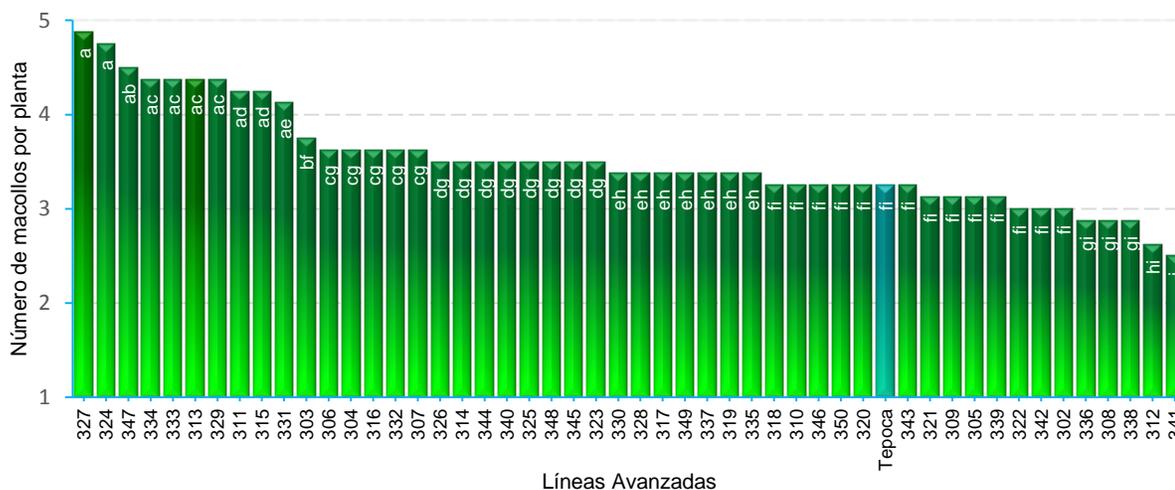
En la Figura 14, se presenta los promedios de la altura de la planta en cada localidad, encontrándose tres grupos significativamente diferentes según Duncan ; en las localidades Uyax Tipunta y Chullpa Chullpa Bajo alcanzaron una altura de 72.3 y 71.8 cm, respectivamente. Mientras que en la localidad Yuraj Molino se alcanzó una altura de 60.5 cm y finalmente en la localidad de E.E. Tarata se tuvo el menor desarrollo, alcanzando 58.4 cm.



**Figura 14. Comparación de medias de altura de planta entre localidades, evaluados durante la campaña agrícola 2013-2014.**

#### 4.3.2. Número de macollos por planta

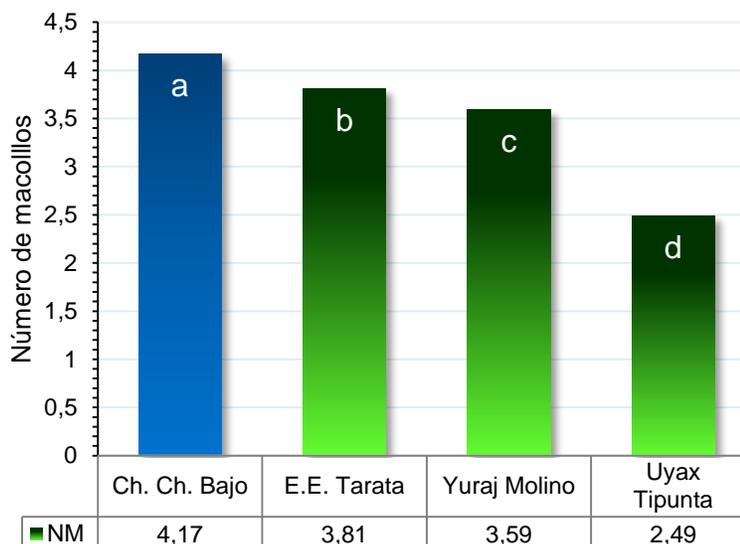
La Figura 15, ilustra la prueba de Duncan al 5% de significancia, determinando 9 grupos estadísticamente diferentes para el carácter número de macollos. Sin embargo, existen genotipos con mayor desarrollo de este carácter, como las líneas L327, L324, L347, L334, L333, L313, L329, L311, L315 y L331, con 4 macollos por planta a diferencia del testigo local que llegó a desarrollar 3 macollos a nivel de las 4 localidades en evaluación.



**Figura 15. Comparación de medias de número de macollos entre genotipos de trigo harinero, evaluados en cuatro localidades trigueras de Cochabamba durante la campaña agrícola 2013-2014.**

En estudios realizados por Zenteno (2000), indica que la formación del número de macollos por planta están relacionado con la variedad de trigo, sumado a esto los factores ambientales y el tipo de suelo que juegan un rol importante, porque los cultivares de trigo tiende a desarrollar mayor número de macollos en suelos sueltos y profundos. Marza *et. al* (2014), en estudios de la variabilidad de las características adaptativa de cultivares de trigo reportaron una media de 3 macollos para las líneas avanzadas, habiendo líneas con 1 hasta con 4 macollos en condiciones de la localidad de Yuraj Molino, los cuales se asemejan los resultados obtenidos en la presente investigación.

En la Figura 16, se presenta los promedios de número de macollos por planta entre localidades, encontrándose 4 grupos según Duncan al 5% de significancia. En las localidades de Chullpa Chullpa Bajo y E. E. Tarata, se alcanzó a desarrollar 4 macollos por planta; mientras que en las localidades de Yuraj Molino y Uyax Tipunta, alcanzaron a desarrollar 3 y 2 macollos por planta, respectivamente.

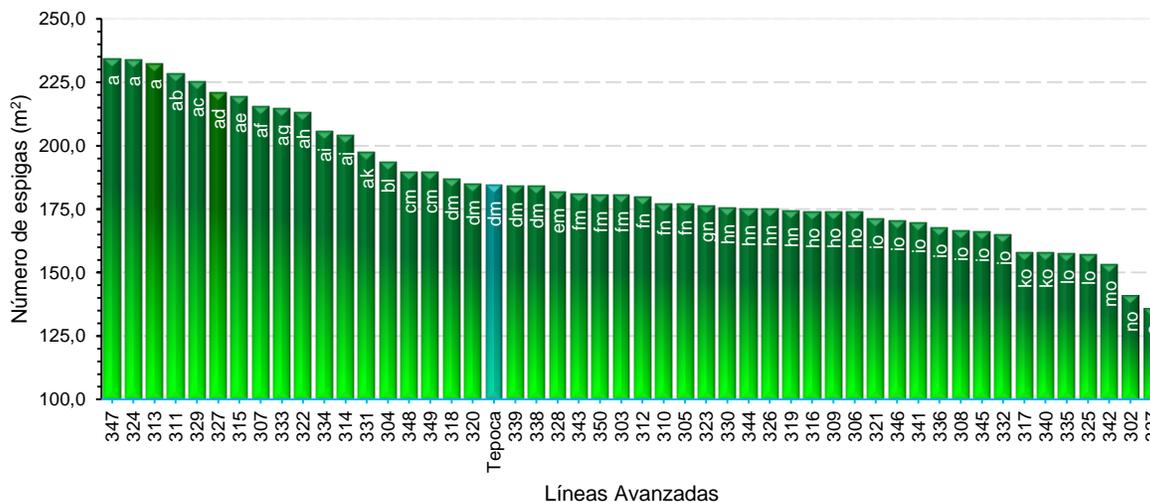


**Figura 16. Comparación de medias de número de macollos entre localidades, evaluados durante la campaña agrícola 2013-2014.**

#### 4.3.3. Número de espigas por metro

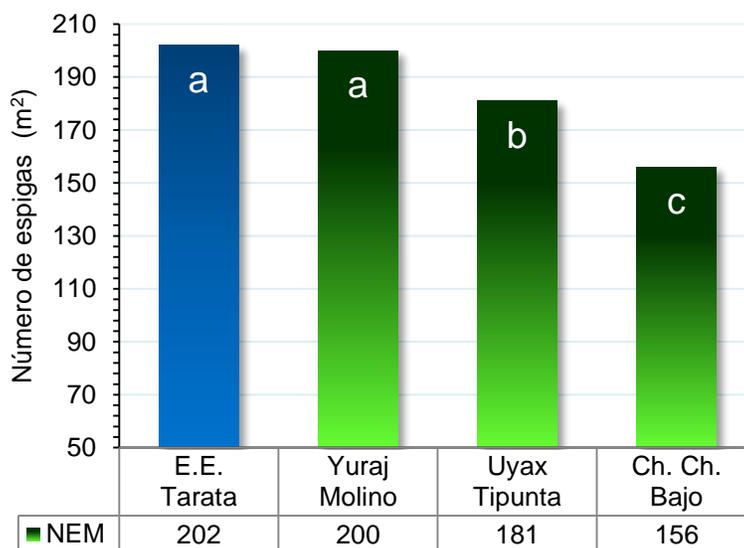
A través de la prueba de Duncan al 5% de significancia, se identificaron 15 grupos diferentes para esta variable (Figura 17), las líneas avanzadas: L347, L324, L313, L311 y L329, con 234, 233, 232, 228 y 225 espigas por metro cuadrado, presentaron el mayor promedio a nivel de las 4 localidades, en cambio; las líneas de menor número de espigas lo conforman las líneas: L317, L340, L335, L325, L342, L302 y L337 con 157, 157, 157, 153, 141 y 136 espigas por metro cuadrado, respectivamente. Las restantes líneas avanzadas alcanzaron de 150 a 190 espigas, ubicándose en este rango la variedad testigo Tepoca T89 con 184 espigas por metro cuadrado.

La formación de espigas por metro cuadrado en la presente investigación, son superiores a los obtenidos por Marza *et. al* (2014), en el estudio de variabilidad fenotípica del vivero SAWYT, obteniendo una media de 161 espigas por m<sup>2</sup> en 15 localidades y a los de Gómez y Gabriel (2001), en el comportamiento de las líneas MAYA / NAC // TEM 5482, VEE”S” / SNB”S” // CNDR”S”, DOVE “S” / BUC”S”, TEPOCA T89, AUSTRALIANO (Var. Criolla), con 204, 197, 210, 204 y 183 espigas respectivamente, resultado del ensayo de validación de líneas avanzadas en 5 localidades catalogados como valles semi áridos de Cochabamba.



**Figura 17. Comparación de medias de número de espigas por metro cuadrado entre genotipos de trigo harinero, evaluados en cuatro localidades trigueras de Cochabamba durante la campaña agrícola 2013-2014.**

Los resultados para localidades en número de espigas por metro cuadrado obtuvieron medias de 202 en la localidad de E.E. Tarata, 200 en Yuraj Molino, 181 en Uyax Tipunta y 156 en la localidad de Chullpa Chullpa Bajo. Realizadas la discriminación de Duncan al 5% se evidenció la formación de tres grupos para este carácter (Figura 18).

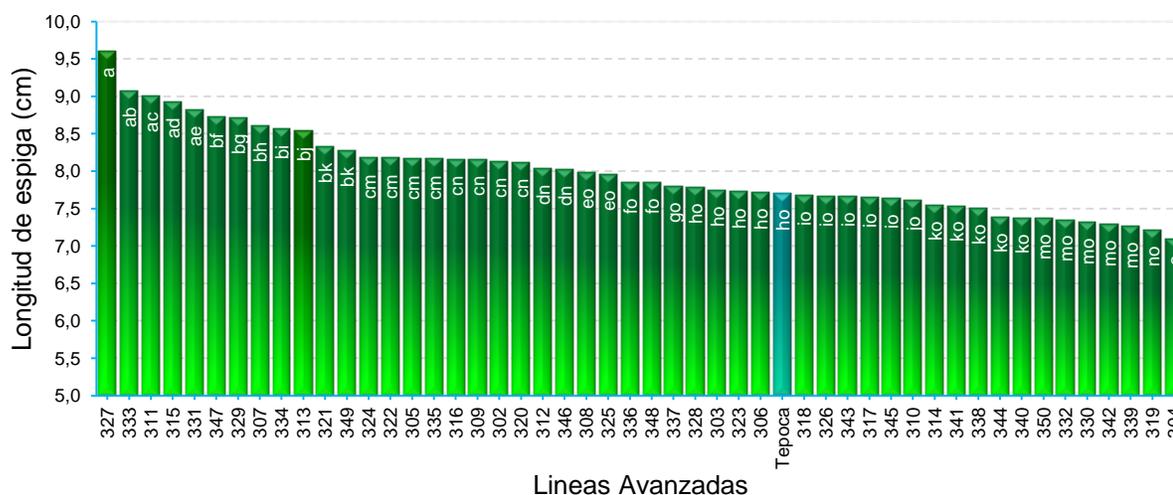


**Figura 18. Comparación de medias de número de espigas por metro cuadrado entre localidades, evaluados durante la campaña agrícola 2013-2014.**

Los resultados de la presente investigación son corroborados por López (1990), quien indica que el número de espigas por metro, está en función al número de plantas y al número de tallos fértiles, el cual esta correlacionado con la capacidad de macollamiento de cada genotipo.

#### 4.3.4. Longitud de espiga

El análisis estadístico para el carácter longitud de espiga, conforme se presenta en la Figura 19, denota la formación de 14 grupos diferenciados, de acuerdo a la prueba de Duncan al 5% de significancia, se identificaron a las líneas avanzadas: L327, L333, L311, L315 y L331, como las que lograron desarrollar mayor longitud de espigas con promedios de: 9.6, 9.1, 9.0, 8.9 y 8.8 cm, respectivamente. Dentro de la población de plantas que desarrollaron menor longitud de espiga se encuentran: L350, L332, L330, L342, L339, L319 y L304 con 7.4, 7.4, 7.3, 7.3, 7.2 y 7.1 cm, de longitud de espiga. El testigo Tepoca T89, llego a desarrollar 7.7 cm de longitud.

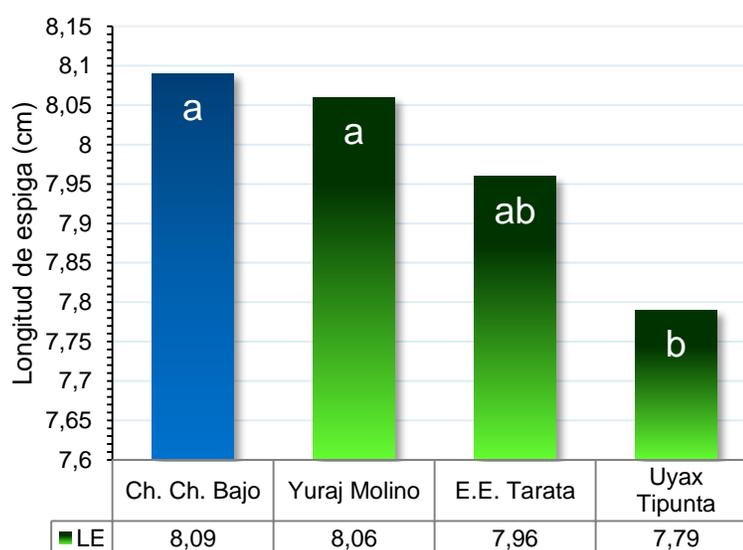


**Figura 19. Comparación de medias de longitud de espigas entre genotipos de trigo harinero, evaluados en cuatro localidades trigueras de Cochabamba durante la campaña agrícola 2013-2014.**

Esta variación entre poblaciones, puede atribuirse a la variabilidad genética de cada cultivar, a las condiciones ambientales que presentan las zonas de evaluación. De acuerdo a Zenteno (2000), este carácter está en función a los factores climáticos, composición genética de la variedad, disponibilidad de agua y nutrientes, los cuales inducen al

crecimiento en longitud y proporcionalmente al desarrollo de número de espiguillas y a los granos por espiga.

La longitud de espiga en las cuatro localidades (Figura 20) se agruparon en 2 grupos en base a la prueba de medias de Duncan (5%). Las localidades de Chullpa Chullpa Bajo y Yuraj Molino con 8.09 y 8.06 cm de longitud de espiga, muestran superioridad en relación a las localidades E. E. Tarata y Uyax Tipunta, los cuales registraron espigas de menor longitud en promedio. Estas variaciones se deben a las condiciones climáticas propias de cada ambiente.

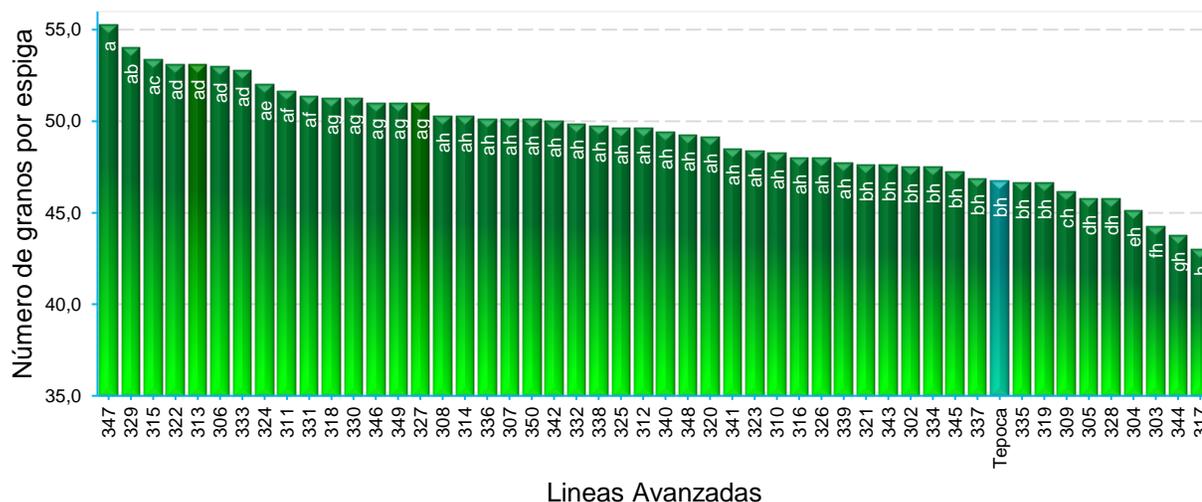


**Figura 20. Comparación de medias de longitud de espigas entre localidades, evaluados durante la campaña agrícola 2013-2014.**

#### 4.3.5. Número de granos por espigas

La Figura 21, muestra la prueba de Duncan al 5% de significancia, para número de granos por espiga en las líneas avanzadas de trigo harinero. En el cual se determinó 8 grupos estadísticamente diferentes, donde las líneas: L309, L305, L328, L304, L303, L344 y L317 con 46, 45, 45,45, 44, 43 y 43, tienen menor número de granos, mientras que las líneas L347, L329, L315, L322, L313 L306, L333 y L324, presentaron mayor número de granos con 55, 54, 53, 53, 53, 53, 53 y 52 en promedio, respectivamente. Las líneas restantes son intermedias y el número varía entre 45 a 50 granos en promedio. En este rango se encuentra la variedad testigo Tepoca T89 con 46 granos por espiga.

Los reportes de esta investigación para este carácter, se encuentran por encima de los obtenidos por Cartagena (2012), el cual reporto 43 a 37 granos por espiga, en condiciones de las localidades de Totora y E. E. Tarata. Los genotipos del extremo inferior, se encuentran por debajo de los reportado por Marza *et al.* (2014), En el estudio de variabilidad fenotípica del vivero SAWYT, obteniendo 52 granos por espigas en promedio de 15 localidades trigueras de Bolivia.

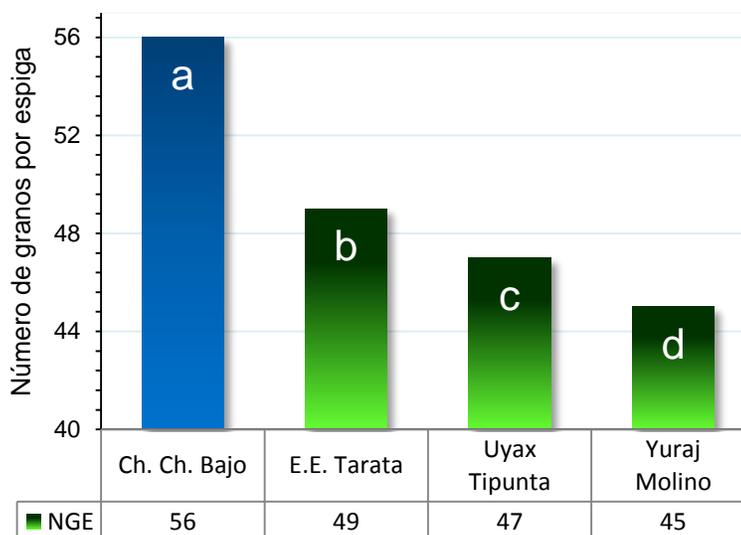


**Figura 21. Comparación de medias de número de granos por espigas entre genotipos de trigo harinero, evaluados en cuatro localidades trigueras de Cochabamba durante la campaña agrícola 2013-2014.**

Estas diferencias numéricas en la formación de granos, pueden estar atribuidos a los factores genéticos y la interacción con el ambiente, cuyo comportamiento puede estar influenciado por la baja acumulación de biomasa dando menor peso a la espiga y teniendo como resultado menor número de granos por espiga (Miralles, 2004). Por otro lado López (1990) citado por Cartagena (2012), menciona que la formación de granos por espiga está en función al número de espiguillas por espiga y el mismo a la formación de florecillas fértiles en cada espiguilla de la compasión florística del trigo.

En la Figura 22, se muestra la comparación de medias de número de granos por espiga entre localidades, mediante la prueba de Duncan al 5% de probabilidad, donde la localidad de Chullpa Chullpa Bajo obtuvo una media de 56 granos, seguida por la localidad E.E.

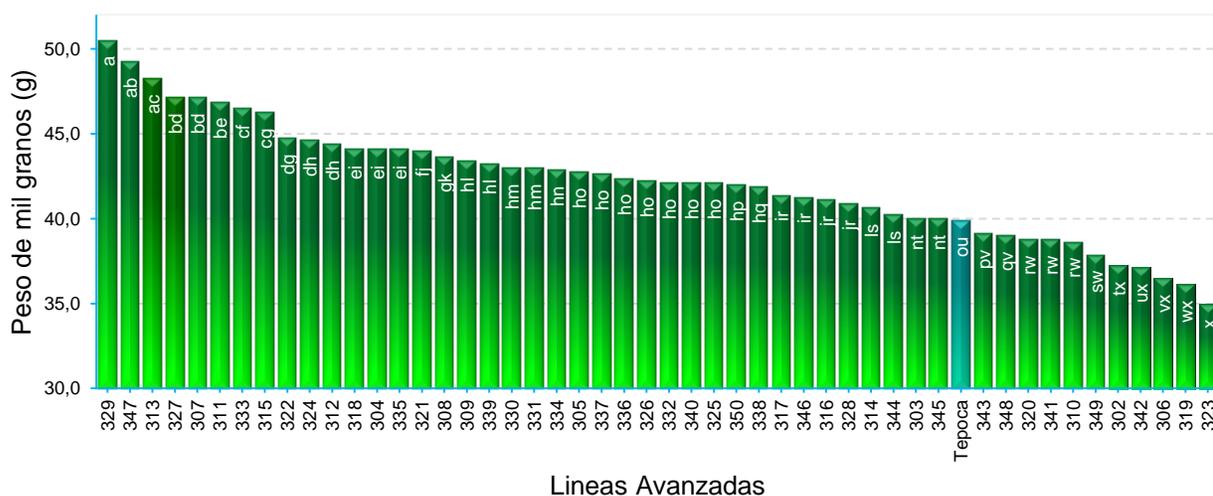
Tarata con 49 granos por espiga y está a su vez seguida por las localidades de Uyax Tipunta y Yuraj Molino con 47 y 45 granos por espiga, respectivamente.



**Figura 22. Comparación de medias de número de granos por espigas entre localidades, evaluados durante la campaña agrícola 2013-2014.**

#### 4.3.6. Peso de mil granos

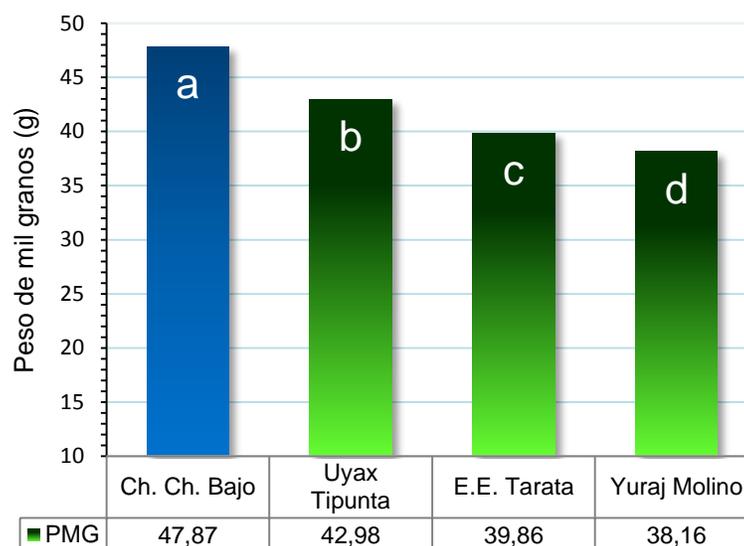
El peso de 1000 granos, según la prueba de Duncan al 5% de significancia (Figura 23), identificó 24 grupos estadísticamente diferentes, las líneas avanzadas que presentan los valores más altos son: L329, L347, L313, 327, L307, L311 y L333 con 50.5, 49.3, 48.3, 47.1, 47.1, 46.9 y 46.5 g, respectivamente, en cambio las líneas L310, L349, L302, L342, L306, L319 y L323 son los que presentaron los pesos más bajos con 38.6, 37.9, 37.3, 37.1, 36.5, 36.1 y 35 gramos, respectivamente. La variedad local Tepoca T89 registro 39.9 gramos para este carácter, el cual fue desplazado por las líneas que obtuvieron mayores pesos de mil granos. Estas variaciones pueden ser debidas a las características que presenta cada localidad y al déficit de humedad en la etapa del llenado de grano, evitando la eficiente translocación de los fotosintatos, el cual está estrechamente relacionado con el tamaño del grano y el llenado del mismo.



**Figura 23. Comparación de medias de peso de mil granos entre genotipos de trigo harinero, evaluados en cuatro localidades trigueras de Cochabamba durante la campaña agrícola 2013-2014.**

En la Figura 24, se muestra las medias de peso de mil granos de las diferentes localidades (Chullpa Chullpa Bajo, Uyax Tipunta, E.E. Tarata y Yuraj Molino), donde los resultados obtenidos mediante la prueba de Duncan, nos muestra diferencias significativas entre localidades, como es el caso de la localidad Chullpa Chullpa Bajo donde el peso de mil granos es superior en comparación a las demás localidades, el cual alcanzó un promedio de 47.87 g.

Este carácter tiene amplia redundancia en la industria molinera, con un peso promedio alcanzable de 38 gramos, el cual está asociada fuertemente a las características varietales, manejo agronómico y factores ambientales (ANAPO, 2007 citado por Mollericona, 2013). Los resultados obtenidos en la presente investigación, identificó cultivares que están por encima de este parámetro y la mínima expresión genética de los cultivares están por encima de los obtenidos en las localidades de Coluyo, Azul Kjocha, Yuraj Molino y Puca Corral por San Martín (2001), quien reportó un promedio 30 gramos en peso de mil granos, esta variación entre las dos investigaciones, es debido que el llenado de grano fue afectado directamente por la deficiencia en humedad del suelo en la fase del llenado de grano en las localidades.



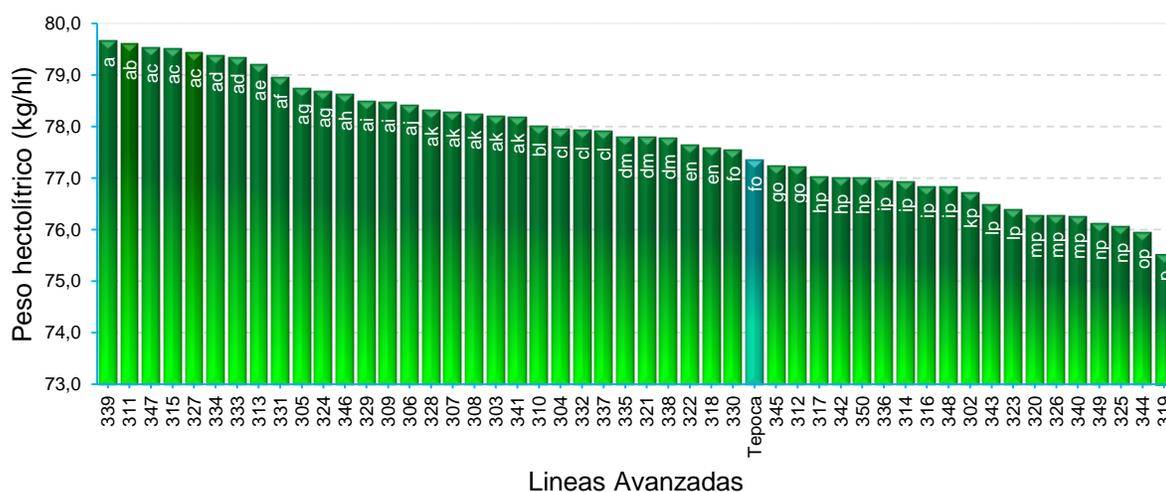
**Figura 24. Comparación de medias de peso de mil granos entre localidades, evaluados durante la campaña agrícola 2013-2014.**

#### 4.3.7. Peso Hectolítrico

La prueba de Duncan al 5% de significancia de la Figura 25, para el carácter peso hectolítrico, se identificaron 16 grupos estadísticamente diferentes, las líneas con mayor peso lo conforman L329, L311, L347, L315, L327, L334, L333, L313 y L331 con 79.7, 79.6, 79.5, 79.5, 79.4, 79.4 79.3, 79.2 y 79 kg/hl, respectivamente. La variedad Tepoca T89 llegó a obtener 77.4 kg/hl, en cuanto a este carácter.

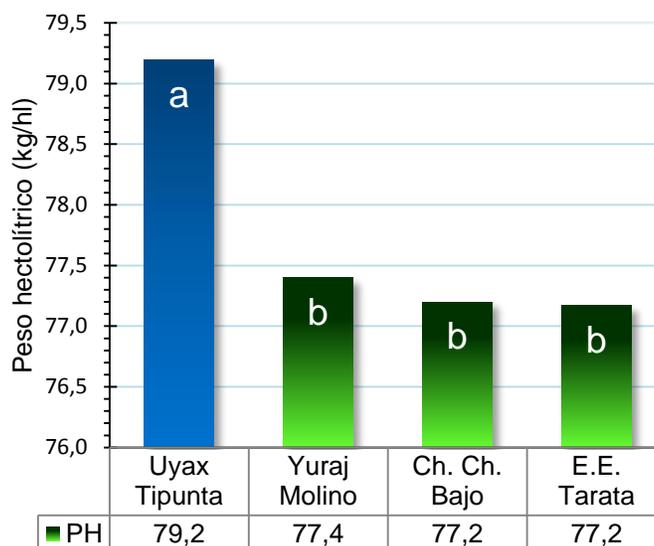
Los valores obtenidos en la presente investigación están dentro de los parámetros requeridos para la industria molinera según Arispe (2007), estos valores son de 78 kg/hl y un mínimo de 77 kg/hl. En estudios realizados por Velasco *et. al* (2001), en condiciones de valles reportaron pesos hectolítricos alcanzables de 78.3, 79.7, 78.5, 79.3, 79.8, 78.5 para las líneas Tepoca T89, V-10, V-12, Redención, V-3 y Totora T-80 respectivamente. Por otro lado Gonzales *et. al* (2011), en evaluaciones realizadas durante dos años en la localidad de Totora reportaron pesos hectolítricos de 81.33, 75.38, 73.43, 73.53, 77.63 y 75.33, para las líneas L319, L217, L203, L204, 201 y Totora T-80 respectivamente. Cuyos resultados no son tan distantes a los reportados en la presente investigación. Al respecto Gosticar (1997), menciona que el grano de trigo suele medirse en hectolítros y su peso oscila entre 76 y 80 kg/hl. En casos muy excepcionales las variedades muy productivas en condiciones

óptimas, alcanzan los 80 kg/hl. Por lo general un trigo será de mayor calidad si el peso hectolítrico o peso específico es mayor.



**Figura 25. Comparación de medias de peso hectolítrico entre genotipos de trigo harinero, evaluados en cuatro localidades trigueras de Cochabamba durante la campaña agrícola 2013-2014.**

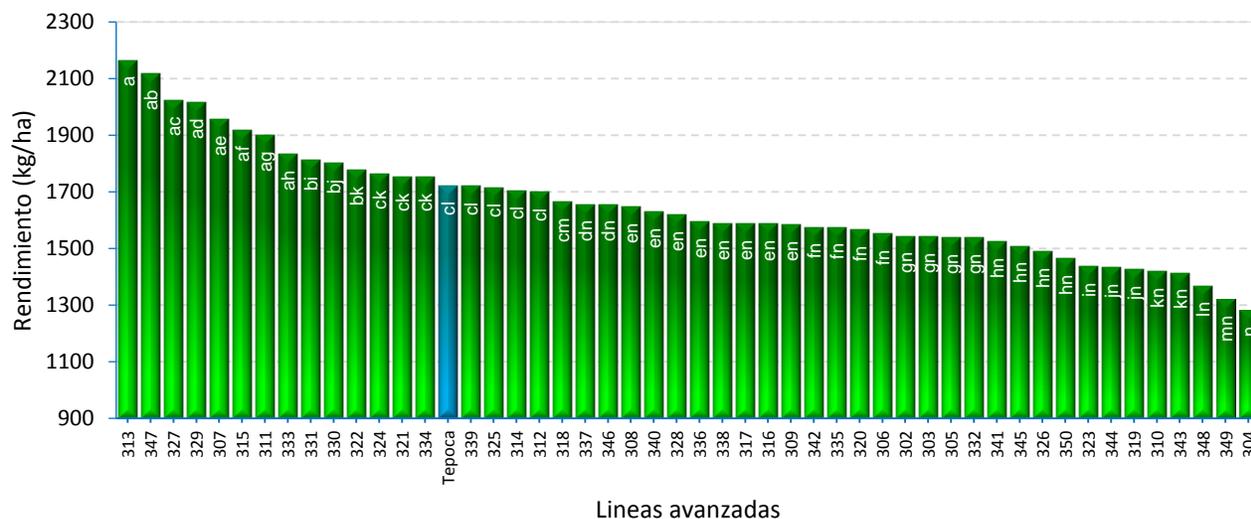
En la Figura 26, se muestra la media alcanzada para el carácter peso hectolítrico entre localidades. A través de la prueba discriminante de Duncan al 5% de probabilidad, el cual muestra la formación de dos grupos diferenciados estadísticamente, donde la localidad de Uyax Tipunta con 79.2 kg/hl, registra superioridad en relación a las localidades de Yuraj Molino, Chullpa Chullpa Bajo y E.E. Tarata, los cuales registraron 77.4, 72.2 y 77.2 kg/hl, respectivamente. De los resultados obtenidos para la variable peso hectolítrico en cada localidad, podemos inferir que las tres localidades que mostraron similitud según la prueba de Duncan para este carácter, puede ser debido a la respuesta fisiológica de los genotipos de trigo dentro de estas localidades.



**Figura 26. Comparación de medias de peso hectolítico entre localidades, evaluados durante la campaña agrícola 2013-2014.**

#### 4.3.8. Rendimiento en grano

En la Figura 27, se muestra la prueba de Duncan al 5% de significancia para el rendimiento en grano de las Líneas avanzadas, donde se identificaron 14 grupos diferentes estadísticamente. Las líneas más sobresalientes fueron: L313, L347, L327 y L329, con rendimientos que oscilan entre 2164.8, 2118, 2023.6 y 2015.3 kg/ha, mostrando superioridad frente a las demás líneas de trigo harinero. En cuanto, a la variedad local TepocaT89 registró 1722 kg/ha en promedio, ubicándose por encima de la media general y las líneas L319, L310, L343, L348, 349 y L304, registraron rendimientos por debajo de los 1500 kg/ha. Estos valores registrados reflejan la diferencia de la ganancia genética de cada cultivar, en resumen el rendimiento es el resultado de todos los caracteres cuantitativos que está gobernados por varios genes, los cuales pueden ser influenciados por el ambiente donde se desarrollaron. Lo cual exhibe mayor presión de selección en una variabilidad de cultivares para determinados ambientes.

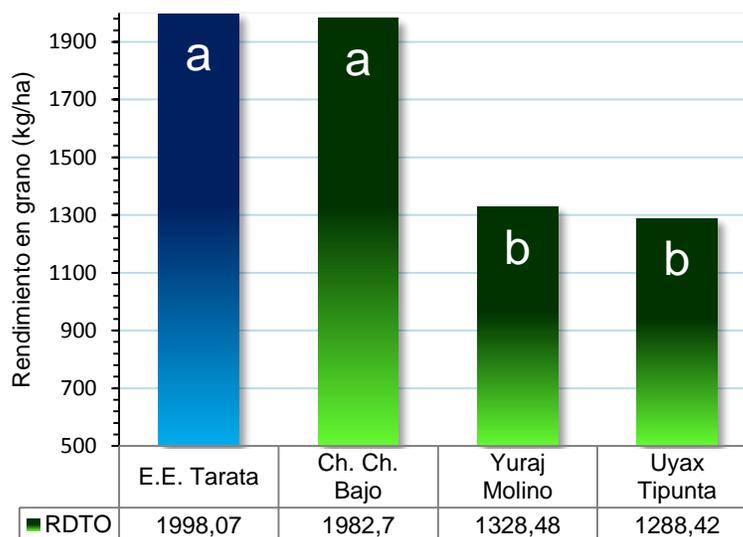


**Figura 27. Comparación de medias de rendimiento en grano entre genotipos de trigo harinero, evaluados en cuatro localidades trigueras de Cochabamba durante la campaña agrícola 2013-2014.**

Los rendimientos registrados en la presente investigación, se encuentran por debajo de los obtenidos por Cossio y Marza (2015), en condiciones de la localidad de Yuraj Molino, donde reportaron el mayor rendimiento con la línea 322 con 2742 kg/ha y el menor rendimiento con la línea 313 con 1909 kg/ha; y en la localidad de Tarata obtuvo rendimientos desde 1579 kg/ha con la línea 345 y el mayor rendimiento con la línea 330 con 2382 kg/ha; en tanto Gómez y Gabriel (2001), en la evaluación de la nueva variedad Tepoca T89 reportaron rendimientos que oscilan entre 1500 a 2000 kg/ha, en condiciones de valle. En recientes estudios realizados por Torrico (2010), para la variedad Tepoca T89 reportó rendimientos de 1380 kg/ha, los cuales están por debajo de los registros para esta variedad, dando así a conocer que la misma tiende a ser desplazada por las líneas identificadas con mayores rendimientos en la presente investigación.

Los rendimientos medios por localidad de acuerdo a la prueba discriminante de Duncan al 5% de significancia se muestra en la Figura 28, del cual podemos inducir que las localidades de E. E. Tarata y Chullpa Chullpa Bajo con 1998.07 y 1982.7 kg/ha, muestran superioridad en rendimiento con relación a las localidades de Yuraj Molino y Uyax Tipunta que son de 1328.48 y 1288.42 kg/ha.

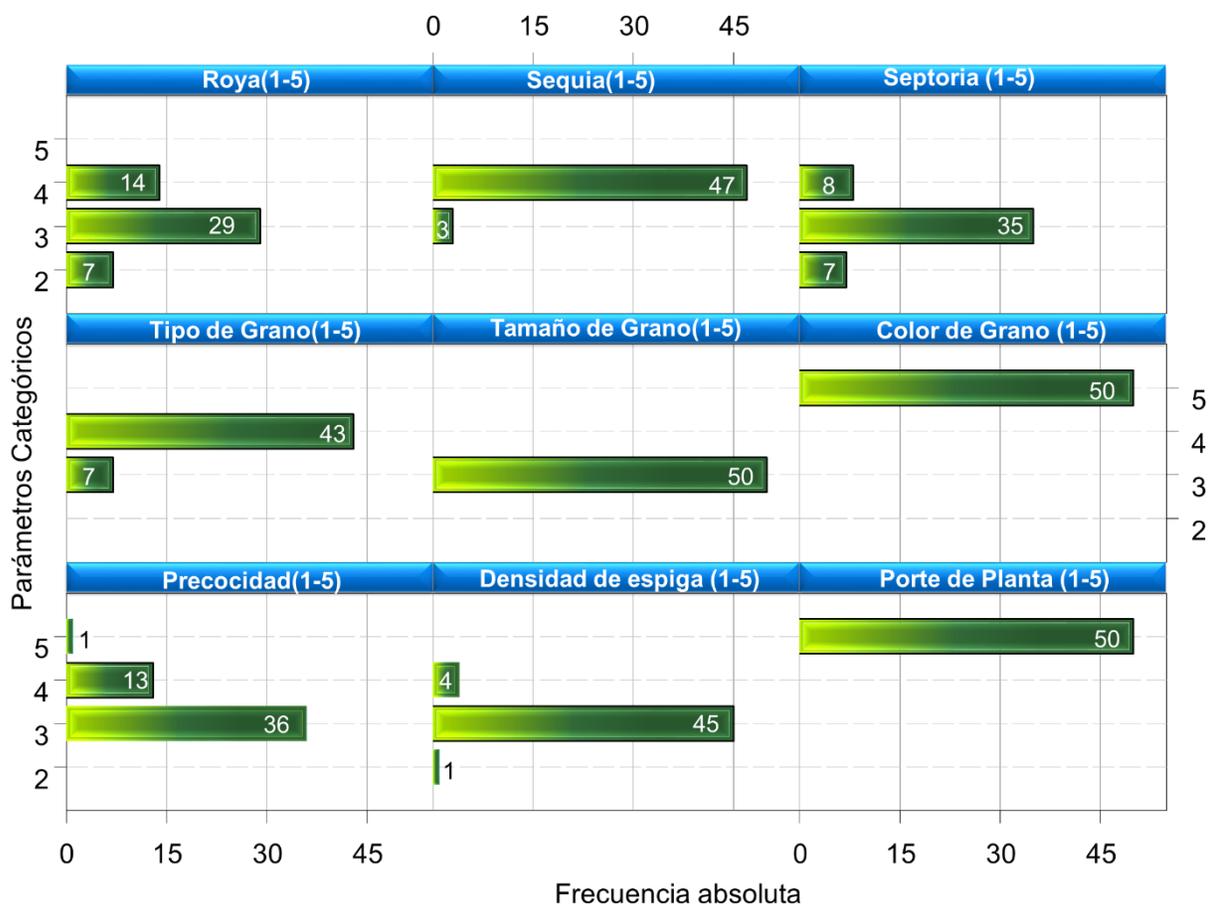
Esta superioridad puede estar asociado a las características edáficas que presentan estas dos localidades, los cuales presentan una textura franco arcilloso a arenoso con una precipitación los cuales favorecieron al cultivo. Sobre lo descrito en párrafos anteriores el CIAT 2012, indica que los suelos adecuados para el cultivo de trigo son los de textura arcillosa, los cuales tienden a retener humedad.



**Figura 28. Comparación de medias de rendimiento en granos entre localidades, evaluados durante la campaña agrícola 2013-2014.**

#### 4.4. Análisis de frecuencia para variables cualitativas

La representación gráfica de frecuencias de la Figura 29, sintetiza la respuesta de los cultivares a la influencia de los factores adversos bióticos, abióticos y atributos agro morfológicos que muestren variabilidad saliente y su grado de respuesta diferencial de los cultivares a nivel de las cuatro localidades en estudio. Donde se destaca que del total de 49 líneas de trigo más el testigo local Tepoca T89 14, 8 y 47 cultivares mostraron tolerancia a roya, septoria y sequia respectivamente, mientras que 29, 35 y 3 son moderadamente tolerantes a estos factores adversos y 7 son susceptibles a roya y septoria. Lo cual indica que los cultivares muestran cierto grado de tolerancia a estos factores adversos dando la posibilidad de generar un buen avance genético con respecto a la selección de genotipos tolerantes.



**Figura 29. Gráfico de frecuencias para variables cualitativas de 50 genotipos de trigo harinero, evaluados durante la campaña agrícola 2013-2014.**

Respecto al tipo de grano se observa, que de 50 líneas de trigo 43 llegaron a desarrollar granos llenos y los restantes 7 desarrollaron granos casi llenos. En referencia a la densidad de espiga, se observó que 45 líneas tienen la espiga de tipo moderadamente compacta, 4 presentaron espigas compactas y una laxa. Sobre la precocidad de las líneas avanzadas de una población de 50 cultivares se determinó que uno tiende a ser muy precoz seguido por 13 calificados como precoces y 36 líneas con precocidad intermedia. Respecto al color y tamaño grano se observó que en su totalidad muestran una coloración blanquecina y de tamaño mediano (6-7 mm). Finalmente todas las líneas tienen un porte de planta de forma erecta. Los datos registrados para cada línea avanzada en base a estos caracteres ya mencionados se encuentran ilustrados en el cuadro del Anexo 7.

Crespo y Gabriel (2001), en la evaluación de material segregarte para resistencia a sequia obtuvo granos medianos. Velasco *et al.* (2001), reportaron una variación para tipo y tamaño de granos entre pequeños, casi lleno a mediano y lleno en condiciones de valle. Por otro lado Marza *et al.* (2014), en la identificación de material promisorio y de alta estabilidad para el área tradicional triguera reporto que el vivero SAWYT está asociado a una precocidad intermedia los cuales están por debajo de los categorizados en el presente estudio mismos que son alternativas promisorias para la selección de cultivares. Los mismos autores caracteriza a este vivero para factores adversos bióticos y abióticos (roya, septoria y tolerancia a sequia respectivamente) los cuales muestran una variación entre susceptible a muy tolerante, llegando a formar espigas moderadamente compacta con granos mediano y casi lleno.

#### **4.5. Análisis de correlación**

La matriz de correlación entre cada par de caracteres cuantitativos se presenta en el Cuadro 12, donde se observa que 21 coeficientes fueron altamente significativos ( $P \leq 0.01$ ) y 5 coeficientes denotados como significativos ( $P \leq 0.05$ ); de esta forma, las correlaciones más importantes fueron las variables correspondientes a los componentes de productividad.

Entre las variables, con correlación más alta correspondió a peso de mil granos y rendimiento en grano ( $r=0.79$ ). Estas variables, en su orden, están altamente correlacionada con el número de granos por espiga ( $r=0.46$  y  $r=0.60$ ), longitud de espiga ( $r= 0.61$  y  $r=0.72$ ), número de espiga por metro cuadrado ( $r=0.64$  y  $r=0.64$ ) y número de macollos ( $r=0.53$  y  $r=0.57$ ). La formación de granos por espiga, tiende altamente a correlacionarse con la formación de macollos por planta ( $r=0.40$ ), número de espigas ( $r=0.59$ ) y longitud de espiga ( $r=0.49$ ), dando a inducir que cuando sea mayor el desarrollo de estos caracteres, incrementara la formación de granos por espiga.

El desarrollo de la longitud de espiga está asociada con la formación de número de macollos por planta ( $r=0.64$ ) y el número de espigas en un metro cuadrado ( $r=0.62$ ). Las correlaciones negativas como el desarrollo de la arista con número de espigas por metro cuadrado y numero de granos por espiga ( $r=-0.08$ ) y ( $r=-0.1$ ).

**Cuadro 12. Coeficiente de correlación de Pearson para características cuantitativas de 50 genotipos de trigo harinero, evaluados durante la campaña agrícola 2013-2014.**

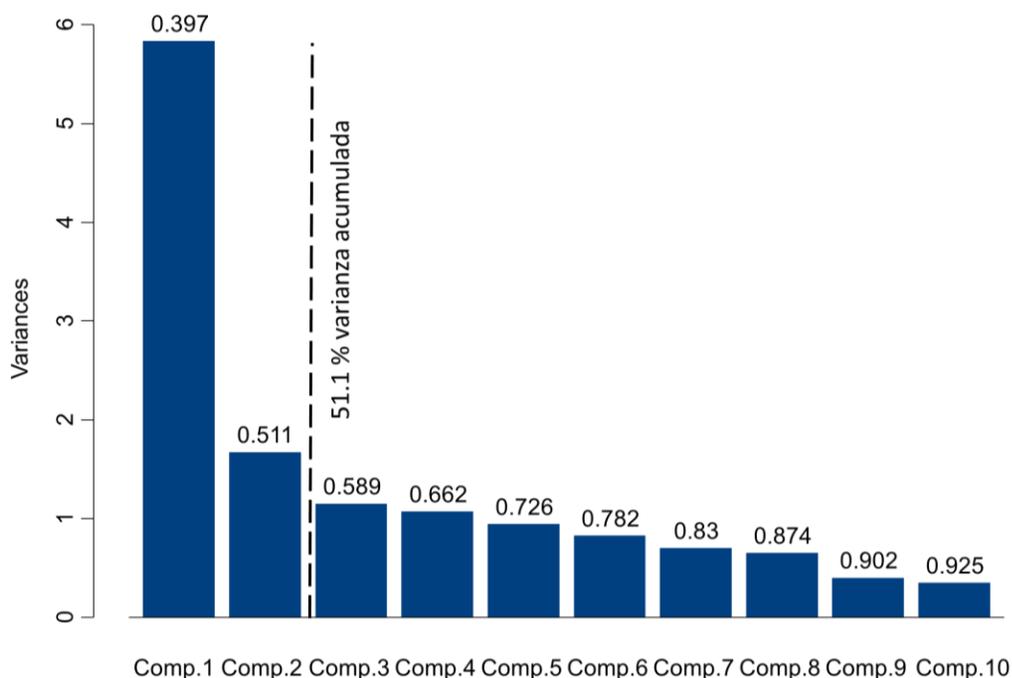
Variables	Correlaciones								
	AP	LA	NM	NEM	LE	NGE	PMG	RDTO	PH
AP	1								
LA	0.29*	1							
NM	0.19	0.07	1						
NEM	0.22	-0.08	<b>0.71**</b>	1					
LE	0.30*	0.09	<b>0.64**</b>	<b>0.62**</b>	1				
NGE	0.21	-0.13	<b>0.40**</b>	<b>0.59**</b>	<b>0.49**</b>	1			
PMG	0.35*	0.15	<b>0.53**</b>	<b>0.64**</b>	<b>0.61**</b>	<b>0.46**</b>	1		
RDTO	0.29*	0.03	<b>0.57**</b>	<b>0.64**</b>	<b>0.72**</b>	<b>0.60**</b>	<b>0.79**</b>	1	
PH	0.29*	0.06	<b>0.50**</b>	<b>0.56**</b>	<b>0.57**</b>	0.37**	<b>0.64**</b>	<b>0.65**</b>	1

AP: altura de planta (cm); LA: longitud de arista (cm); NM: número de macollos por planta (n°); NEM: número de espigas por metro cuadrado (m<sup>2</sup>); LE: longitud de espiga (cm); NGE: número de granos por espiga (n°); PMG: peso de mil granos (g); RDTO: rendimiento en grano (kg/ha) y PH: peso hectolítrico (kg/hl); \* Correlación significativo al 0.05; \*\* Correlación altamente significativo al 0.01.

#### 4.6. Análisis de componentes principales

La transformación lineal que efectúa este método permitió generar un nuevo conjunto de 15 variables independientes llamados componentes principales, que expresan sus resultados en valores y vectores propios. Cuya reducción del número de dimensiones originales, facilita explicar en forma más clara la relación existente entre individuos y variables.

De acuerdo al criterio de Sánchez (1995) y Gonzales *et al.* (2010), para la selección en base a la proporción acumulada, se debe considerar como aceptables a los componentes cuyos valores propios sean superiores al 50% o más de la varianza acumulada para los dos primeros componentes principales. En base a éste criterio se seleccionaron los dos primeros componentes principales como significativos, que en conjunto explican más del 50% de la varianza total acumulada. Para tal efecto se elaboró la Figura 30, en la que se encuentran los valores propios en la abscisa y el porcentaje de la variabilidad acumulada de cada componente en la ordenada, lo que permite observar en forma gráfica el decrecimiento de los primeros componentes en relación con los demás.



**Figura 30. Gráfico de sedimentación de los componentes principales, de acuerdo a la varianza en el estudio de 50 genotipos de trigo harinero, evaluados durante la campaña agrícola 2013-2014.**

La contribución de cada variable original, con la que está asociada cada componente principal se presenta en el Cuadro 13. Se advierte que el primer componente principal contribuyó con el 39.7 % de la varianza y según los coeficientes, se observa que las variables referentes al grupo de componentes de rendimiento, fueron los que más aportaron de forma positiva, por lo tanto el primer componente principal ha identificado a aquellas líneas avanzadas que expresaron un alto potencial genético en términos de productividad, los cuales tienden a formar mayor número de macollos y espigas, con características de una densidad de espiga compacta y de mayor longitud, mismo que da como resultado un buen peso de mil granos e influye positivamente al rendimiento.

El segundo componente principal aportó con el 11.4% de la varianza, el cual advierte que las variables que más contribuyeron positivamente fueron las relacionadas a factores adversos abióticos roya y septoria, mientras que en forma negativa lo hicieron las variables altura de planta, tamaño de grano, y tipo de grano. Por lo tanto, este componente caracterizó a aquellas líneas que tienden a desarrollar cierto grado de tolerancia a estos factores adversos, dando a entender que a mayor incidencia de estas enfermedades se

tendrán plantas con menor altura, con granos pequeños y chupados, los cuales disminuirán el rendimiento en grano. Cabe mencionar, que existe mayor tolerancia a roya y septoria cuando las plantas son de porte bajo.

**Cuadro 13. Valores propios y correlación asociada a los dos primeros componentes principales de 50 genotipos de trigo harinero, evaluados en cuatro localidades trigueras de Cochabamba durante la campaña agrícola 2013-2014.**

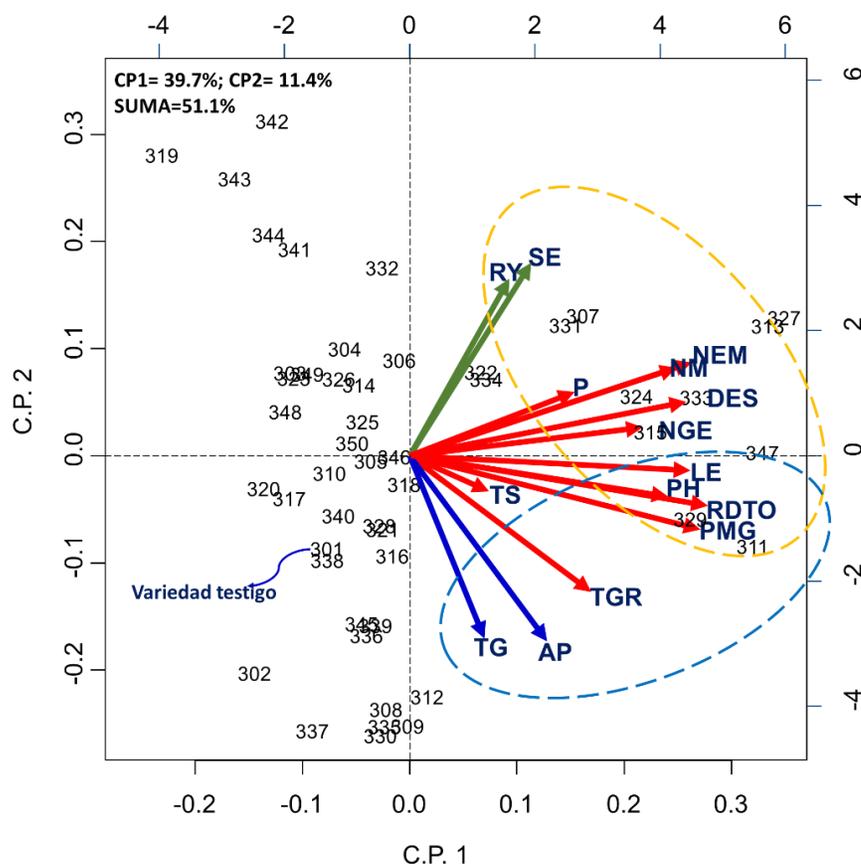
<b>Componentes principales</b>	<b>C.P. 1</b>	<b>C.P. 2</b>
Valor propio	2.416	1.293
Varianza total explicada (%)	39.697	11.379
Varianza acumulada (%)	39.697	<b>51.076</b>
<b>Variables</b>		
Altura de planta (cm)	0.158	<b>-0.375</b>
Número de macollos por planta (n°)	<b>0.315</b>	0.232
Número de espigas (m2)	<b>0.334</b>	0.179
Longitud de espiga (cm)	<b>0.329</b>	0.001
Densidad de espiga	<b>0.328</b>	0.001
Número de granos por espiga (n°)	0.277	0.001
Tamaño de grano	0.213	<b>-0.314</b>
Tipo de grano	0.001	<b>-0.425</b>
Peso de mil granos (g)	<b>0.343</b>	-0.169
Peso hectolítrico (kg/hl)	<b>0.304</b>	-0.113
Rendimiento en grano (kg/ha)	<b>0.354</b>	-0.12
Tolerancia a sequia	0.001	0.001
Precocidad	0.195	0.17
Roya	0.12	<b>0.387</b>
Septoria	0.148	<b>0.497</b>

Con el propósito de observar el comportamiento de los genotipos de trigo con relación a las variables cualitativas y cuantitativas, se ha grafico la distribución espacial de cada una sobre el primer y segundo componente principal (Figura 31). La lectura se efectuó considerando la magnitud del vector, la dirección y el ángulo, que forman los mismos entre sí.

En tal sentido, por tratarse de datos estandarizados los vectores de cada variable sobre cada componente principal son igual a la correlación entre variables originales, por lo tanto en la Figura 31, se observa que las variables más ligadas al primer componentes en forma positiva son el número de granos por espiga (NGE), densidad de espiga (DES), número de macollos (NM), número de espigas por metro (NEM), tipo de grano (TGR), peso de mil granos (PMG), peso hectolítrico (PH), rendimiento en grano (RDTO) y longitud de espiga

(LE). Mientras las variables más vinculadas al segundo componente en sentido positivo son roya (RY) y septoria (SE), y en forma negativa tamaño de grano (TG), tolerancia a la sequía (TS) y altura de planta (AP).

En la misma Figura 31, también se ilustra el grado de asociación entre las variables originales, a través de la separación angular que forman las proyecciones de cada variable, en el cual se evidencia la alta correlación entre las variables longitud de espiga (LE), peso de mil granos (PMG), peso hectolítrico (PH) y rendimiento en grano (RDTO), del cual se puede inducir que a más tolerancia a la sequía mayor será el desarrollo de la espiga y peso de mil granos, dando como resultado un incremento en el rendimiento en grano con buena calidad expresada en el peso hectolítrico. Los genotipos de trigo vinculados a estas características son L311, L347 y L329.



**Figura 31. Diagrama de Biplot, asociación de características agromorfológica y componentes de rendimiento de 50 genotipos de trigo harinero, evaluados durante la campaña agrícola 2013-2014.**

También se muestra una asociación positiva entre las variables número de granos por espiga (NGE), densidad de espiga (DES), número de macollos (NM), precocidad (P) y

número de espigas por metro cuadrado (NEM), en consecuencia los genotipos vinculados a estas características (L313, L327, L333, L315, L324, L307 y L331), presentan mayor número de espigas en un metro cuadrado de cultivo, resultantes de una mayor formación de macollos por planta, obteniendo una mayor formación de granos por espiga, debido a la densidad de espiga que presenta cada genotipo, los cuales muestran cierto grado de tolerancia a Roya (RY) y Septoria (SE), resultante de su alta e intermedia precocidad, que expresan los genotipos. Esas características también pueden ser interpretadas en sentido contrario.

De la misma forma la distancia de cada vector desde el punto del origen nos proporciona información del grado de importancia de cada variable, por tanto las variables número de espigas (NEM), número de macollos (NM), densidad de espiga (DES), longitud de espiga (LE), peso hectolítrico (PH), peso de mil granos (PMG) y rendimiento (RDTO) son las más importantes y más discriminantes. Están seguidos por el tipo de grano (TG), tamaño de grano (TGR), altura de planta (AP), roya (RY) y septoria (SE). Las variables menos importantes debido a su menor distancia al origen de coordenadas son precocidad (P) y tolerancia a la sequía (TS).

#### **4.7. Modelo de Eberhart y Russell (1966)**

##### **4.7.1. Análisis de coeficiente de regresión lineal y desvío de la regresión**

El modelo de análisis de estabilidad propuesto por Eberhart y Russell (1966), establece que un genotipo es estable cuando su rendimiento medio es alto, el coeficiente de regresión no difiere de uno y la desviación de la regresión es cercana a cero.

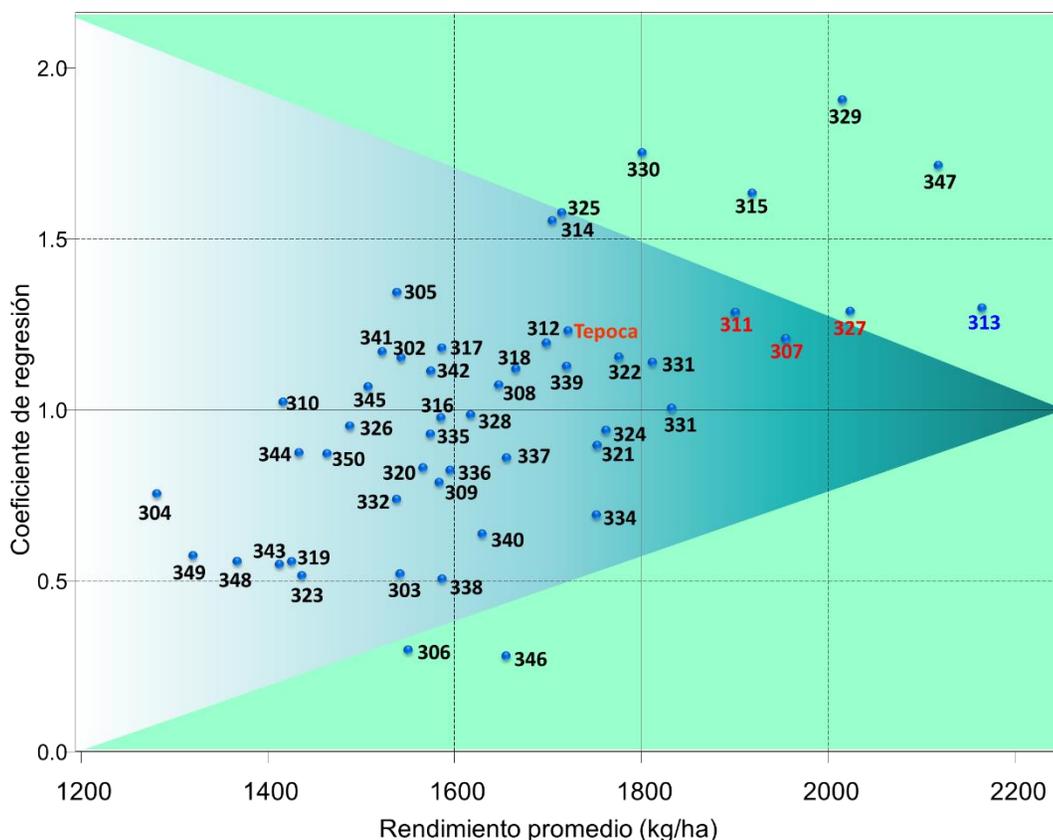
En el cuadro del Anexo 10, se presenta los resultados del análisis de varianza para la adaptabilidad de las líneas avanzadas de trigo y su comportamiento individual en rendimiento, del cual se evidencia diferencias significativas entre Líneas avanzadas y la interacción genotipo por ambiente lineal. Por otro lado la desviación conjunta es estadísticamente significativa a una probabilidad del 5%, en base al cual podemos inferir que el efecto ambiental se manifestó sobre el rendimiento. Por lo tanto hay diferencias genéticas en la respuesta de las líneas a los diferentes ambientes.

En tal efecto en el cuadro del Anexo 9, se muestra los parámetros (coeficiente de regresión  $b_i$  y la desviación de regresión  $S^2d_i$ ) definidos por Eberhart y Russell (1966), para el análisis de estabilidad de los 50 genotipos de trigo en las cuatro localidades en evaluación y los

valores promedios para la variable rendimiento en grano (kg/ha). Donde de las 49 líneas más el testigo (Tepoca T89) 17 presentan ( $b_i=1$  y  $S^2d_i=0$ ), catalogadas como líneas estables y predecibles grupo (A), en un segundo grupo B se tiene a 10 líneas avanzadas presentando ( $b_i=1$  y  $S^2d_i>0$ ), catalogadas con buena respuesta en todos los ambientes, pero no predecible; en el tercer grupo C se tiene a 6 líneas con ( $b_i<1$  y  $S^2d_i=0$ ), catalogadas con mejores respuestas en ambientes desfavorables y predecible; para el cuarto grupo D se tiene a 11 líneas con ( $b_i<1$  y  $S^2d_i>0$ ), catalogadas con mejores respuestas en ambientes desfavorables, pero poco predecibles; posteriormente dentro del grupo E se tiene 2 líneas, las mismas que presentan ( $b_i>1$  y  $S^2d_i=0$ ), y finalmente al grupo F con 4 líneas del total presentando ( $b_i>1$  y  $S^2d_i>0$ ), los cuales son catalogadas con mejores respuestas en ambientes favorables, pero poco predecibles.

En la Figura 32, se muestran los coeficientes de regresión vs el rendimiento promedio de los genotipos. Respecto al rendimiento los genotipos L313, L327, L307 y L311, resultaron ser las más productivas y por ende tendrían una adaptación general. La mayoría de las líneas se ubican dentro de la banda de confianza del coeficiente de regresión igual a 1. De las cuatro mencionadas como de alto rendimiento, las líneas 313 y 327, se ubican dentro de la banda indicativo de estabilidad, los cuales tienden a superar en 5 y 4% a la variedad testigo (Tepoca T89), y en un 65 y 62% al promedio general en rendimiento de grano. Esta seguida por las L333 y L321, con rendimientos por encima de los 1600 kg/ha. Cultivares como los descritos pueden ser una opción futura para la liberación como variedades dirigidos a modificar el patrón productivo de este cereal en la zona tradicional triguera.

Los genotipos L330, L315, L329 y L347, mostraron adaptación a ambientes favorables con  $b_i$  superior a 1 y ubicadas fuera de la banda de confianza, pero con rendimientos inferiores al genotipo L313, mencionada como con adaptación general. Por otra parte, las líneas L338, L306 y L346, presentaron adaptación a ambientes desfavorables, ubicándose fuera de la banda de confianza para la regresión siendo la línea 346 la de mayor rendimiento. Los resultados alcanzados con el método de Eberhart y Russell, permitieron dar una buena aproximación en la identificación de líneas elites de trigo, que tienden a presentar estabilidad promedio en cuanto a rendimiento en grano, carácter que es de importancia en un programa de mejoramiento, el cual es resultado de todas las variaciones de los caracteres cuantitativos de este cultivo.



**Figura 32. Coeficiente de regresión vs Rendimiento promedio en grano (kg/ha) para 50 genotipos de trigo harinero, evaluados en cuatro localidades trigueras de Cochabamba durante la campaña agrícola 2013-2014.**

Velasco *et al.* (2001), reportaron para 6 localidades de la zona de los valles a los genotipos Tepoca T89, KAUS/3/SAPI/TEAL//H, PJN/BOU//OPATA y JUM/BOMB, que presentaron un coeficiente de regresión  $b_i=1$  definidos como de estabilidad general, con rendimientos de 2463, 2364, 2352 y 2174 kg/ha, los cuales presentan superioridad a los genotipos con estabilidad general obtenidos en el presente estudio, cabe resaltar que la densidad de siembra fue de 120 kg/ha.

PN-TRIGO (2015), en la prueba de valor agronómico de la variedad INIAF Totorá 2014 reportó rendimientos de 2107.9, 2067.2 y 2039.6 kg/ha, para los cultivares L330, L337 y L333, respectivamente. Con coeficientes de regresión  $b_i=1$  consideradas de alto rendimiento y estables. Para la variedad testigo Tepoca T89 un rendimiento de 1920.3 kg/ha y coeficiente de regresión  $b_i= 0.91$  catalogada con mejores respuestas en ambientes desfavorables.

## 4.8. Análisis por el modelo GGE Biplot

### 4.8.1. Identificación del mejor genotipo para cada ambiente

El modelo GGE biplot explicó el 81.08 % de los efectos combinados de genotipos y la interacción genotipo por ambiente, el CP1 explicó el 52.59% y el CP2 los restantes 28.49% de la variabilidad total. Estos resultados permiten una interpretación confiable del comportamiento de la interacción genotipo ambiente (IGA), ya que un valor aceptable es una proporción mayor a 75% de acuerdo al criterio por Crossa, 1990 y Rodríguez *et al.*, 2005. Los valores del primer componente en la abscisa del biplot del modelo GGE, representan el rendimiento de grano y el segundo componente principal en la ordenada representando la interacción genotipo ambiente (IGA) (Figura 33), así los genotipos o ambientes ubicados en la extrema izquierda son los de mayor rendimiento y viceversa.

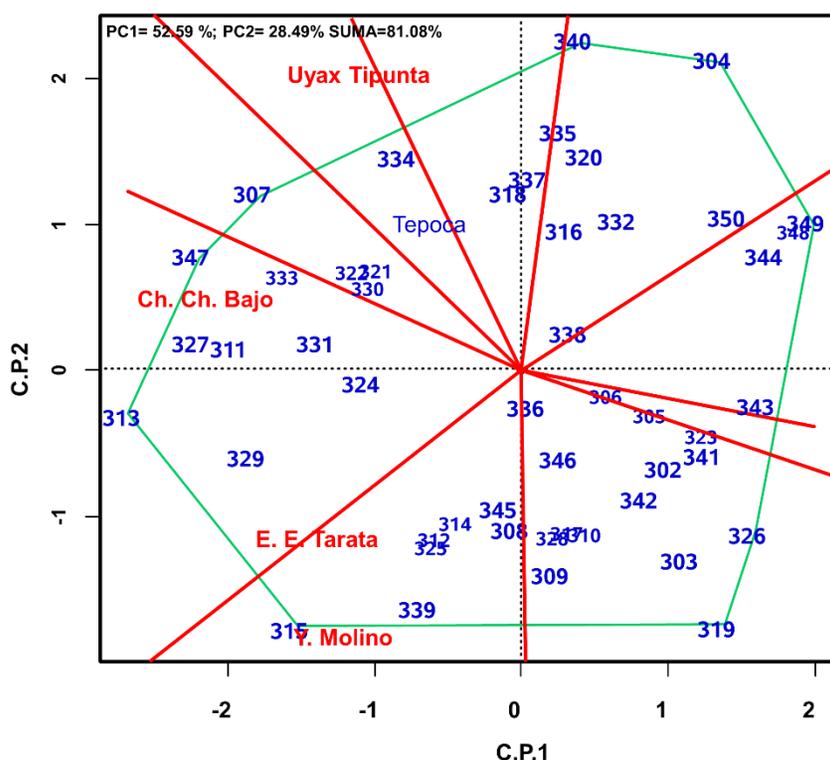


Figura 33. GGE biplot para la identificación de los mejores cultivares de trigo para cada ambiente en el estudio de la estabilidad y adaptabilidad de 50 genotipos de trigo harinero, evaluados en cuatro localidades trigueras de Cochabamba durante la campaña agrícola 2013-2014.

En el polígono dibujado con los genotipos más distantes del espacio bidimensional (L307, L347, L313, L315, L319, L349 y L304), conectados mediante líneas rectas, configurando los vértices del polígono, se los denominan cultivares vértices por que expresan el máximo rendimiento en todos los ambientes de su sector y viceversa. El trazo perpendicular permite obtener nueve sectores, uno por cada genotipo vértice (Figura 33).

También se puede identificar la agrupación de ambientes que tienen similitud para la producción de trigo entre ellos están E. E. Tarata y Yuraj Molino, y los ambientes de Chullpa Chullpa bajo y Uyax Tiputa son distantes entre sí. Además indicar que todos los ambientes básicamente tienden a estar en el CP2 cuyos cultivares vértices son los genotipos L307, L347, L313 y L315, los cuales tiene los mayores rendimientos respecto a la media. Cabe mencionar que ningún ambiente se ubicó dentro de los sectores de los genotipos L340, L304, L349, L326 y L319, lo cual indica que estos genotipos fueron de rendimientos inferiores en todos los ambientes (Figura 33).

La Figura 33, destaca al genotipo L313, el cual obtuvo el mayor rendimiento en tres localidades, en cuyo sector también se ubica los genotipos L327 y L311, indicando que estos cultivares tuvieron rendimientos altos en la mayoría de los ambientes, pero inferiores a L313. El genotipo L315 sobresalió en las localidades de Yuraj Molino y E.E. Tarata, los cultivares L334 y L307, obtuvieron el mayor rendimiento en Uyax Tipunta y Chullpa Chullpa Bajo, respectivamente.

#### **4.8.2. Ranking de genotipos respecto al genotipo ideal**

El resultado del análisis del ranking de genotipos respecto al genotipo ideal de las 49 líneas avanzadas y la variedad testigo Tepoca T89 de trigo harinero, del cual algunas líneas tuvieron un comportamiento sobresaliente con relación a las características de los ambientes en evaluación, aspecto que se validó con el criterio de (Yan *et al.* 2001), para la selección del cultivar ideal, el cual debe tener una gran puntuación en el CP1 (alta media de rendimiento) y una puntuación para PC2 cercana a cero (más estabilidad). Los círculos concéntricos con centro en el genotipo ideal permiten visualizar la distancia entre todos los genotipos y el genotipo ideal (Figura 34). Por lo tanto el genotipo L313 es el más cercano al cultivo ideal y este seguido de L327, L311, L347 y L329, los cuales están seguidos a su vez de los genotipos L333, L331 y L324.

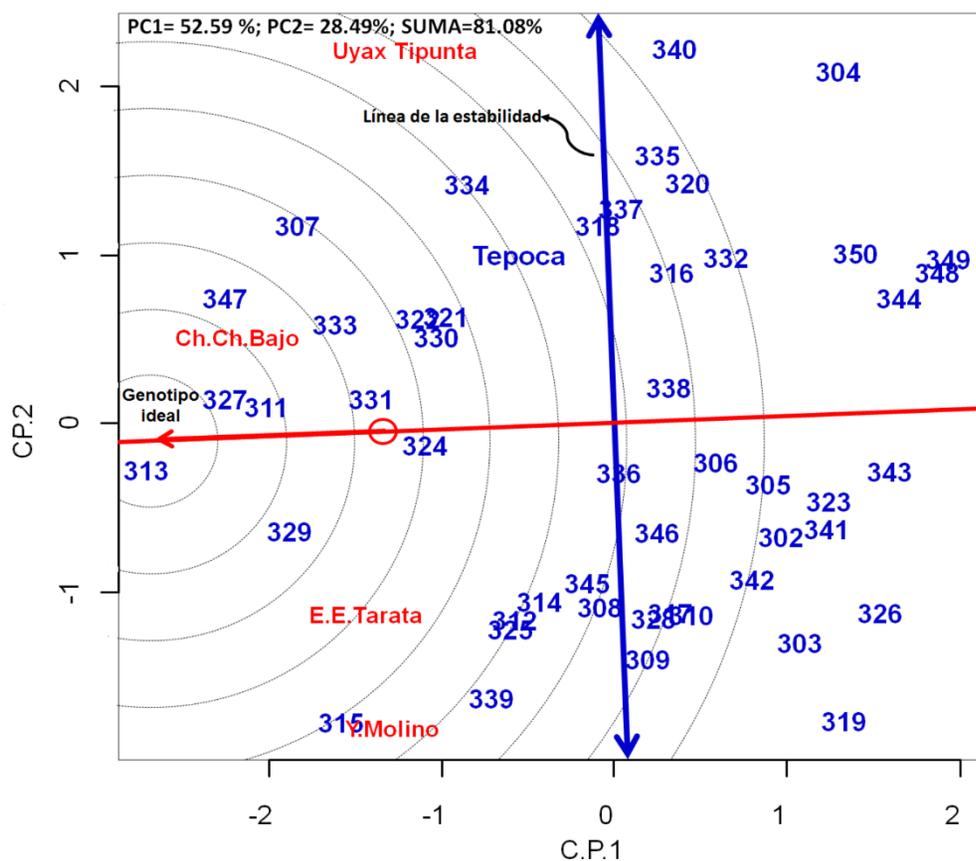


Figura 34. Ranking respecto al genotipo ideal de 50 genotipos de trigo harinero, evaluados en cuatro localidades trigueras de Cochabamba durante la campaña agrícola 2013-2014.

#### 4.8.3. Rendimiento medio y estabilidad de los genotipos

Para evaluar el rendimiento medio y la estabilidad de los genotipos, en primer lugar se representó la localidad promedio que se obtiene con la media de las coordenada de las localidades, representado mediante un pequeño círculo. La recta que pasa por el origen del biplot y la localidad promedio se denomina eje de la abscisa y la doble flecha de la perpendicular a la oblicua (ordenada) mide la estabilidad de los genotipos, el cual está asociado a la IGA. Por lo tanto a mayor proyección sobre el eje de la ordenada significa mayor inestabilidad. Por lo cual los genotipos L340, L309, L319 y L304 son los menos estables y los genotipos L313, L327, L311 y 331 presentan alto rendimiento, con

proyecciones más cercanas al eje de las abscisas siendo las más estables para el escenario de las cuatro localidades trigueras del departamento de Cochabamba (Figura 5).

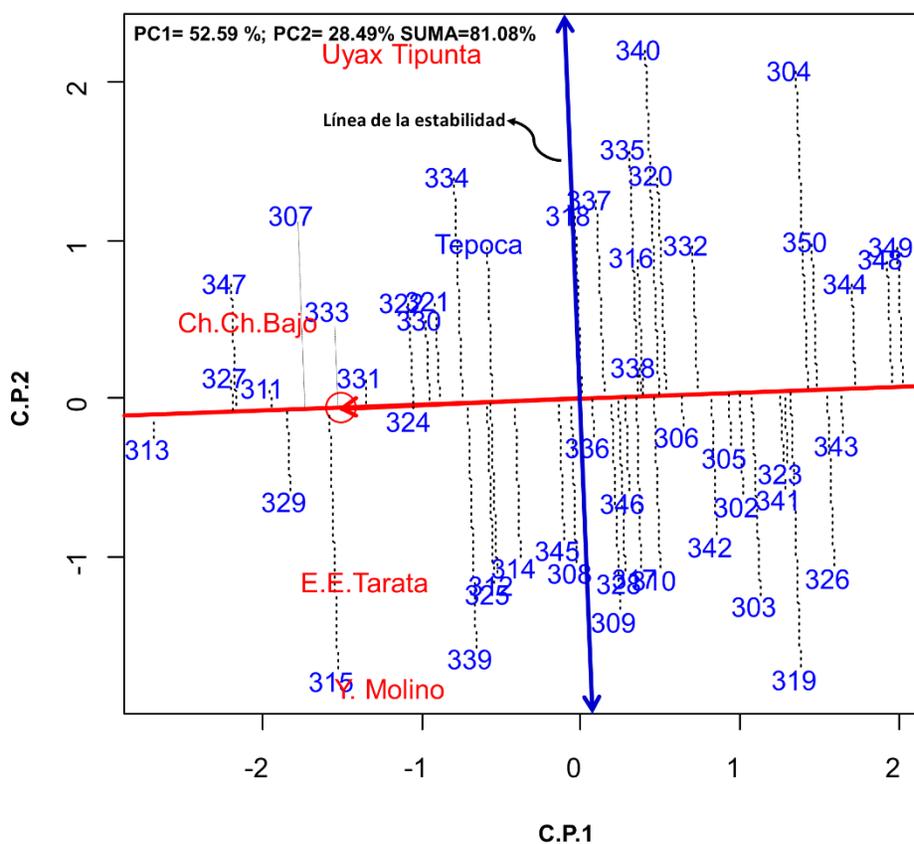


Figura 35. Rendimiento medio de genotipo y estabilidad de los 50 genotipos de trigo harinero, evaluados en cuatro localidades trigueras de Cochabamba durante la campaña agrícola 2013-2014.

## 5. CONCLUSIONES

De la presente investigación se concluye que:

Durante la fase de investigación se evidenció que el germoplasma del vivero 20<sup>TH</sup> SAWYT, del CIMMYT, presenta una variación en los caracteres evaluados, debido a la influencia del ambiente. Por consiguiente se identificó genotipos (L313, L327, L311, L347, L333, L315, L324, L329, L331 y L307), que desarrollaron en superioridad características relacionadas a los componentes de productividad en comparación de la variedad testigo Tepoca T89.

Los caracteres agronómicos y componentes de productividad que tuvieron mayor correlación con el rendimiento fueron número de macollos, número de espigas por metro, longitud de espiga, número de granos por espiga, peso de mil granos, aspecto que se corroboró con el análisis de componentes principales. El cual permitió conocer la relación existente entre los componentes de rendimiento y los genotipos (L313, L327, L347, L333, L315, L311 L324 y L329). También permitió seleccionar las variables cuantitativas y cualitativas más discriminatorias, los cuales fueron número de espigas, número de macollos, densidad de espiga, longitud de espiga, peso hectolítrico, peso de mil granos y rendimiento y finalmente se encuentran las variables tipo de grano, tamaño de grano, altura de planta, roya y septoria.

Los genotipos que mostraron adaptabilidad y que sobresalieron por su potencial de rendimiento corresponden a las líneas L313, L327, L311 y L331, que mostraron rendimientos superiores a la media general en los ambientes de prueba. De las cuatro mencionadas como de alto rendimiento, las líneas L313 y L327, obtuvieron rendimientos de 2164.75 y 2023,63 kg/ha, respectivamente; los cuales superan en 5 y 4%, a la variedad testigo Tepoca T89, y en un 65 y 62%, al promedio general respectivamente.

Los genotipos que sobresalieron por su alto potencial de rendimiento en localidades específicas (adaptabilidad específica), fueron las líneas L315, para las localidades de Yuraj Molino y E.E. Tarata, seguida por la L307 y L347, para los ambientes Uyax Tipunta y Chullpa Chullpa Bajo, respectivamente.

Las líneas de trigo que presentaron inestabilidad son L340, L319, 304, L335, L303, L309 y L335, los cuales tiene rendimientos inferiores a la variedad testigo y a la media general de los cuatro ambientes en evaluación.

Se identificó dos ambientes claramente definidos que tienen similitud en la producción de trigo, donde los genotipos promediaron altos rendimientos; cuyas localidades son E. E. Tarata y Yuraj Molino con rendimientos promedios de 1998.07 y 1328.48 kg/ha, respectivamente, que se caracterizan por tener precipitaciones bajas con una distribución variada y tiene altitudes superiores a los 2500 msnm.

Por su adaptabilidad, estabilidad, alto rendimiento y desarrollo adecuado de sus caracteres agronómicos y de productividad, los genotipos de trigo L313 y L327, fueron los materiales más deseables para estas zonas donde este cultivo es restringido por las condiciones ambientales, los cuales muestran tolerancia a roya y septoria.

## **6. RECOMENDACIONES**

De acuerdo a los resultados del análisis de adaptabilidad y estabilidad fenotípica obtenidas en el investigación, se recomienda dar continuidad con la exploración con los genotipos seleccionados por su mejor adaptación y potencial genético en las cuatro localidades trigueras del departamento de Cochabamba.

Respecto a los genotipos (L313 y L327), recomendados en esta investigación se debe realizar el seguimiento en ensayos similares en diferentes campañas agrícolas y localidades con el propósito de obtener una guía confiable en la adopción o liberación como una nueva variedad para estas zonas trigueras del área tradicional.

Continuar los estudios con los genotipos L307, L347, L315, L319, L349 y L 304, los cuales están asociados a características de productividad y adaptación específica a determinados localidades en la presente investigación.

Se debe dar énfasis en el uso ha herramientas multivariadas para el estudio de la estabilidad, el cual facilita la identificación de ambientes similares y los mejores genotipos adaptados a esos ambientes, lo cual podría facilitar el proceso de mejoramiento de este cereal en el área tradicional de Bolivia.

## 7. BIBLIOGRAFÍA

- Acevedo, M. 2010. Estabilidad fenotípica de arroz de riego en Venezuela utilizando los modelos Lin-Binns y AMMI. *Agronomía Trop.* 60(2): 131-138.
- Albarracin, D. J. 2009. Programa de Innovación Continúa. Evaluación de proyectos piloto del programa de innovación continua (PIC). Proyecto: "Obtención de cultivos biofortificados para una mejor nutrición; caso trigo". La Paz, Bolivia. 43p.
- Alwala, S. 2010. "A comprehensive comparison between Eberhart and Russell joint regression and GGE biplot analyses to identify stable and high yielding maize hybrids." *Field Crops Research.* 119: 225 - 230.
- Arizpe, F. 2007. Determinación del potencial de rendimiento de líneas y variedades de trigo (*Triticum* spp.) bajo condiciones de la estación experimental Agrícola Saavedra (EEAS) – invierno 2005. Tesis de grado para obtener el título de Ingeniero Agrónomo. Universidad Mayor de San Simón. Facultad de Ciencias Agrícolas y Pecuarias. Cochabamba-Bolivia. p81.
- Balzarini M.; Di Rienzo J.; Tablada M.; Gonzalez, L.; Bruno C.; Córdoba M.; Robledo W.; Casanoves F. 2011. Introducción a la Bioestadística. Aplicaciones con InfoStat en Agronomía. 1<sup>ra</sup> edición. Argentina 404 p.
- CGIAR. 2014. Wheat: A founder Crop of the CGIAR- Where does it fit in the New CGIAR?
- Caballero, W. 1985. Introducción a la estadística. 3ra ed. IICA. Puerto Rico. 284p.
- Calle, C. 2001. Las bajas poblaciones de plantas en el cultivo de trigo del área tradicional, causa y consecuencias. Memorias de la IV reunión nacional de trigo y cereales menores. Cochabamba – Bolivia. p. 167-173
- Camacho, M. 2011. Mejoramiento del trigo en el Noreste de México. México. Presentación en: Power point. p 50.
- CIAT, 2012. Validación de la variedad de trigo de la variedad de trigo "bibosi-ciat" invierno. Centro de Investigación Agricultura Tropical 8 - 20 p.
- Cartagena, T. 2012. Evaluación agronómica de líneas mejoradas de trigo harinero (*Triticum aestivum* L.) en dos localidades del departamento de Cochabamba. Tesis de grado para obtener el título de Ingeniero Agrónomo. Universidad Mayor de San Simón. Facultad de Ciencias Agrícolas y Pecuarias. Cochabamba-Bolivia. 63p

- Castro, A. Hoffman, E. y Viega, L. 2011. Limitaciones para la productividad de trigo y cebada. Montevideo- Uruguay. p. 3-4
- Ceballos, H. 1998. Genética cuantitativa y fitomejoramiento. Palmira, Universidad Nacional de Colombia Sede Palmira. 330 p.
- Chaves, J. 2001. Interacção de genótipos com ambientes. Em: Recursos genéticos e melhoramento-plantas. (Eds) Lourenço Nass, Afonso Celso Candelaria Valois, Itamar Soares de Melo, María Cléria Valadares Rondonópolis: Fundação MT. p 673-713.
- CIMMYT. (Centro Internacional de mejoramiento de Maíz y Trigo).1998. Hechos y tendencias mundiales relacionados con el trigo. La producción de trigo y cebada en ambientes marginales de temporal del mundo en desarrollo. México D.F. 5 p.
- Claure, T. 2001. Un análisis de los efectos del uso de la cobertura en la incidencia de septoria en trigo. Memorias de la IV reunión nacional de trigo y cereales menores. Cochabamba – Bolivia. Pp. 13-16
- Condon, A. G., R. A. Richards, G. J. Rebetzke, and G. D. Farquhar. 2004. Breeding for high water-use efficiency. *J. Exp. Bot.* 55(407): 2447-2460.
- Cossio, J. y Marza, F. 2015. Comportamiento de 50 líneas de trigo para zonas semi aridas del vivero 19TH SAWYT introducidas del CIMMYT. Memorias de la V reunión nacional de trigo. Cochabamba - Bolivia. Pp. 54.
- Crespo, M. 2000. Sistemas de Producción de las Áreas Trigueras de los Valles. Wheat and Weeds: Food and Feed. Proceedings of Two Stakeholder Workshops. Santa Cruz, Bolivia: CIMMYT p. 3
- Crespo, M. y Gabriel, E. 2001. Evaluación de material segregante de trigo bajo condiciones de estrés hídrico. Memorias de la IV reunión nacional de trigo y cereales menores. Cochabamba – Bolivia. Pp. 135-144
- Crossa, J. 1990. Statistical analysis of multilocation trials. *Advance in Agronomy.* 44:55-85.
- Crossa, J. Wescott, B. Gonzales, C. 1988. Analysing yield stability of maize genotypes using a spatial model. *Theor. Appl Genet* 75: 863-868

- Cubero, J.I.; F. Flores. 2011. Métodos estadísticos. Para el estudio de la estabilidad varietal en ensayos agrícolas. Junta de Andalucía, Consejería de Agricultura y Pesca. Sevilla, España. 176 p.
- Damba, G. 2008. Evaluación de métodos para análisis de estabilidad en diferentes ambientes en genotipos de yuca (*Manihot esculenta* Crantz). Tesis M.Sc. Palmira-Colombia. Universidad Nacional de Colombia. 110 p.
- De Mendiburo, F. 2007. Diseño y Análisis de experimentos Aplicados en investigación Agrícola. IOWA State University. Presentación en Power point. 48 p.
- Eberhart, S. A., and W. A. Russell. 1966. Stability parameters for comparing varieties. *Crop sciences*. 6: 36-40p.
- FAOSTAT, 2009. Food and Agriculture Organization of the United Nations FAO Statistical Data base. Food and Agriculture Organization of the United Nations. <http://faostat.fao.org/> (consultado noviembre, 2014).
- Franco, T. L. e Hidalgo, R. (eds.). 2003. Análisis estadístico de datos de caracterización morfológica de recursos fitogenéticos. Boletín técnico no. 8, Instituto Internacional de Recursos Fitogenéticos (IPGRI), Cali, Colombia. 89 p.
- Freire Filho, F. 2005 Adaptabilidade e Estabilidade productiva de feijao-caupi. *Ciência Rural*, v. 35, n. 01, p. 24-30.
- Fuente, S. 2011. Componentes principales. Universidad Autónoma de Madrid. p 7.
- Flores, C. R. 2006. Evaluación preliminar agronómica y morfológica del germoplasma de cañahua (*Chenopodium pallidicaule* aellen) en la estación experimental belén. Tesis de grado - UMSA. La Paz – Bolivia. Pp. 28 y 31.
- Gauch, H. R. Zobel. 1996. AMMI analysis of yield trials. In: M. S. Kang y H. G. Gauch (eds) Genotype-by-environment interaction. CRC Press, Boca Raton, pp. 85-122.
- Gauch, H.G. 2006. Statistical analysis of yield trials by AMMI and GGE. *Crop Sci*. 46:1488–1500.
- Gómez, R. 2001. Adaptación de 12 variedades de trigo en el área triguera de departamento de Cochabamba. Tesis de grado para optar el grado de ingeniero agrónomo. Universidad Mayor de San Simón. Cochabamba- Bolivia. 117 p.

- Gómez, R. y Gabriel, E. 2001. Análisis del vivero boliviano de trigo harinero (VIBOT) desde 1994 al 2001 en el área tradicional de Bolivia. Memorias de la IV reunión nacional de trigo y cereales menores. Cochabamba - Bolivia.
- Gómez, R. y Gabriel, E. 2001. Tepoca T89 una nueva variedad para la zona tradicional de Cochabamba Bolivia. Memorias de la IV reunión nacional de trigo y cereales menores. Cochabamba - Bolivia. Pp. 68-72.
- Gonzales, J.; Camacho, E.; Gutiérrez, F.; Cartagena, S.; Guzmán, M.; Torres, E.; Meneses, R. 2011. Mejoramiento participativo de la productividad del trigo harinero y trigo duro en el departamento de Cochabamba proyecto UMSS-ASDI-FC2 resultados y visión del proyecto de desarrollo en las comunidades del área rural del departamento de Cochabamba (2009-2011). UMSS, FCAPFyV, CIF, convenio ASDI-UMSS. Cochabamba –Bolivia. 16p.
- Gonzales, R., *et al.* 2011. Interacción genotipo ambiente para la estabilidad de rendimiento en trigo en la región de Mexicali, B.C.; México. P.543- 558.
- González, A.; Pérez, D. J.; Sahagún, J.; Franco, O.; Morales, E. J.; Rubí, M.; Gutiérrez, F. y Balbuena, A. 2010. Aplicación y comparación de métodos univariados para evaluar la estabilidad en maíces del Valle Toluca-Atlacomulco, México. *Agronomía Costarricense*. 34(2):129-143
- Gosticar, J. 1997. Agricultura, suelos, abonos y materia orgánica, Técnicas agrícolas en cultivos extensivos. Ed. Alfa Omega y Estudio Barsio. España. P. 82, 86-458-465.
- Guzmán, C. 2015. El Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo (CIMMYT) trabaja en el mejoramiento de la calidad nutricional y componentes relacionados con la salud. Santa Cruz Bolivia Presentado en power point
- Herbas J, Montañó I. 2011. Periodos de estrés hídrico en trigo harinero (*Triticum aestivum* L.) variedad Totorá 80. *Revista de Agricultura, Bolivia*. p.50:1-8.
- Herbas, R. 2008. Situación del trigo en Bolivia y en contexto internacional. Centro de investigación y promoción del campesinado CIPCA - Bolivia. Pp. 9- 18
- Hidalgo, R. 2003. Variabilidad genética y caracterización de especies vegetales. . Boletín técnico no. 8, Instituto Internacional de Recursos Fitogenéticos (IPGRI), Cali, Colombia. p. 16.

- IBCE. 2014. Trigo, una oportunidad para la soberanía alimentaria boliviana. Instituto Boliviano de Comercio Exterior. Santa Cruz-Bolivia. Año 22, n°219. p6. Disponible en: [www.lbce.org.bo](http://www.lbce.org.bo)
- INIAF. 2012. Plan de Implementación del Programa Nacional de Trigo del Instituto Nacional de Innovación Agropecuaria y Forestal. La Paz, Bolivia. p.40.
- INIAF. 2015. Programa Nacional de Trigo en el marco del Proyecto de Innovación y Servicios Agrícolas, (PISA). Boletín informativo.
- Joachim, H. y Payme, T. 2013. Fitomejoramiento en mega ambientes. Fitomejoramiento fisiológico I: Enfoques interdisciplinarios para mejorar la adaptación del cultivo. Mexico, D.F. CIMMYT. p.6
- López, L. 1990. Cultivos Herbáceos. Vol. 1. Cereales. Editorial Mundi Prensa. Madrid. 539 p.
- Lozano, A. 2014, Modelado de la interacción de híbridos tropicales de maíz en ambientes múltiples. Tesis Ms.C. Colegio de postgraduados. Montecillo, Texcoco, EDO. De México. 67 p.
- Malaga, U. 2008. Bioestadística: métodos y aplicaciones. Medias descriptivas. P 32.
- Mamani, T. 1991. Evaluación de 15 variedades de trigo harinero (*Triticum aestivum* L.) en el altiplano central y norte de Bolivia. Tesis de grado para optar el grado de ingeniero agrónomo. Universidad Mayor de San Andrés. La Paz- Bolivia. 117 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. 1ra Edición. La Paz, Bolivia.
- Marza, F. (s.f.). Identificación de cultivares promisorios empleando métodos multivariados disponibles en:
- Marza, F.; Butrón, R.; Canelas, J.; Huallpa, B.; Tenorio, J.; Villegas R. y Gutiérrez G. 2014. Variabilidad fenotípica de 50 líneas de trigo adaptadas a condiciones semi-áridas. Infolniaf, vol1. Cochabamba – Bolivia. Pp. 9-15.
- Marza, F.; Butrón, R.; Canelas, J.; Huallpa, B.; Tenorio, J.; Villegas R. y Gutiérrez G. 2014. Variabilidad en características de adaptabilidad de 350 líneas de trigo harinero en la localidad de Yuraj Molino. Infolniaf, vol1. Cochabamba – Bolivia. Pp. 15-22.

- Marza, F.; Quispe, F.; Butrón, R.; Canelas, J.; Huallpa, B.; Tenorio, J.; Villegas R. y Gutiérrez G 2014. Utilización de germoplasma de trigo del CIMMYT en el INIAF. Infolniaf, vol1. Cochabamba – Bolivia. Pp. 62-67.
- MDRyT. 2012. Compendio agropecuario. Observatorio agroambiental y productivo. Ministerio de Desarrollo Rural y Tierras. La Paz-Bolivia. p 70.
- MACA 2004. Estudio de la identificación, mapeo y análisis de la cadena productiva del trigo. Ministerio de Asuntos Campesinos y Agropecuarios. p. 10.
- Miralles, J. D. 2004. Consideraciones sobre ecofisiología y manejo de Trigo. INTA, información técnica de trigo, 101: 1-7.
- Mollericona, H. P. 2013. Efecto de la fertilización nitrogenada y foliar en el cultivo de trigo (*Triticum aestivum* L.) en la localidad de Okinawa dos (CETABOL) Santa Cruz de la Sierra Bolivia. Tesis Agr. La Paz-Bolivia, U.M.S.A. 92 p.
- Morales, V. P. 2011. Correlación y regresión, simple y múltiple. Universidad Pontificia Comillas, Madrid. Facultad de Ciencias Humanas y Sociales. p. 13
- Okoye, M. N., C. O. Okwuagwu, and M. I. Uguru. 2008. Genotype and genotype by environment (GGE) biplot analysis of fresh fruit bunch yield and yield components of oil palm (*Elaeis guineensis* Jacq.). J. Appl. Biosci. 8(1): 288-303.
- Patterson, H. D. and E. R. Williams. 1976. A new class of resolvable incomplete block designs. Biometrika 63: 83-92.
- Philippeau G (1990). Como interpretar los resultados de un análisis de componentes principales. Instituto técnico de cereales y de forrajes (ITCF). Paris, Francia. Traducido por Tomassone A. y Jhonson J.- Álvarez. 9 p.
- Piepho, H. P., Moring, J., Melchinger, A. B. 2008. Blup for phenotypic selection in plant breeding. Euphytica, 161: 209-228.
- Pla LE (1986) Análisis Multivariado de Componentes Principales. Secretario General de Organización de los Estados Americanos. Programa Regional de Desarrollo Científico y Tecnológico Washington D.C.-E.E.U.U. 95 p.
- PN-TRIGO. 2015. Prueba de valor agronómico “INIAF Totorá 2014”. Ministerio de Desarrollo Rural y Tierras, INIAF. Cochabamba- Bolivia. Presentación en Power point. 43 p.

- Portilla, A. 2013. Comportamiento agronómico y adaptabilidad de híbridos F1 de tomate de árbol (*Cyphomandra betacea* (Cav.) Sendth) en la región alto andina de Nariño, Colombia. Tesis M.Sc. Universidad Nacional de Colombia Palmira-Colombia. 124p.
- Prescott, J.M., P.A. Burnett, E.E. Saariet *al.* 1986. Enfermedades y plagas del trigo: una guía para su identificación en el campo. CIMMYT. México, D.F., México. Pp. 2 -29
- PROTRIGO, 2001. Memoria final. Programa Nacional de Investigación y Transferencia de Tecnología para el cultivo de Trigo (1999-2001). Sucre- Bolivia. 98 p.
- Plana, R.; Álvarez, M. y Varela, M. 2006. Evaluación de una colección del género *Triticum*: trigo harinero (*Triticum aestivum* sp. *aestivum*), trigo duro (*Triticum turgidum* sp. *Durum*) y triticale (*Triticum secale* Wittmack) en las condiciones del occidente de Cuba. Cultivos Tropicales, vol. 27, no. 4, pp. 49-52. ISSN 1819-4087.
- Quispe, S. F.S. 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, Universidad Pública de El Alto. 87 p.
- Robles, R. 1990. Producción de granos y forrajes. 5° edición, Ed. Limusa México D.F. – México. p. 207 – 238
- Rodríguez, J. C. P. 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. Tesis de grado. Guayaquil – Ecuador. Pp. 80-81
- Rodríguez P., J. E., J. Sahagún, H. E. Villaseñor, J. D. Molina, y A. Martínez. 2002. Estabilidad de siete variedades comerciales de trigo (*Triticum aestivum* L.) de temporal. Fitotec. Mex. 25: 143-151.
- San Martin, R. 2001. Evaluacion de cobertura después de la siembra en tres sistemas de siembra. Memorias de la IV reunión nacional de trigo y cereales menores. Cochabamba – Bolivia. Pp. 235-240
- Sánchez, G. J. J. 1995. El análisis biplot en clasificacion. Ver. Fitotec. Mex. 18:188-203.
- SAS Institute Inc (2013) SAS® 9.2. Help and documentation. [www.sas.com](http://www.sas.com).
- SENAMHI. 2015. Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología. <http://www.senamhi.gpb.bo/>(Consultado:08 de diciembre 2015)

- Sevilla, P. R. 2004, Líneas de base para la implementación de programas estratégicos. Línea de base del área de recursos fitogenéticos y premejoramiento. Proyecto de investigación y extensión agrícola. Ministerio de agricultura. Perú. p 19.
- Santesmases, M. 1997. Diseño y análisis de encuestas en investigación social y de mercados. Pirámide. Madrid, España 333p.
- Silva, P. 2011. Criterios técnicos para el manejo de trigo cendal INIA. Santiago – Chile 1ra Ed. P p. 7-15
- Snedecor, G. y Cochocran, W. 1980. Statistical methods. 7th ed. IOWA, State University Press. Ames. 1250 p.
- Snedecor, G. y Cochocran, W. 1980. Statistical methods. 7<sup>th</sup> ed. IOWA, State University Press. Ames. 1250 p.
- Soldano, O. 1985. El trigo. Ed. Albatros. Buenos Aires – Argentina. Pp.9 – 52
- Torrice C. E. 2010. Estudio socio productivo en las Sub Centrales que se dedican a la producción de trigo del municipio de Totorá. Trabajo dirigido para obtener el título de Ingeniero Agrónomo. Universidad Mayor de San Simón. Facultad de Ciencias Agrícolas y Pecuarias. Cochabamba-Bolivia. p75.
- Vallejo, F.; Espita, M.; Estrada, E. y Ramírez, H. Genética vegetal. 2010. Universidad Nacional de Colombia sede Palmira. Cali, Valle. Pp 219-237.
- Vásquez, V. 1990. Experimentación Agrícola. Diseños Estadísticos para la Investigación Científica y Tecnológica. 1ra edición. Cajamarca. Perú. p.255
- Velasco et al. 2001. Ensayo regional de rendimiento de trigo del área tradicional. Memorias de la IV reunión nacional de trigo y cereales menores. Cochabamba – Bolivia. Pp. 127-134
- Voysest, O. 1996. Fundamento de un eficiente sistema de germoplasma de frijol. Taller de mejoramiento de frijol para el siglo XXI base para una estrategia para América Latina. CIAT. Cali-Colombia. 426 p.
- Yan, W. 2001. GGE-biplot-a Windows application for graphical analysis of multi-environment trial data and other types of two-way data. Agron. J. 93(5): 1111-1118.
- Yan, W. L. A.; Hunt, S. Qinglai, and Z. Szalvics. 2000. Cultivar evaluation and mega-environment investigation based on the GGE biplot. Crop Sc. 40: 597-605.

- Yan, W., and J. B. Holland. 2010. A heritability-adjusted GGE biplot for test environment evaluation. *Euphytica* 171: 355- 369.
- Yan, W., and L. A. Hunt. 2001. Interpretation of genotype  $\times$  environment interaction for winter wheat yield in Ontario. *Crop Science* 41: 19-25.
- Yan, W. and Rajcan, I. 2002. Bipot analysis of test sites and trait relations of soybean in Ontario. *Crop Sci.* 42:11-20
- Zadoks JC, Chang TT, Konzak CF (1974). A decimal code for the growth stages of cereals. *Weed Res.* 14:415-421.
- Zenteno, A. 2000. Efecto de los abonos orgánicos mineralizados y fertilizantes mineralizados en el cultivo de trigo (*Triticum aestivum* L.) en la provincia Esteban Arze. Tesis de grado para obtener el título de Ingeniero Agrónomo. Universidad Mayor de San Simón. Facultad de Ciencias Agrícolas, Pecuarias, Forestales y Veterinarias. Cochabamba-Bolivia. p 99.

## 8. ANEXOS



Mes	Min=9.5°C	Max=27.3°C	Media=18.4°C	PP Hist=290.8 mm	PP 13-14=364 mm
Noviembre	12.7	29.9	21.3	41.3	64.2
Diciembre	13.4	27.3	20.3	91.3	152.3
Enero	12.6	26.9	19.8	107.2	179.4
Febrero	12.7	26.5	19.6	100.7	116.0
Marzo	11.7	27.7	19.7	63.8	44.5
Abril	10.2	27.0	18.6	17.3	14.2
Mayo	6.1	26.6	16.4	1.8	10.1
Junio	2.9	26.9	14.9	1.2	0.0

Min =Temperatura mínima (°C); Max = Temperatura máxima (°C); PP Hist = Precipitación histórica (mm) y PP = Precipitación acumulada (mm).

**Anexo 4. Datos climáticos correspondientes al municipio Tototra de la provincia Carrasco del departamento de Cochabamba 2013-2014.**

Mes	Min=7.6°C	Max=20.7°C	Media=14.5°C	PP Hist=414 mm	PP 13-14=494 mm
Noviembre	7.3	23.8	15.55	29.7	27.9
Diciembre	8.2	21.2	14.7	117.925	152
Enero	7.9	19.8	13.85	165	177.6
Febrero	8	19.9	13.95	128.7	55.8
Marzo	7.6	22.6	15.1	82.8	53.3
Abril	7.9	20.6	14.25	26.1	21.3
Mayo	6.4	20.5	13.45	2.7	6.3
Junio	7.7	22	14.85	0.2	0

Min =Temperatura mínima (°C); Max = Temperatura máxima (°C); PP Hist = Precipitación histórica (mm) y PP = Precipitación acumulada (mm).

**Anexo 5. Datos climáticos correspondientes a municipio de Pocona de la provincia Carrasco del departamento de Cochabamba 2013-2014.**

Mes	Min=3.2°C	Max=19.7°C	Media=11.5°C	PP Hist=355.8 mm	PP13-14=346 mm
Noviembre	1.9	19.2	10.5	50.7	60.0
Diciembre	6.5	19.3	12.9	96.9	178.6
Enero	5.3	20.4	12.8	129.5	97.7
Febrero	4.9	20.3	12.6	125.1	97.8
Marzo	4.7	19.6	12.1	71.9	75.8
Abril	3.6	20.0	11.8	29.3	59.3
Mayo	0.7	19.8	10.2	8.0	15.6
Junio	-1.8	19.5	8.9	4.2	6.2

Min =Temperatura mínima (°C); Max = Temperatura máxima (°C); PP Hist = Precipitación histórica (mm) y PP = Precipitación acumulada (mm).

**Anexo 6. Promedio de las variables peso de mil granos, pesos hectolítrico y rendimiento en grano de 50 genotipos de trigo harinero evaluados en cuatro localidades trigueras de Cochabamba durante la campaña agrícola 2013-2014.**

Genotipo	Chullpa Chullpa Bajo			E. E. Tarara			Uyax Tipunta			Yuraj Molino		
	PMG	RDTO	PH	PMG	RDTO	PH	PMG	RDTO	PH	PMG	RDTO	PH
Tepoca T89	43.5	2047.5	76.1	34.5	2244.0	77.4	44.0	1466.0	78.5	37.5	1130.5	77.5
L-302	40.5	1777.0	76.9	37.0	2088.5	76.7	35.0	1093.0	77.1	36.5	1214.0	76.3
L-303	43.0	1743.0	77.3	38.5	1680.0	77.7	41.5	1093.0	79.8	37.0	1653.0	78.1
L-304	47.5	1329.0	76.6	46.0	1741.0	77.1	44.5	967.0	81.0	38.5	1091.0	77.1
L-305	49.5	1908.0	79.7	39.0	2083.5	77.8	43.5	1065.0	80.0	39.0	1098.5	77.6
L-306	41.0	1557.0	77.9	33.5	1737.0	78.2	36.0	1319.5	80.2	35.5	1590.0	77.5
L-307	52.0	2755.5	79.4	43.0	1997.0	77.7	49.0	1705.5	78.2	44.5	1361.5	77.9
L-308	51.0	1800.0	77.2	42.0	2216.0	76.9	40.0	1178.5	79.1	41.5	1396.5	79.9
L-309	46.5	1430.0	77.9	41.5	2258.0	77.8	44.5	1202.0	78.7	41.0	1445.5	79.6
L-310	42.5	1865.0	77.1	35.5	1674.0	78.0	40.5	1155.0	79.6	36.0	974.0	77.5
L-311	50.5	2571.0	77.6	45.5	2112.5	79.1	48.0	1460.0	82.4	43.5	1460.0	79.4
L-312	50.0	2129.0	77.4	40.0	2075.0	77.9	46.5	1130.0	78.3	41.0	1461.0	75.3
L-313	59.5	2453.0	78.5	44.0	2751.0	79.4	47.5	1596.0	80.8	42.0	1859.0	78.3
L-314	48.0	2368.0	77.4	36.5	2098.0	76.5	42.0	1056.5	79.1	36.0	1297.5	74.8
L-315	54.5	2339.0	78.3	42.5	2596.0	79.9	43.5	1117.5	80.6	44.5	1623.0	79.4
L-316	45.5	2099.0	76.7	38.5	1745.0	76.1	42.0	1287.0	77.4	38.5	1212.0	77.3
L-317	51.0	1881.0	77.2	40.0	2089.0	76.0	40.5	1070.5	77.8	34.0	1307.0	77.3
L-318	51.0	2584.0	77.9	42.0	1524.0	76.4	45.0	1278.0	80.4	38.5	1278.0	75.7
L-319	41.0	1141.0	76.3	34.5	2068.5	73.5	36.0	1058.5	76.4	33.0	1437.0	76.0

## Anexo 6. (Continuación).

Genotipo	Chullpa Chullpa Bajo			E. E. Tarara			Uyax Tipunta			Yuraj Molino		
	PMG	RDTO	PH	PMG	RDTO	PH	PMG	RDTO	PH	PMG	RDTO	PH
L-320	44.0	2069.5	77.4	36.0	1639.0	75.3	42.0	1349.0	78.0	33.0	1209.0	74.5
L-321	47.5	2104.0	76.9	42.5	2019.0	77.1	47.0	1525.0	81.0	39.0	1364.5	76.3
L-322	49.0	2125.0	76.8	41.0	2220.0	77.9	45.0	1474.0	78.4	44.0	1286.5	77.6
L-323	39.0	1436.0	75.8	34.5	1781.0	76.9	33.0	1195.0	75.3	33.5	1336.0	77.6
L-324	52.5	2027.0	77.2	40.5	2138.0	79.0	45.5	1445.0	80.9	40.0	1440.0	77.8
L-325	50.0	2153.5	77.2	37.5	2344.0	76.2	42.5	1067.5	75.4	38.5	1295.5	75.6
L-326	51.0	1629.0	75.0	43.0	1986.0	77.8	35.5	1043.5	75.4	39.5	1295.0	77.0
L-327	51.5	2876.5	78.7	43.5	2053.0	78.9	52.5	1484.0	81.3	41.0	1681.0	79.0
L-328	45.5	2302.5	76.4	37.5	1598.0	76.8	42.0	1024.5	79.3	38.5	1546.0	80.8
L-329	57.5	2233.0	76.9	48.5	3085.0	78.4	53.0	1297.5	79.5	43.0	1445.5	79.2
L-330	46.0	2594.0	75.4	41.0	2212.0	78.0	47.0	1264.5	79.3	38.0	1134.0	77.5
L-331	51.0	2461.0	77.8	46.5	1940.5	77.9	37.0	1329.0	80.6	37.5	1518.0	79.7
L-332	49.0	1949.0	75.8	36.5	1635.0	78.9	43.0	1288.0	79.3	40.0	1282.5	77.8
L-333	52.0	2138.0	78.4	43.5	2222.0	78.8	47.5	1654.0	81.3	43.0	1317.0	79.0
L-334	46.0	2281.0	78.0	40.5	1713.0	81.1	43.0	1692.0	79.3	42.0	1323.0	79.2
L-335	50.5	2173.5	77.1	39.5	1620.0	76.1	47.0	1329.0	79.9	39.5	1175.5	78.3
L-336	49.5	1911.5	77.2	43.0	1836.0	77.6	40.0	1217.0	76.4	37.0	1418.0	76.7
L-337	46.0	1863.0	77.9	42.0	2043.0	77.5	46.0	1527.0	79.3	36.5	1191.0	77.0
L-338	45.5	1769.0	76.7	38.0	1748.0	76.1	46.5	1391.0	79.6	37.5	1440.0	78.9
L-339	48.5	1884.0	79.7	43.0	2310.0	79.9	44.0	1158.0	81.1	37.5	1529.0	78.1
L-340	50.5	1868.0	77.0	41.0	1764.0	75.6	39.0	1807.0	78.0	38.0	1081.0	74.5
L-341	45.5	1733.0	78.2	35.0	2105.0	76.5	40.5	1090.0	80.4	34.0	1164.0	77.6

## Anexo 6. (Continuación).

Genotipo	Chullpa Chullpa Bajo			E. E. Tarara			Uyax Tipunta			Yuraj Molino		
	PMG	RDTO	PH	PMG	RDTO	PH	PMG	RDTO	PH	PMG	RDTO	PH
L-342	43.5	1743.0	76.6	35.0	2157.0	76.9	40.5	1117.0	81.3	29.5	1283.5	73.3
L-343	45.0	1377.0	76.5	37.0	1814.0	76.2	41.0	1171.0	77.8	33.5	1290.5	75.6
L-344	43.5	1603.0	75.7	39.0	1863.0	75.0	44.0	1217.0	78.1	34.5	1053.0	75.1
L-345	43.5	1782.5	77.8	37.5	1968.0	76.2	42.0	1283.0	77.7	37.0	998.5	77.4
L-346	49.0	1802.0	78.3	38.5	1683.0	76.7	42.5	1268.0	82.0	35.0	1869.0	77.6
L-347	55.5	2378.5	78.7	48.5	3033.5	79.0	52.5	1754.0	80.8	40.5	1306.0	79.7
L-348	44.0	1758.0	76.4	35.5	1363.0	73.6	38.5	1203.0	79.5	38.0	1147.5	77.9
L-349	45.0	1809.0	75.8	33.0	1232.5	71.6	36.5	1169.0	80.3	37.0	1072.0	76.8
L-350	49.0	1524.0	76.2	41.0	2000.0	76.3	43.5	1289.0	78.7	34.4	1043.0	76.9
<b>Media</b>	47.9	1982.7	77.2	39.9	1998.1	77.2	43.0	1288.4	79.2	38.2	1328.5	77.4
<b>Mínimo</b>	39.0	1141.0	75.0	33.0	1232.5	71.6	33.0	967.0	75.3	29.5	974.0	73.3
<b>Máximo</b>	59.5	2876.5	79.7	48.5	3085.0	81.1	53.0	1807.0	82.4	44.5	1869.0	80.8
<b>Rango</b>	20.5	1735.5	4.8	15.5	1852.5	9.5	20.0	840.0	7.1	15.0	895.0	7.6
<b>Std. Desviación</b>	4.3	380.1	1.0	3.8	362.7	1.7	4.5	208.8	1.7	3.3	205.0	1.6
<b>Varianza</b>	18.9	144485.5	1.1	14.7	131534.5	2.9	19.9	43579.7	2.9	11.1	42005.4	2.5

L = línea avanzada, PMG = Peso de mil granos (g); RDTO = Rendimiento en grano (kg/ha) y PH = Peso hectolítrico (kg/hl)

**Anexo 7. Variables categóricas de 50 genotipos de trigo harinero, evaluados en cuatro localidades trigueras de Cochabamba durante la campaña agrícola 2013-2014.**

<b>Genotipo</b>	<b>Porte de la planta</b>	<b>Roya</b>	<b>Septoria</b>	<b>Densidad de espiga</b>	<b>Color de grano</b>	<b>Tipo de grano</b>	<b>Tamaño de grano</b>	<b>Tolerancia a la sequía</b>	<b>Precocidad</b>
Tepoca T89	5	2	3	3	5	4	3	4	3
L-302	5	3	3	3	5	3	3	4	3
L-303	5	4	4	3	5	4	3	4	3
L-304	5	3	3	3	5	4	3	4	3
L-305	5	4	3	3	5	4	3	3	3
L-306	5	4	4	3	5	4	3	3	3
L-307	5	3	2	3	5	4	3	4	3
L-308	5	3	3	3	5	4	3	4	3
L-309	5	4	2	3	5	4	3	3	3
L-310	5	4	3	4	5	4	3	4	4
L-311	5	3	2	3	5	4	3	4	4
L-312	5	4	4	4	5	4	3	4	4
L-313	5	3	3	3	5	4	3	4	3
L-314	5	3	3	3	5	4	3	4	4
L-315	5	3	4	3	5	4	3	4	3
L-316	5	3	4	3	5	4	3	4	3
L-317	5	3	3	3	5	4	3	4	3
L-318	5	4	3	3	5	3	3	4	3
L-319	5	3	2	3	5	3	3	4	3
L-320	5	3	3	3	5	4	3	4	3
L-321	5	4	3	3	5	4	3	4	3
L-322	5	3	3	3	5	3	3	4	4
L-323	5	4	4	3	5	3	3	4	4

## Anexo 7. (Contracción).

Genotipo	Porte de la planta	Roya	Septoria	Densidad de espiga	Color de grano	Tipo de grano	Tamaño de grano	Tolerancia a la sequia	Precocidad
L-325	5	3	3	3	5	4	3	4	4
L-326	5	4	3	3	5	4	3	4	4
L-327	5	3	4	3	5	4	3	4	5
L-328	5	2	3	3	5	4	3	4	4
L-329	5	3	3	3	5	4	3	4	3
L-330	5	3	2	3	5	4	3	4	3
L-331	5	4	3	3	5	4	3	4	3
L-332	5	3	4	3	5	4	3	4	4
L-333	5	4	3	4	5	4	3	4	3
L-334	5	2	3	3	5	4	3	4	3
L-335	5	2	3	3	5	4	3	4	3
L-336	5	2	3	3	5	4	3	4	4
L-337	5	3	2	3	5	4	3	4	3
L-338	5	3	2	3	5	4	3	4	3
L-339	5	2	3	3	5	4	3	4	3
L-340	5	3	3	3	5	4	3	4	3
L-341	5	3	3	3	5	4	3	4	4
L-342	5	3	3	3	5	4	3	4	4
L-343	5	4	3	2	5	3	3	4	3
L-344	5	4	3	3	5	3	3	4	3
L-345	5	3	3	3	5	4	3	4	3
L-346	5	3	3	3	5	4	3	4	3
L-347	5	3	3	4	5	4	3	4	3

## Anexo 7. (Continuación).

Genotipo	Porte de la planta	Roya	Septoria	Densidad de espiga	Color de grano	Tipo de grano	Tamaño de grano	Tolerancia a la sequía	Precocidad
L-348	5	2	3	3	5	4	3	4	3
L-349	5	3	3	3	5	3	3	4	3
L-350	5	3	3	3	5	4	3	4	3

Precocidad: 1= Muy tardío, 2=Tardío, 3 = Intermedio, 4=Precoz y 5=Muy precoz; Roya septoria y Tolerancia a la sequía: 1 = Muy susceptible, 2 = Susceptible, 3 = Moderadamente tolerante, 4 = Tolerante y 5 = Muy tolerante; Densidad de espiga: 1= Muy laxa, 2 = Laxa, 3 = Moderadamente compacta, 4 = Compacta y 5 = Muy compacta; Tipo de grano: 1=Muy chupado, 2=chupado, 3 = Casi lleno, 4 = Lleno y 5 = Muy lleno; Tamaño de grano: 1 = Grano pequeño (<6 mm), 3 = Grano mediano (6–7 mm) y 5 = Grano grande (>7 mm), Color de grano: 1= Púrpura (morado), 3 = Rojo y 5 = Blanco y Porte de la planta: 1 = Muy decumbente, 2 = Decumbente, 3 = Semi decumbente, 4 = Semi erecto y 5 = Erecto.

## Anexo 8. Prueba de Duncan de variables cuantitativas de 50 genotipos de trigo Harinero, evaluados en cuatro localidades trigueras de Cochabamba durante la campaña agrícola 2013-2014.

Genotipo	AP	Sig	NM	Sig	NEM	Sig	LE	Sig	NGE	Sig	PMG	Sig	PH	Sig	RDTO	Sig
L-302	66.9	af	3	fi	141	no	8.1	cn	47.5	bh	37.3	tx	76.7	kp	1543.1	gn
L-303	63.5	bg	4	bf	180.5	fm	7.8	ho	44.3	fh	40	nt	78.2	ak	1542.3	gn
L-304	62.6	dg	4	cg	193.5	bl	7.1	o	45.1	eh	44.1	ei	78	cl	1282	n
L-305	64.3	af	3	fi	177	fn	8.2	cm	45.8	dh	42.8	ho	78.8	ag	1538.8	gn
L-306	66.1	af	4	cg	174	ho	7.7	ho	53	ad	36.5	vx	78.4	aj	1550.9	fn
L-307	65.9	af	4	cg	215.5	af	8.6	bh	50.1	ah	47.1	bd	78.3	ak	1954.9	ae
L-308	68.7	ad	3	gi	166.5	io	8	eo	50.3	ah	43.6	gk	78.3	ak	1647.8	en
L-309	68.3	ad	3	fi	174	ho	8.2	cn	46.1	ch	43.4	hl	78.5	ai	1583.9	en
L-310	65.1	af	3	fi	177	fn	7.6	jo	48.3	ah	38.6	rw	78	bl	1417	kn
L-311	70.8	a	4	ad	228.3	ab	9	ac	51.6	af	46.9	be	79.6	ab	1900.9	ag
L-312	70.5	ab	3	hi	179.8	fn	8	dn	49.6	ah	44.4	dh	77.2	go	1698.8	cl

## Anexo 8. (Continuación).

Genotipo	AP	Sig	NM	Sig	NEM	Sig	LE	Sig	NGE	Sig	PMG	Sig	PH	Sig	RDTO	Sig
L-313	68.2	ad	4	ac	232.5	a	8.5	bj	53.1	ad	48.3	ac	79.2	ae	2164.8	a
L-314	66.4	af	4	dg	204	aj	7.6	ko	50.3	ah	40.6	ls	76.9	ip	1705	cl
L-315	65.9	af	4	ad	219.5	ae	8.9	ad	53.4	ac	46.3	cg	79.5	ac	1918.9	af
L-316	70.9	a	4	cg	174	ho	8.2	cn	48	ah	41.1	jr	76.8	ip	1585.8	en
L-317	63.6	bg	3	eh	157.9	ko	7.7	io	43	h	41.4	ir	77	hp	1586.9	en
L-318	64.3	bg	3	fi	187	dm	7.7	io	51.3	ag	44.1	ei	77.6	en	1666	cm
L-319	57.8	g	3	eh	174.5	hn	7.2	no	46.6	bh	36.1	wx	75.5	p	1426.3	jn
L-320	64.9	af	3	fi	185	dm	8.1	cn	49.1	ah	38.8	rw	76.3	mp	1566.6	fn
L-321	62.8	cg	3	fi	171	io	8.3	bk	47.6	bh	44	fj	77.8	dm	1753.1	ck
L-322	65.1	af	3	fi	213	ah	8.2	cm	53.1	ad	44.8	dg	77.7	en	1776.4	bk
L-323	67.3	ae	4	dg	176.5	gn	7.7	ho	48.4	ah	35	x	76.4	lp	1437	in
L-324	68.5	ad	5	a	233.8	a	8.2	cm	52	ae	44.6	dh	78.7	ag	1762.5	ck
L-325	60	fg	4	dg	157	lo	8	eo	49.6	ah	42.1	ho	76.1	np	1715.1	cl
L-326	65.6	af	4	dg	175	hn	7.7	io	48	ah	42.3	ho	76.3	mp	1488.4	hn
L-327	65.1	af	5	a	221.1	ad	9.6	a	51	ag	47.1	bd	79.4	ac	2023.6	ac
L-328	65.7	af	3	eh	182	em	7.8	ho	45.8	dh	40.9	jr	78.3	ak	1617.8	en
L-329	68	ad	4	ac	225.3	ac	8.7	bg	54	ab	50.5	a	78.5	ai	2015.3	ad
L-330	65.3	af	3	eh	175.5	hn	7.3	mo	51.3	ag	43	hm	77.6	fo	1801.1	bj
L-331	61.7	dg	4	ae	197.4	ak	8.8	ae	51.4	af	43	hm	79	af	1812.1	bi
L-332	66.3	af	4	cg	165	jo	7.4	mo	49.9	ah	42.1	ho	77.9	cl	1538.6	gn
L-333	67.7	ae	4	ac	214.5	ag	9.1	ab	52.8	ad	46.5	cf	79.3	ad	1832.8	ah
L-334	66.1	af	4	ac	205.5	ai	8.6	bi	47.5	bh	42.9	hn	79.4	ad	1752.3	ck
L-335	67.2	ae	3	eh	157.5	lo	8.2	cm	46.6	bh	44.1	ei	77.8	dm	1574.5	fn
L-336	67.9	ad	3	gi	167.5	io	7.9	fo	50.1	ah	42.4	ho	77	ip	1595.6	en
L-337	68.3	ad	3	eh	136	o	7.8	go	46.9	bh	42.6	ho	77.9	cl	1656	dn
L-338	62.9	cg	3	gi	184	dm	7.5	ko	49.8	ah	41.9	hq	77.8	dm	1587	en

## Anexo 8. (Continuación).

Genotipo	AP	Sig	NM	Sig	NEM	Sig	LE	Sig	NGE	Sig	PMG	Sig	PH	Sig	RDTO	Sig
L-339	68.2	ad	3	fi	184.3	dm	7.3	mo	47.8	ah	43.3	hl	79.7	a	1720.3	cl
L-340	65	af	4	dg	157.9	ko	7.4	ko	49.4	ah	42.1	ho	76.3	mp	1630	en
L-341	62.3	dg	3	i	169.5	io	7.5	ko	48.5	ah	38.8	rw	78.2	ak	1523	hn
L-342	60.7	eg	3	fi	153	mo	7.3	mo	50	ah	37.1	ux	77	hp	1575.1	fn
L-343	64.7	af	3	fi	181	fm	7.7	io	47.6	bh	39.1	pv	76.5	lp	1413.1	kn
L-344	66.8	af	4	dg	175	hn	7.4	ko	43.8	gh	40.3	ls	76	op	1434	jn
L-345	69.9	ac	4	dg	166.1	io	7.6	io	47.3	bh	40	nt	77.2	go	1508	hn
L-346	65.7	af	3	fi	170.5	io	8	dn	51	ag	41.3	ir	78.6	ah	1655.5	dn
L-347	67.6	ae	5	ab	234.4	a	8.7	bf	55.3	a	49.3	ab	79.5	ac	2118	ab
L-348	63.6	bg	4	dg	189.5	cm	7.9	fo	49.3	ah	39	qv	76.8	ip	1367.9	ln
L-349	66.4	af	3	eh	189.5	cm	8.3	bk	51	ag	37.9	sw	76.1	np	1320.6	mn
L-350	65.9	af	3	fi	180.5	fm	7.4	mo	50.1	ah	42	hp	77	hp	1464	hn
Tepoca T89	65	af	3	fi	184.5	dm	7.7	ho	46.8	bh	39.9	ou	77.4	fo	1722	cl

AP = Altura de planta (cm); NM = Numero de macollos por planta (unid); NEM = Numero de espigas por metro (m<sup>2</sup>); LE = Longitud de espiga (cm); NGE = Numero de granos por espiga (N°); PMG= Peso de mil granos (g); PH = Peso hectolítrico (kg/hl); RDTO = Rendimiento en grano (kg/ha); \* Significativo con una probabilidad P≤0.05 y letras iguales no presentan diferencias significativas

**Anexo 9. Rendimiento promedio (kg/ha) y parámetros de estabilidad de acuerdo al modelo de Eberhart y Russell ( $B_i$  y  $S^2d_i$ ) de 50 genotipos de trigo harinero, evaluados en cuatro localidades trigueras de Cochabamba durante la campaña agrícola 2013-2014.**

<b>Genotipos</b>	<b>Rendimiento(kg/ha)</b>	<b><math>b_i</math></b>	<b><math>S^2d_i</math></b>	<b>Caso G*A</b>
Tepoca T89	1722.00	1.23*	2270.76ns	B
L-302	1543.13	1.15*	-19665.69ns	A
L-303	1542.25	0.52ns	31400.06ns	D
L-304	1282.00	0.75ns	-350.16ns	C
L-305	1538.75	1.34*	-36565.06ns	A
L-306	1550.88	0.30ns	-18199.02ns	C
L-307	1954.88	1.21*	146965.55ns	B
L-308	1647.75	1.07*	4956.14ns	B
L-309	1583.88	0.79ns	135127.58ns	D
L-310	1417.00	1.02*	-19636.06ns	A
L-311	1900.88	1.28*	15192.44ns	B
L-312	1698.75	1.19*	-21280.17ns	A
L-313	2164.75	1.30*	-12150.55ns	A
L-314	1705.00	1.55*	-13079.75ns	E
L-315	1918.88	1.63*	19331.07ns	B
L-316	1585.75	0.98ns	-5345.87*	A
L-317	1586.88	1.18*	-24665.56ns	A
L-318	1666.00	1.12*	248010.25ns	B
L-319	1426.25	0.55ns	200423.35ns	D
L-320	1566.63	0.83ns	14000.66ns	D
L-321	1753.13	0.89ns	-30567.42ns	A
L-322	1776.38	1.15*	-27501.28ns	A
L-323	1437.00	0.51ns	-10602.92ns	C
L-324	1762.50	0.94ns	-39879.51ns	A
L-325	1715.13	1.57*	-28929.97ns	E
L-326	1488.38	0.95ns	-1920.32ns	A
L-327	2023.63	1.29*	140414.77ns	B
L-328	1617.75	0.98ns	144918.56ns	D
L-329	2015.25	1.90*	127904.12ns	B
L-330	1801.13	1.75*	9248.78ns	B
L-331	1812.13	1.14*	34836.05ns	B
L-332	1538.63	0.74ns	-15890.07ns	C
L-333	1832.75	1.00*	-5867.34ns	A
L-334	1752.25	0.69ns	80541.84ns	D

## Anexo 9. (Continuación).

Genotipos	Rendimiento(kg/ha)	$b_i$	$s^2d_i$	Caso G*A
L-335	1574.50	0.93ns	47081.28ns	D
L-336	1595.63	0.82ns	-33651.77ns	A
L-337	1656.00	0.86ns	-1374.84ns	A
L-338	1587.00	0.50ns	-42250.48ns	C
L-339	1720.25	1.13*	25747.31ns	B
L-340	1630.00	0.64ns	100044.44ns	D
L-341	1523.00	1.17*	-11132.15ns	A
L-342	1575.13	1.11*	473.98ns	B
L-343	1413.13	0.55ns	5672.94ns	D
L-344	1434.00	0.87ns	-17563.14ns	A
L-345	1508.00	1.07*	-8720.63ns	A
L-346	1655.50	0.28ns	48240.21ns	B
L-347	2118.00	1.71*	122897.59ns	B
L-348	1367.88	0.55ns	-422.04ns	C
L-349	1320.63	0.57ns	46623.48ns	D
L-350	1464.00	0.87ns	30564.52ns	D

$b_i$  = Coeficiente de regresión  $s^2d_i$  = Desvío de la regresión \* = Significativo al  $P \leq 0.05$  ns = No significativo

Anexo 10. Análisis de varianza de parámetros de estabilidad de 50 genotipos de trigo harinero, evaluados en cuatro localidades trigueras de Cochabamba, durante la campaña agrícola 2013-2014.

FV	GL	SC	CM	Fc	Ft(0.05)
Total	199				
Linea avanzada	49	7628957.0	155693.0	2.2*	1.48
Loc	150	23297793.2	155318.6	2.2*	1.37
Loc+(Loc*Var)	392	33387485.4	85172.2	1.2ns	1.33
Loc Lineal	2	23297793.2	11648896.6	167.9*	3.09
Var*Loc(lineal)	49	3151860.3	64323.7	0.9*	1.55
Desc Conj	100	6937831.9	69378.3	1.9ns	1.33
Tepoca T89	2	89871.1	44935.6	0.5ns	3.05
L-302	2	45998.2	22999.1	0.3ns	3.05
L-303	2	148129.7	74064.9	0.9ns	3.05
L-304	2	84629.3	42314.6	0.5ns	3.05
L-305	2	12199.5	6099.7	0.1ns	3.05
L-306	2	48931.6	24465.8	0.3ns	3.05
L-307	2	379260.7	189630.4	2.2ns	3.05
L-308	2	95241.9	47620.9	0.6ns	3.05
L-309	2	355584.8	177792.4	2.1ns	3.05

\* Significativo con una probabilidad  $P \leq 0.05$ ; Loc: localidad; Var: variedad y Desc conj = Desviación conjunta

## Anexo 10. (Continuación).

<b>FV</b>	<b>GL</b>	<b>SC</b>	<b>CM</b>	<b>Fc</b>	<b>Ft(0.05)</b>
<b>Total</b>	199				
<b>Linea avanzada</b>	49	7628957.0	155693.0	2.2*	1.48
<b>Loc</b>	150	23297793.2	155318.6	2.2*	1.37
<b>Loc+(Loc*Var)</b>	392	33387485.4	85172.2	1.2ns	1.33
<b>Loc Lineal</b>	2	23297793.2	11648896.6	167.9*	3.09
<b>Var*Loc(lineal)</b>	49	3151860.3	64323.7	0.9*	1.55
<b>Desc Conj</b>	100	6937831.9	69378.3	1.9ns	1.33
L-310	2	46057.5	23028.7	0.3ns	3.05
L-311	2	115714.5	57857.2	0.7ns	3.05
L-312	2	42769.3	21384.6	0.3ns	3.05
L-313	2	61028.5	30514.2	0.4ns	3.05
L-314	2	59170.1	29585.0	0.3ns	3.05
L-315	2	123991.7	61995.9	0.7ns	3.05
L-316	2	74637.9	37318.9	0.4ns	3.05
L-317	2	35998.5	17999.2	0.2ns	3.05
L-318	2	581350.1	290675.1	3.4*	3.05
L-319	2	486176.3	243088.1	2.8ns	3.05
L-320	2	113330.9	56665.5	0.7ns	3.05
L-321	2	24194.8	12097.4	0.1ns	3.05
L-322	2	30327.0	15163.5	0.2ns	3.05
L-323	2	64123.8	32061.9	0.4ns	3.05
L-324	2	5570.6	2785.3	0.0ns	3.05
L-325	2	27469.7	13734.8	0.2ns	3.05
L-326	2	81489.0	40744.5	0.5ns	3.05
L-327	2	366159.1	183079.6	2.1ns	3.05
L-328	2	375166.7	187583.4	2.2ns	3.05
L-329	2	341137.8	170568.9	2.0ns	3.05
L-330	2	103827.2	51913.6	0.6ns	3.05
L-331	2	155001.7	77500.8	0.9ns	3.05
L-332	2	53549.5	26774.7	0.3ns	3.05
L-333	2	73594.9	36797.5	0.4ns	3.05
L-334	2	246413.3	123206.6	1.4ns	3.05
L-335	2	179492.2	89746.1	1.1ns	3.05
L-336	2	18026.1	9013.0	0.1ns	3.05
L-337	2	82579.9	41290.0	0.5ns	3.05
L-338	2	828.6	414.3	0.0ns	3.05
L-339	2	136824.2	68412.1	0.8ns	3.05
L-340	2	285418.5	142709.2	1.7ns	3.05
L-341	2	63065.3	31532.6	0.4ns	3.05

\* Significativo con una probabilidad  $P \leq 0.05$ ; Loc: localidad; Var: variedad y Desc conj = Desviación conjunta

## Anexo 10. (Continuación).

<b>FV</b>	<b>GL</b>	<b>SC</b>	<b>CM</b>	<b>Fc</b>	<b>Ft(0.05)</b>
<b>Total</b>	199				
<b>Linea avanzada</b>	49	7628957.0	155693.0	2.2*	1.48
<b>Loc</b>	150	23297793.2	155318.6	2.2*	1.37
<b>Loc+(Loc*Var)</b>	392	33387485.4	85172.2	1.2ns	1.33
<b>Loc Lineal</b>	2	23297793.2	11648896.6	167.9*	3.09
<b>Var*Loc(lineal)</b>	49	3151860.3	64323.7	0.9*	1.55
<b>Desc Conj</b>	100	6937831.9	69378.3	1.9ns	1.33
L-342	2	86277.6	43138.8	0.5ns	3.05
L-343	2	96675.5	48337.7	0.6ns	3.05
L-344	2	50203.3	25101.7	0.3ns	3.05
L-345	2	67888.3	33944.2	0.4ns	3.05
L-346	2	181810.0	90905.0	1.1ns	3.05
L-347	2	331124.8	165562.4	1.9ns	3.05
L-348	2	84485.5	42242.8	0.5ns	3.05
L-349	2	178576.6	89288.3	1.0ns	3.05
L-350	2	146458.6	73229.3	0.9ns	3.05
E Exp	196	13994049.0	85329.6		

\* Significativo con una probabilidad  $P \leq 0.05$ ; Loc: localidad; Var: variedad y Desc conj = Desviación conjunta

**Anexo 11. Índice ambiental correspondiente al rendimiento en grano de 50 genotipos de trigo harinero, evaluados en cuatro localidades trigueras de Cochabamba, durante la campaña agrícola 2013-2014.**

<b>N°</b>	<b>Localidad</b>	<b>li</b>	<b>RDTO</b>
1	Chullpa Chullpa Bajo	333.2825	1982.7
2	E. E. Tarata	348.6525	1998.07
3	Uyax Tipunta	-360.9975	1288.42
4	Yuraj Molino	-320.9375	1328.48

li = índice ambiental; RDTO = Rendimiento promedio



**Anexo 12. Fotografía de la preparación de terreno de experimentación para 50 genotipos de trigo harinero, evaluadas en cuatro localidades trigueras de Cochabamba, durante la campaña agrícola 2013-2014.**



**Anexo 13. Fotografía de la siembra del material genético en las cuatro localidades trigueras de Cochabamba durante la campaña agrícola 2013-2014.**



**Anexo 14. Fotografías de las labores culturales en las cuatro localidades.**



**Anexo 15. Fotografías de la toma de datos de las variables en estudio en las cuatro localidades.**



**Anexo 16. Fotografías de la cosecha del material genético en las cuatro localidades.**



**Anexo 17. Fotografías del trillado del material genético en las cuatro localidades.**

