

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



TESIS DE GRADO

**COEFICIENTES DE SENDERO PARA RENDIMIENTO Y CALIDAD
DE 15 LÍNEAS DE TRIGO HARINERO (*Triticum aestivum* L.) EN
TRES LOCALIDADES DEL DEPARTAMENTO DE COCHABAMBA**

Por:

Carla Paola Escobar Navia

EL ALTO – BOLIVIA

Junio, 2016

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

**COEFICIENTES DE SENDERO PARA RENDIMIENTO Y CALIDAD DE 15 LÍNEAS DE
TRIGO HARINERO (*Triticum aestivum* L.) EN TRES LOCALIDADES DEL
DEPARTAMENTO DE COCHABAMBA**

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

Carla Paola Escobar Navia

Asesores:

Dr. Ing. Félix Marza Mamani

Dra. Carla Patricia Ibáñez Luna

Tribunal Revisor:

Ing. M. Sc. Milton Víctor Pinto Porcel

Ing. Ramiro Raúl Ochoa Torrez

Ing. René Rolando Tambo Herrera

Aprobada

Presidente Tribunal Examinador



DEDICATORIA

A Dios por darme el privilegio de existir, por sembrar en mi alma, cuerpo, mente y corazón la fortaleza, sabiduría y confianza de seguir adelante.

Al pilar fundamental de mi familia, mi padre German Escobar Aliaga, por su apoyo incondicional y sus sabios consejos que me ayudaron a tomar las decisiones correctas, estoy orgullosa de ser como soy y eso te lo debo a ti papá.

A la mujer más fuerte, bondadosa y aguerrida, mi madre Alejandra Bertha Navia de Escobar, por ser mi apoyo, amiga y compañera en todo momento, gracias por hacerme comprender que el amor verdadero es ese que se entrega, sin esperar nada a cambio.

A mis hermanos Magaly, Alejandro, Ana, Daniely, Edem, Alejandra, Sara, Ester y Andrea, por su apoyo constante, por sus consejos y palabras de aliento para seguir adelante.

A mis sobrinos Sebastián Elías y Jeyden, a mis sobrinas, Cathia, Lindsay, Alba, Alessia, Haniel, Yomali y Eilen por ser el motor de mi vida.

AGRADECIMIENTOS

Hago extensivo mis agradecimientos:

A la Casa Superior de Estudios Universidad Pública de EL Alto y a la Carrera de Ingeniería Agronómica por abrirme sus puertas y darme la oportunidad de formarme profesionalmente para escalar un peldaño más en el campo del conocimiento.

Al Programa Nacional de Trigo del Instituto Nacional de Innovación Agropecuaria y Forestal (INIAF), por confiar en mí y darme la oportunidad de liderar uno de sus ensayos con líneas de trigo introducidas desde el Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo (CIMMYT).

A mis asesores de tesis, Dr. Félix Marza Mamani, Ph.D. y Dra. Carla Patricia Ibáñez Luna, Ph.D. por sus experiencias, conocimientos, compromiso, tiempo y dedicación para con el presente trabajo.

A mi tribunal revisor Ing. M. Sc. Milton Víctor Pinto Porcel, Ing. Ramiro Raúl Ochoa Torrez e Ing. René Rolando Tambo Herrera, por su paciencia, correcciones y sugerencias oportunas en el presente trabajo.

Gracias a cada docente que formó parte de este proceso integral de formación, por sus conocimientos impartidos y sus consejos para seguir adelante.

A los técnicos del Programa Nacional de Trigo Ing. Félix Quispe, Ing. Roberto Butrón e Ing. Jaime Cocio por el apoyo constante e incondicional en el proceso de mi trabajo de tesis.

A Juan Carlos Pérez, Jhimmy Flores, Lurdes Mollericona, Rodrigo Marca, Sussi Canoa, Irene Gutiérrez, Criselda Chirino, Betty Mollisaca, Hersit Apaza, Silvia Mamani, Miguel Quispe, Loida Mamani, Nancy Huanca, Gonzalo Quispe, Eddy Silva, Betty Acarapi, Marco Guarachi, Edwin Franco, Gustavo Yapu, Luis Achu, Juvenal Patzi, Hugo Colque, Jhony Nina, Nancy Yanarico, Paola Siñani⁺, Deysa Yujra⁺ y a todos mis amigos (as) compañeros en la universidad, gracias por sus palabras de aliento, por compartir bellos momentos, por esos arrebatos de humor, por la comprensión, la tolerancia, por estar ahí en los momentos difíciles y en todo el transcurso de mi formación integral.

CONTENIDO

ÍNDICE DE TEMAS	i
ÍNDICE DE CUADROS	v
ÍNDICE DE FIGURAS	vii
ÍNDICE DE ANEXOS	ix
RESUMEN	xi
ABSTRACT	xii

ÍNDICE DE TEMAS

	Página
1. INTRODUCCIÓN.....	1
1.1. Objetivos.....	2
1.1.1. Objetivo general	2
1.1.2. Objetivos específicos	2
2. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA	3
2.1. Origen del trigo	3
2.2. Clasificación taxonómica.....	3
2.3. Descripción botánica.....	3
2.4. Fases fenológicas	5
2.5. Requerimientos edafoclimáticos	5
2.6. Enfermedades del cultivo de trigo	6
2.7. Plagas insectiles del cultivo de trigo.....	7
2.8. Malezas del cultivo de trigo.....	7
2.9. Factores climáticos adversos	7
2.10. Calidad física del grano de trigo.....	8
2.11. Introducción del trigo en Bolivia	9
2.12. Producción y superficie cultivada del trigo en Bolivia	9

2.13.	Programas de mejoramiento de trigo en Bolivia	10
2.14.	Variedades y líneas de mejoramiento	11
2.15.	Análisis estadístico univariado	12
2.15.1.	Estadística descriptiva.....	13
2.16.	Análisis estadístico bivariado	13
2.16.1.	Análisis de varianza	13
2.16.2.	Análisis de variables categóricas	14
2.16.3.	Análisis de coeficiente de correlación (r)	14
2.17.	Análisis estadístico multivariado	14
2.17.1.	Análisis de regresión múltiple.....	15
2.17.2.	Coeficientes de sendero.....	15
2.17.3.	Análisis de componentes principales.....	17
3.	MATERIALES Y MÉTODOS	19
3.1.	Localización	19
3.2.	Características ecológicas	20
3.3.	Materiales	22
3.3.1.	Material genético experimental.....	22
3.3.2.	Material de laboratorio.....	22
3.3.3.	Material de campo.....	22
3.4.	Metodología	23
3.4.1.	Preparación del terreno.....	23
3.4.2.	Siembra.....	23
3.4.3.	Fertilización	23
3.4.4.	Labores culturales.....	24
3.4.5.	Cosecha.....	25
3.4.6.	Trilla	26

3.5.	Diseño experimental	26
3.5.1.	Modelo lineal aditivo.....	27
3.6.	Variables evaluadas en campo	27
3.6.1.	Número de macollos (NM)	28
3.6.2.	Altura de planta (AP).....	28
3.6.3.	Número de espigas por metro cuadrado (NEM)	28
3.6.4.	Longitud de espiga (LE)	28
3.6.5.	Número de granos por espiga (NGE)	28
3.6.6.	Longitud de arista (LA)	28
3.6.7.	Densidad de espiga (DES).....	29
3.6.8.	Resistencia a roya (RY)	29
3.6.9.	Madurez fisiológica (MF)	29
3.7.	Variables evaluadas en laboratorio	29
3.7.1.	Peso de 1000 granos (PMG).....	30
3.7.2.	Peso hectolítrico (PH)	30
3.7.3.	Rendimiento en grano (RDTO).....	30
3.7.4.	Tipo de grano (TGR)	30
3.7.5.	Tamaño de grano (TG).....	31
3.7.6.	Color de grano (CG).....	31
3.7.7.	Variables de calidad física del grano	31
3.8.	Análisis estadístico	31
3.8.1.	Análisis Estadístico univariado	32
3.8.2.	Análisis Estadístico bivariado	32
3.8.3.	Análisis Estadístico multivariado	33
4.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN	35
4.1.	Condiciones climáticas y edáficas.....	35

4.1.1.	Condiciones climáticas.....	35
4.1.2.	Condiciones edáficas	37
4.2.	Análisis estadístico de variables cuantitativas.....	37
4.3.	Análisis estadístico de variables cualitativas	50
4.3.1.	Tipo de grano Vs. roya.....	51
4.3.2.	Densidad de espiga Vs. tipo de grano.....	51
4.4.	Análisis de coeficientes de sendero	52
4.4.1.	Análisis de coeficientes de sendero para rendimiento.....	52
4.4.2.	Análisis de coeficientes de sendero para calidad	56
4.5.	Análisis de componentes principales	60
4.6.	Ranking de rendimiento estandarizado	62
5.	CONCLUSIONES.....	64
6.	RECOMENDACIONES.....	66
7.	BIBLIOGRAFÍA	68
8.	ANEXOS	78

ÍNDICE DE CUADROS

	Página
Cuadro 1. Cantidad de material genético en el Banco de Germoplasma del Programa Nacional de Trigo hasta el año 2014.....	11
Cuadro 2. Material Genético del Banco de Germoplasma del Programa Nacional de Trigo campaña agrícola 2011-2012 y 2012-2013.....	12
Cuadro 3. Ubicación geográfica de las tres localidades.....	20
Cuadro 4. Características ecológicas de las tres localidades en estudio.	21
Cuadro 5. Material genético de 15 líneas de trigo harinero (<i>Triticum aestivum</i> L.) que fueron objeto de estudio.....	22
Cuadro 6. Estadística descriptiva de variables cuantitativas, evaluadas en 14 líneas avanzadas y un testigo en tres localidades del departamento de Cochabamba durante la campaña agrícola 2013-2014.....	38
Cuadro 7. ANVA de variables cuantitativas evaluadas en 14 líneas avanzadas de trigo harinero y un testigo, en tres localidades del departamento de Cochabamba la gestión agrícola 2013-2014.	41
Cuadro 8. Prueba de promedios Duncan al 5% para variables con resultados significativos en las localidades, evaluadas en el departamento de Cochabamba la gestión agrícola 2013-2014.	41
Cuadro 9. Prueba de promedios Duncan al 5% para variables con resultados significativos en las 14 líneas avanzadas y un testigo, evaluadas en tres localidades de Cochabamba la gestión agrícola 2013-2014.....	45
Cuadro 10. Análisis de varianza de regresión múltiple por pasos sucesivos para rendimiento, evaluado en 14 líneas y un testigo en tres localidades del departamento de Cochabamba la gestión agrícola 2013-2014.....	53
Cuadro 11. Resumen de coeficientes de regresión múltiple por pasos sucesivos para rendimiento, evaluado en 14 líneas y un testigo en tres localidades del departamento de Cochabamba la gestión agrícola 2013-2014.....	55
Cuadro 12. Análisis de varianza de regresión múltiple por pasos sucesivos para la calidad física del grano, evaluado en 14 líneas y un testigo en tres	

localidades del departamento de Cochabamba la gestión agrícola 2013-2014.....	57
Cuadro 13. Resumen de coeficientes de regresión múltiple por el método de pasos sucesivos para calidad física del grano, evaluado en líneas de trigo en tres localidades de Cochabamba la gestión agrícola 2013-2014.....	59

ÍNDICE DE FIGURAS

	Página
Figura 1. Relación funcional entre componentes del rendimiento (Mariotti 1986).....	16
Figura 2. Diagrama de las relaciones de causa-efecto (Li 1975).....	17
Figura 3. Ubicación de las localidades de Yuraj Molino, Cruce Incallajta y Uyacti Punta del departamento de Cochabamba. Elaboración propia (Mapa SIG)....	19
Figura 4. Siembra en las tres localidades: a) Cruce Incallajta; b) Uyacti Punta; c) Yuraj Molino, la gestión agrícola 2013-2014.....	24
Figura 5. Labores culturales: a) Deshierbe manual para el control de malezas; b) Deshierbe químico con la aplicación del herbicida Ally.....	25
Figura 6. Cosecha: a) Yuraj Molino; b) Cruce Incallajta; c) Uyacti Punta; d) Traslado del material genético experimental.	25
Figura 7. Trilla: a) Maquina trilladora experimental; b) Limpieza de trigo y rotulado del papel sobre; c) Trilla en la localidad de Yuraj molino; d) Empaquetado de líneas avanzadas de trigo.....	26
Figura 8. Evaluación en campo: a) Número de macollos; b) Altura de planta; c) Unidades experimentales con marbetes; d) Diferencia de alturas en unidades experimentales.	27
Figura 9. Evaluación en laboratorio a) Peso de rendimiento; b) Vernier para tamaño de grano; c) Peso de 1000 granos; d) evaluación de la calidad de grano; e) Balanza hectolítrica.....	30
Figura 10. Climadiagrama del municipio de Totora de la Provincia Carrasco del departamento de Cochabamba durante la campaña agrícola 2013-2014.	35
Figura 11. Climadiagrama del municipio de Pocona de la Provincia Carrasco del departamento de Cochabamba durante la campaña agrícola 2013-2014.	36
Figura 12. Interacción localidad por línea para la variable número de espigas/m ²	40
Figura 13. Interacción localidad por línea para la variable longitud de espiga (LE).	44
Figura 14. Madurez fisiológica (MF) de 15 líneas avanzadas de trigo en tres localidades de Cochabamba la gestión agrícola 2013-2014.....	47
Figura 15. Interacción localidad por línea para la variable rendimiento (RDTO).....	49

Figura 16. Porcentaje de tipo de grano versus roya evaluado en 14 líneas y un testigo en tres localidades la gestión agrícola 2013-2014.....	51
Figura 17. Porcentaje de tipo de grano versus densidad de espiga evaluado en 14 líneas y un testigo en tres localidades la gestión agrícola 2013-2014.	52
Figura 18. Diagrama de coeficientes de sendero (<i>Path analysis</i>), para rendimiento (RDTO), evaluado en 14 líneas y un testigo en tres localidades del departamento de Cochabamba la campaña agrícola 2013-2014.	54
Figura 19. Diagrama de coeficientes de sendero (<i>Path analysis</i>), para peso hectolítrico (PH) como variable de calidad física de grano, evaluado en líneas de trigo y en tres localidades de Cochabamba la campaña agrícola 2013-2014.....	58
Figura 20. Diagrama Biplot para componentes principales de 14 líneas avanzadas de trigo harinero y un testigo, avaluadas en tres localidades del departamento de Cochabamba la campaña agrícola 2013–2014.	60
Figura 21. Gráfico de sedimentación de los componentes principales de acuerdo a la varianza, evaluado en 14 líneas y un testigo en tres localidades del departamento de Cochabamba durante la campaña agrícola 2013-2014.	62
Figura 22. Ranking de rendimiento estandarizado, evaluado en 14 líneas avanzadas de trigo harinero y un testigo, en tres localidades del departamento de Cochabamba durante la campaña agrícola 2013-2014.	63

ÍNDICE DE ANEXOS

	Página
Anexo 1. Croquis de la parcela experimental de 14 líneas avanzadas de trigo y un testigo, establecido en tres localidades (Cruce Incallajta, Uyacti Punta y Yuraj Molino).....	78
Anexo 2. Fotografía, surcadora manual de cinco dientes espaciadas a 0,25 metros.....	78
Anexo 3. Análisis de varianza de efectos simples para la interacción localidad por línea, para la variable número de espigas por metro cuadrado (NEM) evaluado en tres localidades de Cochabamba.	79
Anexo 4. Análisis de varianza de efectos simples en la interacción localidad por línea, para la variable número de espigas por metro cuadrado (NEM) evaluado en 14 líneas avanzadas y un testigo.	79
Anexo 5. Análisis de varianza de efectos simples para la interacción localidad por línea, para la variable longitud de espigas (LE) evaluado en tres localidades de Cochabamba.	80
Anexo 6. Análisis de varianza de efectos simples para la interacción localidad por línea, para la variable longitud de espiga (LE) evaluado en 14 líneas avanzadas y un testigo.....	80
Anexo 7. Análisis de varianza de efectos simples para la interacción localidad por línea, para la variable rendimiento (RDTO) evaluado en tres localidades de Cochabamba.....	81
Anexo 8. Análisis de varianza de efectos simples para la interacción localidad por línea, para la variable rendimiento (RDTO) evaluado en 14 líneas avanzadas y un testigo.....	81
Anexo 9. Tabla de contingencia en porcentaje para tipo de grano versus roya evaluado en tres localidades la gestión agrícola 2013-2014	82
Anexo 10. Tabla de contingencia en porcentaje para densidad de espiga versus tipo de grano, evaluado en tres localidades la gestión agrícola 2013-2014.....	83
Anexo 11. Matriz de coeficiente de correlación de Pearson (r) de diez variables, evaluadas en 15 líneas avanzadas de trigo y en tres localidades del departamento de Cochabamba la gestión agrícola 2013-2014.....	84

Anexo 12. Matriz de coeficiente de correlación de Pearson (r) para variables de calidad física del grano.....	84
Anexo 13. Tabla del resumen de cargas de los primeros cuatro componentes principales evaluado en 14 líneas y un testigo en tres localidades de Cochabamba la gestión agrícola 2013-2014.	85

RESUMEN

El presente estudio tuvo como objetivo analizar los coeficientes de sendero para rendimiento y calidad de 15 líneas de trigo harinero (*Triticum aestivum* L.) en tres localidades del departamento de Cochabamba: Yuraj Molino, Cruce Incallajta y Uyacti Punta. El estudio se desarrolló en la gestión agrícola 2013-2014. El ensayo en cada localidad fue establecido bajo un diseño de bloques completamente al azar (DBCA) con tres repeticiones, repetido en localidades. Los análisis estadísticos se realizaron en base a: estadística descriptiva, análisis de varianza, prueba de Duncan al 5%, análisis de efectos simples, prueba de independencia de Chi-cuadrado, análisis de coeficientes de correlación, análisis de regresión múltiple estandarizado, análisis de coeficientes de sendero aplicando el método de Wright (1921) y análisis de componentes principales Biplot. Se evaluaron 15 líneas de trigo harinero dentro de ellas un testigo la variedad regional Tepoca T-89, las líneas corresponden al ensayo denominado 20 SAWYT (Semi-Arid Wheat Yield Trial) introducido por el Programa Nacional de Trigo desde el Centro Internacional de Mejoramiento en Maíz y Trigo (CIMMYT). Se evaluaron 18 variables entre cuantitativas y cualitativas, obteniéndose los siguientes resultados: Mediante el análisis de coeficientes de sendero, se identificaron tres variables que influyeron directamente en el rendimiento. Altura de planta, número de espigas/m² y peso de 1000 granos fueron los componentes principales que determinaron el rendimiento en las líneas de trigo, con un efecto directo de ($P_1 = 0,49$), ($P_2 = 0,32$) y ($P_3 = 0,25$). Asimismo, con el análisis de coeficientes de sendero para calidad física del grano se pudo identificar dos variables que influyeron directamente en el peso hectolítrico. Peso de un grano y peso de 1000 granos fueron los componentes principales que determinaron el peso hectolítrico en las líneas de trigo, con un efecto directo de ($P_1 = -0,47$) y ($P_2 = 0,38$). El análisis de regresión múltiple estandarizado permitió obtener modelos de ecuación para la pronóstico en campo para el rendimiento y el peso hectolítrico. El análisis de varianza permitió identificar a la localidad de Cruce Incallajta como una de las mejores en términos de producción con un promedio de 4119 kg/ha, en el cual las líneas avanzadas más sobresalientes fueron la L311, L314, L313, L350 y L333 con rendimientos de 3046, 2890, 2650, 2643 y 2610 kg/ha. Finalmente el ranking de rendimiento estandarizado permitió identificar a las líneas; L311, L314, L313, L350, L333 y L327 con rendimientos de 3046, 2890, 2650, 2643, 2610 y 2504 kg/ha, que superaron al testigo Tepoca T-89 que obtuvo 2375 kg/ha. Estos resultados son un precedente para que en un futuro se pueda liberar una variedad, de las líneas seleccionadas.

ABSTRACT

This study aimed to analyze the path coefficients for yield and quality of 15 lines of bread wheat (*Triticum aestivum* L.) in three localities of the department of Cochabamba: Yuraj Molino, Cruce Incallajta and Uyacti Punta. The study was conducted in farm management from 2013-2014 was developed. The trial at each site was established under a design of a randomized complete block (RCBD) with three replicates, repeated in localities. Statistical analyzes were performed based on descriptive statistics, analysis of variance, Duncan test at 5%, analysis of simple effects test of independence chi-square, analysis of correlation coefficients, analysis of standardized multiple regression analysis path coefficients applying the method of Wright (1921) and principal component analysis Biplot. 15 lines of bread wheat were evaluated within them a witness regional variety Tepoca T-89, the lines correspond to the test called 20 SAWYT (Semi-Arid Wheat Yield Trial) introduced by the National Wheat Program from the International Center for Improvement maize and Wheat (CIMMYT). 18 variables between quantitative and qualitative were evaluated with the following results: By analyzing path coefficients, three variables that directly influenced the performance were identified. Plant height, number of spikes/m² and 1000 grain weight were the main components determining performance in wheat lines with a direct effect ($P_1 = 0,49$), ($P_2 = 0,32$) and ($P_3 = 0,25$). Also, with the analysis of path coefficients for physical grain quality could be identified two variables that directly influenced the test weight. Weight of a grain and weight of 1000 grains were the main components determining test weight in wheat lines with a direct effect ($P_1 = -0,47$) and ($P_2 = 0,38$). The multiple regression analysis yielded standardized models for forecasting equation field for yield and test weight. The variance analysis identified the town of Cruce Incallajta as one of the best in terms of production with an average of 4119 kg/ha, in which the most outstanding advanced lines were the L311, L314, L313, L350 and L333 yielding 3046, 2890, 2650, 2643 and 2610 kg/ha. Finally the standardized performance ranking identified lines; L311, L314, L313, L350, L333 and L327 with yields of 3046, 2890, 2650, 2643, 2610 and 2504 kg/ha, which beat the witness Tepoca T-89 who won 2375 kg/ha. These results are a precedent for that in the future can release a variety of selected lines.

1. INTRODUCCIÓN

El trigo (*Triticum aestivum* L.) es extensamente cultivado en el mundo, es considerado uno de los principales alimentos de primera necesidad debido al consumo de los diferentes productos en base a trigo como pastas, pan, galletas, y el trigo en grano, constituyendo una fuente de calorías y proteínas, por lo tanto se considera importante cultivar este cereal, ya que hoy en día forman parte de las políticas de seguridad alimentaria y nutricional de la población (IBCE 2014).

La producción de trigo a nivel mundial para el 2014 fue de 725,12 millones de toneladas, la Unión Europea presenta la producción más alta con 157,274 millones de toneladas seguida de China, India y Rusia con 130, 89 y 60 millones de toneladas. En países de Latinoamérica los mayores productores son Argentina con 10,5 millones de toneladas seguida de Brasil con 8,19 millones de toneladas (FAO 2012 y PMT 2014).

En Bolivia el trigo no presenta una amplia diversidad de genotipos, debido a que no es centro de origen. Sin embargo se usan variedades criollas. Existen factores adversos, bióticos y abióticos, que afectan la producción y principalmente la calidad del grano, por estas razones la producción de trigo a nivel nacional es relativamente baja. La demanda interna es de 600 mil toneladas/año. La producción nacional fluctúa entre 162 a 255 mil toneladas/año, representando un 27 a 42% de la demanda interna, con un rendimiento a nivel nacional de 0,9 a 1,2 t/ha. Esta situación hace que seamos dependientes de la importación de trigo, en grano y harina para satisfacer nuestra demanda interna, generando una erosión importante en las divisas de la economía del país, sin embargo el cultivo de trigo es importante ya que su consumo se va incrementando al pasar de los años (INIAF 2012).

Investigaciones realizadas en el cultivo de trigo en Bolivia, tuvieron logros importantes por programas de mejoramiento y proyectos a nivel nacional, como PROTRIGO (Programa Nacional de Investigación y Transferencia de Tecnologías para el Cultivo de Trigo), pero este no alcanza las expectativas de satisfacción de producción interna del país para garantizar la seguridad alimentaria de los pobladores.

Con los antecedentes expuestos, el presente trabajo de investigación planteó identificar las variables que influyen directa e indirectamente en el rendimiento y en la calidad física del grano, a través del método de coeficientes de sendero. Asimismo, se planteó

identificar líneas promisorias de trigo, que muestren características y comportamientos sobresalientes, mediante la instalación de tres ensayos en tres localidades de la provincia Carrasco del departamento de Cochabamba en la campaña agrícola 2013-2014, bajo los objetivos que se indican a continuación.

1.1. Objetivos

1.1.1. Objetivo general

- Analizar coeficientes de sendero para rendimiento y calidad de 15 líneas de trigo harinero (*Triticum aestivum* L.) en tres localidades del departamento de Cochabamba.

1.1.2. Objetivos específicos

- Determinar las variables directas e indirectas que influyen en el rendimiento de 15 líneas avanzadas de trigo harinero en tres localidades del departamento de Cochabamba usando coeficientes de sendero.
- Determinar las variables directas e indirectas que influyen en la calidad física del grano de 15 líneas avanzadas de trigo harinero en tres localidades del departamento de Cochabamba usando coeficientes de sendero.
- Identificar líneas promisorias con características sobresalientes para el componente rendimiento de 15 líneas avanzadas de trigo harinero en las tres localidades.

2. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

2.1. Origen del trigo

El trigo se comenzó a domesticar entre los 10.000 a 15.000 años antes de Cristo, en la región asiática comprendida entre los ríos Tigris y Éufrates, dando como resultado los primeros asentamientos de grupos humanos. La domesticación se realizó en base a dos criterios: la selección de plantas con menor grado de fragilidad de las espigas y las que tenían mayor tamaño de grano (MDRyT y SENASAG 2014).

INFOAGRO (2014) y López (1991) mencionan que la evolución del trigo fue a partir de gramíneas silvestres, las primeras formas de trigo recolectadas por el hombre eran de tipo *Triticum monococcum* (einkorn) y *Triticum dicoccum* (emmer), caracterizadas principalmente por tener espigas frágiles que se disgregan al madurar.

2.2. Clasificación taxonómica

Según Mac Key (2005), citado por Sánchez (2008), el trigo puede agruparse en tres secciones naturales diferenciándose por su número básico de cromosomas (7, 14 o 21), en este caso el trigo harinero es un hexaploide $2n=42$ con genoma AABBDD, presentando la siguiente clasificación taxonómica:

División: Magnoliophyta,

Clase: Liliopsida,

Orden: Poales (*Graminales*),

Familia: Gramíneas (*Poaceae*),

Subfamilia: Festucoideae

Tribu: Triticaceae (Hordeae)

Género: *Triticum*

Especie: *Triticum aestivum*.

2.3. Descripción botánica

Según INFOAGRO (2014), López (1991) y Villar (2014), la planta de trigo presenta las siguientes características morfológicas:

- Un sistema radicular homorrizo, compuesto por raíces primarias o seminales (funcionales desde la emergencia hasta el comienzo del ahijado) y raíces secundarias que nacen del nudo del ahijamiento y que aparecen cuando la planta emite sus tallos, suelen alcanzar hasta un metro, pero la mayoría de ellas se sitúa en los primeros 25 centímetros de suelo.
- El sistema aéreo está compuesto por tallos que surgen del nudo de ahijamiento que portan las hojas y finalizan en la inflorescencia final. Los tallos son huecos (caña) están formados por nudos y entrenudos, generalmente presenta 6 nudos, los nudos son zonas meristemáticas en el cual se alargan los entrenudos y es el punto de unión de una hoja, la altura y solidez de tallo determinan la resistencia al encamado, puede llegar a medir de 0,30 a 1,50 metros de altura.
- Las hojas son cintiformes, paralelinerves y terminadas en punta, se disponen alternas y en dos filas a lo largo del tallo, cada hoja tiene una zona inferior que envuelve al entrenudo (vainas) y una zona superior o limbo, en la unión entre el limbo y vaina se encuentra una pequeña membrana no vascular, denominada lígula, a cada lado de esta se encuentran dos espículas pequeñas y vellosas, puede llegar a tener de 4 a 6 hojas.
- La espiga del trigo es la inflorescencia y su unidad morfológica básica es la espiguilla, la espiguilla contiene nueve flores de las cuales aborta la mayor parte, quedando dos, tres, cuatro y a veces hasta seis flores, cada flor está envuelta por dos glumillas inferior y superior denominadas lema y palea.
- La flor contiene tres estambres, con anteras en forma de X y un ovario formado por un solo carpelo y un estigma bifido y plumoso, en la base del ovario hay dos pequeñas escamas llamadas lodículas o glumélulas que protegen a la flor, de la cual al exterior se prolonga en una arista en los trigos barbados.
- El fruto del trigo es seco e indehiscente denominado cariósipide (fruto pegado al pericarpio), es un grano desnudo en el cual las glumillas no se quedan adheridas al grano durante la trilla.

2.4. Fases fenológicas

Según Zadoks *et al.*, (1974) citado por Marza y Quispe (2013), AGROASEMEX (2012) y Miralles (2004), el cultivo de trigo presenta tres etapas:

- La primera es la etapa vegetativa, comienza con la germinación en el que se observa la emergencia del coleóptilo, pasando al premacollaje que es la etapa de crecimiento desde la emergencia del trigo hasta que la planta empieza a macollar. El macollaje generalmente comienza cuando la planta tiene 3 a 4 hojas, se observa cuando de la corona de la planta brotan tallos secundarios y terciarios. El encañado es la producción de nudos en el tallo principal e hijuelos, en esta fase se desarrolla, elonga y se establece el número máximo de flores. Finalmente esta etapa vegetativa termina con el estado de bota o embuche, al inicio de esta fase cada planta debe tener 2 a 3 macollos productivos, en el que muestra la vaina engrosada apareciendo la espiga envuelta de la hoja bandera.
- La segunda es la etapa reproductiva, inicia con el espigamiento, esta etapa muestra la emergencia de la espiga de la hoja bandera, pasa a la antesis en el que el polen se libera y los granos individuales se fertilizan, luego viene el estado lechoso del grano se identifica cuando al apretar el grano desprende una sustancia líquida lechosa, por último pasamos al estado pastoso del grano y se identifica cuando se aprieta el grano y todavía se deforma ligeramente, pero no desprende líquidos.
- La tercera es la etapa de madurez fisiológica, se identifica cuando el grano ha alcanzado una consistencia dura y firme y está listo para la cosecha, con una humedad óptima para el trillado de 13 a 15%.

2.5. Requerimientos edafoclimáticos

Ruiz *et al.*, (2013) mencionan que el cultivo de trigo requiere de una precipitación en mm/ciclo, la óptima máxima es de 700 mm, la óptima mínima de 400 mm, la absoluta máxima de 1000 mm y una absoluta mínima de 250 mm, la temperatura óptima máxima es de 20°C, la absoluta máxima de 30°C, la óptima mínima de 15°C y absoluta mínima de 5°C. Al respecto Ochoa (2002) menciona que el trigo requiere una temperatura de 14 a 28°C, en el que se puede conseguir una buena cosecha con una precipitación mínima de

205 a 220 mm durante su periodo vegetativo. El fotoperiodo óptimo es de 13,4 horas (Miralles *et al.*, 2007).

PROTRIGO (2001), CIAT (1991) y SAGARPA (2005) mencionan que el cultivo de trigo requiere de una humedad relativa entre 40 y 70%, desde el espigamiento hasta la cosecha exige una humedad relativa de 50 a 60% y un clima seco para su maduración. Los mejores suelos para su crecimiento deben ser sueltos, de textura franca (media) a franca arcillosa (moderadamente pesada) con buen drenaje, adecuada fertilidad, profundos para un buen desarrollo del sistema radicular, fértiles y libres de inundaciones, con un pH óptimo de 6 a 7,5 ya que en suelos ácidos es difícil lograr un adecuado crecimiento por una posible limitación de asimilación de nutrientes.

2.6. Enfermedades del cultivo de trigo

Mehta (1993) menciona que existe varios tipos de enfermedades en el trigo y las divide en seis grandes grupos: a) enfermedades causadas por virus; b) enfermedades causadas por micoplasmas; c) enfermedades causadas por bacterias; d) enfermedades causadas por hongos; e) enfermedades causadas por nematodos; y f) enfermedades fisiológicas.

Según PROTRIGO citado por MACA (2004) señala que las enfermedades del área tradicional de Bolivia son: La Septoria (*Septoria tritici*) y la roya amarilla (*Puccinia Striiformis*) como las principales en orden de importancia en zonas altas húmedas. En las zonas bajas el Helmiltosporiosis (*Bipolaris sorokiniana*), hongo ubicado en tallo, hojas y espiga el cual puede ocasionar un 30% de pérdida, la roya (*Puccinia recóndita*) hongo ubicado en las hojas que produce un 10% de pérdida, roya del tallo (*Puccinia graminis*) hongo ubicado en el tallo que produce un 15% de pérdida y oidio (*Erysiphe graminis*) hongo ubicado en las hojas que produce un 25% de pérdida. En menor grado se ha observado el Carbón volador (*Ustilago tritici*) hongo que ataca a la espiga en el que los ataques no son severos.

Los factores que inciden en los bajos rendimientos se atribuyen a la Septoriosis (*Septoria tritici*) y la roya amarilla (*Puccinia striiformis*), enfermedades que reducen significativamente el rendimiento. Enfermedades conocidas en la zona tradicional de Cochabamba como Wayra gasa y polvillo (Crespo 1995). La *Septoria tritici* y la *Septoria nodorum*, son enfermedades causan las pérdidas del rendimiento, ambas enfermedades son capaces de reducir los rendimientos del 30 al 40% (Eyal *et al.*, 1987).

2.7. Plagas insectiles del cultivo de trigo

Según Afonso y Perera (2009) las plagas del trigo son: pulgón amarillo de los cereales (*Metopolophium dirhodum*), pulgón de la espiga (*Sitobium avenae*) pulgón subterráneo (*Geonica lucifuga*) y Pulgón negro de los cereales (*Sipha maydis*), Gorgojo del macollo del trigo (*Listronotus bonariensis*), Trips (*Frankliniella frumentii*), Oruga desgranadora (*Faronta albilinea*), gorgojo de los graneros (*Sitophilus granarius*), polilla de los cereales (*Sitotroga cerealella*) entre otras.

Según estudios realizados por PROTRIGO y la fundación Poscosecha, indican que la plaga más importante en el área tradicional es el gorgojo de granero, esto debido a que a nivel familiar todavía se sigue almacenando el trigo en cantaros, Pirhuas, bolsas y otros. Esta situación hace que las pérdidas alcancen hasta un 20%, pocos productores cuentan silos metálicos (MACA 2004).

2.8. Malezas del cultivo de trigo

Según PROTRIGO citado en MACA (2004), las malezas más comunes en el área tradicional de Bolivia son: Las latifoliadas o de hoja ancha, Jat'ago, Amaranto, Yuyo (*Amaranthus hybridus*), Silquiwa, Muni (*Bidens pilosa*), Nabo (*Brassica campestris*), Bolsa de pastor (*Capsella bursa patoris*), Quinoa silvestre (*Chenopodium album*), Reloj-reloj (*Erodium cicutarium*), Galinsoga (*Galinsoga hispida*), Lepidium (*Lepidium pseudodidymum*), Malva (*Malva campestris*), Garrotilla (*Medicago hispida*), Piki-Pichama (*Schkuria pinnata*), Calcu calcu (*Oxalis sp.*), Suico (*Tagetes sp.*), Verdolaga (*Portulaca oleracea*), Rumex (*Rumex acetocella*), Espergula, cominillo, asna khora (*Spergula arvensis*), Alternanthera (*alternanthera pungens*). Las gramíneas, Cebadilla (*avenua fatua*), Eragrostis (*Eragrostis sp.*), Pasto (*Pennisetum clandestinum*), Pasto blanco (*Pennisetum villosa*).

2.9. Factores climáticos adversos

En el área tradicional de Bolivia se considera dos factores climáticos adversos en la producción de trigo, las heladas y granizadas. Cuando las heladas se presentan en el periodo de llenado de grano provocan alteraciones físicas y químicas en la estructura de la planta, pueden causar una pérdida parcial del área foliar provocando la disminución de la capacidad fotosintética, en casos extremos puede producir la pérdida del cultivo, asimismo, producen mayor nivel de daño cuando van acompañadas de cambios bruscos

de temperatura, la ocurrencia de heladas está ligada a la fecha de siembra y el ciclo dependiendo de la variedad, variedades de ciclo largo y siembras tardías tienen mayor riesgo de ocurrencia (MACA 2004 y Castellarín 2009).

La granizada es un factor importante dependiendo su intensidad y duración, puede causar de un 10 a 80% de pérdida en el rendimiento, el mayor daño ocurre cuando el grano está en la etapa de maduración, mientras más seco este mayor será la pérdida. Aunque existen variedades resistentes, que poseen gluma dura que soporta un incidente de esta naturaleza (MACA 2004).

2.10. Calidad física del grano de trigo

Los factores importantes para la producción de grano de trigo son la calidad física, fisiológica y sanitaria, ya que estos determinan la vida útil de la semilla. La evaluación de la calidad física del grano se realiza a través de pruebas de peso de 1000 semillas, tamaño de grano y peso hectolítrico (Valenzuela *et al.*, 1995, Caffare *et al.*, 2001 y Gutiérrez *et al.*, 2006).

Según Mohan *et al.*, (2001) los programas de mejoramiento genético de trigo, tienen que enfrentar permanentemente los desafíos de patógenos y plagas que atacan al cultivo, ya que existe la necesidad de satisfacer las demandas de cantidad y calidad de grano, no solo en trigo sino que en la mayoría de las demás especie. La interacción genotipo-ambiente es uno de los fenómenos que más obstaculiza la expresión uniforme de los caracteres de calidad, los factores bióticos y abióticos durante el desarrollo del cultivo afectan tanto la expresión del potencial genético del rendimiento como la calidad de los trigos (Peña 2001 y Castro *et al.*, 2006).

La calidad del grano de trigo debe reunir un conjunto de características deseables, atributos y aptitudes, como la composición del grano, la proteína, el potencial panadero y otros. Los parámetros de calidad más utilizados a nivel industrial son:

- Peso hectolítrico, uno de los caracteres que mejor conoce el productor agropecuario, valor muy útil ya que resume en un solo valor qué tan sano es el grano, esto es importante porque cuanto más sano sea (menor cantidad de impurezas, granos dañados o quebrados, chuzos, picados, fusariosos o con presencia de cualquier enfermedad), mayor será la proporción de almidón en el grano y mejor será la

separación del endospermo del resto del grano (Bustamante 1990 citado por Valenzuela *et al.*, 1995 y Vázquez 2006).

- Dureza del grano, carácter que define que tan duro o blando es el endospermo, este parámetro es de gran importancia, porque influyen de manera significativa en las propiedades de molienda del trigo así como en la calidad de harinas obtenidas, la dureza del trigo es frecuentemente referida a la resistencia que opone el grano al ser fracturado entre los rodillos del molino, o a la energía requerida para reducir el endospermo a harina o semolina, en si está relacionada con la forma en que el endospermo se rompe, ya que a mayor dureza mayor es el contenido de proteína. (Miller *et al.*, 1982 citado por Peña 2000).

2.11. Introducción del trigo en Bolivia

El trigo fue introducido al continente americano por los españoles, la producción de trigo en Bolivia comenzó durante la época republicana y de coloniaje entre los años 1870-1880, en el tiempo del auge de la minería, de la guerra del Chaco y la Reforma Agraria, en este tiempo Bolivia era capaz de autoabastecerse de trigo y harina, por una producción regional centrada en Cochabamba y Chayanta. (INIAF 2012, Herbas 2008 y MACA 2004).

2.12. Producción y superficie cultivada del trigo en Bolivia

Bolivia presenta una baja producción en el cultivo de trigo, paradójicamente es un exportador de soya y quinua, pero son productos que no están presentes dentro el hábito de consumo de los hogares, la historia conocida de los últimos 20 años es que únicamente entre el 10 y 30% del trigo que se consume en Bolivia es de origen nacional, generando así la importación de trigo, harina y contrabando, gastando cerca de 1,000 millones de dólares durante los últimos 10 años, por un volumen de casi 3 millones de toneladas de trigo (EMAPA 2009 y ANAPO 2010).

La demanda nacional anual de trigo es de 650,000 toneladas, la importación anual de grano de trigo es de 45,897 toneladas y la importación anual de harina de trigo es de 301,308 toneladas. Bolivia tiene dos áreas de producción, el área tradicional que cultivan de 0,5 a 1 hectárea con un rendimiento promedio entre 1999-2007 de 0,77 t/ha y los productores del área oriental que cultivan de 1 a 50 hectáreas con un rendimiento promedio de 1,59 t/ha (ANAPO 2010 y EMAPA 2009).

En el occidente de Bolivia para el 2011, la producción fue de 67,011 toneladas, con un rendimiento de 0,7 t/ha y una superficie cultivada de 89,481 hectáreas. El Viceministro de Desarrollo Rural declaró que “el 2006 se importó 80% de trigo para el consumo interno, sin embargo en la gestión 2013, este porcentaje bajó a 60% ya que se incrementó la producción de un 20 a 43% y se tiene previsto reducir el porcentaje al 50% para el 2014” (IBCE 2014 y MDRyT 2014).

El Programa Nacional de Trigo del Instituto Nacional de Innovación Agropecuaria y Forestal (INIAF), menciona que “En el área tradicional, unas 100,000 familias se dedican al cultivo de trigo, en el que el pan y los fideos se constituyen en los alimentos de mayor consumo en los hogares de bajos ingresos económicos, en el área rural, el trigo se consume también como lagua, ch’aque, tostado, trigo mote, chicha y otros; razón por la cual se constituye uno de los cultivos de mayor importancia para la población”. El consumo per cápita es de 60 kg/año, con una demanda anual de 600,000 toneladas, con una producción de 162 a 255 mil t/año, mismo que representa del 27 al 42% de satisfacción de la demanda interna. El rendimiento promedio nacional está entre 0,9 a 1,2 t/ha, en el área oriental de 0,9 a 1,6 t/ha y en el área tradicional de 0,6 a 0,9 t/ha (INIAF 2012, Marza y Quispe 2013 e IBCE 2014).

La producción de trigo en el área tradicional tiene un uso del 36% a 45% para el autoconsumo, entre 10% a 16% para semilla, entre 10% a 18% para la transformación artesanal y entre 29 a 32% para la venta y uso industrial o artesanal. (EMAPA 2009).

2.13. Programas de mejoramiento de trigo en Bolivia

Investigaciones realizadas en el cultivo de trigo en Bolivia tuvieron logros importantes por programas de mejoramiento y proyectos a nivel nacional, como el Programa de Trigo y Cereales Menores del ex-Instituto Boliviano de Tecnología Agropecuaria (IBTA) y el Programa Nacional de Investigación y Transferencia de Tecnología para el cultivo de Trigo (PROTRIGO) pero estos no alcanzaron las expectativas de satisfacción de producción interna del país para garantizar la seguridad alimentaria de los pobladores. Actualmente el Programa Nacional de Trigo (PN-TRIGO) del Instituto Nacional de Innovación Agropecuaria y forestal (INIAF), realiza investigaciones y desarrolla tecnologías de producción en el cultivo de trigo, con el fin de mejorar los índices de producción, estratégicamente formo alianzas nacionales con Fundación para la Promoción e Investigación de Productos Andinos (PROINPA) por sus trabajo de

investigación en trigo en los últimos 10 años y la Asociación Nacional de Productores de Oleaginosas y Trigo (ANAPO) quienes ejecutan subproyectos y ayudan a ampliar la cobertura, asimismo, cuenta con un aliado internacional fundamental el Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo (CIMMYT), del cual introducen material genético de amplia variabilidad con diferentes objetivos de uso (PN-Trigo 2014).

2.14. Variedades y líneas de mejoramiento

Las variedades de trigo harinero históricas a nivel nacional y de reciente liberación, fueron identificadas por su alto rendimiento y calidad, estas variedades son: Br-18, Americano, Ichilo, Sausal, Achira, Paragua, Redención, Yampara, Charcas, Chullchuncaneño, Totorá-80, Tiraque, Anzaldo, Tepoca-T89, INIAF Cinteño, INIAF Totorá 2014 e INIAF Bolivia 2014, también se liberaron variedades de trigos biofortificados con alta productividad y alto contenido de hierro y zinc estas variedades son: Tarabuco, Limabamba e INIAF Yesera (Marza y Calle 2012 y PN-Trigo 2014).

El Programa Nacional de Trigo, tiene establecido un banco de germoplasma con trigos harineros, trigos duros y trigos biofortificados, para diferentes propósitos. Hasta el 2014 contaba con 5736 líneas de mejoramiento, este material genético fue introducido desde el Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo (CIMMYT), también cuenta con 67 variedades entre históricas y criollas (Cuadro 1).

Cuadro 1. Cantidad de material genético en el Banco de Germoplasma del Programa Nacional de Trigo hasta el año 2014.

Material genético	Líneas	Año
	812	2011
Introducción de Líneas del CIMMYT	2362	2012
	1180	2013
	1382	2014
Total Líneas del CIMMYT	5736	
Variedades históricas	38	2013
Variedades criollas	15	2013
Variedades criollas	14	2014
Total Líneas históricas y criollas	67	
Total	5803	

Fuente: PN-Trigo 2014.

En las campañas agrícolas 2011-2012 y 2012-2013, el Programa Nacional de Trigo ha introducido material genético proveniente del CIMMYT (Cuadro 2). Uno de los ensayos utilizados en el presente estudio es el 20 SAWYT (Semi-Arid Wheat Yield Trial) que significa, ensayo de rendimiento de trigo para zonas semiáridas, el mismo se distribuye cada año desde 1991 a nivel mundial para ambientes de lluvia baja o áreas áridas (ME4), el número 20 representa los años que se va distribuyendo este material y el objetivo principal es tolerancia a la sequedad (INIAF 2012).

Cuadro 2. Material Genético del Banco de Germoplasma del Programa Nacional de Trigo campaña agrícola 2011-2012 y 2012-2013.

ID	Nombre	Descripción (Campaña 2011-2012)	Líneas
1	32 ND ESWYT-W	Ensayo de rendimiento para la selección de variedades elite (blanco)	50
2	19 TH HRWYT-H	Ensayo de rendimiento de trigo para zonas de lluvia abundante	40
3	19 TH SAWYT	Ensayo de rendimiento de trigo para zonas semiáridas	50
4	44 TH IBWSN	Vivero Internacional de Selección de Trigo Harinero	296
5	22 ND HRWSN	Vivero de selección de trigo para zonas de lluvia abundante	52
6	29 TH SAWSN	Vivero de selección de trigo para zonas semiáridas	145
7	6 TH STEMRRSN	Vivero de selección para roya del tallo	129
8	2 ND HPYT	Ensayo de rendimiento en Biofortificados	50
TOTAL			812
Descripción (Campaña 2012-2013)			Líneas
9	33 ND ESWYT-W	Ensayo de rendimiento para la selección de variedades elite (blanco)	50
10	20 TH HRWYT	Ensayo de rendimiento de trigo para zonas de lluvia abundante	50
11	20 TH SAWYT	Ensayo de rendimiento de trigo para zonas semiáridas	50
12	45 TH IBWSN	Vivero Internacional de Selección de Trigo Harinero	350
13	23 ND HRWSN	Vivero de selección de trigo para zonas de lluvia abundante	123
14	30 TH SAWSN	Vivero de selección de trigo para zonas semiáridas	108
15	44 TH IDYN*6	Vivero internacional de Selección de Trigo Duro	50
16	BU	1Seed_Wheatblast_South América	1292
17	DU	1Seed_Wheatblast_South América	289
TOTAL			2362

Fuente: INIAF 2012.

2.15. Análisis estadístico univariado

El análisis estadístico univariado incluye un conjunto de técnicas que estudian la medida y el comportamiento de una sola variable, analiza variables de estadística básica como número de casos, suma, máxima y mínima, promedios como media, mediana y moda,

medidas de dispersión como rango, varianza y desviación estándar y la distribución de frecuencias (Ochoa 2008).

2.15.1. Estadística descriptiva

La estadística descriptiva es un método que implica la recolección y caracterización de un conjunto de datos, con el fin de describir de forma apropiada la diversidad de características en los resultados, solo es descriptivo cuando se analiza y describe los datos (Ochoa 2008).

En la estadística descriptiva se puede identificar tres parámetros de medida; los estadísticos de tendencia central (media, mediana y moda), las medidas de dispersión (rango, varianza, desviación estándar y coeficiente de variación) y las medidas de distribución (sesgo y curtosis), estos parámetros tienen la característica de mostrar valores representativos (Ochoa 2008 y Málaga 2008).

2.16. Análisis estadístico bivariado

Este análisis representa un conjunto de técnicas que estudia la relación (de asociación o de dependencia) entre dos variables, las técnicas más importantes son; tabulación cruzada, tabulación de valores medios, tablas de contingencia con prueba de Chi-cuadrado, test T de medias, análisis de varianza, análisis de covarianza, correlación lineal y regresión simple (Ochoa 2008).

2.16.1. Análisis de varianza

El análisis de varianza es una técnica estadística que sirve para analizar la variación total de los resultados experimentales de un diseño en particular, descomponiéndolo en fuentes de variación independientes atribuibles a cada uno de los efectos que contribuye el diseño experimental, este método tiene como objetivo identificar la importancia de los diferentes factores o tratamientos en estudio y determinar cómo interactúan entre sí (Ochoa 2008).

Según Santesmases (1997) es un método estadístico que sirve para determinar la existencia de diferencias significativas entre los valores medios de una variable dependiente, esto permite analizar las diferencias entre más de dos medias.

2.16.2. Análisis de variables categóricas

Es un análisis que permite determinar si hay alguna reacción entre dos criterios de clasificación o si son completamente independientes, para este análisis se utiliza la prueba de independencia de Chi-cuadrado (χ^2), también conocida como tablas de doble entrada o tablas de contingencia, en las que las frecuencias observadas ocupan h filas y k columnas, si los datos son compatibles la probabilidad será alta ($p > 0,05$) y si la probabilidad es pequeña ($p < 0,05$) supondremos que los datos son incompatibles (Ochoa 2008).

2.16.3. Análisis de coeficiente de correlación (r)

Es un análisis que muestra la correlación existente entre dos variables o el grado de relación entre variables, es decir trata de medir cuan relacionadas están entre si las variables. El valor que toma la correlación esta entre +1 y -1 por lo que las correlaciones pueden ser positivas o negativas, su significancia se establece como $p < 0,05$ y $p < 0,01$ (Ochoa 2009 y Marza *et al.*, 2013).

Según Valencia (2010) la correlación es de gran importancia para la selección indirecta de genotipos deseables. Al respecto Espitia *et al.*, (2008) menciona que es una herramienta estadística que permite al fitomejorador estimar el grado y la naturaleza de las asociaciones entre dos o más características de interés agronómico. El coeficiente de correlación de Pearson (r) se describe en la siguiente ecuación:

$$r = \frac{\sum xy - \left(\frac{\sum x * \sum y}{n}\right)}{\sqrt{\left(\sum x^2 - \frac{(\sum x)^2}{n}\right) \left(\sum y^2 - \frac{(\sum y)^2}{n}\right)}}$$

Dónde:

r = Es el coeficiente de correlación

x, y = Son las variables en estudio

n = Número de datos en cada variable

2.17. Análisis estadístico multivariado

Este análisis es parte de la estadística que estudia, analiza, representa e interpreta los datos de las relaciones simultáneas del comportamiento de más de dos variables, es uno

de los análisis más completo que permite un acercamiento a la realidad de los fenómenos, este análisis agrupa a dos técnicas: a) las relaciones de dependencia, con el análisis de regresión múltiple, análisis de clasificación múltiple y análisis de AID (Detección Automática de Interacciones) y b) las relaciones de interdependencia, con el análisis de componentes principales, análisis factorial de correspondencia, análisis de grupos (Clúster) y entre objetos, estas técnicas se basan en matrices de datos $n * p$ siendo (n) n el número de individuos y (p) el número de variables (Ochoa 2008 y Cuadras 2011).

2.17.1. Análisis de regresión múltiple

La regresión múltiple es un análisis multivariado, que trata de establecer la forma de relación entre variables, es decir trata de encontrar una relación funcional para dos variables, la cual será de la forma $Y = f(X)$, de tal manera que se pueda calcular el valor de una variable dependiente (Y) de acuerdo al valor que tome la otra variable Independiente (X), esto permite estimar parámetros a partir de mínimos cuadrados, medir la relación entre dos variables, estimar el impacto de una variable sobre otra variable y calcular valores esperados de las variables involucradas en el proceso y evaluar las características de la relación entre variables (Ochoa 2009). Según Cuadras (2011), el modelo para la regresión múltiple se fundamenta en la siguiente ecuación:

$$Y = \beta_0 + \beta_1 * 1 + \beta_2 * 2 + \dots + \beta_n * n$$

Dónde:

Y = Variable dependiente

X_1, X_2, \dots, X_n = Variables independientes

β_0 = Punto en el que el plano de regresión cruza el eje de las Y

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

2.17.2. Coeficientes de sendero

Es una técnica estadística multivariada útil en el análisis de las interrelaciones presentes entre las variables, el análisis de coeficientes de sendero (*Path coefficient analysis*) es conocido también como análisis de causa y efecto o coeficientes de paso, y fue creado por Wright en el siglo XX. Según Mariotti (1986) este método permite descomponer la correlación entre un componente (X) y el producto final (Y) en un efecto “directo” de (X) y

en efectos “indirectos” de (X) sobre (Y), los que se hacen efectivos por vía de la relación de (X) con otros componentes de Y (Z,W), esta relación funcional se describe esquemáticamente en la (Figura 1), el efecto directo puede interpretarse como una correlación parcial de (X) y (Y) una vez excluidos los efectos de (Z) y (W), es un sistema donde (Y) está definido por los componentes X, Z y W, los efectos directos de cada componente estarían definidos por los valores que asumen P_{XY} , P_{WY} y P_{ZY} en el siguiente sistema:

$$r_{XY} = P_{XY} + r_{XW} P_{WY} + r_{XZ} P_{ZY}$$

$$r_{WY} = r_{XW} P_{XY} + P_{WY} + r_{WZ} P_{ZY}$$

$$r_{ZY} = r_{XZ} P_{XY} + r_{ZW} P_{WY} + P_{ZY}$$

Donde (r) es el coeficiente de correlación, (P) es el efecto directo y (X, W, Z), definen las variables relacionadas. La determinación total R^2 en relación al carácter (Y) a partir de los componentes se determina mediante la siguiente ecuación:

$$R^2 = r_{XY} P_{XY} + r_{WY} P_{WY} + r_{ZY} P_{ZY}$$

Esta técnica no se trata de un sistema totalmente definido, en el que dichos componentes expliquen el 100% de la variación de (Y), también se debe incluir un componente (E) que considera los efectos residuales no previstos en el sistema.

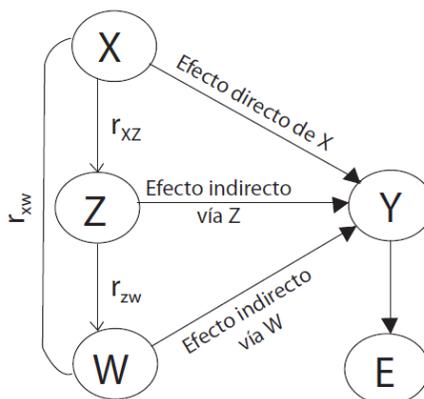


Figura 1. Relación funcional entre componentes del rendimiento (Mariotti 1986).

El análisis de coeficientes de sendero permite encontrar los efectos directos e indirectos, al descomponer las correlaciones entre dos variables, son la base para evaluar la contribución relativa de cada componente, este método asume que las variables se

asocian entre sí mediante relaciones lineales (Mitchell 1992, Valencia 2010 y Roehrig 1996).

Gómez (2011) menciona que los coeficientes de regresión estandarizados, son los coeficientes de senderos y estos se obtienen de manera usual por mínimos cuadrados para cada una de las regresiones, lo cual genera una descomposición de los coeficientes de correlación.

Esta técnica tiene por objetivo, identificar las posibles explicaciones causales de las correlaciones observadas, entre una variable respuesta (dependiente) y una serie de variables predictoras (independientes), también es una alternativa estadística para investigar modelos causales en poblaciones genéticas. Actualmente es utilizado en diferentes áreas del conocimiento, la técnica sugerida por Wright (1921) lo discuten ampliamente y con profundidad diferentes autores como Li (1975) quien describe los efectos directos e indirectos en un diagrama de causa-efecto de (n) variables independientes (x_1, x_2, \dots, x_n) sobre la variable básica dependiente (y), para el diagrama, (r) es el coeficiente de correlación, (P) coeficiente de sendero y (R) al conjunto de variables residuales (Figura 2) y Mariotti (1986) que lo describe en una relación funcional entre componentes del rendimiento (Figura 1).

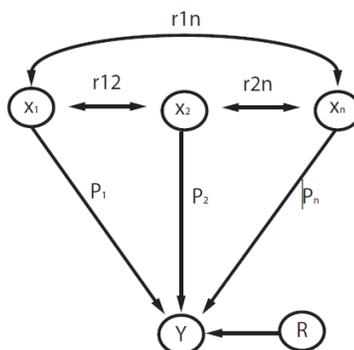


Figura 2. Diagrama de las relaciones de causa-efecto (Li 1975).

2.17.3. Análisis de componentes principales

El análisis de componentes principales, es una técnica estadística multivariada utilizada en situaciones experimentales en el cual se dispone de varias variables respuesta y se quiere buscar las diferencias entre varios grupos, mediante los gráficos bidimensionales informativos conocidos como Biplot, se puede analizar y resumir los aspectos principales

de un conjunto de datos multivariados, el mismo permite ver la interacción de las variables correlacionadas entre sí con los diferentes genotipos y el ambiente. El gráfico se construye mediante el trazado de los dos primeros componentes principales (CP1 y CP2, también llamados efectos primarios y secundarios), el primer componente (CP1) es el que se encuentra altamente correlacionado con el efecto principal de genotipo y representa la proporción del rendimiento que se debe sólo a las características del genotipo, el segundo componente (CP2) representa la parte del rendimiento debida a la interacción genotipo-ambiente, el conocimiento de la magnitud de la interacción entre el genotipo y el ambiente puede permitir estimar la estabilidad de los genotipos (Ibáñez *et al.*, 2006, Yan 2001 y Yan *et al.*, 2000).

El análisis de componentes principales propuesto por Pearson en 1901 y desarrollado por Hotelling en 1933, es una técnica para identificar genotipos sobresalientes. Asimismo tiene como finalidad construir un conjunto de variables o componentes, buscando estructuras correlacionadas entre variables (Varela 1998, Fernández 2008 y Ledesma *et al.*, 2012).

3. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. Localización

El presente trabajo de investigación se realizó durante la campaña agrícola 2013-2014, en la localidad de Uyacti Punta del municipio de Totora y en las localidades de Cruce Incallajta y Yuraj Molino del municipio de Pocona, los dos municipios pertenecen provincia Carrasco del Departamento de Cochabamba (Cuadro 3) y (Figura 3).

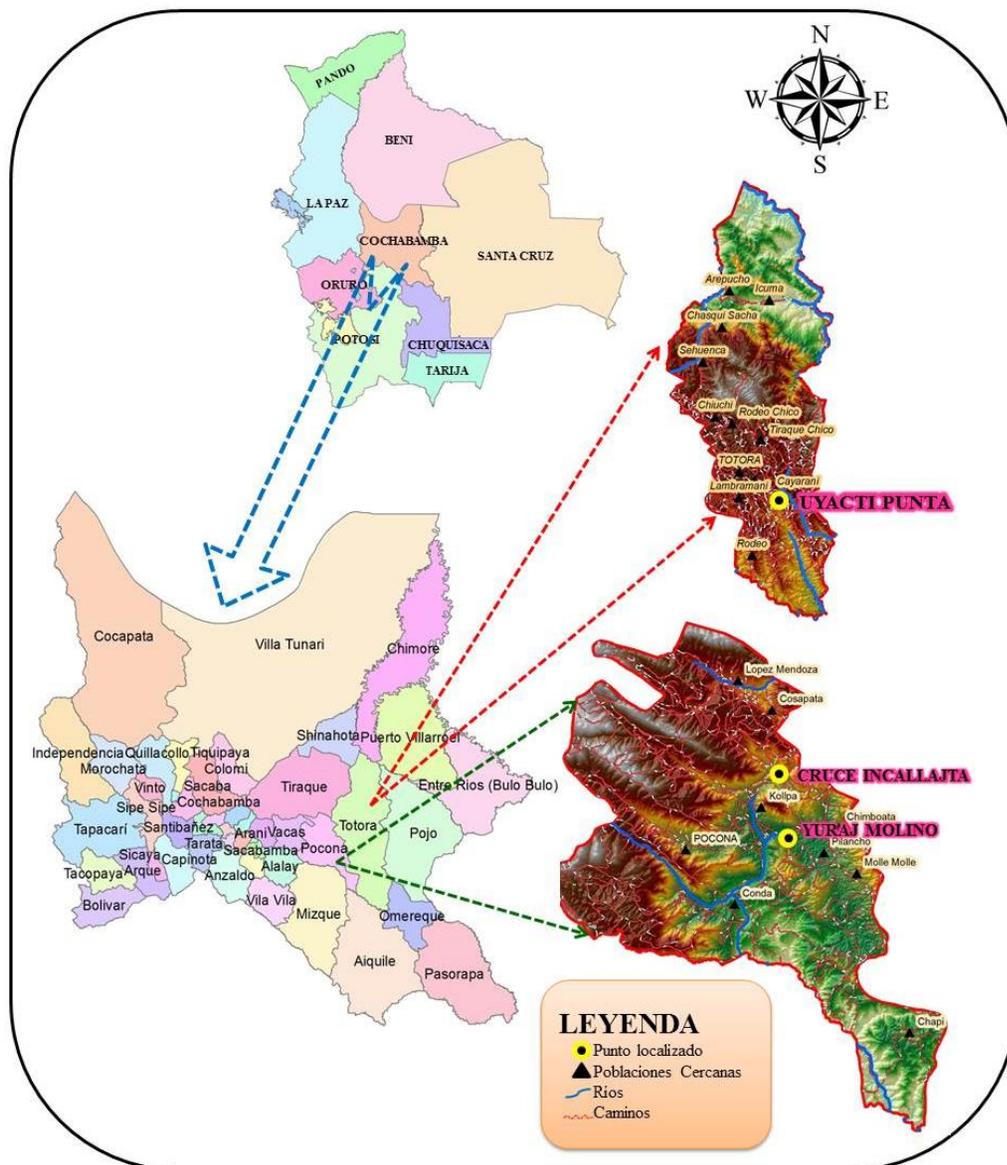


Figura 3. Ubicación de las localidades de Yuraj Molino, Cruce Incallajta y Uyacti Punta del departamento de Cochabamba. Elaboración propia (Mapa SIG).

El municipio de Pocona se ubica en la tercera sección de la provincia Carrasco, sus coordenadas geográficas van desde los 65° 15' a 65° 30' de longitud oeste y de los 17° 30' a 17° 50' de latitud sur, su territorio es muy variado ya que está conformado por valles y cerros, con una altura que va desde 2400 a 3800 msnm., presenta una extensión territorial de 920 Km² aproximadamente, la zona alta se caracteriza por la situación climática debido a su posición altitudinal de (2800 a 3800 msnm.) y humedad lo que favorece su producción de papa principalmente (Mercado 2006). El municipio de Totorá se ubica en la provincia Carrasco, cuenta con tres pisos ecológicos (yungas, valle y puna), con altura desde los 800 a los 4000 msnm., en las zonas altas se practica la agricultura a secano desde los 2800 a 4000 msnm., (Totorá 2007-2011).

Cuadro 3. Ubicación geográfica de las tres localidades.

Municipio	Localidad	Coordenadas geográficas		Altitud (m.s.n.m.)
		Latitud (S)	Longitud (O)	
(Pocona)	Yuraj Molino	17° 39' 56"	65° 19' 18"	2495
(Pocona)	Cruce Incallajta	17° 36' 27"	65° 17' 05"	2809
(Totorá)	Uyacti Punta	17° 46' 20"	65° 08' 18"	2977

Fuente: Elaboración propia en base a datos tomados con GPS (Etrex).

3.2. Características ecológicas

Las características ecológicas de las tres localidades se detallan en el (Cuadro 4). En términos generales, el ciclo agrícola del cultivo de trigo en las áreas tradicionales de Cochabamba básicamente está definido por el comportamiento climático. Una de las limitantes para la producción es la ausencia de riego, por lo que la siembra se realiza una vez al año en un sistema de cultivo a secano. La preparación de la tierra se realiza dos a tres meses antes de la siembra, algunas zonas utilizan maquinaria agrícola y en otras zonas siguen labrando con tracción animal (yunta). La fertilización se realiza con abonos naturales. Una de las características de las zonas tradicionales es el uso del sistema de rotación definido para garantizar la buena producción, considerando el cultivo de mayor importancia económica, por lo general es la papa, luego el trigo y por último haba o maíz dependiendo la zona. La cosecha es manual, generalmente el trigo se siembra hasta mediados de enero para cosechar en mayo y junio (MACA 2004 y Mercado 2006).

Cuadro 4. Características ecológicas de las tres localidades en estudio.

Localidad	Clima	Suelo	Flora	Fauna
Yuraj Molino (Pocona)	Lugar Seco-templado con vientos intensos, con una temperatura promedio de 12,5°C, una mínima de 6,2°C y una máxima de 16,5°C, con una precipitación de 700 mm/año, con menor presencia de heladas.	Suelos semiáridos en proceso de erosión por los fuertes vientos, con textura Franco Arcillo Limoso (FYL).	Los cultivos predominantes son papa, trigo, maíz, también haba, arveja, y en menor proporción oca, papaliza y frutales como el durazno y manzana.	Ganado vacuno, ganado ovino, cerdos, equinos y burros.
Cruce Incallajta (Pocona)	Clima Seco - frío a templado con vientos leves, una temperatura promedio de 12 °C, y una precipitación de 400 a 600 mm/año. Con relativa disponibilidad de agua.	Los suelos del lugar son semiáridos húmedos, de textura Franco Arenoso (FY).	Los cultivos predominantes son papa, trigo, maíz y cebada.	Ganado vacuno, ganado ovino, cerdos y equinos.
Uyacti Punta (Totorá)	Clima Sub-húmedo seco, con una temperatura media de 16 °C y una precipitación de 300 a 400 mm/año.	Presenta afloramientos rocosos de origen sedimentario, las zonas altas son pedregosas con fuertes pendientes y suelos en proceso de erosión, con textura Franco (F).	Su producción predominante es el trigo seguido de papa, papaliza, cebada, haba, arveja, tarwi, maíz, cebada, avena, oca, arveja y quinua. Hortalizas y frutas en mínima proporción.	Ganado vacuno, ganado ovino y burros.

Fuente: Elaboración propia en base al CESAT 2007, Totorá 2007-2011, Cartagena 2012 y PROTRIGO 2001.

3.3. Materiales

3.3.1. Material genético experimental

El material genético estuvo conformado por 14 líneas avanzadas de trigo harinero seleccionadas de un estudio previo y un testigo la variedad regional Tepoca T-89 a la que se le asignó un código de línea igual a L301 (Cuadro 5).

Cuadro 5. Material genético de 15 líneas de trigo harinero (*Triticum aestivum* L.) que fueron objeto de estudio.

N°	Nombre de los Cruzamientos	Líneas
1	Tepoca T-89 (Testigo)	301
2	VORB/SOKOLL	311
3	SLVS/ATTILA/WBLL1/4/FRAME*2/3/URES/JUN//KAUZ	333
4	DUCULA/GONDO//SOKOLL	314
5	PBW343*2/KUKUNA/WBLL1*2/KUKUNA	330
6	VORB/3/T.DICOCCON PI94625/AE.SQUARROSA (372)//3*PASTOR	315
7	CNO79//PF70354/MUS/3/PASTOR/4/BAV92/5/MILAN/KAUZ//PRINIA/3/BAV92	316
8	KANZ/5/CNO79//PF70354/MUS/3/PASTOR/4/BAV92/6/PRL/SARA//TSI/VEE#5	321
9	HUANIL/5/2*CNO79//PF70354/MUS/3/PASTOR/4/BAV92	329
10	KRICHAUFF/2*PASTOR/4/MILAN/KAUZ//PRINIA/3/BAV92	339
11	PBW343*2/KUKUNA/WBLL1*2/KUKUNA	331
12	BJY/COC//PRL/BOW/3/SARA/THB//VEE/4/PIFED/5/KIRITATI	350
13	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	307
14	VORB/SOKOLL	313
15	SLVS/ATTILA/WBLL1*2/3/GONDO/CBRD	327

Fuente: Elaboración propia en base a datos proporcionados por el Programa Nacional de Trigo-INIAF.

3.3.2. Material de laboratorio

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

3.3.3. Material de campo

Para la instalación en campo se utilizó maquinaria agrícola (tractor de arado de discos), surcadora manual de cinco dientes, picotas, rastrillos, azadón, lienzo (hilo de nylon), estacas de madera, combo, cinta métrica, letreros identificadores, marbetes, hoces,

bolsas de yute, maquina trilladora, máquina para venteado, bolsas de papel de 30 x 20 centímetros, libro de campo, hojas de papel bond, lápiz, calculadora, cuadernos, cámara fotográfica y GPS.

3.4. Metodología

3.4.1. Preparación del terreno

Se identificaron parcelas de investigación en tres localidades productoras de trigo en el departamento de Cochabamba, en cada localidad se realizó la preparación de suelo removiendo con tractor agrícola para aflojar y mullir el suelo. Esta actividad se realizó el 23 de diciembre del 2013 en las localidades de Yuraj Molino y Cruce Incallajta del municipio de Pocona y el 2 de enero de 2014 en la localidad de Uyacti Punta del municipio de Totora. La preparación del suelo sirvió para el control de malezas y la retención de humedad (MACA 2004).

3.4.2. Siembra

La parcela experimental se delimitó según croquis de campo (Anexo 1), utilizando estacas y lienzo (hilo de nylon). La parcela midió 18,75 metros de largo y 14 metros de ancho ocupando un área de 262,5 m² en cada localidad. Los surcos se realizaron con una surcadora manual de cinco dientes espaciadas a 0,25 metros (Anexo 2). La siembra se llevó a cabo el 31 de diciembre de 2013 en Cruce Incallajta, el 3 de enero de 2014 en Yuraj Molino y el 15 de enero de 2014 Uyacti Punta, la siembra se realizó a chorro continuo con una densidad de siembra de 100 kg/ha, cada línea se sembró en 5 surcos de 4 metros de largo, la separación de los pasillos fue de 1 metro, una vez sembrada la semilla se cubrió con tierra (Figura 4).

3.4.3. Fertilización

La fertilización se realizó los mismos días de la siembra, solo una vez en todo el ciclo del cultivo, la aplicación se realizó de forma manual a chorro continuo en el surco utilizando como fuente fosfato de amonio (18-46-00) 100 kg/ha y urea (46%) 50 kg/ha. Este proceso se realizó de la misma manera para las tres localidades. La cantidad de fertilizante utilizado fue en base a las recomendaciones por el Programa Nacional de Trigo-INIAF, cabe resaltar que los suelos de las zonas tradicionales de cultivo de trigo presentan

características similares y el sistema de rotación de cultivos hace que estas zonas no tengan descanso.



Figura 4. Siembra en las tres localidades: a) Cruce Incallajta; b) Uyacti Punta; c) Yuraj Molino, la gestión agrícola 2013-2014.

3.4.4. Labores culturales

En esta etapa se realizó el aporque en la fase de encañado. El control de malezas se realizó de dos formas; el primer control se realizó de manera química con la aplicación del herbicida Ally (Metsulfuron Methil) para el control de malezas de hoja ancha, la dosis utilizada fue de 6 gr/ha diluyendo (0,6 gramos en 20 litros de agua), esto se realizó el 30 de enero de 2014 en Cruce Incallajta, el 8 de febrero de 2014 en Yuraj Molino y el 24 de febrero en Uyacti Punta, durante el periodo de macollaje. El segundo control se ejecutó de manera manual después de la floración, el mismo procedimiento se realizó en las tres localidades (Figura 5).



Figura 5. Labores culturales: a) Deshierbe manual para el control de malezas; b) Deshierbe químico con la aplicación del herbicida Ally.

3.4.5. Cosecha

La cosecha se realizó el 7 de mayo de 2014 en la localidad de Yuraj Molino cumpliendo un ciclo de 130 días, el 7 de junio de 2014 en la localidad de Cruce Incallajta con un ciclo de 159 días y el 1 de junio de 2014 en la localidad de Uyacti Punta cumpliendo un ciclo de 118 días. Esta actividad se realizó cuando las plantas alcanzaron la madurez fisiológica. Se procedió al corte manual con la ayuda de la hoz (segadora) y se introdujeron en bolsas de yute, cuidando que no haya mezcla entre líneas (Figura 6).



Figura 6. Cosecha: a) Yuraj Molino; b) Cruce Incallajta; c) Uyacti Punta; d) Traslado del material genético experimental.

3.4.6. Trilla

Con la ayuda de una maquina trilladora experimental del Programa Nacional de Trigo, se realizó el trillado de las líneas, en el caso de la localidad de Yuraj Molino la trilla se realizó el mismo día de la cosecha, en cambio para las localidades de Cruce Incallajta y Uyacti Punta el material genético se trasladó hasta los galpones para la trilla. Posteriormente se realizó la limpieza del grano con el venteado, eliminando la materia inerte, el grano limpio de cada línea se recogió y empaquetó en bolsas de papel bien identificadas (Figura 7). Luego se llevó al laboratorio para su respectivo pesado y evaluación de los componentes de calidad del grano.



Figura 7. Trilla: a) Maquina trilladora experimental; b) Limpieza de trigo y rotulado del papel sobre; c) Trilla en la localidad de Yuraj molino; d) Empaquetado de líneas avanzadas de trigo.

3.5. Diseño experimental

El presente estudio se efectuó bajo el diseño en bloques completamente al azar (DBCA) con tres repeticiones, repetido en localidades: Yuraj Molino; Cruce Incallajta; Uyacti Punta. La parcela experimental estuvo conformada por 45 unidades experimentales por localidad, ocupando un área de 262,5 m². Para el análisis de resultados se aplicó el siguiente modelo lineal aditivo (Ochoa 2009):

3.5.1. Modelo lineal aditivo

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

Donde:

Y_{ijk} = Una observación cualquiera

μ = Media poblacional

α_i = Efecto de la i – ésima localidad

β_j = Efecto de la j – ésima línea avanzada de trigo

$\alpha\beta_{(ij)}$ = Efecto de la interacción de la i – ésima localidad, con la j – ésima línea avanzada de trigo

$\varepsilon_{k(ij)}$ = Error experimental

3.6. Variables evaluadas en campo

Para la evaluación de las variables en campo, lo primero que se realizó fue la identificación de las unidades experimentales y al interior de cada unidad experimental se seleccionaron e identificaron tres plantas al azar tomando en cuenta el efecto borde para la evaluación (Figura 8). A continuación se describen las variables en estudio en base a los criterios de evaluación recomendado por (Marza y Quispe 2013).



Figura 8. Evaluación en campo: a) Número de macollos; b) Altura de planta; c) Unidades experimentales con marbetes; d) Diferencia de alturas en unidades experimentales.

3.6.1. Número de macollos (NM)

Una vez concluido la fase de macollamiento, se realizó la evaluación en cada unidad experimental, se tomó al azar 3 plantas, se realizó el conteo de macollos que compone la planta y se calculó el promedio por planta, este se cuantificó en unidades, esta variable es un indicador que se relaciona con el rendimiento.

3.6.2. Altura de planta (AP)

Esta variable se evaluó cuando el cultivo alcanzó la madurez fisiológica, se tomó 3 plantas al azar de la parte central de cada unidad experimental evitando el efecto borde, con un flexómetro se midió en centímetros la altura de planta desde la base del tallo hasta la parte superior de la última espiguilla excluyendo las aristas, obteniendo un resultado promedio en cada unidad experimental.

3.6.3. Número de espigas por metro cuadrado (NEM)

Este parámetro se evaluó en la fase de madurez fisiológica, se contó el número de espigas por metro cuadrado, sobre una muestra en un metro lineal de la parte central de la unidad experimental y luego se convirtió en un metro cuadrado.

3.6.4. Longitud de espiga (LE)

Se evaluó en la etapa de madurez fisiológica, muestreando 3 espigas al azar de la parte central de la unidad experimental. La evaluación se realizó desde el punto de inserción hasta la punta de la espiga sin contar las aristas, se midió en centímetros con un flexómetro.

3.6.5. Número de granos por espiga (NGE)

Este dato se evaluó en la fase de madurez fisiológica, en 3 espigas tomadas al azar de la parte central de cada unidad experimental, se realizó el conteo de todos los granos de cada espiga y se sacó el promedio.

3.6.6. Longitud de arista (LA)

Esta variable se evaluó en la fase de madurez fisiológica, tomando 3 espigas al azar de la parte central de cada unidad experimental evitando el efecto borde, se midió en centímetros con un flexómetro el largo de la arista de la parte media de la espiga.

3.6.7. Densidad de espiga (DES)

Esta variable se determinó en la fase de madurez fisiológica de forma visual, evaluando si la espiga era laxa o compacta, la evaluación se realizó mediante la siguiente escala (Marza y Quispe 2013).

- 1 = Muy Laxa
- 2 = Laxa
- 3 = Moderadamente compacta
- 4 = Compacta
- 5 = Muy compacta

3.6.8. Resistencia a roya (RY)

La evaluación de esta variable se realizó con el fin de ver si existía o no presencia de Roya. La toma de datos se realizó en base a la escala de evaluación para enfermedades, para determinar el grado de infección en la planta.

- 1 = Muy susceptible, densidad de pústulas mayor a 40%.
- 2 = Susceptible, densidad de pústulas de 30-40%.
- 3 = Moderadamente Tolerante, densidad de pústulas de 15-30%.
- 4 = Tolerante, densidad de pústulas de 5-15%.
- 5 = Muy Tolerante, densidad de pústulas de 0-5%.

3.6.9. Madurez fisiológica (MF)

La madurez fisiológica se evaluó desde el día de la siembra hasta el día de la madures de cosecha, esta variable se puede identificar por la coloración amarillo oro de la unidad experimental, también se puede identificar al apretar el grano de trigo con la uña y este no se debe marcar, esta variable se expresó en días.

3.7. Variables evaluadas en laboratorio

Las variables a continuación, se evaluaron en el laboratorio de semillas del Programa Nacional de Trigo del Instituto Nacional de Innovación Agropecuaria y Forestal (INIAF) del departamento de Cochabamba, los criterios de evaluación se realizaron en base a lo recomendado por (Marza y Quispe 2013).



Figura 9. Evaluación en laboratorio a) Peso de rendimiento; b) Vernier para tamaño de grano; c) Peso de 1000 granos; d) evaluación de la calidad de grano; e) Balanza hectolítrica.

3.7.1. Peso de 1000 granos (PMG)

Después de la cosecha y trillado, se determinó tres muestras al azar de 1000 semillas de cada unidad experimental, una vez contadas las semillas se pesó en una balanza de precisión y se expresó en gramos, obtenido un promedio de tres muestras.

3.7.2. Peso hectolítrico (PH)

El peso hectolítrico se determinó utilizando una balanza volumétrica, en el que se obtuvo la relación peso por volumen del grano de trigo expresado en hectolitros de llenado (kg/hl). Para esta evaluación el grano tuvo que estar limpio, exento de impurezas y con una humedad del 14%, para no tener margen de error se realizó tres veces la evolución para cada unidad experimental obteniendo un promedio.

3.7.3. Rendimiento en grano (RDTO)

El rendimiento se evaluó pesando la cantidad total, de los granos obtenidos de los surcos por unidad experimental, con un contenido de humedad del 14% y expresados en kg/ha.

3.7.4. Tipo de grano (TGR)

El tipo de grano se determinó a simple vista, clasificándolo según el llenado de grano de cada unidad experimental bajo la siguiente escala:

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

3.7.5. Tamaño de grano (TG)

El tamaño de grano se determinó después de la cosecha, los granos se midieron con un vernier en milímetros, obteniendo tres muestras al azar sin discriminación alguna y se clasifico según la siguiente escala:

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

3.7.6. Color de grano (CG)

Este proceso se realizó de forma visual después de la cosecha y se clasificó de acuerdo a la siguiente escala:

- 1 = Purpura
- 3 = Rojo
- 5 = Blanco

3.7.7. Variables de calidad física del grano

El laboratorio de calidad de grano de trigo del Programa Nacional de Trigo del Instituto Nacional de innovación Agropecuaria y forestal (INIAF) se encuentra en la ciudad de Santa Cruz, el mismo cuenta con el equipo SKCS (Single Kernel Characterization System), este equipo es un caracterizador de grano, su sistema caracteriza solo un grano de trigo, la muestra mide 300 granos individuales, este análisis permite conocer tres variables; dureza de grano (DZ), peso de un grano (PUG) y diámetro de grano (DMT).

3.8. Análisis estadístico

Los datos evaluados de las 14 líneas avanzadas de trigo harinero y el testigo en las tres localidades, se obtuvieron bajo un cronograma en base a sus fases fenológicas mientras se desarrollaba el cultivo. Se elaboró un libro de campo con las variables cuantitativas y

cualitativas para el registro de la evaluación. La información obtenida fue tabulada, codificada, archivada en Microsoft Office Excel 2010 y procesada con los programas estadísticos SAS (Statistical Analysis Systems) versión 9.2 para el análisis de varianza, SPSS (IBM Statistics) versión 22 que permitió la estructuración del análisis descriptivo, tablas de contingencia y el análisis de los coeficientes de sendero y S-PLUS 2000 para análisis multivariado de componentes principales.

3.8.1. Análisis Estadístico univariado

El análisis descriptivo permitió ver el comportamiento de las variables cuantitativas generales y por localidad. Se realizó el análisis de tendencia central (media aritmética), dispersión (desviación estándar, mínimo, máximo) y medidas de forma o distribución (sesgo y curtosis), el análisis se realizó con el programa estadístico S-PLUS 2000.

3.8.2. Análisis Estadístico bivariado

El análisis de varianza (ANVA), se realizó con el objetivo de identificar si existe o no diferencias significativas entre los valores medios de las variables estudiadas y para determinar cómo interactúan entre sí. Si existiera diferencias significativas en las localidades o líneas en cualquiera de las variables se realizó la prueba de promedios Duncan con un nivel de significancia de ($\alpha = 0,05$) y si existiere significancia en la interacción se realizó el análisis de varianza de efectos simples para ver qué localidad y que línea es mejor, para este análisis se utilizó el programa estadístico SAS (Statistical Analysis Systems) versión 9.2.

El análisis de variables categóricas, se realizó con el objetivo de establecer si existe o no alguna relación entre dos variables cualitativas y se expresó en tablas de dos entradas por medio de frecuencias. Los resultados obtenidos se comprobaron por medio del estadístico de Chi-cuadrado de Pearson (χ^2), si los datos son compatibles la probabilidad será alta ($p > 0,05$) y si la probabilidad es pequeña ($p < 0,05$) supondremos que los datos son incompatibles y señalaremos que las variables en estudio están relacionadas, este análisis se realizó con el programa estadístico S-PLUS 2000.

El análisis de correlación se realizó con el fin de ver el grado de relación existente entre dos variables, se calculó utilizando el coeficiente de correlación de Pearson (r), los valores que toma la correlación esta entre +1 y -1, llegando a ser positivas o negativas y su significancia fue establecida a $p < 0,05$ y $p < 0,01$. El nivel de significancia se realizó bajo la

siguiente hipótesis; ($H_0: r = 0$) si no existe relación entre variables y ($H_a: r \neq 0$) si existe relación entre variables. El coeficiente de correlación fue evaluado mediante la fórmula descrita en el capítulo anterior (Marza *et al.*, 2013). Este análisis se realizó con el programa estadístico S-PLUS 2000.

3.8.3. Análisis Estadístico multivariado

El análisis de regresión múltiple permitió interpretar los valores directos e indirectos con los que aportó cada variable al rendimiento y al peso hectolítrico como variable de calidad física del grano. La regresión consideró la influencia que tienen las variables independientes (X_1, X_2, \dots, X_n) sobre la variable dependiente (Y), también permitió predecir el rendimiento y la calidad física del grano a través de un modelo matemático. Este análisis se realizó con el programa estadístico S-PLUS 2000, el cual nos dio datos de los coeficientes de regresión estandarizados, estos datos llegaron a ser los coeficientes de senderos que se obtienen de manera usual por mínimos cuadrados. Para validar el modelo de regresión múltiple se formuló la siguiente hipótesis; $H_0: b_1 = b_2 = 0$ y $H_a: b_1 \neq b_2 \neq 0$, si se acepta la hipótesis nula, significa que ninguno de los factores (X_1, X_2, \dots, X_n) son significativos para explicar los cambios en Y .

Para el análisis de coeficientes de sendero se utilizó la metodología sugerida por Wright (1921), Li (1975), Mariotti (1986) y Gómez (2011), este análisis se realizó con el objetivo de encontrar los efectos directos e indirectos para la variable rendimiento como variable endógena (variable respuesta o dependiente) y variables de componentes del rendimiento como variables exógenas (variables predictoras o independientes). Este método también se aplicó para la calidad física en grano, la variable endógena fue peso hectolítrico y las variables asociadas a la calidad fueron las variables exógenas. Para generar el diagrama de los coeficientes de sendero se utilizó la matriz de coeficientes de correlación y el resumen de coeficientes de regresión múltiple estandarizado, esta técnica se describe en el capítulo anterior y se analizó con el programa estadístico S-PLUS 2000.

El análisis de componentes principales a través de sus gráficos bidimensionales Biplot, permitió ver la interacción de los dos primeros componentes principales, en el que se observa el comportamiento de los genotipos en relación a las variables correlacionadas entre sí.

Finalmente se realizó un ranking de rendimiento estandarizado de los genotipos en estudio, en función a sus rendimientos para identificar líneas promisorias con características sobresalientes.

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Condiciones climáticas y edáficas

4.1.1. Condiciones climáticas

El comportamiento climático durante la gestión 2013-2014 fue diferente en las tres localidades. La precipitación promedio en Uyacti Punta fue de 411 mm en un ciclo de cultivo de 118 días, en Yuraj Molino este valor alcanzo un promedio de 346 mm en un ciclo de cultivo de 130 días y en Cruce Incallajta el promedio fue de 352 mm en un ciclo de cultivo de 159 días (Figura 4 y 5). La precipitación presento una distribución diferente en las localidades en comparación con las precipitaciones históricas. El climadiagrama se realizó en base a los datos proporcionados por el SENAMHI (2014).

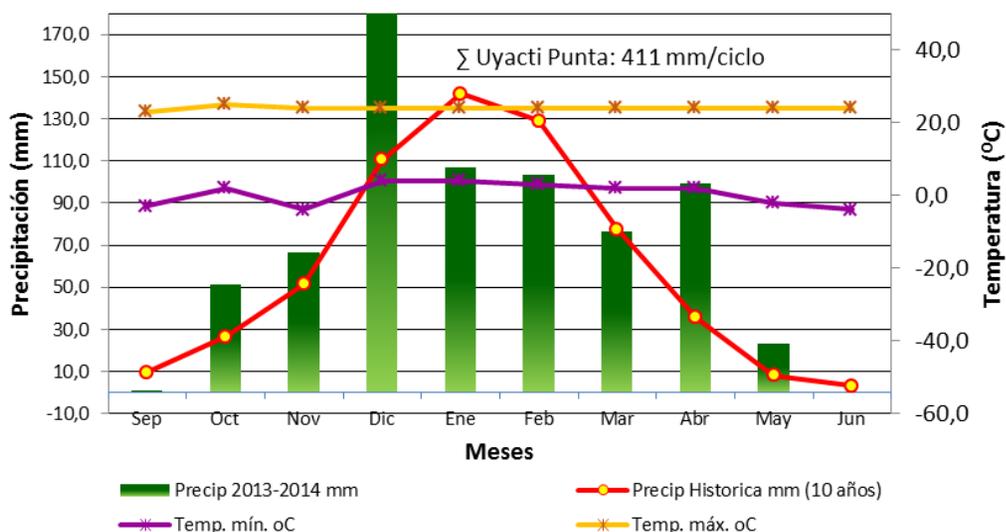


Figura 10. Climadiagrama del municipio de Totorá de la Provincia Carrasco del departamento de Cochabamba durante la campaña agrícola 2013-2014.

El mes más lluvioso para el municipio de Totorá fue enero con 106,8 mm y el mes menos lluvioso fue junio con 0,8 mm (Figura 10). En el municipio de Pocona el mes que tuvo mayor precipitación fue febrero con 97,8 mm y el mes que tuvo menor precipitación fue junio con 6,2 mm (Figura 11). Las precipitaciones que se registraron estuvieron dentro de las necesidades que requiere el cultivo, las mismas se caracterizaron por una buena distribución en etapas críticas o de necesidad del cultivo, como macollaje, embuche y floración.

Según Fonseca y Gonzales (1986) indican que el cultivo requiere de 400 a 500 mm en todo su ciclo, no obstante es un cultivo parcialmente resistente a la sequía en los primeros estadios de crecimiento y no así en el periodo de diferenciación de espiguilla, floración y llenado de grano ya que un déficit hídrico tendría una incidencia directa en el rendimiento. Al respecto Cartagena (2012) registro la gestión agrícola 2009-2010 en el municipio de Totora 396 mm en todo el ciclo del cultivo de trigo. Según Ochoa (2002) se puede conseguir una buena cosecha con un mínimo de 205 a 220 mm durante su periodo vegetativo.

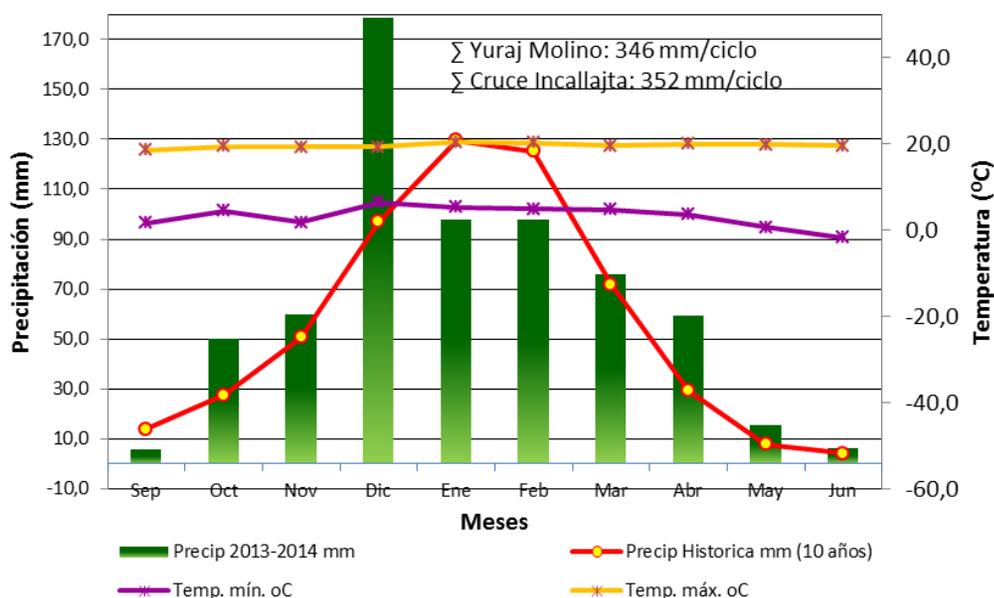


Figura 11. Climadiagrama del municipio de Pocona de la Provincia Carrasco del departamento de Cochabamba durante la campaña agrícola 2013-2014.

Respecto a la temperatura, la localidad de Uyacti punta del municipio de Totora registro una temperatura media de 12,2°C, una máxima media de 24°C y una mínima media de 4°C (Figura 10). Las localidades de Yuraj Molino y Cruce Incallajta del municipio de Pocona presentaron una temperatura media de 11,4°C, una máxima media de 19,6°C y una mínima media de 3,2°C respectivamente (Figura 11). Según Ochoa (2002) el cultivo de trigo requiere una temperatura de 14 a 28°C. Las altas temperaturas asociadas al estrés hídrico en la etapa de espigamiento, floración y llenado de grano, pueden producir granos inmaduros (chuzos), disminución del peso de 1000 granos y por consiguiente la disminución de la producción. Asimismo, la temperatura influye en la presencia de determinados patógenos (Wall 1998).

El ciclo agrícola se caracterizó por las bajas precipitaciones y temperaturas debajo el promedio. Las características de cada localidad influyeron en el rendimiento y comportamiento agronómico de las líneas en estudio, entre ellos la madurez fisiológica. Ya que la localidad de Yuraj Molino se caracteriza por los fuertes vientos, la localidad de Cruce Incallajta se caracteriza por posición altitudinal de 2809 msnm., y por una humedad favorable y la localidad de Uyacti Punta se caracteriza por su posición altitudinal de 2977 msnm.

4.1.2. Condiciones edáficas

Los resultados obtenidos del análisis de suelo para las tres localidades, se realizaron en el laboratorio de la carrera de Ingeniería Agronómica de la Universidad Pública de El Alto, dando como resultado para la localidad de Yuraj Molino suelo Franco-arcilloso-limoso (FYL), con pH de 5,6 y materia orgánica de 1,2%, para la localidad de Cruce Incallajta suelo Franco-arenoso (FA), con pH 6,1 y materia orgánica de 1,7%, y para la localidad de Uyacti Punta suelo Franco-arcillo (FY), con pH de 5,8 y materia orgánica de 1,4%. El análisis muestra que las localidades en estudio de alguna manera presentan características similares. Un factor importante es el pH, las localidades de Yuraj Molino y Uyacti Punta presentaron suelos relativamente ácidos, lo que posiblemente fue un factor que limitó la asimilación de nutrientes del suelo.

CIAT (1991) menciona que los suelos más convenientes son los de textura franca (media) a franca arcillosa (moderadamente pesada), con adecuado drenaje y buena fertilidad. Por lo tanto en suelos arcillosos, arcillo-arenosos y fértiles, con pH alrededor de 7 se consiguen los mejores rendimientos en el cultivo de trigo. Al respecto PROTRIGO (2001) menciona que las zonas con suelos ácidos posiblemente limitaran la asimilación de nutrientes.

4.2. Análisis estadístico de variables cuantitativas

Los resultados de las variables cuantitativas evaluadas en las 14 líneas avanzadas y un testigo, y en tres localidades se describen en el (Cuadro 6) de manera general y por localidades, los resultados muestran valores estadísticos de desviación estándar (DE), media, mínimo, máximo, sesgo y curtosis, los mismos fueron utilizados como base para explicar el comportamiento de cada variable en estudio.

Cuadro 6. Estadística descriptiva de variables cuantitativas, evaluadas en 14 líneas avanzadas y un testigo en tres localidades del departamento de Cochabamba durante la campaña agrícola 2013-2014.

YURAJ MOLINO							UYACTI PUNTA						
Variable	DE	Media	Mínimo	Máximo	Sesgo	Curtosis	Variable	DE	Media	Mínimo	Máximo	Sesgo	Curtosis
NM	0,7	4	3	5	0,17	-0,97	NM	0,5	2	2	4	2,14	3,91
AP	4,2	66,2	58	77	0,32	-0,25	AP	7,3	73	59	88,5	0,24	-0,54
NEM	43,2	165	96	276	0,71	-0,10	NEM	38,4	162	96	248	0,42	-0,84
LE	0,8	9,3	7,5	11,5	0,54	0,61	LE	1,2	8,4	6,0	10,8	0,07	-0,76
NGE	8,2	59	42	72	-0,36	-0,14	NGE	8,8	57	40	72	-0,41	-1,17
LA	1,1	6,0	4,0	8,0	0,00	-1,13	LA	1,1	6,8	4,8	8,9	0,00	-0,89
MF	4,6	123	118	130	0,38	-1,12	MF	5,2	112	104	118	-0,23	-0,97
PMG	3,3	38,4	32	45	-0,10	-0,48	PMG	2,8	45,6	40	50	-0,09	-0,95
PH	2,4	77	71	81	-0,30	-0,33	PH	1,2	77	75	80	0,14	-0,28
RDTO	327,9	1043	488	1904	0,40	-0,20	RDTO	516,1	2106	920	3406	0,09	0,12
CRUCE INCALLAJTA							GENERAL						
Variable	DE	Media	Mínimo	Máximo	Sesgo	Curtosis	Variable	DE	Media	Mínimo	Máximo	Sesgo	Curtosis
NM	0,9	5	4	7	0,79	0,00	NM	1,3	4	2	7	0,30	-0,61
AP	8,2	85,2	67	102	-0,16	-0,59	AP	10,4	74,8	58	102	0,56	-0,60
NEM	40,7	257	184	336	-0,17	-0,80	NEM	59,9	195	96	336	0,39	-0,87
LE	1	9	6,3	11	-0,22	0,02	LE	1,1	8,9	6,0	11,5	-0,22	-0,09
NGE	8,4	56	42	74	0,47	-0,48	NGE	8,5	57	40	74	-0,12	-0,77
LA	1	7,2	5	9,3	-0,18	-0,31	LA	1,2	6,6	4,0	9,3	-0,11	-0,70
MF	5,1	150	146	159	0,92	-0,46	MF	17	128	104	159	0,44	-1,21
PMG	3,2	48,7	42	56	-0,10	-0,17	PMG	5,3	44,2	32	56	-0,30	-0,56
PH	1,5	78	74	81	0,16	0,24	PH	1,8	77	71	81	-0,53	1,01
RDTO	905,8	4120	2240	6111	0,03	-0,48	RDTO	1425,6	2423	488	6111	0,67	-0,60

NM = Numero de macollos (unidades); AP = Altura de planta (cm); NEM = Número de espigas por metro cuadrado (unidades); LE = Longitud de espiga (cm); NGE = Número de granos por espiga (unidades); LA = Longitud de arista (cm); MF = Madurez fisiológica (días); PMG = Peso de 1000 granos (g); PH = Peso hectolítrico (kg/hl) y RDTO = Rendimiento (kg/ha).

El número de macollos (NM) alcanzó un promedio general de 4 macollos por planta, con un mínimo de 2 registrado en la localidad de Uyacti Punta y un máximo de 7 registrado en la localidad de Cruce Incallajta (Cuadro 6). El análisis de varianza muestra diferencias altamente significativas para localidades ($\alpha = 0,01$), mientras que para las líneas y la interacción no existe diferencias significativas, el coeficiente de variación fue de 20,52% (Cuadro 7). Para observar las diferencias en las localidades se realizó la prueba de promedios Duncan con un nivel de significancia al 5% (Cuadro 8) en el cual se observa tres grupos (A, B, C) la localidad de Cruce Incallajta registro mayor número de macollos con un promedio de 5, seguido de la localidad de Yuraj Molino con un promedio de 4 y por último la localidad de Uyacti Punta presentó menor número de macollos con un promedio de 2 respectivamente.

Estas diferencias se atribuyen principalmente al factor ambiental que presenta cada una de las tres localidades, ya que el número de macollos es considerado como un factor poligenético y muy dependiente del medioambiente (Fernández 2011 y Silva *et al.*, 2011). Asimismo, el número de macollos varía dependiendo la variedad y el tipo de suelo. Una variedad mejorada macolla más que una variedad criolla y en suelos sueltos y profundos tiende a tener más macollos (Robles 1994 y Zenteno 2000).

La variable número de espigas por metro cuadrado (NEM) presento un promedio general de 195 espigas/m², un mínimo de 96 registrado en las localidades de Uyacti punta y Yuraj Molino, y un máximo de 336 registrado en la localidad de Cruce Incallajta (Cuadro 6). El análisis de varianza muestra diferencias altamente significativas ($\alpha = 0,01$) para localidades y la interacción, sin embargo para las líneas no existe diferencias significativas, el coeficiente de variación fue de 19,01% (Cuadro 7). Para observar las diferencias en las localidades, se realizó la prueba de promedios Duncan con un nivel de significancia al 5% (Cuadro 8). Los resultados obtenidos muestran dos grupos (A, B) la localidad de Cruce Incallajta registró un promedio de 257 espigas/m², en cambio las localidades de Yuraj Molino y Uyacti Punta tuvieron 165 y 162 espigas/m², en este caso los dos últimos datos son iguales estadísticamente.

Para ver la diferencia en la interacción localidad por línea, se realizó el análisis de varianza de efectos simples, los resultados muestran que la localidad de Yuraj Molino presentó diferencias significativas esto quiere decir que las líneas son estadísticamente diferentes en número de espigas/m², mientras que las localidades de Cruce Incallajta y

Uyacti Punta no presentaron diferencias significativas (Anexo 3). El análisis de varianza de efectos simples para líneas muestra que las líneas L350, L339, L331, L330, L315, L113, L311 y el testigo Tepoca T-89 fueron significativas y la L314 fue la menos significativa (Anexo 4).

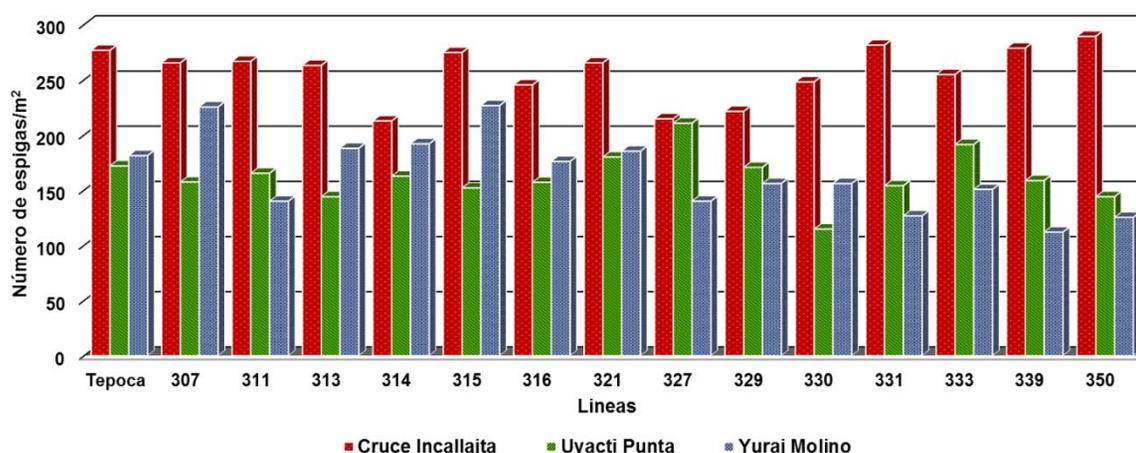


Figura 12. Interacción localidad por línea para la variable número de espigas/m².

La interacción de las 14 líneas y un testigo en las tres localidades se observan mejor en la (Figura 12). Los resultados muestran que en la localidad de Cruce Incallajta las líneas tuvieron mayor número de espigas/m², estas líneas fueron: L350, L331 y L339 con 289, 281 y 279 espigas/m² y las líneas L314 y L327 tuvieron menor número de espigas/m² con 213 y 215, en el cual el testigo Tepoca T-89 se ubicó en el cuarto puesto con 277 espigas/m². En la localidad Yuraj Molino las líneas L315 y L307 fueron las que registraron mayor número de espigas/m² con 226 y 225 respectivamente, en cambio las líneas L339 y L350 tuvieron menor número espigas/m² con 112 y 125 y el testigo Tepoca T-89 se ubicó en la parte central con 181 espigas/m². En la localidad de Uyacti Punta las líneas L327 y L333 tuvieron mayor número espigas/m² con 210 y 191 y las líneas L330 y L313 registraron menor número espigas/m² con 115 y 144 respectivamente y el testigo Tepoca T-89 se ubicó en la parte central con 172 espigas/m². Los resultados obtenidos en el presente estudio superan al testigo la variedad regional Tepoca T-89, que en zonas de valle desde los 2600 a 2900 msnm., tiene un promedio de 204 espigas/m² (Calle *et al.*, 2001). Las diferencias encontradas en las tres localidades se deben a las condiciones ambientales que presenta cada localidad, además que esta variable es dependiente de la cantidad de tallos que haya formado la planta durante el macollamiento (Arispe 2007 y Calle 1992).

Cuadro 7. ANVA de variables cuantitativas evaluadas en 14 líneas avanzadas de trigo harinero y un testigo, en tres localidades del departamento de Cochabamba la gestión agrícola 20013-2014.

FV	GL	Cuadrados Medio/Variable								
		NM	NEM	NGE	AP	LE	LA	PMG	PH	RDTO
Localidad	2	85,21**	130746,01**	88,05 ^{NS}	91,57*	2,84**	5,52**	33,37**	10,57**	1104181,2**
Línea	14	0,22 ^{NS}	1582,92 ^{NS}	135,12**	4164,33**	8,23**	17,30**	1242,69**	15,76**	109893174,2**
Localidad*Línea	28	0,60 ^{NS}	2652,48**	64,04 ^{NS}	24,09 ^{NS}	1,18*	0,66 ^{NS}	8,66 ^{NS}	2,93 ^{NS}	457554,8*
EE	90	0,58	1373,76	63,46	45,92	0,68	0,58	6,36	2,1	269828,7
Total	134									
CV%		20,52%	19,01%	13,90%	9,06%	9,30%	11,45%	5,70%	1,88%	21,44%
R ²		0,78	0,74	0,4	0,71	0,59	0,71	0,85	0,58	0,91
Promedios		4	195	57	74,8	8,9	6,6	44,2	77,3	2422,7

** Significativo al 1%, * Significativo al 5%, ^{NS} no significativo.

Cuadro 8. Prueba de promedios Duncan al 5% para variables con resultados significativos en las localidades, evaluadas en el departamento de Cochabamba la gestión agrícola 2013-2014.

Localidad	Promedios y Rango de Significancia (Duncan 5%)							
	NM	NEM	AP	LE	LA	PMG	PH	RDTO
Cruce Incallajta	5 A	257 A	85,2 A	9,0 A	7,2 A	48,7 A	78 A	4119 A
Yuraj Molino	4 B	165 B	66,2 C	9,2 A	6,0 C	38,4 B	77 B	1043 C
Uyacti Punta	2 C	162 B	73,0 B	8,4 B	6,8 B	45,6 C	77 A	2106 B

Medias con diferente letra, son significativamente diferentes.

NOMENCLATURA:

NM: Número de macollos **NGE:** Número de granos por espiga **LE:** Longitud de espiga **PMG:** Peso de 1000 granos **RDTO:** Rendimiento/hectárea
NEM: Número de espigas/m² **AP:** Altura de planta **LA:** Longitud e arista **PH:** Peso hectolítrico

El número de granos por espiga (NGE) presentó un promedio general de 57 granos por espiga, con un mínimo de 40 granos por espiga registrado en la localidad de Uyacti punta y un máximo de 74 granos por espiga registrado en la localidad de Cruce Incallajta (Cuadro 6). El análisis de varianza muestra diferencias altamente significativas ($\alpha = 0,01$) para líneas, mientras que para localidades y la interacción localidad por líneas no existen diferencias significativas, el coeficiente de variación fue de 13,90% (Cuadro 7). La prueba de promedios Duncan para líneas al 5%, muestra cuatro grupos (A, B, C, D) las líneas que tuvieron mayor número de granos por espiga fueron la L311 y L327 con 63 y 62 respectivamente y las líneas L350 y L329 fueron las que tuvieron menor número de granos por espiga con 52 y 53, el testigo variedad Tepoca T-89 se ubicó en la parte central con un promedio de 57 granos por espiga (Cuadro 9).

La variabilidad que muestran las líneas, se atribuyen al potencial genético que presenta cada línea en respuesta al medio ambiente en que se desarrollaron las mismas, ya que se encuentran líneas que superan al testigo (Zenteno 2000). Existe datos de Marza *et al.*, (2014) que reportaron un promedio de 52 granos por espiga y Cartagena (2012) que obtuvo 42 granos por espiga, el primero se evaluó en 15 localidades de Bolivia y el segundo en la provincia Carrasco, en el presente estudio se tiene líneas que superan estos datos.

La variable altura de planta (AP) muestra un promedio general de 74,8 centímetros, un mínimo de 58 centímetros registrado en la localidad de Yuraj Molino y un máximo de 102 centímetros registrado en la localidad de Cruce Incallajta (Cuadro 6). El análisis de varianza muestra diferencias altamente significativas ($\alpha = 0,01$) para localidades, diferencias significativas ($\alpha = 0,05$) para líneas y no muestra diferencias significativas para la interacción localidad por línea, el coeficiente de variación fue de 9,06% (Cuadro 7). La prueba de promedios Duncan para localidades al 5%, clasifico a las medias en tres grupos (A, B, C). Los resultados muestran que en la localidad de Cruce Incallajta se registró un promedio de 85,2 centímetros, en cambio las localidades de Uyacti Punta y Yuraj Molino tuvieron promedios de 73 centímetros y 66,2 centímetros respectivamente (Cuadro 8). Las diferencias encontradas en las localidades se atribuyen al medio ambiente que presenta cada una de las tres localidades. Según Arispe (2007) esta variable puede variar dependiendo la variedad, época de siembra y fertilidad del suelo.

De igual manera se realizó la prueba de promedios Duncan para líneas al 5% (Cuadro 9), la prueba clasificó a las medias en cuatro grupos (A, B, C, D). Las líneas que tuvieron mayor altura fueron la L311 y L339 con 80,3 y 80,1 centímetros y las que tuvieron menor altura fueron las líneas L321, L330 y L331 con 69,5, 70,8 y 70,8 centímetros respectivamente. La variabilidad encontrada en cada línea se atribuye al carácter genotípico que presenta cada línea y al factor ambiental. Al respecto Crespo y España (2010) reportaron que la variedad Tepoca T-89 en zonas de valle llega a medir de 65 a 75 cm, el presente estudio tiene líneas con altura menor a 65 cm y líneas con altura mayor 75 cm, por otra parte PROTRIGO (1999) menciona que las líneas y variedades del interior del país presentan una altura de 65 a 80 cm. Asimismo, un estrés por sequía puede afectar al crecimiento. Cabe resaltar que esta variable es muy observada por el mejorador, ya que busca trigos de porte bajo para reducir el riesgo al encamado, considerando también la estructura de la paja y su flexibilidad (López 1991).

La variable longitud de espiga (LE) muestra un promedio general de 8,9 centímetros, un mínimo de 6 centímetros registrado en la localidad de Uyacti punta y un máximo de 11,5 centímetros registrado en la localidad de Yuraj Molino (Cuadro 6). El análisis de varianza muestra diferencias altamente significativas ($\alpha = 0,01$) para localidades y líneas, y para la interacción localidad por línea muestra diferencias significativas ($\alpha = 0,05$) el coeficiente de variación fue de 9,30% (Cuadro 7). La prueba de promedios Duncan para localidades al 5%, clasificó a las medias dos grupos (A, B) la localidad de Yuraj Molino y Cruce Incallajta tuvieron mayor longitud de espiga con un promedio de 9,2 y 9 centímetros respectivamente y en la localidad de Uyacti Punta se registraron espigas con menor longitud con un promedio de 8,4 centímetros, los promedios obtenidos son diferentes estadísticamente (Cuadro 8).

La prueba de promedios Duncan para líneas al 5%, clasificó a las medias en cinco grupos (A, B, C, D, E) las líneas que tuvieron mayor longitud de espiga fueron la L327, L316, L333 y L311 con 9,8; 9,6; 9,5 y 9,5 centímetros respectivamente, y la línea L307 fue la que obtuvo menor longitud de espiga con 7,8 centímetros (Cuadro 9).

Para ver las diferencias en la interacción se realizó el análisis de varianza de efectos simples. Los resultados muestran que las localidades de Cruce Incallajta y Uyacti Punta tuvieron diferencias significativas, esto quiere decir que en cada localidad las líneas fueron estadísticamente diferentes en longitud de espiga, mientras que la localidad de

Yuraj Molino no tuvo diferencias significativas por lo que las líneas no son estadísticamente diferentes (Anexo 5). Asimismo, las líneas L330, L316 y L301 (Testigo) son significativamente diferentes y las líneas L331, L329 y L313 no son significativas (Anexo 6).

La interacción de las 14 líneas y el testigo en las tres localidades se observan mejor en la (Figura 13). Los resultados muestran que en la localidad de Yuraj Molino se encuentran las líneas con mayor longitud de espiga la L316, L330 y L339 con 10,5; 10,3 y 9,8 centímetros y la línea con menor longitud de espiga fue la L329 con 8,5 centímetros, el testigo Tepoca T-89 se ubicó en la parte central con 9,3 centímetros. En la localidad de Cruce Incallajta las líneas que tuvieron mayor longitud de espiga fueron la L316, L327 y L311 con 10,2; 9,8 y 9,7 centímetros y las líneas con menor longitud fueron la L307 y L350 con 7,3 y 7,8 centímetros respectivamente, el testigo Tepoca T-89 tuvo una longitud de 9,4 centímetros. Por último en la localidad de Uyacti Punta las líneas que tuvieron mayor longitud de espigas fueron la L327 y L333 con 10,1 y 9,9 centímetros, el testigo Tepoca T-89 y la línea L307 tuvieron menor longitud de espiga con 7,2 y 7,4 centímetros respectivamente.

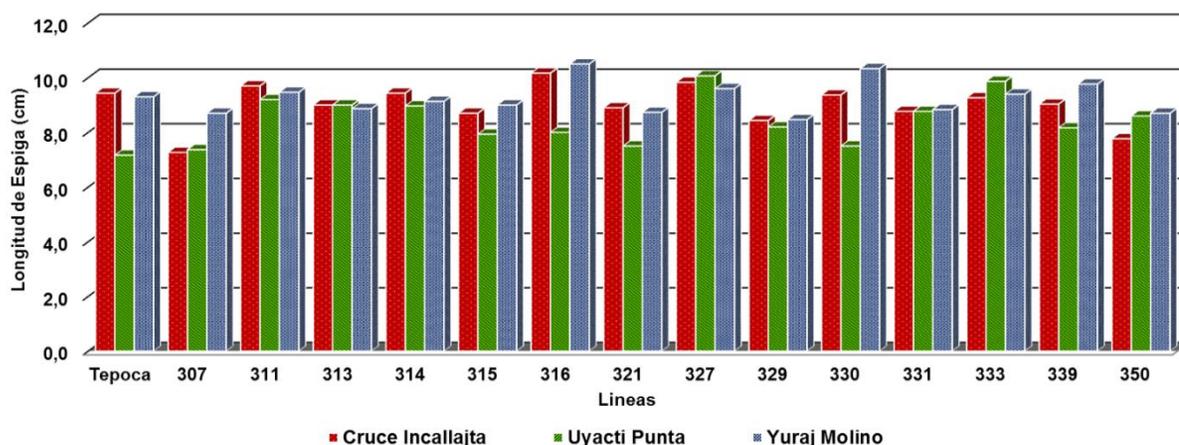


Figura 13. Interacción localidad por línea para la variable longitud de espiga (LE).

En este estudio se encontrar líneas que llegan a medir hasta 10,5 centímetros de longitud de espiga como promedio superando al testigo Tepoca T-89. Crespo y España (2010) reportaron que la variedad Tepoca T-89 en zonas de valle mide de 6 a 7 cm. Otros factores importantes son: la variedad, la característica genotípica de cada cultivar y los factores climáticos en relación al fotoperiodo en la fase de crecimiento de la espiga (Coronel 1989, Zenteno 2000 y Yana 2012).

Cuadro 9. Prueba de promedios Duncan al 5% para variables con resultados significativos en las 14 líneas avanzadas y un testigo, evaluadas en tres localidades de Cochabamba la gestión agrícola 2013-2014.

LÍNEAS	Promedios y Rango de Significancia (Duncan al 5%)							
	AP	LE	LA	NEM	NGE	PMG	PH	RDTO
311	80,3 A	9,5 ABC	7 AB	191 AB	63 A	45 BC	78 AB	3046 A
339	80,1 AB	9,0 ABCD	6 CD	183 AB	54 BCD	46 AB	80 A	2431 BCD
314	77,6 ABC	9,2 ABCD	5 E	189 AB	61 ABCD	42 DEF	76 CD	2890 AB
333	76,5 ABCD	9,5 ABC	6 DE	199 AB	60 ABCD	44 BCDE	77 BCD	2610 ABC
313	76,4 ABCD	9,0 ABCD	8 A	198 AB	61 ABCD	44 BCDE	78 AB	2650 ABC
316	75,7 ABCD	9,6 AB	7 AB	193 AB	53 BCD	48 A	78 B	2035 DE
307	75,6 ABCD	7,8 E	5 E	216 A	56 ABCD	45 BCD	78 BC	2356 BCD
301 (Tepoca T-89)	75,1 ABCD	8,6 CDE	7 BC	210 AB	57 ABCD	40 F	78 B	2375 BCD
329	74,7 ABCD	8,4 DE	7 BC	183 AB	53 CD	45 BC	76 CD	2197 CD
327	73,7 ABCD	9,8 A	7 BC	188 AB	62 AB	46 ABC	77 BC	2504 ABCD
350	73,0 ABCD	8,4 DE	8 A	186 AB	52 D	43 CDE	76 CD	2643 ABC
315	72,6 BCD	8,5 DE	6 DE	218 A	54 BCD	45 BCD	77 BCD	2451 BCD
331	70,8 CD	8,8 BCD	7 BC	187 AB	61 ABC	45 ABC	76 D	2181 CD
330	70,8 CD	9,1 ABCD	7 AB	173 B	60 ABCD	42 DEF	78 AB	2386 BCD
321	69,5 D	8,4 DE	7 AB	210 AB	53 BCD	43 CDE	77 BCD	1586 E

Medias con diferente letra, son significativamente diferentes.

NOMENCLATURA:

AP: Altura de planta **LA:** Longitud e arista **NGE:** Número de granos por espiga **PH:** Peso hectolítrico
LE: Longitud de espiga **NEM:** Número de espigas/m² **PMG:** Peso de 1000 granos **RDTO:** Rendimiento/hectárea

La variable longitud de arista (LA) muestra un promedio general de 6,6 centímetros, un mínimo de 4 centímetros registrado en la localidad de Yuraj Molino y un máximo de 9,3 centímetros registrado en la localidad de Cruce Incallajta (Cuadro 6). El análisis de varianza muestra diferencias altamente significativas ($\alpha = 0,01$) para localidades y líneas, y para la interacción localidad por línea no muestra diferencias significativas, el coeficiente de variación fue de 11,45% (Cuadro 7).

La prueba promedios Duncan para localidades al 5%, clasificó a las medias en tres grupos (A, B, C). Los resultados muestran que la localidad de Cruce Incallajta registró un promedio 7,2 centímetros, la localidad de Uyacti Punta 6,8 centímetros y por último la localidad de Yuraj Molino 6,0 centímetros respectivamente, los promedios obtenidos son diferentes estadísticamente (Cuadro 8). La prueba de promedios Duncan para líneas al 5% clasificó a las medias en cinco grupos (A, B, C, D, E) las líneas que tuvieron mayor longitud de arista fueron la L350 y L313 con 7,8 y 7,7 centímetros y las líneas que tuvieron menor longitud fueron la L314 y L307 con 5,4 y 5,3 centímetros respectivamente (Cuadro 9). Los resultados del presente estudio se encuentran dentro los parámetros reportados por Marza *et al.*, (2014) de 3 a 17 centímetros con un promedio de 6,9 centímetros, estos datos fueron evaluados en 15 localidades de Bolivia la campaña agrícola 2011-2013 en trigos harineros del ensayo 19 SAWYT.

La variable madurez fisiológica (MF) de determina cuando el grano presenta la acumulación máxima de materia seca, las líneas comenzaron a madurar desde los 104 días en la localidad de Uyacti Punta extendiéndose hasta los 118 días, en la localidad de Yuraj Molino comenzaron a madurar desde los 118 días extendiéndose hasta los 130 días, y en la localidad de Cruce Incallajta comenzó a madurar a los 146 días extendiéndose hasta los 159 días (Figura 14). Esta variación se debe a las características ambientales que presenta cada localidad. Al respecto Gómez y Gabriel (2001), mencionan que los días a la maduración del trigo Tepoca T-89 oscilan entre 155 y 165 días para zonas altas de Cochabamba. Fraschina y Formica (2003), señalan que la madurez fisiológica del grano está en función de los caracteres intrínsecos de una variedad determinada, pudiendo esta etapa acortarse o alargarse de acuerdo a las condiciones ambientales (temperatura y humedad) los cuales tienen influencia directa sobre el rendimiento en grano.

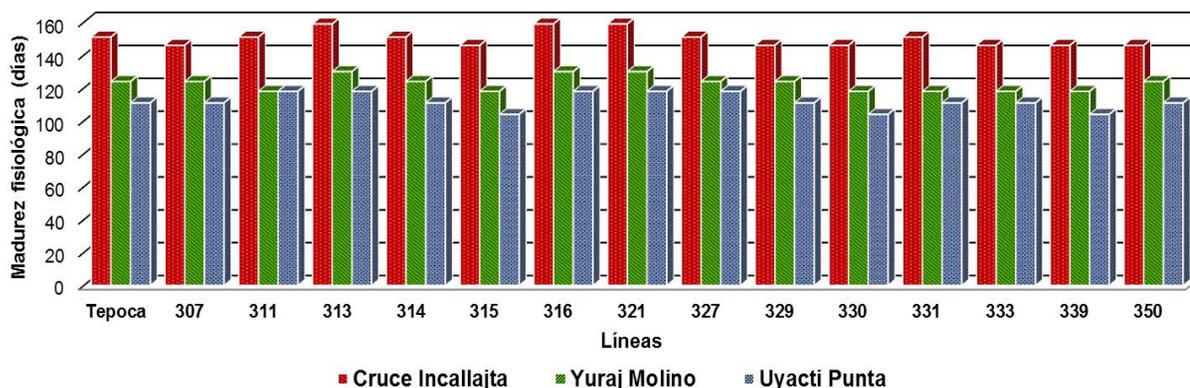


Figura 14. Madurez fisiológica (MF) de 15 líneas avanzadas de trigo en tres localidades de Cochabamba la gestión agrícola 2013-2014.

La variable peso de 1000 granos (PMG) muestra un promedio general de 44,2 gramos con un mínimo de 32 gramos registrado en la localidad de Yuraj Molino y un máximo de 56 gramos registrado en la localidad de Cruce Incallajta (Cuadro 6). El análisis de varianza muestra diferencias altamente significativas ($\alpha = 0,01$) para localidades y líneas, y no muestra diferencias significativas para la interacción localidad por línea, el coeficiente de variación fue de 5,7% (Cuadro 7).

La prueba de promedios Duncan para localidades al 5% formó tres grupos (A, B, C,) la localidad que tuvo mayor PMG fue Cruce Incallajta con un promedio de 48,7 gramos, seguido de la localidad Uyacti Punta con 45,6 gramos y por último la localidad de Yuraj Molino con 38,4 gramos respectivamente (Cuadro 8). La prueba de promedios Duncan para líneas al 5% formó seis grupos (A, B, C, D, E, F) las líneas que presentaron mayor PMG fueron la L316, L339 y L327 con 47,8; 46,2 y 45,8 gramos respectivamente, en cambio el testigo Tepoca T-89 y la línea L314 presentaron menor PMG con 40,1 y 41,8 gramos respectivamente (Cuadro 9).

Los resultados obtenidos en el presente estudio muestran que todas las líneas en estudio superan al testigo Tepoca T-89. Calle *et al.*, (2001) reportaron que la variedad Tepoca T-89 pesa 37,3 gramos en 1000 granos de trigo en zonas de valle desde los 2600 a 2900 msnm. Asimismo, esta variable depende de las condiciones climáticas, nutricionales durante el llenado de grano y de la variedad (Zenteno 2000, López 1991 y Gros 1986). Además que esta variable es un componente de mayor asociación al rendimiento (Arteaga 1990).

El análisis descriptivo para peso hectolítrico (PH) muestra un promedio general de 77,3 kilogramos por hectolitro (kg/hl) con un mínimo de 71 kg/hl registrado en la localidad de Yuraj Molino y un máximo de 81 kg/hl registrado en la localidad de Cruce Incallajta (Cuadro 6). El análisis de varianza muestra diferencias altamente significativas ($\alpha = 0,01$) para localidades y líneas, y no muestra diferencias significativas para la interacción localidad por línea, el coeficiente de variación fue de 1,88% (Cuadro 7).

La prueba de promedios Duncan para localidades al 5% clasifico a las medias en dos grupos (A, B). Los resultados indican que en la localidad de Cruce Incallajta se registró un promedio de 78 kg/hl, y en las localidades de Uyacti Punta y Yuraj Molino se registraron promedios iguales con 77 kg/hl, en este caso las dos localidades son iguales estadísticamente (Cuadro 8). La prueba de promedios Duncan para líneas al 5%, muestra cuatro grupos (A, B, C, D) las líneas que tuvieron mayor peso hectolítrico fueron la L339, L311, L330 y L313 con 80, 78, 78 y 78 kg/hl, en cambio la línea L331 fue la que obtuvo menor PH con 76 kg/hl respectivamente, el testigo Tepoca T-89 tuvo un PH de 78 kg/hl (Cuadro 9).

Estudios realizados por Calle *et al.*, (2001) muestran que la variedad Tepoca T-89 tiene un peso hectolítrico de 73 a 79 kg/hl, la primera en zonas de altura y la segunda en zonas de valles desde los 2600 a 2900 msnm. Asimismo, los valores obtenidos en el presente estudio superan los valores considerados por las industrias molineras en vista de que el máximo considerado es de 78 kg/hl y el mínimo es de 77 kg/hl (Arispe 2007). En este caso se destaca cuatro líneas la L339, L311, L330 y L313. Factores que pueden alterar este resultado son el clima y la presencia de enfermedades durante su desarrollo, ya que cuanto más sano sea el grano mayor será el peso hectolítrico y por ende mayor será la calidad física del grano (Guerrero 1987, Gosticar 1997, Vásquez 2006 y Colque 2000).

El análisis descriptivo para la variable rendimiento (RDTO) muestra un promedio general de 2423 kilogramos por hectárea (kg/ha), con un mínimo de 488 kg/ha registrado en la localidad de Yuraj Molino y un máximo de 6111 kg/ha registrado en la localidad de Cruce Incallajta (Cuadro 6). El análisis de varianza muestra diferencias altamente significativas ($\alpha = 0,01$) para localidades y líneas, mientras que para la interacción localidad por línea muestra diferencias significativas ($\alpha = 0,05$) con un coeficiente de variación de 21,44% (Cuadro 7).

La prueba de promedios Duncan para localidades al 5% muestra tres grupos (A, B, C). Los resultados indican que en la localidad de Cruce Incallajta tuvo mayor rendimiento con un promedio de 4119 kg/ha, seguido de la localidad Uyacti Punta con 2106 kg/ha y por último la localidad de Yuraj Molino con un promedio de 1043 kg/ha respectivamente (Cuadro 8). La prueba de promedios Duncan para líneas al 5% muestra cinco grupos (A, B, C, D, E) las líneas que tuvieron mayor rendimiento fueron la L311, L314, L313, L350, L333, L327, L315, L339, y L330 con 3046, 2890, 2650, 2643, 2610, 2504, 2451, 2431, y 2386 kg/ha respectivamente y las líneas que tuvieron menor rendimiento fueron la L321, L316, L331, L329, y L307 con 1586, 2035, 2181, 2197 y 2356 kg/ha respectivamente, el testigo Tepoca T-89 tuvo un rendimiento de 2375 kg/ha (Cuadro 9).

Para la interacción localidad por línea se realizó el análisis de varianza de efectos simples. La localidad de Cruce Incallajta tuvo diferencias significativas, esto quiere decir que dentro la localidad las líneas son estadísticamente diferentes en términos de rendimiento, mientras que las localidades de Yuraj Molino y Uyacti Punta no presentaron diferencias significativas por lo que las líneas dentro de cada localidad no son estadísticamente diferentes (Anexo 7). Asimismo, el análisis de efectos simples para las líneas muestra diferencias significativas para todas las líneas incluyendo al testigo Tepoca T-89 (Anexo 8).

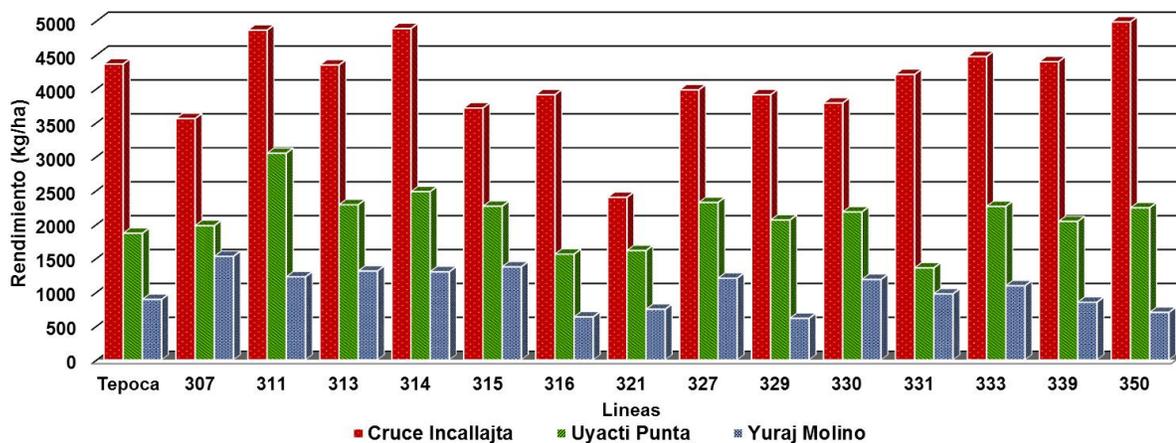


Figura 15. Interacción localidad por línea para la variable rendimiento (RDTO).

La interacción de las 14 líneas y un testigo en las tres localidades se observan mejor en la (Figura 15). Los resultados muestran que en la localidad de Cruce Incallajta se encuentran las líneas con mayor rendimiento estas líneas son: L350, L314 y L311 con rendimiento de 4985, 4887 y 4863 kg/ha, la línea que tuvo menor rendimiento fue la L321

con 2397 kg/ha y el testigo Tepoca T-89 tuvo un rendimiento de 4365 kg/ha. En la localidad de Uyacti Punta las líneas que tuvieron mayor rendimiento fueron la L311, L314 y L327 con 3049, 2482 y 2322 kg/ha, las líneas que tuvieron menor rendimiento fueron la L331 y L316 con 1358 y 1560 kg/ha y el testigo Tepoca T-89 tuvo un rendimiento de 1868 kg/ha. Por último en la localidad de Yuraj Molino se registraron los rendimientos más bajos en comparación a las otras dos localidades, las líneas que tuvieron mayor rendimiento fueron la L307 y L315 con 1528 y 1373 kg/ha, las líneas que tuvieron menor rendimiento fueron la L329 y L316 con 614 y 635 kg/ha y el testigo Tepoca T-89 tuvo un rendimiento de 893 kg/ha respectivamente.

Los resultados promedio obtenidos para cada localidad, superan el promedio nacional de 0,9 a 1,2 t/ha reportado por INIAF (2012). Al respecto Torrico (2010) reporto una producción de 0,23 a 1,38 t/ha en el municipio de Totorá lugar en el que el 63,82% de los productores siembra la variedad Tepoca T-89. Asimismo, Gonzales *et al.*, (2011) reportaron un rendimiento promedio de 783 kg/ha en el municipio de Totorá. Estudios realizados por Crespo y España (2010) reportaron que el rendimiento para la variedad Tepoca T-89 es de 1500 a 2000 kg/ha para zonas de valle desde los 2000 a los 2990 msnm. Las diferencias encontradas en las localidades se atribuyen al factor ambiental que presenta cada zona y las diferencias encontradas en las líneas puede estar influenciada por las características genotípicas que presenta cada línea, ya que existe una interacción genotipo-ambiente muy representativa.

4.3. Análisis estadístico de variables cualitativas

Los datos de la evaluación de las 14 líneas avanzadas y un testigo en las tres localidades, se recolectaron en base a la escala de evaluación mencionado por Marza y Quispe (2013). Los valores registrados se analizaron estadísticamente con la prueba de independencia de Chi-cuadrado (χ^2), mediante las tablas de contingencia se pudo observar el grado de asociación y relación existente entre dos variables categóricas (cualitativas) con la siguiente hipótesis X_c^2 valor; $p < 0,05$ (Ochoa 2008).

4.3.1. Tipo de grano Vs. roya

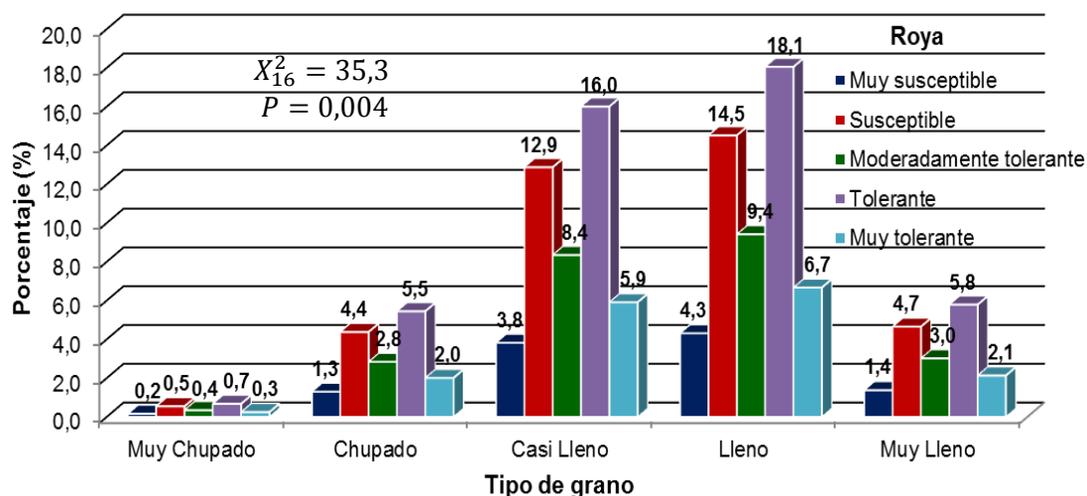


Figura 16. Porcentaje de tipo de grano versus roya evaluado en 14 líneas y un testigo en tres localidades la gestión agrícola 2013-2014.

El tipo de grano se clasificó como Muy chupado, chupado, casi lleno, lleno y muy lleno, y la presencia de roya se clasificó como Muy susceptible, susceptible, moderadamente tolerante, tolerante y muy tolerante. La prueba de independencia de Chi-cuadrado (Figura 16), muestra una relación significativa ($X^2_{16} = 35,3$; $P = 0,004$) entre tipo de grano (TGR) y roya (RY). De las líneas que presentaron granos llenos el 18,1% fueron tolerantes a roya, el 14,5% susceptibles, el 9,4% moderadamente tolerante, el 6,7% muy tolerante y el 4,3% muy susceptibles. De las líneas que presentaron granos casi llenos el 16% fueron tolerantes a roya, el 12,9% susceptibles, el 8,4% moderadamente tolerantes, el 5,9% muy tolerantes y 3,85% muy susceptibles. La tabla de contingencia de tipo de grano versus roya, para cada localidad se encuentra detallada en el (Anexo 9).

Los resultados obtenidos muestran que la variable roya y tipo de grano se encuentran relacionadas entre sí, esto quiere decir que mientras más resistente sea el genotipo a la roya más lleno será el tipo de grano.

4.3.2. Densidad de espiga Vs. tipo de grano

La densidad de espiga se clasificó en Muy laxa, laxa, moderadamente compacta, compacta y muy compacta, y tipo de grano se clasificó como Muy chupado, chupado, casi lleno, lleno y muy lleno.

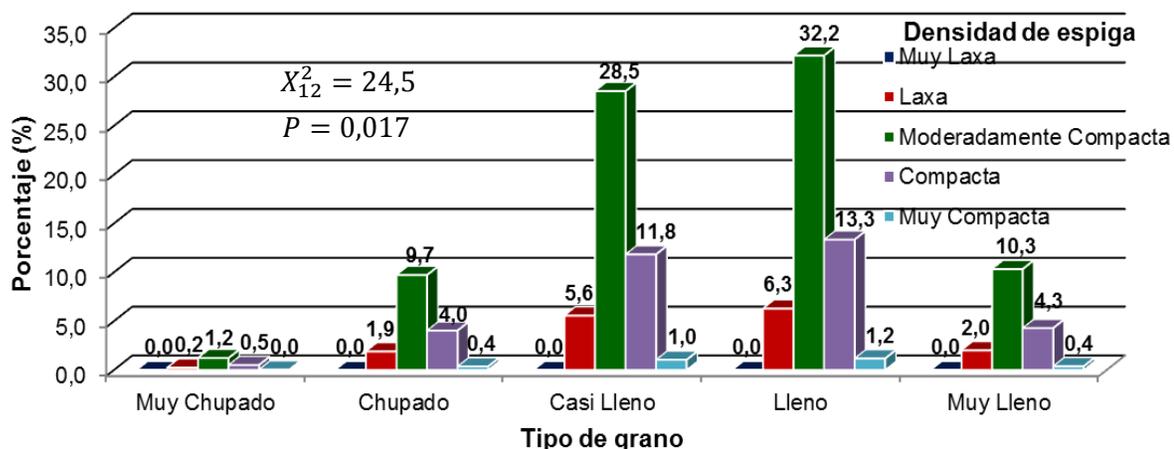


Figura 17. Porcentaje de tipo de grano versus densidad de espiga evaluado en 14 líneas y un testigo en tres localidades la gestión agrícola 2013-2014.

La prueba de independencia de Chi-cuadrado (Figura 17) muestra una relación significativa ($X^2_{12} = 24,5$; $P = 0,017$) entre densidad de espiga (DES) y tipo de grano (TGR). De las líneas que presentaron granos llenos, el 32,2% fueron espigas moderadamente compactas, el 13,3% espigas compactas y el 6,3% fueron espigas laxas. De las líneas que presentaron granos casi llenos el 28,5% fueron espigas moderadamente compactas, el 11,8% compactas y el 5,6% fueron espigas laxas. La tabla de contingencia de tipo de grano versus densidad de espiga, para cada localidad se encuentra detallada en el (Anexo 10).

Los datos obtenidos muestran que la variable densidad de espiga y tipo de grano se encuentran relacionadas entre sí, esto quiere decir que mientras más compacta sea la espiga más lleno será el tipo de grano.

4.4. Análisis de coeficientes de sendero

4.4.1. Análisis de coeficientes de sendero para rendimiento

El análisis de coeficientes de sendero permitió identificar los efectos directos e indirectos que influyeron en el rendimiento. La variable dependiente fue rendimiento y los componentes; altura de planta (AP), número de espigas por metro cuadrado (NEM) y peso de 1000 granos (PMG), número de granos por espiga (NGE), tipo de grano (TGR), número de macollos (NM) y peso hectolítrico (PH) fueron las variables independientes.

El análisis de varianza de regresión múltiple por el método de pasos sucesivos (Cuadro 10) muestra tres grupos, de los cuales todos resultaron ser significativos ($p \leq 0,05$), el primero influenciado por altura de planta (AP), el segundo influenciado por altura de planta (AP) y número de espigas por metro cuadrado (NEM) y el tercero influenciado por altura de planta (AP), número de espigas por metro cuadrado (NEM) y peso de 1000 granos (PMG).

Cuadro 10. Análisis de varianza de regresión múltiple por pasos sucesivos para rendimiento, evaluado en 14 líneas y un testigo en tres localidades del departamento de Cochabamba la gestión agrícola 2013-2014.

Análisis de Varianza						
Modelo	SC	GL	CM	F	Sig.	
a) Regresión	185024014,6	1	185024014,6	281,8	0,000 ^a	
Residuo	87316989,2	133	656518,7			
Total	272341003,7	134				
b) Regresión	203153441,5	2	101576720,8	193,8	0,000 ^b	
Residuo	69187562,2	132	524148,2			
Total	272341003,7	134				
c) Regresión	214556890,0	3	71518963,3	162,1	0,000 ^c	
Residuo	57784113,8	131	441100,1			
Total	272341003,7	134				

a. Variables predictoras: (Rendimiento), Altura de planta.

b. Variables predictoras: (Rendimiento), Altura de planta, Numero de espigas/m².

c. Variables predictoras: (Rendimiento), Altura de planta, Numero de espigas/m² y Peso de 1000 granos.

La Figura 18 muestra el diagrama del análisis de los coeficientes de sendero para la variable dependiente rendimiento, el cual se generó con el resumen de los coeficientes de regresión múltiple por pasos sucesivos (Cuadro 11) y la matriz de correlación de Pearson (Anexo 11). Con este análisis se pudo identificar tres variables que influyeron con un efecto directo sobre la variable dependiente rendimiento. Altura de planta (AP), número de espigas/m² (NEM) y peso de 1000 granos (PMG) fueron las que presentaron mayor influencia con un efecto directo de AP ($P_1 = 0,49$), NEM ($P_2 = 0,32$) y PMG ($P_3 = 0,25$), estas variables fueron los componentes principales que determinaron el rendimiento en las líneas de trigo. Asimismo, NEM se encuentra alta y significativamente correlacionado con AP ($r = 0,57$) y PMG ($r = 0,31$). El coeficiente de determinación (R^2) explicó el 78% de la variación del rendimiento y el 23% restante llegaría a ser los efectos residuales (ϵ).

Las variables que influyeron con un efecto indirecto sobre la variable dependiente rendimiento a través de altura de planta (AP) fueron número de granos/espiga (NGE), tipo de grano (TGR) y número de macollos (NM) con valores de 0,13; 0,50 y 0,37. Los efectos indirectos a través de número de espigas/m² (NEM) fueron tipo de grano (TGR), número de macollos (NM) y peso hectolítrico (PH) con valores de 0,33; 0,56 y -0,12. Finalmente el efecto indirecto a través de peso de 1000 granos (PMG) fue tipo de grano (TGR) con un valor de 0,78 este último es importante ya que su valor es altamente significativo. El coeficiente de determinación (R^2) para AP, NEM y PMG fue de 43%, 46% y 60% respectivamente. Los valores de (R^2) no fueron muy altos, por lo que la variación debida a los efectos residuales (ϵ) es relativamente importante. El efecto de algunos caracteres fueron muy bajos y en algún caso negativo.

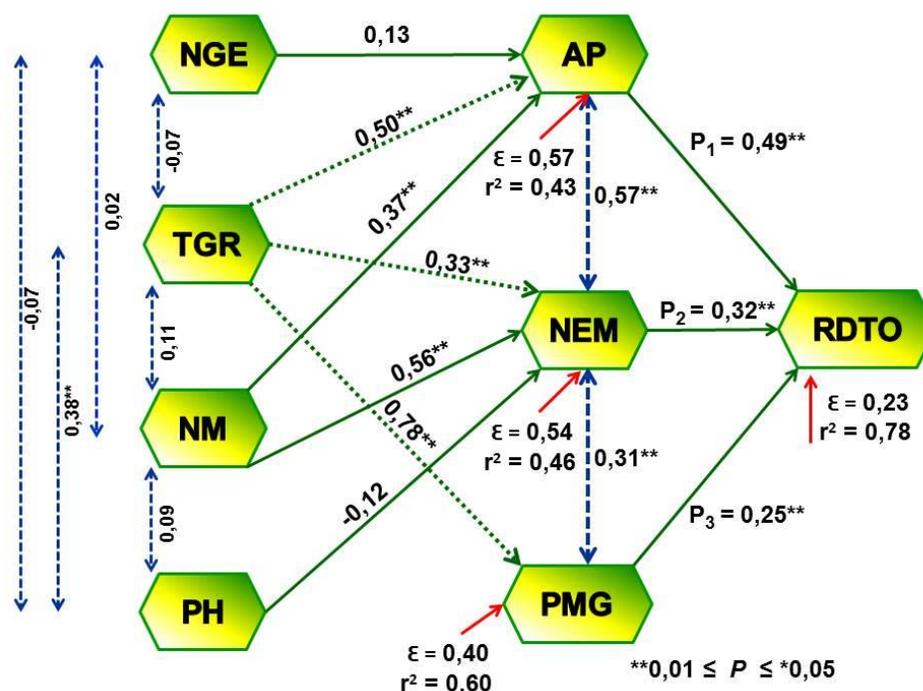


Figura 18. Diagrama de coeficientes de sendero (*Path analysis*), para rendimiento (RDTO), evaluado en 14 líneas y un testigo en tres localidades del departamento de Cochabamba la campaña agrícola 2013-2014.

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

$$RDTO = -7140,6 + 67,7 AP + 7,7 NEM + 67,9 PMG + (1 - R^2)$$

Los resultados del modelo (Cuadro 11) muestran que el rendimiento (RDTO) tiene una relación positiva con altura de planta (AP), número de espigas/m² (NEM) y peso de 1000 granos (PMG), llegando a ser estos los componentes del rendimiento. El incremento de cualquiera de estas variables significa un incremento en el rendimiento en (kg/ha). Por lo tanto, el incremento de un centímetro en altura de planta (AP) significa un incremento de 0,49 kg/ha en el rendimiento (RDTO), el aumento de una espiga en número de espigas/m² (NEM) significa un incremento de 0,32 kg/ha en el rendimiento (RDTO) y el aumento de un gramo en el peso de 1000 granos (PMG) significa un incremento de 0,25 kg/ha en el rendimiento (RDTO). Todo este proceso es un efecto de causalidad en el que el rendimiento es el resultado del número de granos por unidad de superficie. Asimismo, en términos de mejoramiento se puede trabajar con estos tres componentes.

Cuadro 11. Resumen de coeficientes de regresión múltiple por pasos sucesivos para rendimiento, evaluado en 14 líneas y un testigo en tres localidades del departamento de Cochabamba la gestión agrícola 2013-2014.

Modelo	Coeficientes no estandarizados		Coeficientes estandarizados	t	Sig.
	B	Error estándar	Beta		
Rendimiento	-7140,6	512,04		-13,95	0,000*
Altura de planta	67,7	7,90	0,49	8,57	0,000*
Numero de espigas/m ²	7,7	1,17	0,32	6,57	0,000*
Peso de 1000 granos	67,9	13,36	0,25	5,09	0,000*
R ²	0,78				

Según los resultados obtenidos, se puede identificar a tres de los siete caracteres estudiados como los componentes del rendimiento. Esto permitió considerar a los primeros como componentes principales y a los segundos, como componentes secundarios del rendimiento, estableciendo un sistema de causa y efecto (Parodi *et al.*, 1970). Es importante considerar que este análisis es una aproximación simplificada de un conjunto de procesos complejos de las plantas, que puede modificarse al incluir nuevos componentes en el sistema. El método de los efectos directos e indirectos es una herramienta útil y eficaz en el proceso de selección de progenitores y progenies (Valencia 2010 y Abbott *et al.*, 2014). Las condiciones variables de ambiente (tres localidades) de este estudio, hace que tengamos una aproximación más precisa del rendimiento en términos de pronóstico, de acuerdo a lo recomendado por (Castro *et al.*, 2011).

Varios trabajos de investigación (Rodríguez *et al.*, 2006; Valencia 2010; Espitia *et al.*, 2008; Abbott *et al.*, 2007, 2009; Marza 2003), coinciden en afirmar que las correlaciones se han utilizado a través del tiempo en el campo del fitomejoramiento con varios objetivos, uno de los más importante es obtener información básica, para realizar el análisis de sendero (*path analysis*). Al respecto Abbott *et al.*, (2007) mencionan que las correlaciones simples entre los componentes del rendimiento a veces resultan ser poco informativas respecto de la relación funcional entre componentes de distinta jerarquía, por lo que, el método de análisis de coeficientes de sendero proporciona una aproximación de procesos complejos de las plantas.

Estudios realizados por Fernández (2011) y Quispe (2011) muestran que los componentes de rendimiento están estrechamente correlacionados con altura de planta, número de granos por espiga, número de espigas por metro cuadrado, peso de grano, tamaño de grano y largo de espiga. Asimismo, cabe resaltar que Bolivia tiene ambientes de producción condicionado por la gradiente altitudinal, lo que hace que el llenado de grano presente una expresión distinta dependiendo la zona de estudio.

4.4.2. Análisis de coeficientes de sendero para calidad

El análisis de coeficientes de sendero permitido identificar los efectos directos e indirectos que influyeron en la calidad física del grano. La variable dependiente para la calidad física del grano fue el peso hectolítrico (PH) y los componentes; peso de un grano (PUG), peso de 1000 granos (PMG), diámetro de grano (DMT), dureza de grano (DZ) y tipo de grano (TGR) fueron las variables independientes.

La evaluación de las variables dureza de grano (DZ), peso de un grano (PUG) y diámetro de grano (DMT), se realizaron en el laboratorio de calidad de grano del Programa Nacional de Trigo del Instituto de Innovación Agropecuaria y Forestal (INIAP) en Santa Cruz. El equipo utilizado para este análisis fue el SKCS (Single Kernel Characterization System), su función es caracterizar el grano de trigo, la muestra para la evaluación mide 300 granos individuales. Cabe resaltar que la evaluación general es el resultado de ocho líneas avanzadas de trigo, ya que se dio prioridad de análisis a las mejores líneas (L311, L339, L329, L333, L327, L315, L313 y L307).

El análisis de varianza de regresión múltiple (Cuadro 12) muestra dos grupos, de los cuales ninguno fue significativo. El primer grupo se encuentra influenciado por peso de un

grano (PUG) y el segundo grupo influenciado por peso de un grano (PUG) y peso de 1000 granos (PMG).

Cuadro 12. Análisis de varianza de regresión múltiple por pasos sucesivos para la calidad física del grano, evaluado en 14 líneas y un testigo en tres localidades del departamento de Cochabamba la gestión agrícola 2013-2014.

		ANVA				
Modelo		SC	GL	CM	F	Sig.
a)	Regresión	1,737	1	1,737	1,705	0,239 ^a
	Residuo	6,113	6	1,019		
	Total	7,850	7			
b)	Regresión	2,901	2	1,450	1,465	0,316 ^b
	Residuo	4,949	5	,990		
	Total	7,850	7			

a. Variables predictoras: (Peso hectolítrico), Peso de un grano.

b. Variables predictoras: (Peso hectolítrico), Peso de un grano y peso de 1000 granos.

La Figura 19 muestra el diagrama de los coeficientes de sendero para la calidad física del grano, en el cual la variable dependiente fue peso hectolítrico (PH). El diagrama se generó con el resumen de los coeficientes de regresión múltiple por el método de pasos sucesivos (Cuadro 13) y con los coeficientes de correlación de las variables de calidad física del grano (Anexo 12). Mediante el análisis de coeficientes de sendero se pudo identificar dos variables que influyeron con un efecto directo sobre la variable dependiente peso hectolítrico (PH). Peso de un grano (PUG) y peso de 1000 granos (PMG) fueron las que presentaron mayor influencia con un efecto directo de ($P_1 = -0,47$) y ($P_2 = 0,38$) respectivamente. Por lo tanto estas variables fueron los componentes principales que determinaron el peso hectolítrico en las líneas de trigo. El coeficiente de determinación total (R^2) explico el 37%, es un valor relativamente bajo por lo que esta variación se puede atribuir a los efectos residuales (ϵ) ya que el mismo tuvo un valor de 63%, este valor es el efecto de factores desconocidos o no controlados.

Las variables que influyeron indirectamente en el peso hectolítrico (PH) a través de peso de un grano (PUG) fueron diámetro de grano (DMT) y dureza de grano (DZ) con valores de 0,80 y -0,31. Los efectos indirectos a través de peso de 1000 granos (PMG) fueron dureza de grano (DZ) y tipo de grano (TGR) con valores de 0,60 y 0,51. Estos caracteres llegan a ser los componentes secundarios del peso hectolítrico. El coeficiente de determinación (R^2) para peso de un grano (PUG) y peso de 1000 granos (PMG) explicó el

82% y 47% respectivamente y la variación debida a los efectos residuales (ϵ) fue de 18% y 53%.

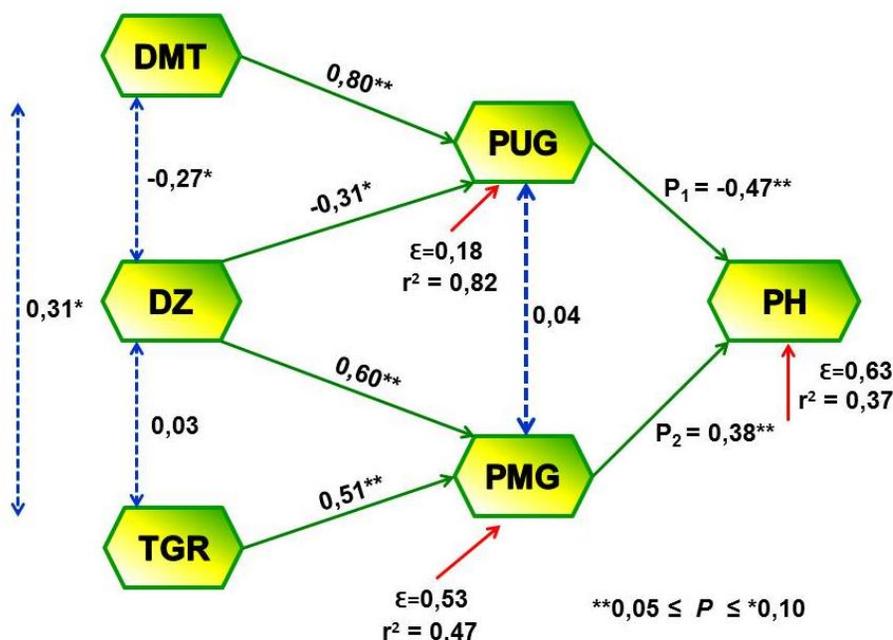


Figura 19. Diagrama de coeficientes de sendero (*Path analysis*), para peso hectolítrico (PH) como variable de calidad física de grano, evaluado en líneas de trigo y en tres localidades de Cochabamba la campaña agrícola 2013-2014

El modelo de estimación o pronosticación del peso hectolítrico responde a la siguiente ecuación:

$$PH = 56,25 + (-0,08) PUG + 0,56 PMG + (1 - R^2)$$

Los resultados del modelo (Cuadro 13) muestra que el peso hectolítrico (PH) tiene una relación negativa con peso de un grano (PUG). Por consiguiente la reducción de un miligramo en PUG tendrá un efecto directo de -0,47 kg/hl en la reducción del peso hectolítrico (PH), en cambio la variable peso de 1000 granos (PMG) tuvo una relación positiva con el peso hectolítrico (PH), por tanto el incremento de un gramo en el peso de 1000 gramos (PMG) tendrá un efecto directo 0,38 kg/hl en el incremento del peso hectolítrico (PH).

Cuadro 13. Resumen de coeficientes de regresión múltiple por el método de pasos sucesivos para calidad física del grano, evaluado en líneas de trigo en tres localidades de Cochabamba la gestión agrícola 2013-2014.

Modelo	Coeficientes no estandarizados		Coeficientes estandarizados	t	Sig.
	B	Error estándar	Beta		
Peso hectolítrico	56,25	23,19		2,426	0,060 ^{ns}
Peso de un grano	-0,08	0,06	-0,47	-1,329	0,241 ^{ns}
Peso de 1000 granos	0,56	0,51	0,39	1,084	0,328 ^{ns}
R ²	0,37				

Si bien los resultados no son altamente significativos con el modelo, aún se puede considerar la pronosticación para el peso hectolítrico (PH) como variable de calidad física en los procesos de selección en campo. El peso hectolítrico es una de las variables más importantes en términos de calidad física del grano, ya que este parámetro está relacionado con la dureza de grano y la proteína que contiene el mismo, por lo tanto a mayor peso hectolítrico mayor será la dureza y el contenido de proteína. Asimismo, la dureza depende básicamente de la calidad física del grano y a su vez está influenciada por el ambiente, cualquier tipo de estrés en la planta puede llegar a afectar la calidad del grano (Vázquez 2013 y Morris 1998 citado por Vázquez 2009). Otro factor importante para una buena calidad de grano, es la sanidad del grano ya que el ataque de una enfermedad repercutirá en la calidad del grano (Hevia 2002).

Por otro lado, Gaines *et al.*, (2000) citado por Hevia (2002) recomiendan que en los cultivares de trigo se tienda a la uniformidad del tamaño y textura (dureza) de los granos, ya que estos influyen sobre el rompimiento inicial del grano y en el proceso de molienda.

Se dice que, si una variedad es de alto rendimiento no siempre es de buena calidad, si hablando en términos de probabilidad lo que sucede es que es más difícil obtener una variedad con alto rendimiento y a la vez que tenga una buena calidad. Al respecto Verges *et al.* (2006) menciona que se pueden obtener cultivares con alto potencial de rendimiento y buena calidad. Sin embargo Hevia (2002) menciona que hay información contradictoria del tamaño del grano y la calidad del producto final, no siendo necesariamente un tamaño grande una ventaja para la calidad.

4.5. Análisis de componentes principales

Las variables en estudio fueron transformadas a componentes principales, las mismas fueron interpretadas tomando en cuenta sus valores, por la forma de sus ángulos y vectores, según la varianza que aporta cada uno de los componentes y la varianza total acumulada.

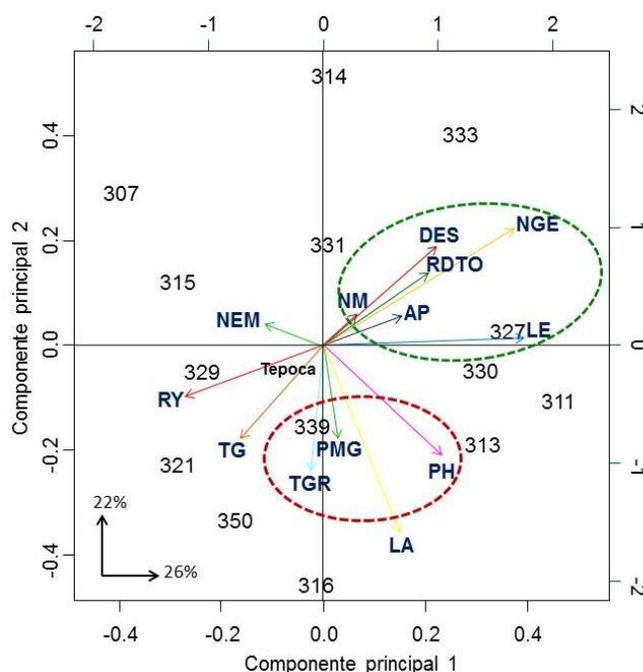


Figura 20. Diagrama Biplot para componentes principales de 14 líneas avanzadas de trigo harinero y un testigo, evaluadas en tres localidades del departamento de Cochabamba la campaña agrícola 2013–2014.

El diagrama bidimensional informativo Biplot (Figura 20) se generó a través de los dos primeros componentes principales. El primer componente (CP1) muestra una varianza explicada del 26% y el segundo componente (CP2) una varianza explicada del 22%, ambos suman una varianza explicada del 48%. El mismo muestra el comportamiento agronómico de las diferentes líneas en relación a las variables; número de granos/espiga (NGE), altura de planta (AP), rendimiento (RDTO), Densidad de espiga (DES), número de macollos (NM), número de espigas/m² (NEM), longitud de arista (LA), Peso de 1000 granos (PMG), tipo de grano (TGR), peso hectolítrico (PH), tamaño de grano (TG) y roya (RY). Una de las variables más relevantes es el rendimiento (RDTO), el mismo presenta una asociación positiva con número de granos/espiga (NGE), densidad de espiga (DES), número de macollos (NM) y altura de planta (AP), formando ángulos menores a 90°, lo

que significa que cuando una de las variables aumente la otra variable también aumentara por la correlación existente entre las mismas, en consecuencia, este análisis muestra que las líneas L327, L333 y L331 se encuentran entre las más sobresalientes para este grupo. Asimismo, dentro del grupo de las variables de calidad física del grano, encontramos a peso hectolítrico (PH), peso de 1000 granos (PMG) y tipo de grano (TGR), destacándose en términos de ubicación las líneas L339, L313 y L350 respectivamente. Este análisis también muestra que entre la variable rendimiento y peso hectolítrico existe un ángulo menor a 90° , lo que nos permite identificar a cuatro líneas L330, L311, L327 y L313, con rendimientos por encima del promedio nacional y con buena calidad en términos de peso hectolítrico.

El gráfico de sedimentación de componentes principales (Figura 21) muestra una varianza total acumulada de 79% hasta el cuarto componente, en el cual cada variable ha contribuido diferencialmente a la formación de cada componente. El Anexo 13 muestra las cargas de los primeros cuatro componentes principales. El CP1 aportó con un 26% de varianza total, las variables más sobresalientes fueron longitud de espiga (LE) y número de granos/espiga (NGE), con una contribución de 56% y 46% respectivamente. El CP2 aportó con una varianza total de 48% y las variables más sobresalientes fueron longitud de arista (LA) y número de granos/espiga (NGE) con 78% y 31%. El CP3 aportó con una varianza total acumulada de 65%, en el cual las variables más sobresalientes fueron densidad de espiga (DES) y peso hectolítrico (PH) con 56% y 47%. Por último el CP4 aportó con una varianza total acumulada de 79% y las variables más sobresalientes fueron peso de 1000 granos (PMG), roya (RY) y longitud de espiga (LE) con 58 %, 49 % y 42%.

El análisis de componentes principales Biplot puede ser utilizado directamente para identificar genotipos ideales. Yan (2001) menciona que la correlación entre los coeficientes del CP1 y los promedios de los genotipos es baja cuando hay una fuerte y compleja interacción genotipo ambiente (GE).

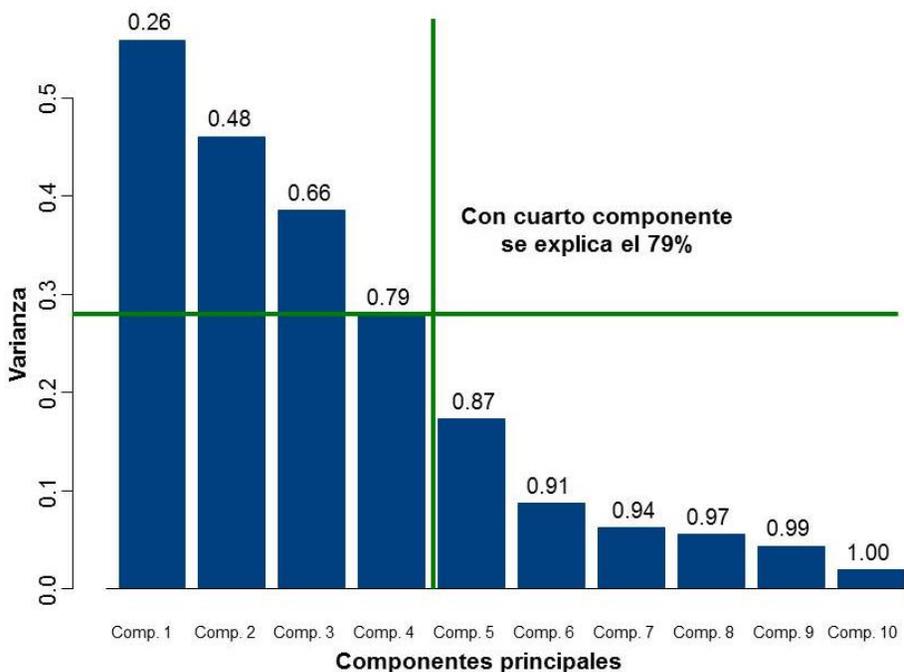


Figura 21. Gráfico de sedimentación de los componentes principales de acuerdo a la varianza, evaluado en 14 líneas y un testigo en tres localidades del departamento de Cochabamba durante la campaña agrícola 2013-2014.

4.6. Ranking de rendimiento estandarizado

La Figura 22 muestra el ranking de rendimiento estandarizado con alternativas positivas y negativas, reflejando la productividad de las 14 líneas avanzadas de trigo y el testigo Tepoca T-89, en el cual las mejores líneas fueron la L311, L314, L313, L350, L333 y L327 con rendimientos de 3046, 2890, 2650, 2643, 2610 y 2504 kg/ha, que superaron al testigo Tepoca T-89 que obtuvo 2375 kg/ha y al promedio nacional de 1,2 t/ha (INIAF 2012).

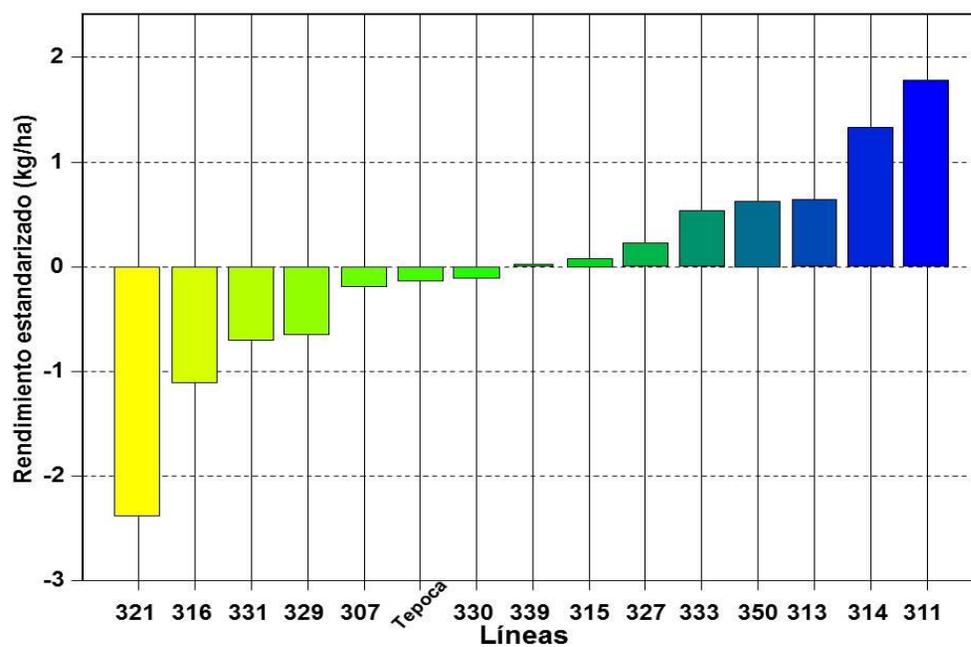


Figura 22. Ranking de rendimiento estandarizado, evaluado en 14 líneas avanzadas de trigo harinero y un testigo, en tres localidades del departamento de Cochabamba durante la campaña agrícola 2013-2014.

5. CONCLUSIONES

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

- El análisis de coeficientes de sendero para rendimiento, permitió identificar los efectos directos e indirectos que influyeron en el rendimiento. Las variables que influyeron directamente en el rendimiento fueron altura de planta (AP), número de espigas por metro cuadrado (NEM) y peso de 1000 granos (PMG) con un efecto directo de ($P_1 = 0,49$), ($P_2 = 0,32$) y ($P_3 = 0,25$) estableciéndose como los componentes de rendimiento, por lo tanto el aumento de una unidad en cualquiera de las tres variables tendrá un efecto directo en el rendimiento en kg/ha. Asimismo, las variables que influyeron indirectamente fueron número de granos por espiga (NGE), tipo de grano (TGR), número de macollos (NM) y peso hectolítrico (PH). El coeficiente de determinación R^2 explicó el 78% de la variación del rendimiento. Esto permitió considerar a los primeros como componentes principales y a los segundos, como componentes secundarios del rendimiento, estableciendo un sistema de causa y efecto.
- El análisis de coeficientes de sendero para calidad física del grano permitió identificar los efectos directos e indirectos que contribuyeron al peso hectolítrico (PH) como variable de calidad. Las variables que influyeron directamente en el peso hectolítrico fueron peso de un grano (PUG) y peso de 1000 granos (PMG) con un efecto directo de ($P_1 = -0,47$) y ($P_2 = 0,38$) estableciéndose como los componentes principales del (PH), por consiguiente el aumento o reducción de una unidad en cualquiera de las dos variables tendrá un efecto directo en el peso hectolítrico (PH) en kg/hl. Asimismo, las variables que contribuyeron indirectamente al peso hectolítrico (PH) fueron diámetro de grano (DMT), dureza de grano (DZ) y tipo de grano (TGR), llegando a ser los componentes secundarios del peso hectolítrico.
- El análisis de varianza, prueba de Duncan y análisis de varianza de efectos simples, muestran que existe diferencias estadísticas en el rendimiento de grano de trigo, tanto en las localidades como en las líneas avanzadas y la interacción. La localidad que presentó mayor rendimientos fue la de Cruce Incallajta con un

promedio de 4119 kg/ha, las líneas avanzadas más sobresalientes fueron la L311, L314, L313, L350 y L333, con rendimientos de 3046, 2890, 2650, 2643 y 2610 kg/ha. Para la interacción la mejor localidad fue la de Cruce Incallajta y las mejores líneas fueron la L350, L314 y L311 respectivamente.

- El análisis de componentes principales (CP) presentó una varianza explicada de 26% para el CP1 y de 22% para el CP2 sumando una varianza total de 48%, lo que permitió identificar las variables que contribuyeron a la productividad y las líneas que se relacionan con las mismas. Para el grupo de las variables asociadas al rendimiento se identificó las líneas L327, L333 y L331 y para el grupo de las variables de calidad física se identificó las líneas L339, L313 y L350. Asimismo, en las variables rendimiento y peso hectolítrico existe un ángulo menor a 90°, lo que nos permite identificar a cuatro líneas L330, L311, L327 y L313, con rendimientos por encima del promedio nacional, además que presentan buena calidad en términos de peso hectolítrico.
- Las variables que han contribuido en el CP1 son: Altura de planta (AP), rendimiento (RDTO), longitud de espiga (LE), número de granos por espiga (NGE), roya (RY), densidad de espiga (DES), tamaño de grano (TG), longitud de arista (LA), peso hectolítrico (PH) y número de espigas/m² (NEM) y las variables que contribuyeron al CP2 fueron: roya (RY), densidad de espiga (DES), número de granos/espiga (NGE), tipo de grano (TGR), tamaño de grano (TG), longitud de arista (LA), peso de 1000 granos (PMG), peso hectolítrico (PH) y rendimiento (RDTO).
- El ranking de rendimiento estandarizado permitió identificar a las líneas L311, L314, L313, L350, L333 y L327 con rendimientos sobresalientes de 3046, 2890, 2650, 2643, 2610 y 2504 kg/ha, superando al testigo Tepoca T-89 que tuvo 2375 kg/ha.

6. RECOMENDACIONES

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

- Se recomienda utilizar el método de coeficientes de sendero, ya que es una alternativa de pronóstico que permite identificar o seleccionar genotipos de trigo en campo. Las variables altura de planta (AP), número de espigas/m² (NEM) y peso de 1000 granos (PMG), fueron los componentes principales identificados para determinar el rendimiento (RDTO) en genotipos de trigo. Las variables peso de un grano (PUG) y peso de 1000 granos (PMG) fueron los componentes identificados para determinar el peso hectolítrico (PH). Estos componentes son las alternativas para incrementar el rendimiento y mejorar la calidad en el cultivo de trigo, además que es un punto de referencia para futuros programas de mejoramiento genético.
- El método de coeficientes de sendero resultó ser una herramienta útil, ya que se evaluó en condiciones variables de ambiente, por lo que se recomienda utilizar los siguientes modelos de ecuación; para rendimiento $RDTO = -7140,6 + 67,7 AP + 7,7 NEM + 67,9 PMG + (1 - R^2)$ y para peso hectolítrico $PH = 56,25 + (-0,08) PUG + 0,56 PMG + (1 - R^2)$, estas ecuaciones permitirán estimar o pronosticar el rendimiento (RDTO) y el peso hectolítrico (PH) en campo, a fin de tener una selección efectiva de genotipos de trigo. Es importante considerar las mismas zonas de estudio o con características similares.
- De acuerdo a los resultados obtenidos del análisis de componentes principales y del ranking de rendimientos estandarizado, se recomienda estudiar las siguientes líneas; L311, L314, L313, L350, L333, L327, L331, L339 y L330, las mismas presentaron comportamientos agronómicos favorables, en los ambientes estudiados.

- Se recomienda para la localidad de Cruce Incallajta utilizar las siguientes líneas; L350, L311, L314 y L333, por su buen rendimiento y peso hectolítrico, cabe resaltar que fue la mejor localidad en términos de rendimiento.
- Se recomienda para la localidad de Uyacti punta utilizar las siguientes líneas; L311, L313, L314 y L327 por su buen rendimiento y peso hectolítrico.
- Se recomienda para la localidad de Yuraj molino utilizar las siguientes líneas; L307, L315 y L313 por su buen rendimiento y peso hectolítrico.
- Se recomienda probar nuevamente las diferentes líneas en las mismas localidades (Cruce Incallajta, Yuraj Molino y Uyacti punta), para ratificar y validar los resultados ya que cada año tenemos diferentes comportamientos climáticos. También se recomienda considerar otras localidades productoras de trigo, para que puedan validarse como nuevas variedades.

7. BIBLIOGRAFÍA

- Abbott, L., Pistorale, S. y Andrés, A. 2009. Evaluación de los componentes del rendimiento en semilla mediante coeficientes de sendero en poblaciones de agropiro alargado. *AGRISCIENTIA*. Vol. XXVI. p. 55-62.
- Abbott, L., Pistorale, S. y Filippini, O. 2007. Análisis de coeficientes de sendero para el rendimiento de semillas en *Bromus catharticus*. Departamento de Ciencias Básicas, Universidad Nacional de Luján. Buenos Aires, Argentina. p. 65-73.
- Abbott, L., Spara, F., Vernengo, E. y Wolff, R. 2014. Análisis de coeficientes de sendero para el rendimiento de semilla en *Phalaris aquatica* L. XIX Reunión Científica del Grupo Argentino de Biometría. Santiago del Estero, Argentina. 3 p.
- Afonso M.D. y Perera G.S. 2009. Resultados del seguimiento de plagas y enfermedades en cultivos de cereales en Tenerife. Especial referencia al trigo. España. 23 p.
- AGROASEMEX (Institución Nacional de Seguros Agrícolas de México). 2012. Fenología de cultivos regionales. Fenología de del cultivo de maíz y trigo. México.
- ANAPO (Asociación de Productores de Oleaginosas y Trigo). 2010. Día Nacional del Trigo, el desafío de producir más. Publicación Bimensual • Año XII • Nº 82 • Santa Cruz de la Sierra, Bolivia. 12 p.
- Arispe, R. 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 - UMSS. Cochabamba, Bolivia. 81 p.
- Arteaga, S. 1990. Aplicación de niveles recientes de N y P en dos variedades de trigo en la Tamborada. Tesis de grado-UMSS. Cochabamba, Bolivia 94 p.
- Caffare, J., Delucchi, J. & Ceretta, S. 2001. Índice de calidad panadera (ICP) 1. Trabajo presentado en la " International Wheat Quality Conference. Manhattan, KS, EE.UU. Programa Nacional de Evaluación de Cultivares. Laboratorio de Calidad de Granos, INIA Estanduela, Uruguay. 331 p.

- Calle C., Crespo M., Paz D. y Wall, P. 2001. Memorias de la IV Reunión Nacional de trigo y Cereales Menores. PROTRIGO. Cochabamba, Bolivia. p. 63-72.
- Calle, G. 1992. Componentes de rendimiento y elaboración del rendimiento de trigo cv. Totorá-80 y cebada cv. San Benito-80. Tesis de grado-UMSS. Facultad de Ciencias Agrícolas y pecuarias. Cochabamba, Bolivia. 106 p.
- Cartagena, S. 2012. Evaluación agronómica de líneas mejoradas de trigo harinero (*Triticum aestivum* L.) en tres localidades del departamento de Cochabamba. Tesis de grado-UMSS. Cochabamba, Bolivia. 62 p.
- Castellarín J. 2009. Influencia de las prácticas de manejo sobre la generación del rendimiento en el cultivo de trigo. Investigador del INTA. Ecofisiología y Manejo de los Cultivos. EEA Oliveros. Para mejorar la producción INTA. 20 p.
- Castro, M., Ceretta, S. & Vázquez, D. 2006. Análisis de la relación rendimiento de grano-calidad en trigo y factores abióticos que la afectan. Jornada de Cultivos de Invierno "Trigo: Calidad vs. Rendimiento". Evaluación de Cultivares, INIA La Estanzuela.
- Castro, N., Domínguez, R. y Paccapelo, H. 2011. Análisis del rendimiento de grano y sus componentes en cereales sintéticos (tricepiros y triticales). Rev. De la Fac. de Agronomía - UNLPam - Vol N° 22. 6300 Rosa, Argentina. ISSN 0326-6184. p. 13-21.
- CESAT (Centro de Asistencia y Acompañamiento Técnico). 2007. Plan de Desarrollo Municipal, PDM-Pocona. 2008-2012. 330 p.
- CIAT (Centro Internacional de Agricultura Tropical). 1991. Guía Práctica para el Agricultor y Ganadero. Editorial El País. Santa Cruz, Bolivia. 151 p.
- Colque, F. 2000. Control químico de enfermedades foliares en cultivo de trigo. Tesis de grado-UAGRM. Santa Cruz, Bolivia. 75 p.
- Coronel, A. 1989. Comportamiento agronómico de 6 variedades de trigo en dos zonas ecológicas de la provincia de Bolívar. Tesis Ing. Agr. Riobamba ESPOCH. Facultad de Recursos Naturales.

- Crespo, M. 1995. Informe. Levantamiento de Demanda. Propuesta en Trigo Para el Consorcio Andino de Innovación Participativa. Programa de Innovación Participativa con Pequeños Agricultores de la Zona Andina. Resultados Del Levantamiento Preliminar De Demanda Con Los Agricultores. 38 p.
- Crespo, M. y España, P. 2010. Trigo harinero “Tepoca T-89”. Ficha para el agricultor. 1ra edición. PROIMPA. 3 p.
- Cuadras, M.C. 2011. Nuevos métodos de análisis multivariante. Ediciones CMC. Barcelona, España. 229 p.
- EMAPA (Empresa de Apoyo a la Producción de Alimentos). 2009. Plan estratégico institucional. Área de planificación. 29 p.
- Espitia, M., Araméndiz, H. y Cadena, J. 2008. Correlaciones y análisis de sendero en algodón (*Gossypium hirsutum* L.) en el Caribe Colombiano. Medellín, Colombia.
- Eyal, Z., Scharen, A., Prescott, J., & Ginkel, M. 1987. Enfermedades del trigo causadas por Septoria; Conceptos y métodos relacionados con el manejo de estas enfermedades. CIMMYT. Mexico, D.F. 52 p.
- FAO (Food and Agricultural Organization of the United Nations). 2012. Estadísticas de producción agropecuaria y comercio. Trigo y derivados. Disponible en <http://faostat.fao.org/site/339/default.aspx>. Consultado: diciembre de 2015.
- Fernández M. 2011. Evaluación de tres sistemas de siembra en trigo, con fines de conservación de agua “in-situ” en las localidades de Sacabamba y Tarata, departamento de Cochabamba. Tesis de grado-UMSS. Cochabamba, Bolivia. 62 p.
- Fernández, M.A. 2008. La estabilidad del rendimiento de trigo candeal (*Triticum durum* desf.) en la región de las planicies con tosca de la provincia de La Pampa. Rev.Fac. Agronomía - UNLPam – Vol. 9. Santa Rosa, Argentina. 22 p.
- Fraschina, J. y Formica, M. B. 2003. Fisiología del cultivo de trigo. Caracterización del crecimiento del grano de trigo. Instituto nacional de tecnología agropecuaria (INTA). Córdoba, Argentina. p. 40-42.

- Gómez, C.M. 2011. Estimación de los modelos de ecuaciones estructurales, del índice mexicano de la satisfacción del usuario de programas sociales mexicanos, con la metodología de mínimos cuadrados parciales. Tesis de Maestría. Universidad Iberoamericana. México. 166 p.
- Gómez, Q. R., Gabriel, O. E. 2001. Tepoca T-89 nueva variedad para el área tradicional de Cochabamba - Bolivia. Presentado en la IV reunión nacional del trigo y cereales menores. Cochabamba, Bolivia. 69 p.
- Gonzales, J., Camacho, E., Gutiérrez, F., Cartagena, S., Guzmán, M., Torres, E., y Meneses, R. 2011. Mejoramiento participativo de la productividad del trigo harinero y trigo duro en el departamento de Cochabamba. Proyecto de Convenio ASDI-UMSS. Cochabamba, Bolivia. 16 p.
- 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.
- Gros, A. 1986. Abonos. Guía práctica de la fertilización. Ed. Mundi – prensa. 7ma ed. Madrid España. 140 p.
- Guerrero, A. 1987. Cultivos herbáceos extensivos. Ed. Mundi prensa. Madrid, España. 751 p.
- Gutiérrez A., Carballo A., Mejía J., Vargas M., Trithowan R. & Villaseñor H. 2006. Caracterización de trigos harineros mediante parámetros de calidad física y fisiológica de la semilla. CIMMYT, Universidad Autónoma de Chapingo, INIFAP. México. Agricultura Técnica en México Vol. 32 N°1. p. 45-55.
- Herbas, R. 2008. El Estado de Situación del Trigo en Bolivia y el Contexto Internacional. CIPCA (Centro de Investigación y Promoción del Campesinado). 35 p.
- Hevia, H.F. 2002. Componentes Químicos y Algunas Propiedades Físicas del Grano de Trigo y su Relación con la Funcionalidad de las Harinas. Facultad de Ingeniería Agrícola, Universidad de Concepción. 25 p.
- Ibáñez, M., Cavanagh, M., Bonamico, N., y Di Renzo, M. 2006. Análisis gráfico mediante biplot del comportamiento de híbridos de maíz. INTA, Argentina. RIA. p. 83-93.

- IBCE (Instituto Boliviano de Comercio Exterior). 2014. Año 22 N° 219. Publicación del Instituto Boliviano de Comercio Exterior. Santa Cruz – Bolivia. 24 p.
- INFOAGRO. El Cultivo de trigo. Consultado febrero 2014. Disponible en: <http://www.infoagro.com/herbaceos/cereales/trigo.htm>
- INIAF (Instituto Nacional de Innovación Agropecuaria y Forestal). 2012. Plan de implementación y Avances en el Programa Nacional de Trigo. La Paz, Bolivia. 40 p.
- Ledesma, L., Solís, E., Suaste, P., Rodríguez, F., y M. De la Cruz, L. 2012. Análisis GGE Biplot del Rendimiento de Trigo (*Triticum* spp.) con Riego Normal y Restringido en el Bajío, México. Vol. 46, N°2. p. 119-131.
- Li, C.C. 1975. Path analysis: a primer. California Boxwood, Pacific Grove. 346 p.
- López Bellido, L. 1991. Cultivos herbáceos Vol. 1, Cereales. Ediciones Mundi – Prensa Madrid – España. 539 p.
- MACA (Ministerio de Asuntos Campesinos y agropecuarios) 2004. Estudio de identificación, mapeo y análisis competitivo de la cadena productiva del trigo. La Paz, Bolivia. 188 p.
- Málaga, U. 2008. Bioestadística: métodos y aplicaciones. Medidas descriptivas. p. 39-68.
- Mariotti, J. 1986. Fundamentos de genética biométrica. Aplicaciones al mejoramiento genético vegetal. Secretaría General de la Organización de los Estados Americanos. Programa Regional de Desarrollo Científico y Tecnológico. Washington, DC.
- Marza, F. 2003. Path Analysis of Yield and Related Traits in the Winter Wheat Population, Ning 7840 x Clark. Short Communication. 7 p.
- Marza, F. y Calle, C. 2012. Ensayo nacional de variedades de trigo harinero 2010-2012. Plan de implementación y avances en el Programa Nacional de Trigo. La Paz, Bolivia. p. 30-33.

- 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. 73 p.
- Marza, F., Butrón, R. y Chávez, S. 2013. Bioestadística aplicada a la experimentación agrícola. Instituto Nacional de Innovación Agropecuaria y Forestal, INIAF. Programa Nacional de Trigo. 1ra edición. La Paz, Bolivia. 180 p.
- Marza, F., Butrón, R., Canelas, J., Huallpa, B., Villegas, R. y Gutiérrez, G. 2014. Variabilidad fenotípica de 50 líneas de trigo Adaptadas a Condiciones Semi-Aridas. Revista Científica de Investigación. INFO-INIAF “Investigación e innovación para la seguridad y soberanía alimentaria en Bolivia”. Número 3. Volumen 1. p. 9-15.
- MDRyT (Ministerio de Desarrollo Rural y Tierra) y SENASAG (Servicio Nacional de Sanidad Agropecuaria e Inocuidad Alimentaria). 2014. PROAGRO – GIZ. Guía Técnica Para el Cultivo de Trigo. La Paz. 55 p.
- Mehta, Y. R. 1993. Manejo integrado de enfermedades del trigo. Instituto Agronómico de Paraná-IAPAR, Londrina, Pr., Brasil. Actualmente en el Centro de Investigación Agrícola Tropical (CIAT). Santa Cruz de la Sierra, Bolivia. 314 p.
- Mercado, K. (2006). Efectos de la migración en el manejo de los recursos naturales en Pocona. Convocatoria “Genero y gestión de recursos en Bolivia”. 185 p.
- Miralles, D. 2004. Información técnica de trigo. Consideraciones sobre ecofisiología y manejo de Trigo. Publicación Miscelánea Nº 101. Buenos Aires. 7 p. Consultado enero de 2014. Disponible en: http://campus.fca.uncu.edu.ar/pluginfile.php/10063/mod_resource/content/0/Trigo_Ecofisiolog_a.pdf.
- Miralles, D. J., Spinedi, M., Abeledo, L., Abelleira, D. y Arisnabarreta, S. 2007. Variability on photoperiod responses in argentinean wheat cultivars differing in lenght of crop cycle. In: Wheat Production in stressed environments. p. 599-609.
- Mitchell, R. 1992. Testing evolutionary and ecological hypotheses using path analysis and structural equation modeling. *Funct. Ecol.* p. 123-129.

- Mohan, M., Díaz de Ackermann, M. y Castro, M. 2001. Estrategias y metodologías utilizadas en el mejoramiento de trigo: un enfoque multidisciplinario. INIA La Estanzuela, Colonia, Uruguay. 425 p.
- Ochoa, R. 2002. Introducción de quince variedades de trigo (*Triticum aestivum* L.) en dos comunidades de la provincia Inquisivi del departamento de La Paz. Tesis de grado-UMSA. La Paz, Bolivia. 63 p.
- Ochoa, R. 2008. Bioestadística. La Paz, Bolivia. 245 p.
- Ochoa, R. 2009. Diseños experimentales. La Paz, Bolivia. 388 p.
- Parodi, P., Patterson, F. y Nyquist, W. 1970. Interrelaciones entre los componentes principales y secundarios de rendimiento en trigo, *Triticum aestivum* L. Fitotecnia Latinoamericana. p. 1-15.
- Peña, R. 2000. III. Influencia de la textura del endospermo y la composición de las proteínas del gluten en la calidad panadera del trigo. p. 23-40.
- Peña, R. 2001. Contribución de las gluteninas (alto y bajo peso molecular) y las gliadinas al mejoramiento de la calidad de trigo. CIMMYT México. p 151-162.
- PMT (Producción Mundial de Trigo). 2015. Producción mundial de trigo por país. Consultado: diciembre de 2015. Disponible en: <https://www.produccionmundialtrigo.com/>
- PN-Trigo (Programa Nacional de Trigo). 2014. Memoria Gráfica. 28 p.
- PROTRIGO (Programa Nacional de Investigación y Transferencia de Tecnología para el Cultivo de Trigo). 2001. Memoria de la IV reunión nacional de trigo y cereales menores. Cochabamba, Bolivia. 255 p.
- PROTRIGO (Programa Nacional de Investigación y Transferencia de Tecnología para el Cultivo de Trigo). 1999. Cultivo de Trigo. 400 p.
- Quispe, F. 2011. Habilidad de adaptación y productividad de 146 líneas avanzadas de trigo del vivero internacional del CIMMYT en el altiplano norte de Bolivia. Tesis de grado-UPEA. El Alto, Bolivia. 87 p.

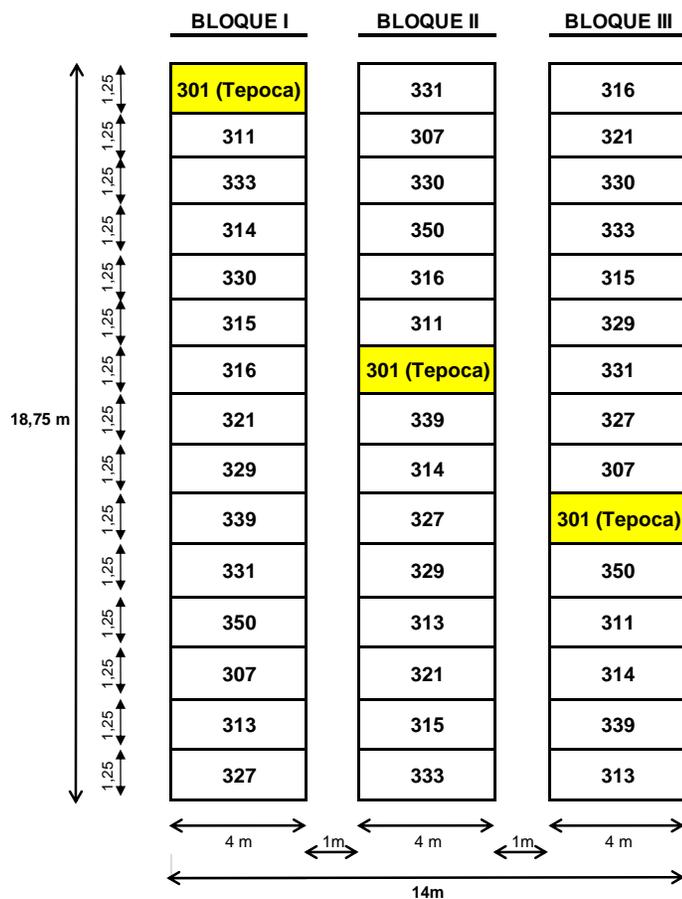
- Robles, R. 1994. Producción de granos y forrajes. Ed. UTEHA, 5ta. ed. D. F., Mexico. p. 207-226.
- Rodríguez, G., Silva R., Cásares R., y Díaz, A. 2006. Aplicación del análisis de sendero a la época del incremento poblacional de *Opsiphanes cassina Felder (Lepidoptera: Nymphalidae)*, en palma aceitera. Instituto Nacional de Investigaciones Agrícolas. Centro de Investigaciones Agrícolas. Facultad de Agronomía. Monagas, Venezuela.
- Roehrig, S. 1996. Probabilistic inference and path analysis. Decision Support Systems. Austin, Texas. p. 55-66.
- Ruiz, C.J., Medina, G.G., González, A.I., Flores, L.H., Ramírez, O.G., Ortiz, T.C., Byerly, M.K. y Martínez, P. R. 2013. Requerimientos agroecológicos de cultivos. Segunda Edición. Libro Técnico Núm. 3. INIFAP. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales Agrícolas y Pecuarias-CIRPAC-Campo Experimental Centro Altos de Jalisco. Tepatitlán de Morelos, Jalisco, México. 564 p.
- SAGARPA (Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación). 2005. El cultivo del trigo. México, D.F. 16 p.
- Sánchez, J. 2008. Análisis ecofisiológico y molecular del impacto de la mejora genética del trigo duro en ambiente mediterráneo sobre la formación del rendimiento y la acumulación de aminoácidos y proteínas. Memoria de Tesis Doctoral. Para optar el grado de Doctor. 278 p.
- Santesmases, M. 1997. Diseño y análisis de encuestas en investigación social y de mercados. Piramide. Madrid, España. 333 p.
- SENAMHI (Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología). 2014. Informe climático de los últimos 10 años a nivel nacional digitalizado. 10 p.
- Silva, P., Matus, I., Madariaga, R. y Acevedo, E. 2011. Criterios Técnicos para el manejo de Trigo CANDEAL. Universidad de Chile. Registro de Propiedad Intelectual N° 206.764 ISBN: 978-956-19-0749-2. Primera edición, 500 ejemplares.

- Torrigo, E. 2010. Estudio socio productivo en las Sub Centrales que se dedican a la producción de trigo del municipio de Totora. Trabajo dirigido-UMSS. Cochabamba, Bolivia. 75 p.
- Totora 2007-2011. Plan de Desarrollo Municipal (PDM). Asociación de Municipios de Cochabamba (AMDECO). 82 p.
- Valencia, R. 2010. Respuesta diferencial de variedades de soya a la asociación simbiótica con cepas de *Bradyrhizobium japonicum*, en oxisoles de la Orinoquia Colombiana. Tesis Ph.D.-Universidad Nacional De Colombia.
- Valenzuela A., Martínez A., Medina A. 1995. Producción de semilla de trigo en el valle de Mexicali y San Luis R.C., SON. INIFAP, CEMEXI, CIR-NOROESTE 31 p.
- Varela, M. 1998. Matemática aplicada. Análisis multivariado de datos. Aplicado a las Ciencias Agrícolas. p. 7-8.
- Vázquez D. 2009. Aptitud Industrial De Trigo. INIA. Serie Técnica N° 177. Impreso en Editorial Hemisferio Sur S.R.L. Montevideo, Uruguay. p 54.
- Vázquez, D. 2006. Determinantes de la Calidad, Parámetros y su Importancia a Nivel Industrial. INIA La Estanzuela. Jornada de Cultivos de Invierno "Trigo: Calidad vs. Rendimiento". Serie Actividades de Difusión N°444.
- Vázquez, M. 2013. Evaluación agroindustrial de tres variedades pre comerciales de trigo. Instituto Tecnológico Superior del Occidente del Estado de Hidalgo (ITSOEH), México. 16 p.
- Verges, R., Vázquez, D. y Ibáñez, W. 2006. Trigos INIA. ¿Se puede reunir buena calidad y alto rendimiento en un mismo cultivar. Serie de Actividades de Difusión INIA. p. 4-7.
- Villar, L. 2014. Agricultura II. Ministerio de Agricultura y Ganadería. Dirección de Educación Agraria. Compilación. p. 157-162. Consultado enero 2014. Disponible en: <https://bibliotecadeamag.wikispaces.com/file/view/Cultivo+de+Trigo.pdf>.
- Wall, P. 1998. Cuando es mejor sembrar trigo; ANAPO noticias. Volumen N° 32. Diario el Mundo. Santa Cruz, Bolivia. 10 p.

- Wright, S. 1921. Correlation and causation. *Journal of Agriculture Research*. 28 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.* p. 1111-1118.
- Yan, W., Hunt, L., Sheng, Q. y Szlavnics, Z. 2000. Cultivar evaluation and mega-environment investigation based on the GGE biplot. *Crop Science*. p. 597-605.
- Yana, E. 2012. Experimento para probar que los mayores rendimientos se deben a la mayor duración del día en trigo. Sensibilidad fotoperiódica de la fase de crecimiento de la espiga. Tesis M.Sc.-UNAM. Maestría en Mejoramiento Genético de Plantas. Lima, Perú.
- 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-UMSS. Cochabamba, Bolivia. 99 p.

8. ANEXOS

Anexo 1. Croquis de la parcela experimental de 14 líneas avanzadas de trigo y un testigo, establecido en tres localidades (Cruce Incallajta, Uyacti Punta y Yuraj Molino).



Anexo 2. Fotografía, surcadora manual de cinco dientes espaciadas a 0,25 metros.



Anexo 3. Análisis de varianza de efectos simples para la interacción localidad por línea, para la variable número de espigas por metro cuadrado (NEM) evaluado en tres localidades de Cochabamba.

LOCALIDADES	GL	SC	CM	P
Cruce Incallajta	14	24978	1784,14	0,224 ^{ns}
Yuraj Molino	14	50906	3636,16	0,003*
Uyacti Punta	14	20546	1467,56	0,397 ^{ns}

Anexo 4. Análisis de varianza de efectos simples en la interacción localidad por línea, para la variable número de espigas por metro cuadrado (NEM) evaluado en 14 líneas avanzadas y un testigo.

LÍNEAS	GL	SC	CM	P
301 (Tepoca T-89)	2	20131	10065	0,001*
307	2	17888	8944	0,002*
311	2	26955	13477	0,001*
313	2	21722	10861	0,001*
314	2	3787,6	1893,8	0,257 ^{ns}
315	2	22926	11463	0,001*
316	2	12971	6485,4	0,011*
321	2	13710	6855,1	0,009*
327	2	10585	5292,4	0,025 ^{ns}
329	2	7050,7	3525,3	0,082 ^{ns}
330	2	27950	13975	0,001*
331	2	40883	20441	0,001*
333	2	16481	8240,4	0,004*
339	2	44356	22178	0,001*
350	2	48366	24183	0,001*
Error	90	123638,7	1373,8	

Anexo 5. Análisis de varianza de efectos simples para la interacción localidad por línea, para la variable longitud de espigas (LE) evaluado en tres localidades de Cochabamba.

LOCALIDADES	GL	SC	CM	P
Cruce Incallajta	14	24,38	1,74	0,004*
Yuraj Molino	14	15,24	1,09	0,097 ^{ns}
Uyacti Punta	14	33,30	2,38	0,000*

Anexo 6. Análisis de varianza de efectos simples para la interacción localidad por línea, para la variable longitud de espiga (LE) evaluado en 14 líneas avanzadas y un testigo.

LÍNEAS	GL	SC	CM	P
301 (Tepoca T-89)	2	9,71	4,85	0,001*
307	2	3,84	1,92	0,066 ^{ns}
311	2	0,38	0,19	0,761 ^{ns}
313	2	0,04	0,02	0,974 ^{ns}
314	2	0,34	0,17	0,783 ^{ns}
315	2	1,82	0,91	0,271 ^{ns}
316	2	11,06	5,53	0,001*
321	2	3,51	1,75	0,083 ^{ns}
327	2	0,33	0,16	0,788 ^{ns}
329	2	0,13	0,06	0,912 ^{ns}
330	2	12,45	6,22	0,001*
331	2	0,01	0,00	0,994 ^{ns}
333	2	0,60	0,30	0,648 ^{ns}
339	2	3,85	1,92	0,06 ^{ns}
350	2	1,58	0,79	0,321 ^{ns}
Error	90	61,58	0,68	

Anexo 7. Análisis de varianza de efectos simples para la interacción localidad por línea, para la variable rendimiento (RDTO) evaluado en tres localidades de Cochabamba.

LOCALIDADES	GL	SC	CM	P
Cruce Incallajta	14	17619801	1258557	<.0001*
Yuraj Molino	14	3556156	254011	0.5188*
Uyacti Punta	14	7094114	506722	0.0393*

Anexo 8. Análisis de varianza de efectos simples para la interacción localidad por línea, para la variable rendimiento (RDTO) evaluado en 14 líneas avanzadas y un testigo.

LÍNEAS	GL	SC	CM	P
301 (Tepoca T-89)	2	19233475	9616737	0,001*
307	2	6823411	3411705	0,001*
311	2	19841694	9920847	0,001*
313	2	14424174	7212087	0,001*
314	2	20035004	10017502	0,001*
315	2	8379858	4189929	0,001*
316	2	17110301	8555150	0,001*
321	2	4083868	2041934	0,009*
327	2	11727217	5863608	0,001*
329	2	16390978	8195489	0,001*
330	2	10340480	5170240	0,001*
331	2	18749111	9374555	0,001*
333	2	17669948	8834974	0,001*
339	2	19541780	9770890	0,001*
350	2	28246586	14123293	0,001*
Error	90	2428458,7	269828,7	

Anexo 9. Tabla de contingencia en porcentaje para tipo de grano versus roya evaluado en tres localidades la gestión agrícola 2013-2014

CRUCE INCALLAJTA									
Roya	Tipo de grano					Total	X²	GL	Sig.
	Muy Chupado	Chupado	Casi Lleno	Lleno	Muy Lleno				
Muy susceptible	0,0	0,0	0,7	2,6	1,8	5,0			
Susceptible	0,0	0,0	1,6	6,1	4,3	12,0			
Moderadamente tolerante	0,0	0,0	0,9	3,6	2,5	7,0			
Tolerante	0,0	0,0	0,5	2,0	1,4	4,0			
Muy tolerante	0,0	0,0	2,3	8,7	6,0	17,0			
Total	0,0	0,0	6,0	23,0	16,0	45,0	9,34	8	0,314

UYACTI PUNTA									
Roya	Tipo de grano					Total	X²	GL	Sig.
	Muy Chupado	Chupado	Casi Lleno	Lleno	Muy Lleno				
Muy susceptible	0,0	0,0	2,3	3,6	0,1	6,0			
Susceptible	0,0	0,0	3,8	6,0	0,2	10,0			
Moderadamente tolerante	0,0	0,0	5,3	8,4	0,3	14,0			
Tolerante	0,0	0,0	5,7	9,0	0,3	15,0			
Muy tolerante	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0			
Total	0,0	0,0	17,0	27,0	1,0	45,0	3,4	6	0,758

YURAJ MOLINO									
Roya	Tipo de grano					Total	X²	GL	Sig.
	Muy Chupado	Chupado	Casi Lleno	Lleno	Muy Lleno				
Muy susceptible	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0			
Susceptible	0,7	5,3	8,0	1,0	0,0	15,0			
Moderadamente tolerante	0,1	1,1	1,6	0,2	0,0	3,0			
Tolerante	1,2	9,6	14,4	1,8	0,0	27,0			
Muy tolerante	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0			
Total	2,0	16,0	24,0	3,0	0,0	45,0	5,54	6	0,476

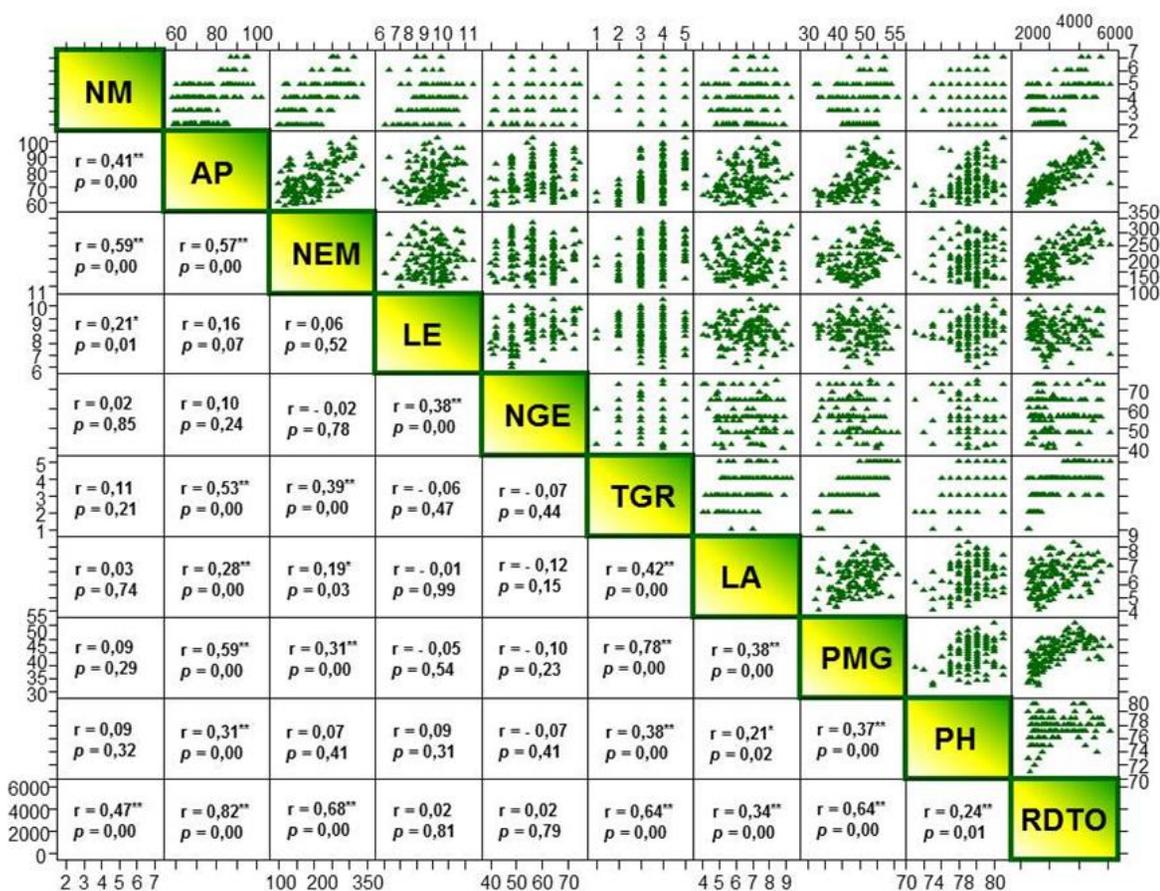
Anexo 10. Tabla de contingencia en porcentaje para densidad de espiga versus tipo de grano, evaluado en tres localidades la gestión agrícola 2013-2014.

CRUCE INCALLAJTA									
Densidad de espiga	Tipo de grano					Total	X²	GL	Sig.
	Muy Chupado	Chupado	Casi Lleno	Lleno	Muy Lleno				
Muy Laxa	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0			
Laxa	0,0	0,0	1,5	5,6	3,9	11,0			
Moderadamente Compacta	0,0	0,0	4,5	17,4	12,1	34,0			
Compacta	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0			
Muy Compacta	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0			
Total	0,0	0,0	6,0	23,0	16,0	45,0	3,35	2	0,187

UYACTI PUNTA									
Densidad de espiga	Tipo de grano					Total	X²	GL	Sig.
	Muy Chupado	Chupado	Casi Lleno	Lleno	Muy Lleno				
Muy Laxa	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0			
Laxa	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0			
Moderadamente Compacta	0,0	0,0	7,9	12,6	0,5	21,0			
Compacta	0,0	0,0	7,9	12,6	0,5	21,0			
Muy Compacta	0,0	0,0	1,1	1,8	0,1	3,0			
Total	0,0	0,0	17,0	27,0	1,0	45,0	2,96	4	0,565

YURAJ MOLINO									
Densidad de espiga	Tipo de grano					Total	X²	GL	Sig.
	Muy Chupado	Chupado	Casi Lleno	Lleno	Muy Lleno				
Muy Laxa	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0			
Laxa	0,2	1,8	2,7	0,3	0,0	5,0			
Moderadamente Compacta	1,2	9,6	14,4	1,8	0,0	27,0			
Compacta	0,6	4,6	6,9	0,9	0,0	13,0			
Muy Compacta	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0			
Total	2,0	16,0	24,0	3,0	0,0	45,0	6,335	6	0,387

Anexo 11. Matriz de coeficiente de correlación de Pearson (r) de diez variables, evaluadas en 15 líneas avanzadas de trigo y en tres localidades del departamento de Cochabamba la gestión agrícola 2013-2014.



Anexo 12. Matriz de coeficiente de correlación de Pearson (r) para variables de calidad física del grano.

Variables	DZ	PUG	DMT	TGR	PMG	PH
Dureza	1					
Peso de un grano	$r = -0,52^{**}$ $p = 0,18$	1				
Diámetro	$r = -0,27^*$ $p = 0,52$	$r = 0,89^{**}$ $p = 0,00$	1			
Tipo de grano	$r = 0,03$ $p = 0,94$	$r = 0,20$ $p = 0,63$	$r = 0,30^*$ $p = 0,46$	1		
Peso de 1000 granos	$r = 0,62^{**}$ $p = 0,11$	$r = 0,00$ $p = 0,99$	$r = 0,11$ $p = 0,80$	$r = 0,52^{**}$ $p = 0,18$	1	
Peso hectolítrico	$r = 0,45^*$ $p = 0,26$	$r = -0,47^*$ $p = 0,24$	$r = -0,28$ $p = 0,50$	$r = 0,27^*$ $p = 0,52$	$r = 0,38^*$ $p = 0,35$	1

(**) Significativo al nivel de (0.01) y (*) Significativo al nivel (0.05).

Anexo 13. Tabla del resumen de cargas de los primeros cuatro componentes principales evaluado en 14 líneas y un testigo en tres localidades de Cochabamba la gestión agrícola 2013-2014.

Variables		Componentes Principales			
		Comp. 1	Comp. 2	Comp. 3	Comp. 4
Numero de macollos	(NM)				
Altura de planta	(AP)	0,136			
Roya	(RY)	-0,369	-0,143	0,474	0,491
Número de espigas/m ²	(NEM)	-0,132			-0,200
Longitud de espiga	(LE)	0,560		-0,294	0,421
Densidad de espiga	(DES)	0,275	0,253	0,558	0,275
Número de granos/espiga	(NGE)	0,464	0,305		
Tipo de grano	(TGR)		-0,228		
Tamaño de grano	(TG)	-0,154	-0,181	-0,304	0,206
Longitud de arista	(LA)	0,298	-0,786		
Peso de 1000 granos	(PMG)		-0,121	-0,160	0,582
Peso hectolítrico	(PH)	0,281	-0,289	0,469	-0,241
Rendimiento	(RDTO)	0,169	0,123		
Desviación estándar		0,75	0,68	0,62	0,53
Varianza Explicada en %		26	22	18	13
Varianza total acumulada en %		26	48	65	79