

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



TESIS DE GRADO

**COMPORTAMIENTO AGRONÓMICO DE CATORCE GENOTIPOS
DE TRIGO HARINERO (*Triticum aestivum* L.) CON TRES
DENSIDADES DE SIEMBRA EN LA ESTACION EXPERIMENTAL
DE KALLUTACA**

Por:

Adalid Tapia Quispe

EL ALTO – BOLIVIA

Noviembre, 2017

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

**COMPORTAMIENTO AGRONÓMICO DE CATORCE GENOTIPOS DE TRIGO
HARINERO (*Triticum aestivum* L.) CON TRES DENSIDADES DE SIEMBRA EN LA
ESTACION EXPERIMENTAL DE KALLUTACA.**

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

Adalid Tapia Quispe

Asesores:

Ph. D. Félix Marza Mamani

.....

Ph. D. Francisco Mamani Pati

.....

Tribunal Revisor:

Ing. Wilfredo German Lizarro Flores

.....

Ing. Ramiro Raúl Ochoa Torrez

.....

Ing. Ciro Raúl Quiape Callocosi

.....

Aprobada

Presidente Tribunal Examinador

.....



DEDICATORIA:

A mis estimados padres: Félix Tapia y Ruperta Quispe de Tapia; quienes con gran esfuerzo y mucho cariño, me inculcaron valores para poder llegar a alcanzar mis metas propuestas.

A mis hermanas: Reyna Raquel Tapia Quispe y Jimena Tapia Quispe..

A mis queridas tías: Felisa Quispe Choque y Remigia Quispe Choque, mi eterna gratitud por todos los consejos y su apoyo, que me dieron, para mi formación en la vida.

AGRADECIMIENTOS

Agradecer a Dios por darme la vida, una linda familia además de estar ahí, en la formación en esta etapa de mi vida.

A mis padres que no escatimaron esfuerzos, en las diferentes etapas de mi formación, por darme siempre su amor, comprensión y aliento.

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

Agradezco a la carrera de Ingeniería Agronómica, por darme la oportunidad de alcanzar el grado de Ingeniero Agrónomo, al plantel docente que formaron parte de mi formación académica y a todo el personal administrativo quienes de alguna manera colaboraron para alcanzar esta meta.

Al Dr. Félix Marza Mamani, Coordinador del Programa Nacional de Trigo (PN-Trigo) del INIAF, por sus valiosos consejos, sugerencias, asesoramiento en el presente trabajo de tesis.

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

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

A los estudiantes de la carrera de Ingeniería Agronómica, en especial a los estudiantes de la materia de Dibujo Técnico y Topografía, por su gran apoyo en la evaluación de la investigación.

CONTENIDO

ÍNDICE DE TEMAS.....	i
ÍNDICE DE CUADROS	v
ÍNDICE DE FIGURAS	vi
ÍNDICE DE ANEXOS	ix
ABREVIATURAS	x
RESUMEN	xi
ABSTRACT	xii

ÍNDICE DE TEMAS

1. INTRODUCCIÓN.....	1
1.1. Antecedentes.....	2
1.2. Planteamiento del problema	2
1.3. Justificación	3
1.4. Objetivos.....	3
1.4.1. Objetivo general.....	3
1.4.2. Objetivos específicos	3
1.5. Hipótesis.....	3
2. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA.....	4
2.1. Generalidades	4
2.1.1. Origen geográfico del trigo	4
2.1.2. Taxonomía del cultivo de trigo.....	5
2.1.3. Descripción morfológica	5
2.1.4. Ciclo vegetativo y etapas fenológicas del trigo	7
2.1.4.1. Fase vegetativa:.....	7
2.1.4.2. Fase reproductiva:.....	8

2.1.4.3.	Fase de llenado de grano:.....	8
2.1.5.	Plagas y enfermedades del cultivo de trigo	10
2.1.5.1.	Plagas	10
2.1.5.2.	Enfermedades.....	10
2.1.6.	Requerimientos climáticos	10
2.1.7.	Requerimientos edafológicos	11
2.1.8.	Densidad de siembra	11
2.1.9.	Genotipo	11
2.2.	El cultivo de trigo en Bolivia	11
2.2.1.	Situación del trigo en Bolivia	12
2.2.2.	Programas de mejoramiento de trigo en Bolivia	12
2.2.3.	Utilización de los viveros HPYT, SAWYT, IDYN y SAWSN en Bolivia	13
2.2.4.	Desarrollo de variedades del PN-Trigo.....	14
3.	MATERIALES Y MÉTODOS	15
3.1.	Localización	15
3.1.1.	Ubicación Geográfica	15
3.1.2.	Características Edafoclimáticas	16
3.2.	Materiales	16
3.2.1.	Material genético en estudio.....	16
3.2.2.	Material de gabinete.....	18
3.2.3.	Material de campo.....	18
3.2.4.	Materiales de laboratorio.....	18
3.3.	Metodología	19
3.3.1.	Etapa de instalación del experimento.....	19
a)	Preparado del terreno	19
b)	Preparación de las semillas y siembra.	19

3.3.2.	Etapa de manejo del cultivo	19
a)	Labores culturales.....	19
b)	Cosecha, trillado y venteado	19
3.3.3.	Etapa de evaluación de la investigación.....	20
3.3.4.	Variables Agronómicas	20
3.3.4.1.	Días a floración (DF)	20
3.3.4.2.	Emergencia de la plántula (EP).....	20
3.3.4.3.	Porte de planta (PP).....	20
3.3.4.4.	Altura de planta (AP)	21
3.3.4.5.	Tipo de grano (TGR)	21
3.3.4.6.	Precocidad (P)	22
3.3.5.	Variables Morfológicas.....	22
3.3.5.1.	Longitud de Arista (LA).....	22
3.3.5.2.	Densidad de Espiga (DES).....	22
3.3.5.3.	Longitud de Espiga (LE).....	22
3.3.5.4.	Tamaño de grano (TG).....	22
3.3.6.	Variables componentes de rendimiento	23
3.3.6.1.	Número de macollos por planta (NM)	23
3.3.6.2.	Número de espigas por metro cuadrado (NEM)	23
3.3.6.3.	Área de la hoja bandera (AF)	23
3.3.6.4.	Peso de mil granos (PMG)	24
3.3.6.5.	Número de granos por espiga (NGE)	24
3.3.6.6.	Número de espiguillas por espiga (NEE).....	24
3.3.6.7.	Rendimiento (RDTO).....	24
3.3.7.	Variables de calidad.....	24
3.3.7.1.	Peso Hectolitrico (PH)	24

3.3.8.	Diseño experimental	26
3.3.9.	Factores a estudio.....	27
3.3.10.	Análisis estadístico.....	27
3.3.10.1.	Estadística descriptiva del ensayo	27
3.3.10.2.	Análisis de varianza (ANVA).....	27
3.3.10.3.	Prueba de rango múltiple de Duncan.....	28
3.3.10.4.	Coeficiente de correlación	28
3.3.10.5.	Coeficiente de regresión lineal múltiple	28
4.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN	29
4.1.	Condición ambiental	29
4.2.	Análisis descriptivo	30
4.3.	Análisis de varianza y prueba de promedios	32
4.3.1.	Análisis de las características agronómicas - morfológicas	32
4.3.2.	Análisis de los componentes de rendimiento y calidad.....	40
4.4.	Análisis de correlación múltiple	49
4.5.	Análisis de regresión lineal múltiple	51
5.	CONCLUSIONES.....	53
6.	RECOMENDACIONES.....	54
7.	BIBLIOGRAFÍA	55
8.	ANEXOS	60

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1. Detalle de los viveros HPYT, SAWYT, IDYN y SAWSN introducido del Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo identificado por su propósito en los respectivos años.....	13
Cuadro 2. Nombre de cruzamientos e historial de selección de los genotipos de trigo harinero, ensayadas en la Estación Experimental de Kallutaca en la gestión agrícola 2014 - 2015.....	17
Cuadro 3. Estadística descriptiva del comportamiento agronómico de 14 genotipos de trigo harinero, con tres densidades de siembra, en la campaña agrícola 2014-2015. ...	30
Cuadro 4. Análisis de varianza para las variables de características agronómicas: Días a la floración (DF) y Altura de planta (AP), Porte de planta (PP), Emergencia de plántulas (EP), Tipo de grano (TGR) y Precocidad (P) para; 14 genotipos de trigo harinero, en la Estación Experimental de Kallutaca en la campaña agrícola 2014-2015.....	32
Cuadro 5. Análisis de varianza para las variables de características morfológicas: Longitud de arista (LA) y Densidad de espiga (DES), Longitud de espiga (LE) y Tamaño de grano (TG) para; 14 genotipos de trigo harinero. en la Estación Experimental de Kallutaca en la campaña agrícola 2014-2015.	37
Cuadro 6. Análisis de varianza para las variables de los componentes de rendimiento: Número de macollos por planta (NM), Número de espigas por metro cuadrado (NEM), Área foliar (AF), Peso de mil granos (PMG), Número de granos por espiga (NGE) y Número de espiguillas por espiga (NEE) para; 14 genotipos de trigo harinero. en la Estación Experimental de Kallutaca en la campaña agrícola 2014-2015.....	40
Cuadro 7. Análisis de varianza para las variables de los componentes de rendimiento - calidad: Rendimiento (RDTO) y Peso hectolitrico (PH) para; 14 genotipos de trigo harinero. en la Estación Experimental de Kallutaca en la campaña agrícola 2014-2015.....	47
Cuadro 8. Análisis de regresión lineal múltiple en el comportamiento de 14 genotipos de trigo harinero en la Estación Experimental de Kallutaca 2014-2015.....	52

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Base genética de trigo <i>Triticum aestivum</i> L. (CGIAR, 2014).....	5
Figura 2. Desarrollo fenológico de trigo (<i>Triticum aestivum</i> L.) según la escala decimal (Zadocks <i>et al.</i> 1974)	9
Figura 3. Líneas de Investigación PN-Trigo (INIAF, 2014).....	14
Figura 4. Imagen satelital de la Estación Experimental de Kallutaca del ensayo comportamiento agronómico de 14 genotipos de trigo harinero con tres densidades de siembra (Google Earth, 2017).	15
Figura 5. Evaluación de variables agronómicas: a. días a floración b. altura de planta c. tipo de grano	21
Figura 6. Evaluación de variables morfológicas: a. Longitud de espiga, b. Densidad de espiga c. tamaño de grano.....	23
Figura 7. Evaluación del a. número de espiguillas por espiga, b. número de granos/espiga, c. peso de mil granos d y e peso hectolitrico y f rendimiento.....	25
Figura 8. Comportamiento climático de las variables: precipitación acumulada (PP.), temperaturas mínimas (T Min) y temperaturas máximas (T Max), correspondiente a la campaña agrícola 2014-2015, fuente: Estación Meteorológica de la Carrera de Ingeniería Agronómica.	29
Figura 9. Análisis comparativo de Duncan ($\alpha=0.05$) para las características agronómicas: Días a floración (DF), Altura de planta (AP) y Emergencia de plántulas (EP) para: 14 genotipos de trigo harinero. en la Estación Experimental de Kallutaca en la campaña agrícola 2014-2015.	34
Figura 10. Frecuencias porcentuales para las variables agronómicas; porte de planta y precocidad de 14 genotipos de trigo harinero en la Estación Experimental de Kallutaca 2014-2015.	36
Figura 11. Análisis comparativo de Duncan ($\alpha=0.05$) para las características morfológicas: Longitud de arista (LA) y Longitud de espiga para; 14 genotipos de trigo harinero. en la Estación Experimental de Kallutaca en la campaña agrícola 2014-2015.....	38

Figura 12. Frecuencias porcentuales de variables morfológicas: Densidad de espiga y Tamaño de grano de 14 genotipos de trigo harinero en la Estación Experimental de Kallutaca 2014-2015.	39
La densidad de espiga de los genotipos estudiados (figura 12), evidencio que el 62.6% de la población en estudio son moderadamente compactos, entre estos genotipos esta: L-122, L-337, L-415, L-427, L-447, Charcas, Urubó, L-333 y L-330; por otro lado el 27.1% de los genotipos en estudio: Tepoca, L-140y L-331 presentaron una densidad de espiga compacta y el 10.3% conformada por Roble y Anzaldo, evidencian una densidad espigas laxa.	39
Figura 13. Análisis comparativo de Duncan ($\alpha=0.05$) para los componentes de rendimiento: Número de macollos (NM), Número de espigas /m ² (NEM) y Área foliar (AF) para; 14 genotipos de trigo harinero. en la Estación Experimental de Kallutaca en la campaña agrícola 2014-2015.....	42
Figura 14. Análisis comparativo de Duncan ($\alpha=0.05$) de las densidades de siembra para el número de espigas/m ²	43
Figura 15. Análisis comparativo de Duncan ($\alpha=0.05$) para los componentes de rendimiento: Peso de mil granos (PMG), Número de granos/espiga (NGE) y Número espiguillas/espiga (NEE) para; 14 genotipos de trigo harinero, en la Estación Experimental de Kallutaca en la campaña agrícola 2014-2015.	44
Figura 16. Análisis comparativo de Duncan ($\alpha=0.05$), de las densidades de siembra para el número de granos/espiga	45
Figura 17. Análisis comparativo de Duncan ($\alpha=0.05$) de las densidades de siembra para el número de espiguillas/espiga.....	46
Figura 18. Análisis comparativo de Duncan ($\alpha=0.05$) del rendimiento (RDTO) para: 14 genotipos de trigo harinero. en la Estación Experimental de Kallutaca en la campaña agrícola 2014-2015.	48
Figura 19. Análisis comparativo de Duncan ($\alpha=0.05$) de las densidades de siembra para el rendimiento.	49
Figura 20. Matriz de dispersión y coeficiente de correlación lineal Pearson, en el comportamiento agronómico de 14 genotipos de trigo harinero en la Estación Experimental de Kallutaca 2014-2015.....	50

Figura 21. Matriz de dispersión y correlación lineal de Spearman en el comportamiento agronómico de 14 genotipos de trigo harinero en la Estación Experimental de Kallutaca 2014-2015.	51
---	----

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1.	Croquis del experimento	61
Anexo 2.	Fotografías del desarrollo de la evaluación del ensayo.	62
Anexo 3.	Cosecha de los genotipos de trigo harinero en la Estación experimental de kallutaca campaña agrícola 2014 -2015.....	63
Anexo 4.	Producción de trigo en Bolivia.....	64
Anexo 5.	Producción mundial de trigo (2015 - 2016)	65

ABREVIATURAS

ANAPO	Asociación de Productores de Oleaginosas y Trigo
CIMMYT	Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo
FAO	Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura
ha	Hectárea
IBTA	Instituto Boliviano de Tecnología agropecuaria
IDYN	International Durum Wheat YN
INIAF	Instituto Nacional de Innovación Agropecuaria y Forestal
INTA	Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria
kg	Kilogramos
msnm	Metros sobre el nivel del mar
PN TRIGO	Programa Nacional de Trigo
PROTRIGO	Programa Trigo
SAWSN	Semi-arid Wheat SN
SAWYT	Semi-Arid Wheat YT

RESUMEN

Una densidad adecuada del cultivo de trigo, para los distintos climas del mundo, desde el nivel del mar hasta los 4000 metros de altura, además de genotipos de trigo adecuados para el lugar por eso se realizó el ensayo, con la finalidad de evaluar el comportamiento agronómico del trigo (*Triticum aestivum* L) e identificar la densidad de siembra adecuada para el altiplano norte de La Paz, ubicado en la Estación Experimental de Kallutaca, se comparó tres densidades de siembra 100, 125 y 150 kg*ha⁻¹, además de 14 genotipos de trigo harinero provenientes del Programa Nacional de Trigo a través del Instituto Nacional de Innovación Agropecuaria y Forestal (INIAF), quienes pudieron introducir del Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo (CIMMYT), perteneciente al vivero 2 HPYT (Ensayo de rendimiento en Biofortificados), 20 SAWYT (Ensayo de rendimiento de trigo para zonas semiáridas), 44 IDYN (Vivero Internacional de rendimiento de trigo) y 29 SAWSN (Vivero de selección de trigo para zonas semiáridas) y variables comerciales como Anzaldo, Charcas, Roble, Tepoca quien fue el testigo de la investigación y Urubó. Los datos analizados se realizaron bajo un diseño en bloques completamente al azar con arreglo en parcelas divididas; en función a variables agronómicas, morfológicas y componentes de rendimiento. Los resultados muestran claramente que el trigo floreció en un máximo de 116 días, alcanzo 85 cm de altura (L-330), el 58.4% de la población estudiada evidencio una precocidad intermedia, 11 macollos por cada planta, 669 espigas en un metro cuadrado y en el rendimiento que se alcanzó fue desde 1111 kg*ha⁻¹ a 6059 kg*ha⁻¹ es decir 1.1 a 6.0 t*ha⁻¹ superando al testigo (Tepoca).en la comparación de densidades de siembra se identificó que la densidad base 100 kg*ha⁻¹ fue superior sobre las demás densidades de siembra este probablemente de deba a la falta de precipitación, además como muchos autores señalan que para que surja efecto una densidad superior debe realizarse con maquinaria.

ABSTRACT

An adequate density of the wheat crop, in the different climates of the world, from sea level up to 4000 meters in height, with wheat genotypes suitable for the place was carried out the test, in order to evaluate the agronomic behavior of the wheat (*Triticum aestivum* L) and to identify the appropriate seed density for the northern plateau of La Paz, located at the Experimental Station of Kallutaca, three seed densities 100, 125 and 150 kg*ha⁻¹ were studied, in addition to 14 genotypes of Flour wheat from the National Wheat Program through the National Institute of Agricultural and Forestry Innovation (INIAF), who were able to introduce from the International Center for the Improvement of Maize and Wheat (CIMMYT), belonging to the HPYT (Biofortified Performance Test) , 20 SAWYT (Wheat yield test for semi-arid zones), 44 IDYN (International Wheat yield nursery) and 29 SAWSN As well as commercial variables such as Anzaldo, Charcas, Roble, Tepoca who was the witness of the investigation and Urubó. The data analyzed were performed under a completely randomized block design according to split plots; In function of agronomic, morphological and performance components. The results clearly show that the wheat flourished in a maximum of 116 days, reached 85 cm in height (L-330), 58.4% of the population studied showed an intermediate precocity, 11 tillers per plant, 669 ears in a square meter And the yield reached was from 1111 kg*ha⁻¹ to 6059 kg*ha⁻¹ of 1.1 ton 6.0 ton*ha⁻¹ surpassing the control (Tepoca). In the comparison of seed densities, it was identified that Base density 100 kg*ha⁻¹ was higher than the other seed densities, probably due to the lack of precipitation, as many authors point out that a higher density should be performed with machinery.

1. INTRODUCCIÓN

El trigo (*Triticum aestivum* L.) junto al maíz y arroz, constituyen la base alimentaria para la dieta humana. Estos tres granos cubren el 40% de la superficie global cultivada, que es de 1.4 billones de hectáreas. El trigo es el cereal con 220 millones de ha, siendo el cultivo más sembrado y con amplia distribución a nivel mundial, debido al importante contenido nutricional en; fuentes de hidratos de carbono, proteínas y lípidos, además de aportar fibra, vitaminas y sales minerales; consolidándose en el cereal primordial dentro de la dieta alimentaria de la población mundial (FAO-STAT, 2009). El trigo constituye el cereal más importante de Bolivia por lo que su consumo en el tiempo es ascendente. La distribución geográfica del cultivo, es desde pequeñas superficies en el altiplano (La Paz, Oruro y Potosí) y valles (Chuquisaca, Cochabamba y Tarija) hasta los extensos territorios del área tropical (Santa Cruz); donde las superficies de siembra es de 210 mil hectáreas. Generando, rendimientos a nivel nacional que fluctúan entre 0.9 a 1.4 t*ha⁻¹, con mejores índices en el oriente (INIAF, 2015).

A pesar de la distribución geográfica del cultivo de trigo, la rentabilidad del cultivo de trigo está influenciada por diferentes factores entre ellos la densidad y el método de siembra que los costos de producción se pueden reducir hasta un 25% con la tecnología de siembra en surcos, por los ahorros en la cantidad de semilla para la siembra y del fertilizante (Aquino, 1998). La densidad de siembra, es una variable que no siempre es tomada por los productores trigueros. Sin embargo existen evidencias técnicas que cada variedad se le debe brindar una densidad acorde a sus características (INTA, 2015).

La población óptima de plantas de trigo por hectárea es proporcional al rendimiento, por lo que cuando se espera mayor rendimiento de grano la densidad de siembra debe aumentarse (Anderson e Impiglia, 2002). El trigo en Bolivia en todas sus formas constituye parte de la dieta alimentaria nacional, este grano contiene un alto porcentaje de proteínas y carbohidratos, es un complemento magnifico para el organismo y tiende a consolidarse como un cereal central dentro de la canasta familiar. La importancia del trigo radica en su contribución a la alimentación, lo que garantiza la persistencia de su producción, por tanto debe priorizarse el autoconsumo sobre su demanda de mercado (Cauthin, 2012).

1.1. Antecedentes

La evaluación del comportamiento agronómico de genotipos de trigo, con diferentes densidades de siembra se lo realizó en el año 2014, en Villa del Rosario Argentina como parte de las investigaciones de la Universidad Nacional de Córdoba (UNC), en ahí se realizó la investigación titulada: “Respuesta agronómica en trigo a diferentes densidades de siembra en lotes con ondulaciones”, como el cultivo de trigo conducido en secano es difícil establecer se tomaron en cuenta estrictas medidas, en cuanto a la densidad de siembra, debido a la alta variabilidad anual en las precipitaciones del lugar. Entonces el objetivo de del ensayo fue determinar el efecto de la densidad de siembra sobre el comportamiento agronómico en un cultivo de trigo conducido en secano en campo de productores con ondulaciones. El ensayo, se llevó a cabo en un campo cercano a la ciudad de Villa del Rosario ($31^{\circ}35'59.91''$ S y $63^{\circ}29'42.48''$ O). Se trabajó con macro-parcelas de 17,5 m de ancho y 400 m de largo. Los tratamientos a probar fueron distintas densidades de siembra: 180, 300, 430 semillas por metro cuadrado (sub-parcelas). Se dispuso de dos repeticiones por tratamiento. El lote fue subdividido en dos sectores según su relieve, loma y bajo (parcelas principales). El rendimiento en grano expresado en kg/ha se estimó a partir de la cosecha mecánica y posterior pesado por báscula, como así también en base a dos muestras de cinco metros lineales dentro de cada densidad de siembra y ubicación dentro del lote (loma y bajo). Se constató una interacción significativa entre la densidad de siembra y el relieve del lote. Doscientas semillas por metro cuadrado, aproximadamente 60 kg de semilla por hectárea, garantizan un número de plantas a cosecha en condiciones de compensar mediante el macollaje y la fertilidad de las espigas una merma en el número de individuos por unidad de superficie (Gasparotto, 2014).

1.2. Planteamiento del problema

A pesar de los ligeros incrementos en la productividad del cultivo trigo a nivel nacional, el cultivar trigo sigue siendo un reto, puesto que la baja fertilidad de los suelos, el comportamiento climático adverso y además la falta de aplicación de una densidad adecuada por parte de los productores limita al cultivo, todo esto genera que el ciclo vegetativo sea más largo, bajos rendimientos, susceptibilidad a enfermedades y granos de baja calidad; creando incertidumbre en el productor; pero el cultivo de trigo, puede y debe mejorarse en su rendimiento y su producción.

1.3. Justificación

La presente investigación (comportamiento agronómico de catorce genotipos de trigo harinero con tres densidades de siembra en la Estación Experimental de Kallutaca), es parte de la red nacional de ensayos conducidos por el Instituto Nacional de Innovación Agropecuaria y Forestal (INIAF) a través del Programa Nacional de Trigo (PN-Trigo), se estableció para cumplir con los objetivos del PN-Trigo de generar variedades con un comportamiento agronómico estable y una densidad de siembra adecuada y generar una mejor calidad de vida a los productores del cereal.

1.4. Objetivos

1.4.1. Objetivo general

- Evaluar el comportamiento agronómico de catorce genotipos de trigo harinero (*Triticum aestivum* L.) con tres densidades de siembra en la Estación Experimental de Kallutaca.

1.4.2. Objetivos específicos

- Evaluar el comportamiento agronómico de catorce genotipos de trigo harinero.
- Comparar el comportamiento agronómico de los genotipos de trigo harinero, con las tres densidades de siembra.

1.5. Hipótesis

- No se encontraron evidencias de diferencias en el comportamiento agronómico de los catorce genotipos de trigo harinero y las tres densidades de siembra. .

2. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

2.1. Generalidades

2.1.1. Origen geográfico del trigo

Muchas especies de trigo silvestres, se pudieron hallar en: Sicilia, Grecia, Egipto, India y China. Se cree que fue cultivado primero en Egipto, en las orillas del Nilo (Villar, 2005). Por tanto el origen del trigo cultivado se encuentra en la región asiática de Mesopotamia comprendida entre los valles de los ríos Tigris y Éufrates, habiendo numerosas gramíneas silvestres comprendidas en este área que están emparentadas con el trigo. Desde Oriente Medio, el cultivo del trigo se difundió en todas las direcciones. Las primeras formas de trigo recolectadas por el hombre hace más de doce mil años eran del tipo *Triticum monococcum* y *T. dicoccum*, caracterizadas fundamentalmente por tener espigas frágiles que se disgregan al madurar (INFOAGRO, 2016).

El trigo (*Triticum spp.*), es uno de los primeros cultivos domesticados y durante 10.000 años ha sido la base alimenticia de los habitantes de Europa, del oeste de Asia y del norte de África. Actualmente, hay descritas seis especies de trigo: dos diploides ($2n=2x=14$), dos tetraploides ($2n=4x=28$) y dos hexaploides ($2n=6x=42$) con un genoma de 16.72×10^9 bp, pero el trigo que se cultiva en el mundo pertenece casi en su totalidad a dos subespecies: *Triticum turgidum* L. (Thel). Ssp. *Durum* (Desf.) Husn. ($2n=4x=28$; AABB) conocido como trigo duro y *Triticum aestivum* L. ssp. *Aestivum* ($2n=6x=42$; AABBDD) conocido como trigo común o harinero (véase figura 1). Ambos, así como los demás trigos tetraploides y hexaploides, son alopoliploides, es decir, se han producido por hibridación interespecífica y posterior duplicación cromosómica del híbrido. Hoy en día el trigo harinero se cultiva en prácticamente todo el mundo, desde los límites del Ártico hasta las proximidades del Ecuador y desde el nivel del mar hasta los 3.000 m de altitud que se alcanzan en Kenia o los 4,570 m en el Tibet. A diferencia del trigo harinero, el trigo duro es un cultivo de gran importancia en el área Mediterránea, donde se sitúan más de las hectáreas dedicadas a este cereal en el mundo (INIAF, 2014).

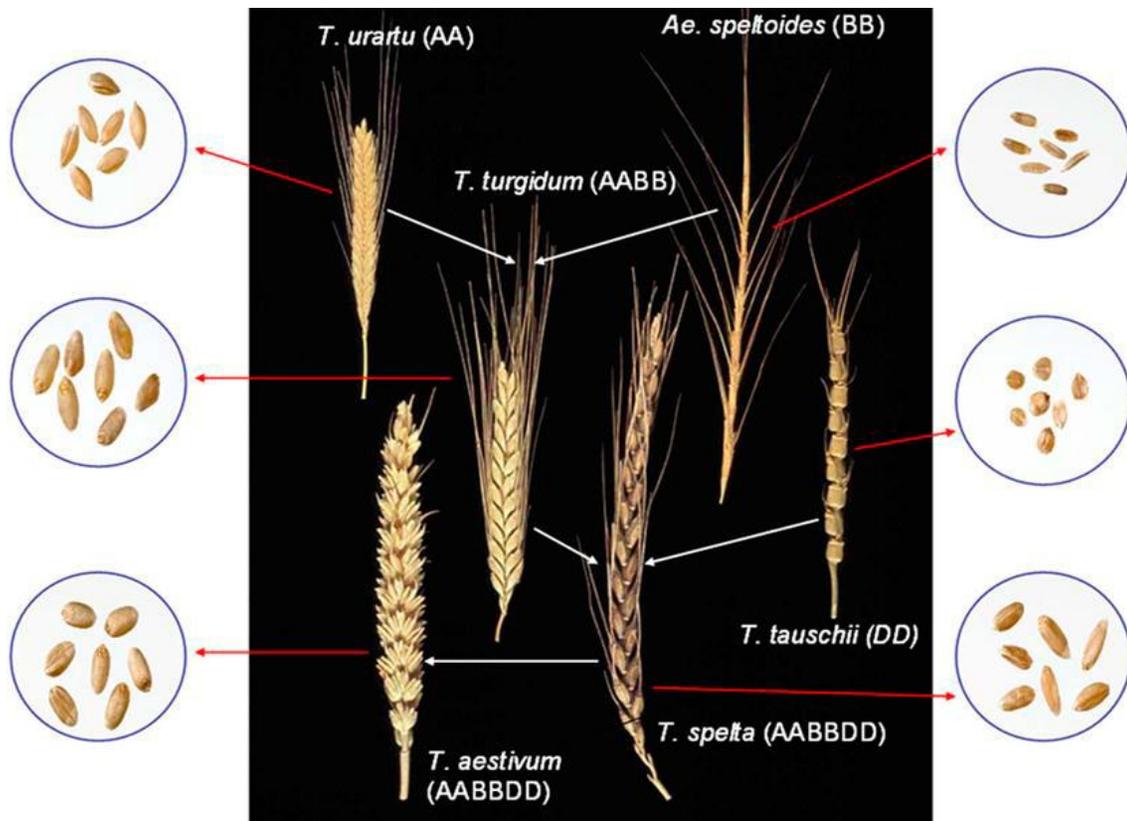


Figura 1. Base genética de trigo *Triticum aestivum* L. (CGIAR, 2014)

2.1.2. Taxonomía del cultivo de trigo

Según Villar (2005), la clasificación botánica es la siguiente:

Orden: Poales

Familia: Poaceae

Género: *Triticum*

Especie: *aestivum*

Nombre científico: *Triticum aestivum*

2.1.3. Descripción morfológica

- **Raíz:** suelen alcanzar más de un metro, situándose la mayoría de ellas en los primeros 25 cm. de suelo. El crecimiento de las raíces comienza en el periodo de ahijado, estando todas ellas poco ramificadas. El desarrollo de las raíces se considera completo al final del "encañado". En condiciones de secano la densidad de las raíces entre los 30-60 cm.

de profundidad es mayor, aunque en regadío el crecimiento de las raíces es mayor como corresponde a un mayor desarrollo de las plantas (INFOAGRO, 2016).

- **Tallo:** es hueco (caña), con 6 nudos, cilíndrico, delgado, y flexible como en todas las demás gramíneas. El color es amarillo blanquecino y lustroso en la madurez, llega a crecer hasta 1 m. de altura. Entonces su altura y solidez determinan la resistencia al encamado (INFOAGRO, 2016). Por otro lado existe, un tallo principal y varias secundarias llamadas macollos, la estructura es la misma. El tallo principal nace del embrión, mientras que los macollos nacen a partir de los nudos basales del tallo principal o de otros macollos (Soldano, 1985).
- **Hojas:** Según Robles (1990); la hoja es lanceolada, presentan de 4 a 6 (hojas) en cada tallo, cada hoja está formada por dos partes principales que son la vaina y la lámina, además de dos estructuras accesorias, la lígula y las aurículas. La vaina se desarrolla como un tubo hacia arriba en forma vertical y envuelve el entrenudo superior, en el punto de transición entre la vaina y la lámina, una prolongación de la epidermis de la vaina se transforma en lígula. Ambos lados de la lígula se ven apéndices llamados aurículas. La lígula de la longitud media, mientras que las auriculares son despuntadas y presentan pubescencias (Soldano, 1985).
- **Inflorescencia:** es una espiga compuesta de un tallo central de entrenudos cortos, llamado raquis, en cada uno de cuyos nudos se asienta una espiguilla, protegida por dos brácteas más o menos coriáceas o glumas, a ambos lados. Cada espiguilla presenta nueve flores, de las cuales aborta la mayor parte, quedando dos, tres, cuatro y a veces hasta seis flores (INFOAGRO, 2016). Los granos quedan insertos en la lema (algunas variedades presentan una prolongación denominada barba o arista) y la palea o envoltura interior del grano. La primera y segunda flor está cubierta exteriormente por las glumas (Soldano, 1985).
- **Flor:** La flor es hermafrodita, presenta dos estilos que llevan unos estigmas plumosas a las que les rodean tres estambres. Todo el conjunto floral está encerrado en una casilla floral llamada antecio formada por dos brácteas llamadas glumelas; de las dos glumelas la inferior recibe el nombre de lema y la superior de palea, esta última es por lo general más corto que la lema (Soldano, 1985).

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

2.1.4. Ciclo vegetativo y etapas fenológicas del trigo

Según Martin (2003) el ciclo del cultivo de trigo se puede dividir en tres grandes fases:

2.1.4.1. Fase vegetativa:

En los períodos Siembra y Emergencia, además de la diferenciación de nuevos primordios foliares, se produce el crecimiento de los 2 órganos encargados de la emergencia de la plántula: epicotile y coleóptile. Estos crecen hasta que el segundo alcanza la superficie del suelo y percibe la luz. Desde la aparición de la 1ª hoja a través del coleóptile, las restantes aparecen a intervalos (filocrono) regulares de aproximadamente 100°C (TT, para una T⁰ base de 0°C). La longitud de la vaina aumenta con el número de hoja correspondiente, llevando cada hoja a una posición progresivamente superior. El período de aparición de hojas (todo el ciclo pre-antesis, que va desde emergencia hasta hoja bandera), está caracterizado por 3 etapas diferentes:

- 1ª Etapa o Pre-macollaje, dura entre la emergencia y la aparición de la 4ª hoja desplegada; cada hoja emerge de un “falso tallo” formado por las vainas de las hojas ya aparecidas.
- 2ª Etapa o Macollaje, se caracteriza por la aparición de macollos o vástagos desde el interior de las vainas de las hojas, existiendo un alto grado de sincronía entre la aparición de las hojas y de los macollos. La producción de macollos se prolonga por un tiempo largo, dependiendo de la disponibilidad de recursos y la densidad del cultivo. Con la aparición de la 4ª hoja aparece el primer macollo y con la aparición de la 5ª hoja, el segundo macollo y así sucesivamente. Si la disponibilidad de recursos fuera ilimitada, el número de macollos crecería indefinidamente. Sin embargo el Macollaje dura entre 30 y 40 días y su final coincide con el inicio de la encañazón (elongación de tallos), porque este proceso consume recursos que ahora se vuelven limitantes para la formación de nuevos macollos. Durante esta etapa, muchos macollos (los últimos

formados), mueren por no poder completar su desarrollo, produciendo una caída continua en el número total de macollos del cultivo en función del tiempo.

- 3ª Etapa o Encañazón, se caracteriza por la elongación de los entrenudos de los tallos, dando origen al “tallo verdadero” de la planta. Esta etapa finaliza cuando los tallos completan su alargamiento, con el inicio de la Floración.

2.1.4.2. Fase reproductiva:

El último entrenudo en alongarse en cada tallo es el “pedúnculo”, encargado de producir la emergencia de la espiga. El proceso de encañazón modifica el porte de la planta, tornándola erecta. El despliegue de la lámina de la hoja bandera coincide con el estado de vaina engrosada (donde la espiga está encerrada en la vaina de la hoja bandera) y con la formación de los granos de polen. En este estadio, la planta es muy sensible a estrés hídrico, heladas y altas temperaturas. En este momento también se incrementan las necesidades de N y P. La última parte de la Encañazón transcurre desde la aparición de la hoja bandera a la Floración, durante la cual se da la emergencia de la espiga (Espigazón). El final del período de Encañazón coincide con la definición del número de espigas del cultivo. A los pocos días de la emergencia de la espiga se produce la autofecundación (cleistogamia) y luego aparecen las anteras (la Floración se identifica con la Antesis o emergencia de los estambres fuera de las espiguillas después de la fecundación) y comienza la formación de las cubiertas del grano. El período Espigazón – Antesis es crítico para la ocurrencia de una helada y es generalmente en función de ello que se definen las fechas de siembra del cultivo.

2.1.4.3. Fase de llenado de grano:

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

tiene diferentes estados: El estado grano lechoso es cuando al presionar el grano se observa un líquido blanquecino pero las envolturas están formadas y el tamaño potencial del mismo, determinado. El estado de grano pastoso es cuando este comienza a perder su tonalidad verdosa, se amarillea y adquiere consistencia pastosa o granulosa en su endospermo. El estado de grano duro es cuando presionado el grano fuertemente con una uña, no se rompe pero se marca.

El estado de grano maduro es cuando presenta color amarillento o tostado y no se aplasta bajo la presión. En resumen, la etapa Llenado de Grano tiene dos grandes fases: Cuaje, donde se define el número de granos y se produce una activa división celular en el endospermo, caracterizada por un gran tenor acuoso en el grano, y fase de Llenado Efectivo, caracterizada por una disminución progresiva de la humedad del grano e incremento de la Materia Seca en el endospermo. La duración de las distintas etapas fenológicas del cultivo, están reguladas por tres factores determinantes: Temperatura, Fotoperiodo (duración del día) y Vernalización (requerimiento de horas de frío). El conocimiento de las respuestas del cultivo a estas variables ambientales, permite caracterizar la adaptabilidad de los diferentes cultivares a las distintas zonas productivas (Miralles, 2004).

La escala de Zadoks *et al.* (1974), es la más utilizada para describir estados morfológicos externos del cultivo (véase figura 2); estos involucran procesos de crecimiento y desarrollo. Esta escala divide el ciclo del cultivo en etapas principales y etapas secundarias.

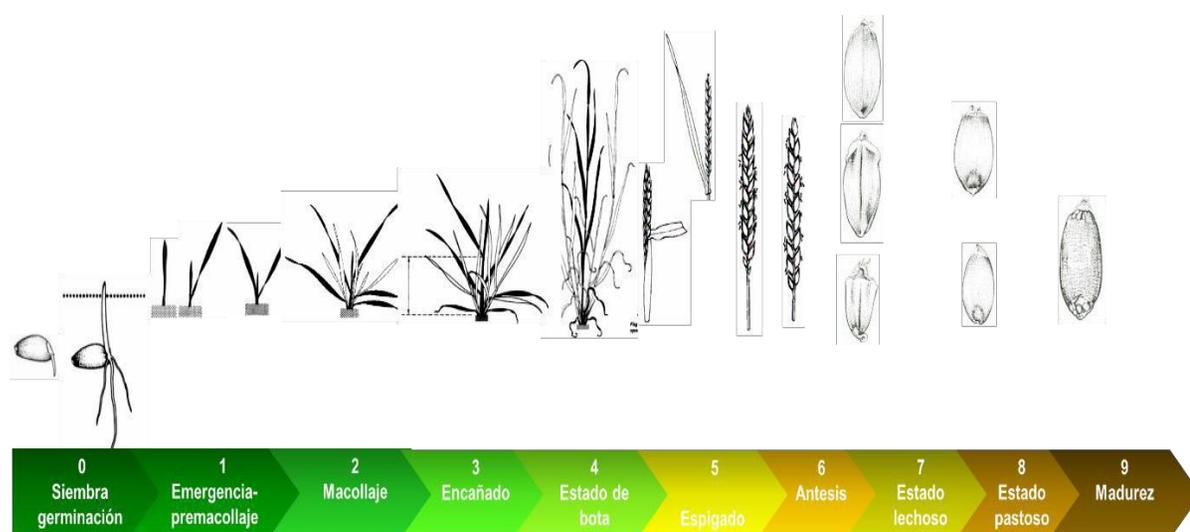


Figura 2. Desarrollo fenológico de trigo (*Triticum aestivum* L.) según la escala decimal (Zadocks *et al.* 1974)

2.1.5. Plagas y enfermedades del cultivo de trigo

2.1.5.1. Plagas

El trigo en altura mayor a los 3000 m.s.n.m. tiene una amplia diversidad de plagas, una mayoría no tiene importancia económica, sin embargo en ocasiones se presenta el ataque de afidos o pulgones, los mismos que se combaten generalmente con la presencia de las lluvias (Ruiz, *et al.* (2005). Los roedores y las aves pueden ser un problema grave durante el establecimiento del cultivo (plantas por área), madurez y el almacenamiento de los granos. Las causas que favorecen a estas plagas son: una siembra a muy poca profundidad, o no se afirmó el suelo sobre la semilla, el acame, que permitió que los roedores alcanzaran las mazorcas o porque se sembró el trigo fuera de temporada, o se sembró una variedad muy precoz que fue la única fuente de alimento para los pájaros y roedores en la zona (Kosina, *et al.* 2013).

2.1.5.2. Enfermedades

Según Ruiz, *et al.* (2005), señalan que las enfermedades que mayor daño causan al cultivo de trigo, en zonas altas son tres tipos diferentes de roya que atacan al cultivo de trigo:

- Roya morena de hoja: Aparece en los primeros estadios de la planta en las hojas basales (base), es de color marrón oscuro.
- Roya negra del tallo: Aparece generalmente entre la espigazón y maduración atacando al tallo y las hojas de color negro amarillento.
- Roya amarilla o de las glumas: ataca a tallo y hoja pero con mayor predominancia a las glumas y los granos, de color amarillo naranja y su aparición es antes de la espigazón y maduración, dando como consecuencia granos chupados.

2.1.6. Requerimientos climáticos

El trigo es un cultivo de estación templada y requiere de una temperatura promedio entre 14 a 28 °C. La precipitación óptima es de 400 a 1.300 mm/año como promedio. Se puede conseguir una buena cosecha con un mínimo de 205 a 220 mm de agua transpirada por el cultivo durante su periodo vegetativo. El cultivo de trigo se desarrolla aceptablemente en altitudes de 3500 a 4000 m.s.n.m. cercanas a nivel del mar. La influencia de los factores climatológicos ejerce sobre este cultivo manifestando relación entre clima y contenido de

proteína en el grano, lo cual determina utilizar variedades específicas para fines a los que se destina el grano (Ochoa, 2002).

2.1.7. Requerimientos edafológicos

El trigo requiere suelos profundos, para el buen desarrollo del sistema radicular, desarrollándose mejor en suelos de textura franco – arcillosa (moderadamente pesada), con adecuado drenaje y con una buena fertilidad. El trigo sembrado en suelos mal drenados y arenosos no produce resultados satisfactorios. El pH óptimo para un buen desarrollo de este cultivo esta alrededor de 7,00 es decir pH neutro o cerca a este, es sensible a suelos ácidos (Ochoa, 2002).

2.1.8. Densidad de siembra

Se emplea una densidad de 300 - 400 semillas/m² (de 100 a 130 kilos de semillas*ha⁻¹), con un mínimo de 80% de poder germinativo. La siembra mecanizada presenta diversas ventajas sobre la siembra a voleo o a chorrillo, entre ellas esta, el ahorro de semilla entre el 30 a 50 %, uniformidad en la distribución de los surcos, profundidad de siembra según las necesidades y permite el laboreo entre líneas (Cauthin, 2012). Para la siembra del trigo debe realizarse siempre después de una lluvia para aprovechar la humedad del suelo, para una buena siembra debe considerarse los aspectos como la siembra directa y época de siembra, las densidades adecuadas con un espaciamiento de 12 a 20 cm entre surco, y una profundidad de 3 a 5 cm (ANAPO y CIAT, 2003).

2.1.9. Genotipo

Según Marza (2012), el genotipo son los genes que controlan un carácter.

2.2. El cultivo de trigo en Bolivia

El trigo en Bolivia se cultiva, desde las épocas coloniales, principalmente en dos grandes regiones, como las tierras altas de los andes y las llanuras en las tierras bajas. Los factores más importantes que determinan el rendimiento son la carencia de agua y la degradación donde los productores afrontan carencias de nutrientes en el suelo y problemas de maleza, llegando a ser uno de los principales cultivo de pequeños productores de las áreas más secas y marginales de los valles bolivianos (CIMMYT, 1998). Desde esa época el cultivo de trigo prosperó en los valles, contribuyendo y satisfaciendo la demanda interna hasta los

años 30's posteriormente, el déficit se fue incrementado producto de políticas externas, crecimiento poblacional y el descuido en la generación de tecnología adecuada para el rubro. A partir de los años 70's se fue impulsando la expansión del rubro a zonas no tradicionales, como el oriente en Santa Cruz, alcanzando a contribuir hasta un 50% a la producción nacional en los últimos años (Herbas, 2008).

2.2.1. Situación del trigo en Bolivia

El consumo per cápita de trigo en Bolivia es de 69 kg*año⁻¹, logrando una demanda anual de 700.000 t. En los últimos 5 años: la producción fluctuó entre 145 a 255 mil t*año⁻¹, representando del 24 al 43% de satisfacción de la demanda interna. Los rendimientos a nivel nacional oscilan entre 0.9 a 1.4 t*año⁻¹, con mejores rendimientos en el oriente (0.9 a 2.1 t*año⁻¹), que en la zona tradicional (0.7 a 1.0 t*año⁻¹). Los datos estadísticos reflejan un vacío tecnológico, falta de recomendaciones como una buena densidad de siembra, falta de manejo del cultivo, falta de variedades con amplia adaptabilidad y estabilidad, bajo uso de semilla certificada y de calidad, incertidumbre y falta de incentivo para la comercialización del producto (INIAF, 2015).

2.2.2. Programas de mejoramiento de trigo en Bolivia

El proceso de generación de mejoramiento de trigo en Bolivia estuvo marcado por una falta de continuidad de acciones, en los años 90's, el Instituto Boliviano de Tecnología agropecuaria (IBTA), con financiamiento del Banco Mundial, generó algunas variedades y contribuyó a la formación de recursos humanos. Entre 1998 a 2001, fue implementado un Programa de Investigación y Transferencia de Tecnología para el Cultivo de Trigo (PROTRIGO), con apoyo financiero del Programa PL-480-Título III, del Programa PASA, con financiamiento de la Unión Europea y la contraparte de las prefecturas de Cochabamba, Chuquisaca, Potosí y Tarija y trabajo con dos componentes: 1) generación y difusión de tecnologías apropiadas para el cultivo de trigo en la zona de los Llanos orientales y 2) generación y difusión de tecnologías apropiadas para el cultivo de trigo en la zona de los Valles. A la finalización de este programa no se dieron iniciativas nacionales para impulsar el rubro; sin embargo continuaron acciones puntuales de actores generadores de conocimientos tendientes a fomentar la producción de trigo a través de sus respectivos programas de investigación como PROINPA y ANAPO. A pesar de los esfuerzos y financiamiento invertidos, no se logró superar los problemas de baja productividad. Bajo estas condiciones se estructuró el Programa Nacional de Trigo del INIAF que en la

actualidad viene realizando actividades de investigación, cuyo objetivo es desarrollar tecnologías de producción en el cultivo de trigo que permitan mejorar los índices de productividad (MACA, 2001 e INIAF, 2014).

2.2.3. Utilización de los viveros HPYT, SAWYT, IDYN y SAWSN en Bolivia

Para el desarrollo de las acciones del PN-Trigo, se considera fundamental el continuo fortalecimiento de la variabilidad genética. Para consolidar este propósito, el Programa ha venido introduciendo germoplasma (ensayos y viveros) provenientes del Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo (CIMMYT). El Programa Nacional del Trigo del INIAF, se constituye en uno de los beneficiarios de los programas de mejoramiento del CIMMYT, instancia que desarrolla nuevos genotipos, superiores basados en un pool de reserva de genes para cruzamiento para un destino específico. Entre los viveros introducidos al programa se tiene: HPYT, SAWYT, IDYN y SAWSN cada uno con un propósito como lo muestra el cuadro 1 (Marza y Quispe, 2013).

Cuadro 1. Detalle de los viveros HPYT, SAWYT, IDYN y SAWSN introducido del Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo identificado por su propósito en los respectivos años.

Propósito de los viveros	Abreviatura	Año de introducción			
		2011	2012	2013	2014
Ensayo de rendimiento de trigo para zonas semiáridas	SAWYT	50	50	50	50
Vivero de selección de trigo para zonas semiáridas	SAWSN	145	108	219	206
Ensayo de rendimiento en Biofortificados	HPYT	50	-	-	50
Vivero Internacional de rendimiento de trigo duro	IDYN	-	50	-	50

El vivero HPYT es un vivero que consta de 50 entradas de trigos biofortificados, el vivero SAWYT, distribuido en un amplio número de localidades a nivel global está compuesto usualmente de 50 líneas avanzadas. Esta población de líneas es una de las más promisorias para el escenario del área tradicional, este es establecido en localidades como Pocona, Rodeo Grande, Tarata, Alcalá, Zudáñez, Lampaya, Condoriri, Charazani, Yesera Norte y San Pedro. El vivero SAWSN es parte también de las introducciones que realiza el Programa, es un vivero de selección de trigo recomendado para zonas semiáridas, distribuida ampliamente y que constan de 250 - 350 entradas, es material de hábito primaveral semi-enano. El Programa con la finalidad de responder con alternativas tecnológicas para un variado escenario de nichos trigueros, ha procedido a identificar material de trigo duro. Para este propósito se realizó la introducción del vivero IDYN, vivero

diseñado para medir el rendimiento y la adaptación de variedades y líneas de trigo duro en una amplia gama de condiciones de producción (Marza, 2013).

2.2.4. Desarrollo de variedades del PN-Trigo

El PN-Trigo ha establecido un programa de mejoramiento (véase figura 3), para asegurar el desarrollo sostenido de nuevos cultivares de trigo, mejorando el rendimiento del cultivo, proyectando liberar al menos cinco variedades estables y de alta calidad, con rendimientos promedios superiores a 2.0 t*ha^{-1} y estas nuevas variedades ocupen un área significativa en beneficios de los pequeños y medianos productores (INIAF, 2014).

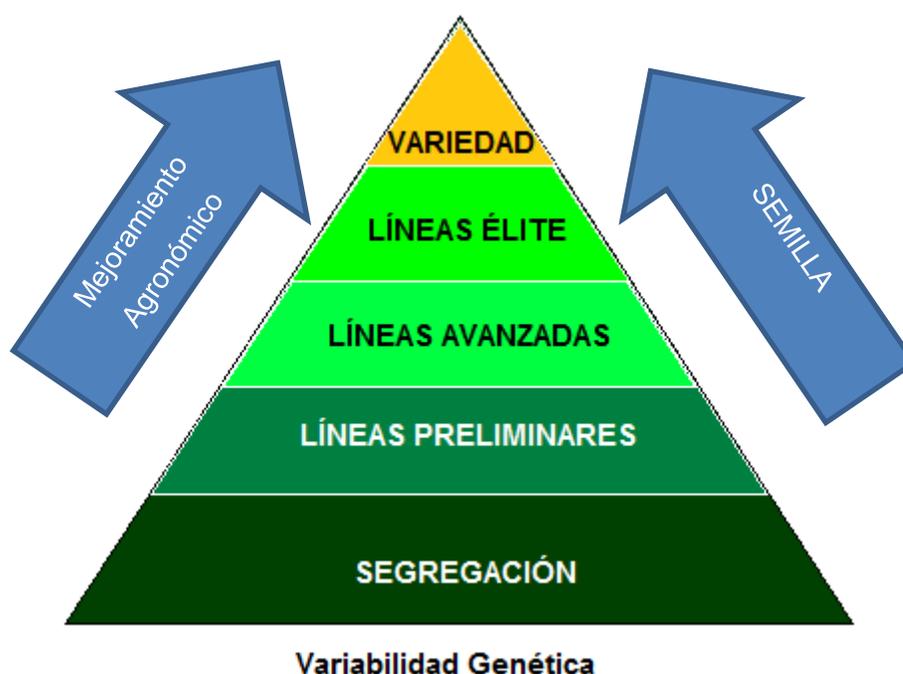


Figura 3. Líneas de Investigación PN-Trigo (INIAF, 2014).

Según INIAF (2014), el establecimiento de un programa de mejoramiento se hace imprescindible para asegurar el desarrollo sostenido de nuevos cultivares y para que estos tengan características agronómicas de calidad aceptables que puedan satisfacer la demanda de los productores y la industria. El objetivo central es generar cultivares de alto potencial de rendimiento con amplia adaptación, tolerancia a los factores adversos bióticos y abióticos que afectan la producción y principalmente de alta calidad, diferenciada para los distintos usos. Según el mismo autor, uno de los pilares fundamentales es la introducción de material elite del Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo (CIMMYT) y la participación en la selección de material segregante promisorio.

3. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. Localización

3.1.1. Ubicación Geográfica

El presente ensayo de comportamiento agronómico de genotipos de trigo harinero con tres densidades de siembra, se desarrolló, en la región del Altiplano Norte de Bolivia, en la Estación Experimental de Kallutaca, ubicado en la localidad del mismo nombre del municipio de Laja perteneciente a la Provincia Los Andes del departamento de La Paz, en los predios de la carrera de Ingeniería Agronómica (véase figura 4), concerniente a la Universidad Pública de El Alto, geográficamente se encuentra localizado con las siguientes coordenadas: 16°31'17" latitud sur y 68°18'29" longitud Oeste y una altitud de 3860, msnm en la campaña agrícola 2014-2015 (Google Earth, 2017).



Figura 4. Imagen satelital de la Estación Experimental de Kallutaca del ensayo comportamiento agronómico de 14 genotipos de trigo harinero con tres densidades de siembra (Google Earth, 2017).

3.1.2. Características Edafoclimáticas

La localidad de Kallutaca presenta una temperatura máxima media de 15.7°C, la mínima media es de -2.0°C y anualmente presenta una media de 8.4°C, la humedad relativa alcanza en promedio el 35%, con una precipitación pluvial en rango de variación entre 600 - 650 mm*año⁻¹ y más del 50% de estas precipitaciones se distribuyen durante los meses de diciembre a febrero (SENAMHI, 2009).

El suelo presenta acumulación de restos vegetales y está conformada por arenas, arcillas y limos. Los suelos son superficiales de formación aluvial con problemas de drenaje y poco contenido de materia orgánica inferior a 4%, presenta también suelos con afloramientos de sales (Krüger, 1992). Este fenómeno se producen ya que la capa de agua freática rica en sales se encuentra a una distancia menor del metro y medio de profundidad, los rangos de conductividad eléctrica varían entre 0.8 a 8.76 dS*m⁻¹ y el pH es moderadamente básico próximos a 7.8 en escala logarítmica (Yapu, 2015).

3.2. Materiales

3.2.1. Material genético en estudio

El material genético empleado fue de catorce genotipos (variedades y líneas elite) de trigo harinero, entre ellos se seleccionó la variedad Tepoca como testigo; pero todos estos genotipos son provenientes del departamento de Cochabamba, como resultado de una selección de los ensayos y/o pruebas mencionadas desde su introducción del Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo (CIMMYT) por el Instituto Nacional de Innovación Agropecuaria y Forestal (INIAP). La cual se detalla en el cuadro 2.

Cuadro 2. Nombre de cruzamientos e historial de selección de los genotipos de trigo harinero, ensayadas en la Estación Experimental de Kallutaca en la gestión agrícola 2014 - 2015.

ID	Nombre de los cruzamientos	Historial de selección	Genotipo
1	Tepoca T89		TE-101
2	SOKOLL//FRTL/2*PIFED	CMSA04M00552S-040ZTP0Y-040ZTM-040SY-2ZTM-03Y-0B	331
3	BAV92/SERI	CMSS96Y04084S-0Y-1B-46TLA-0B-0Y-39B-0Y-0Y-040Y-040ZTM-040SY-17ZTM-03Y-0B	333
4	ATTILA/BAV92//PASTOR/3/ATTILA*2/PBW65	CMSA04M00070S-040ZTB-040ZTY-040ZTM-040SY-13ZTM-04Y-0B	337
5	ROLF07/YANAC//TACUPETO F2001/BRAMBLING	CGSS05B00121T-099TOPY-099M-099NJ-099NJ-5WGY-0B	122
6	PBW343*2/KUKUNA*2//YANAC	CGSS05B00258T-099TOPY-099M-099NJ-2WGY-0B	140
7	WHEAR/KUKUNA/3/C80.1/3*BATAVIA//2*WBLL1/4/T.DICOCCO N PI94625/AE.SQUARROSA (372)//SHA4/CHIL/5/WHEAR/KUKUNA/3/C80.1/3*BATAVIA//2*WBLL1	CMSS08Y01024T-099TOPM-099Y-25M-0Y-3M-0Y	427
8	PAURAQ*2/SOLALA	CMSS08Y01012T-099TOPM-099Y-17M-0Y-3M-0Y	415
9	COAH90.26.31//KIRITATI/WBLL1/3/KIRITATI/2*WBLL1	CMSS07B00917T-099TOPY-099M-099Y-7M-0Y-10M-0Y	447
10	SOKOLL/ROLF07	CMSA04M00346S-040ZTP0Y-040ZTM-040SY-28ZTM-01Y-0B	330
11	Anzaldo		AN-101
12	Charcas		CH-101
13	Roble		RO-101
14	Urubó		UR-101

Fuente: INIAF, 2014

3.2.2. Material de gabinete

En esta etapa para el análisis de datos del libro de campo, se usó dispositivos de almacenamiento de información además de paquetes (software) estadísticos de: Sistema de Análisis Estadístico SAS versión 9.4, y SPSS versión 23 Excel 2013, así también otros materiales de escritorio y de papelería para realizar el presente informe de investigación.

3.2.3. Material de campo

Los materiales que se utilizaron en las actividades de campo, se empleó; un tractor agrícola con implementos: arado de discos y rastra además de picota, rastrillo, cinta métrica, fluxómetro, lienzo, estacas de madera. Para proteger las unidades experimentales del ganado se construyó una cerca con callapos de eucalipto con clavos, alambre de púas y para la cosecha se utilizó: hoces, bolsa de yute, sobres de papel, marbetes, libro de campo y cámara fotográfica.

3.2.4. Materiales de laboratorio

Estos fueron materiales de laboratorio, empleados en la manipulación de semillas, Sobres de papel, bolsitas plásticas de 11*2 cm para contener la semilla por surco de cada entrada, embudo, balanza de precisión (0.001 g), tara y vernier y cámara fotográfica.

3.3. Metodología

3.3.1. Etapa de instalación del experimento

- a) **Preparado del terreno.**- Para la preparación del suelo, se hizo el roturado a 0.3 m de profundidad, desterronado, limpieza, nivelado y replanteo de unidades experimentales. De acuerdo a Agamennoni *et al.* (2010) el abonamiento para la siembra fue de 10 t*ha⁻¹ con compost (0.46-0.1-0.4) para favorecer la estructura, fertilidad y la retención de humedad del suelo. Cubriendo de esa manera parte del requerimiento óptimo 87-56-40 del cultivo.
- b) **Preparación de las semillas y siembra.**- Se preparó 10, 12.5 y 15 g de cada genotipo en pequeñas bolsas de plástico con sus respectivas identificaciones. La siembra se realizó el 21 de septiembre de 2014, en horas de la tarde, en surcos de 4 metros a choro continuo con una distancia entre surcos de 0.25 m, y tres densidad de siembra: 10 gramos por surco (100 kg*ha⁻¹), 12.5 gramos por surco (125 kg*ha⁻¹) y 15 gramos por surco (150 kg*ha⁻¹). Se realizó también la aplicación de fertilización química de acuerdo a las recomendaciones de Agamennoni *et al.* (2010), empleando para ello: 100 kg*ha⁻¹ de FDA (18-46-0) y 50 kg*ha⁻¹ UREA (46-0-0).

3.3.2. Etapa de manejo del cultivo

- a) **Labores culturales.**- Desde la etapa de macollamiento se realizó deshierbes manuales, eliminando las plantas invasoras presentes (diente de león, cañahua, cebada y otros), en las etapas de macollaje, antesis y en parte en el llenado del grano. Todo ello con el fin de evitar que haya competencia de nutrientes y agua; por el trigo y las plantas invasoras.
- b) **Cosecha, trillado y venteado.**- Se realizó del 25 al 30 de mayo del 2015, cuando la planta alcanzó la madurez fisiológica presentando follaje de color amarillo paja (grano difícil de marcar con la uña). Se adoptó la forma de corte manual con hoz. El material cosechado se emparvo para completar el secado hasta el punto de desgrane, y en el mes de junio se realizó la trilla manualmente y venteado para la obtención del grano limpio.

3.3.3. Etapa de evaluación de la investigación

En la investigación se registraron 18 variables agronómicas morfológicas, componentes de rendimiento y calidad descritas; en la “Guía Práctica Para la Investigación en Trigo” propuesta por Marza y Quispe (2013), los cuales fueron evaluados durante el desarrollo fenológico del cultivo, mientras que el registro de las variables de grano se efectuaron en laboratorio luego de la cosecha y trilla, los caracteres que tienen importancia en la selección e identificación de genotipos con características deseables para un programa de mejoramiento.

3.3.4. Variables Agronómicas

3.3.4.1. Días a floración (DF)

Los días a floración fueron establecidos para cada genotipo de trigo, cuando el 50% de las plantas alcanzaron la fase de antesis completa 6.9 de la escala Zadoks, Chankg y Konzak (1974), tomando en cuenta plantas del surco central y despreciando 50 centímetros de los extremos (véase figura 5).

3.3.4.2. Emergencia de la plántula (EP)

El número de plántulas emergidas, fueron establecidos para cada genotipo de trigo, cuando el número de las plantas emergidas alcanzo el 50%, para ello se dispuso una cinta métrica sobre el surco central despreciando 50 centímetros de los extremos y a cada cinco centímetros se contabilizo plantas emergidas y el valor obtenido se dividió sobre el número de observaciones, hasta alcanzar el objetivo.

3.3.4.3. Porte de planta (PP)

Se hizo una descripción cualitativa del hábito de la planta, respecto se estaba muy erecto o decumbente, cuando la planta alcanzo el estado de madurez en campo. Las plantas que se evaluaron estuvieron en la parte del medio de la parcela.

1= muy decumbente, 2 = decumbente, 3 = semidecumbente, 4 = semierecto y 5 = erecto

3.3.4.4. Altura de planta (AP)

La altura de planta se realizó, midiendo el macollos principal de al menos tres plantas generalmente es el más vigoroso tomando en cuenta plantas con competencia completa (véase figura 5), esta medida fue desde la base del tallo hasta el ápice de la espiga excluyendo barbas, cuando la planta ha alcanzado madurez fisiológica y manejando la unidad de medida centímetros.



Figura 5. Evaluación de variables agronómicas: a. días a floración b. altura de planta c. tipo de grano

3.3.4.5. Tipo de grano (TGR)

El tipo de grano se determinó a simple vista (véase figura 5), después de la cosecha de trigo, clasificándola según el llenado de grano de cada entrada bajo la siguiente escala:

1 = muy chupado, 2 = chupado, 3 = casi lleno, 4 = lleno y 5 = muy lleno

3.3.4.6. Precocidad (P)

La precocidad se determinó para cada genotipo de trigo, bajo la siguiente escala; proporcionada por la guía práctica para la investigación.

1 = muy tardío, 2 = tardío, 3 = intermedio, 4 = precoz y 5 = muy precoz

3.3.5. Variables Morfológicas

3.3.5.1. Longitud de Arista (LA)

Esta característica midió, la arista en centímetros de las espigas muestreadas de cada tratamiento en estudio, en este caso fue de tres muestras por genotipo.

3.3.5.2. Densidad de Espiga (DES)

La densidad de espiga de cada genotipo de trigo se determinó de forma visual (véase figura 6), ya que dichas algunas fueron compacta o laxa, pero esta determinación se realizó bajo la siguiente escala:

1 = Muy laxa, 2 = Laxa, 3 = Intermedio, 4 = Compacta y 5 = Muy compacta

3.3.5.3. Longitud de Espiga (LE)

La longitud de espiga también califica como variable cuantitativa, por lo cual la medición se lo realizó desde la base de la espiga hasta la punta excepto las barbas de la parte superior de la espiga (véase figura 6).

3.3.5.4. Tamaño de grano (TG)

Esta variable se midió después de la cosecha (véase figura 6), los granos obtenidos de la muestra se mide en milímetros, sin discriminación alguna para luego clasificarlas según la escala de clasificación del grano.

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

3.3.6. Variables componentes de rendimiento

3.3.6.1. Número de macollos por planta (NM)

El número de macollos por planta es uno de los indicadores que ayuda al rendimiento, por lo que su evaluación fue muy importante. Esta variable se obtuvo realizando el conteo de los macollos de cada planta de trigo.

3.3.6.2. Número de espigas por metro cuadrado (NEM)

En cada genotipo de trigo se realizó el conteo de las espigas a un metro cuadrado de la parte central de la unidad experimental para evitar el efecto borde, este conteo de espigas se realizó cuando la espiga emergió en más del 50%.

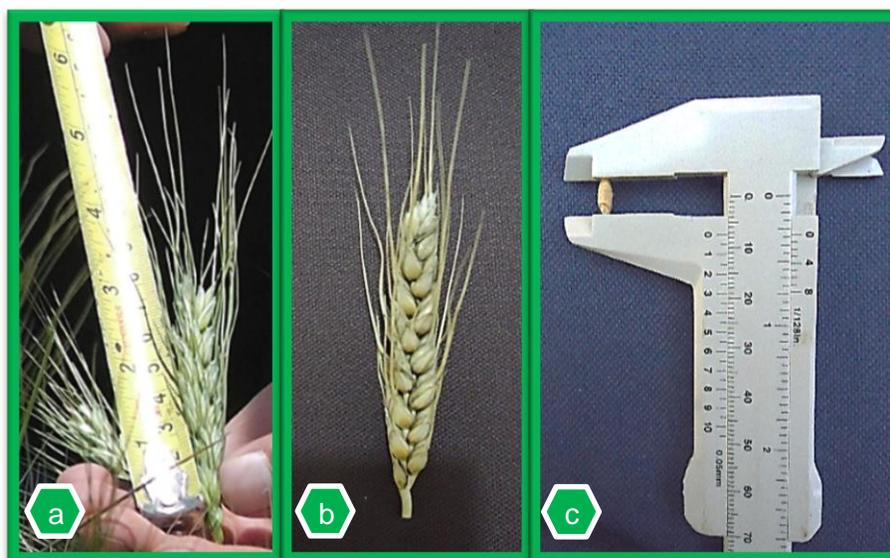


Figura 6. Evaluación de variables morfológicas: a. Longitud de espiga, b. Densidad de espiga c. tamaño de grano

3.3.6.3. Área de la hoja bandera (AF)

La medición del área foliar, se hizo de forma directa es decir; se midió el largo y el ancho de la hoja bandera y se multiplicó por 0.7 en centímetros cuadrados.

3.3.6.4. Peso de mil granos (PMG)

Se realizó después de la cosecha y desgranado, con la medición del peso de 1000 unidades de grano con tres repeticiones de cada entrada de las unidades experimentales obtenidas al azar sin discriminación alguna, esta variable fue medida en gramos (véase figura 7).

3.3.6.5. Número de granos por espiga (NGE)

Se determinó por la obtención del promedio de los granos de unas tres espigas a partir de la porción central de las espigas muestreadas de cada entrada (véase figura 7).

3.3.6.6. Número de espiguillas por espiga (NEE)

Se realizó haciendo el conteo de las espiguillas de las espigas muestreadas, de cada genotipo y de la parte central de los mismos, para evitar el efecto borde del diseño (véase figura 7).

3.3.6.7. Rendimiento (RDTO)

Para la evaluación del rendimiento en grano, se pesó el total de los granos cosechados de cada unidad experimental, expresados en $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ (véase figura 7).

3.3.7. Variables de calidad

3.3.7.1. Peso Hectolitrico (PH)

El valor del peso hectolitrico (véase figura 7), nos indica qué tan sano es el grano, ya que cuanto más sano sea mayor será la proporción de almidón en el grano y mejor es la separación del endosperma del resto del grano, obteniendo mayor extracción de harina. El peso hectolitrico se determinó pesando en un recipiente con volumen conocido una cantidad de grano determinado, haciendo una relación $\text{peso}\cdot\text{volumen}^{-1}$ expresado en $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$.

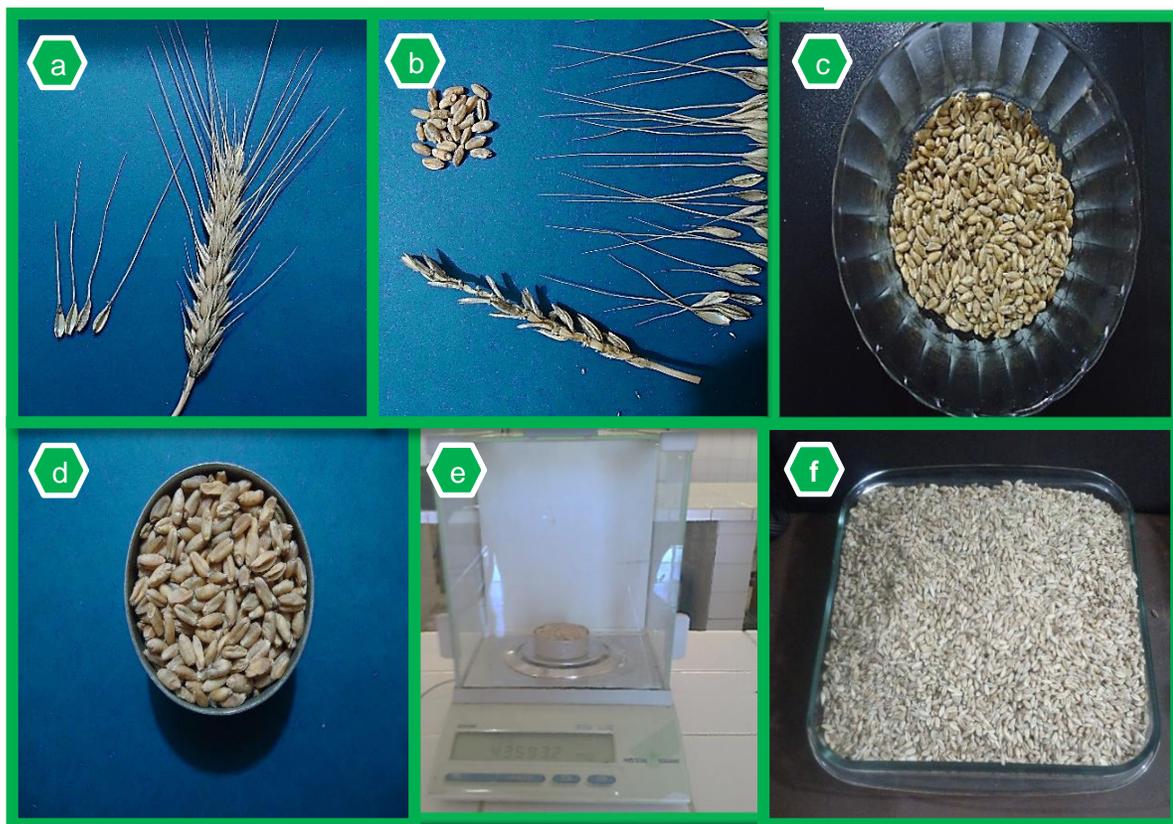


Figura 7. Evaluación del a. número de espiguillas por espiga, b. número de granos/espiga, c. peso de mil granos d y e peso hectolitrico y f rendimiento.

3.3.8. Diseño experimental

La investigación se condujo bajo el Diseño de Bloques Completos al Azar (DBCA) con arreglo en parcelas divididas, con tres densidades de siembra en la parcela, y en la sub parcela, se ubicaron los 14 genotipos de trigo. Por lo que el modelo lineal aditivo es el siguiente:

$$Y_{ijk} = \mu + \underbrace{\gamma_k + \tau_i + (\gamma\tau)_{ki}}_{\text{Representa a la parcela}} + \underbrace{\beta_j + (\tau\beta)_{ij}}_{\text{Representa a la subparcela}} + \varepsilon_{ijk}$$

Dónde:

Y_{ijk} = Observación de la unidad experimental.

μ = Media general del ensayo.

γ_k = Efecto del k -ésimo bloque.

τ_i = Efecto de la i -ésima densidad de siembra (factor A).

$(\gamma\tau)_{ki}$ = Error experimental de la parcela mayor [E(a)].

β_j = Efecto del j -ésimo genotipo de trigo (factor B).

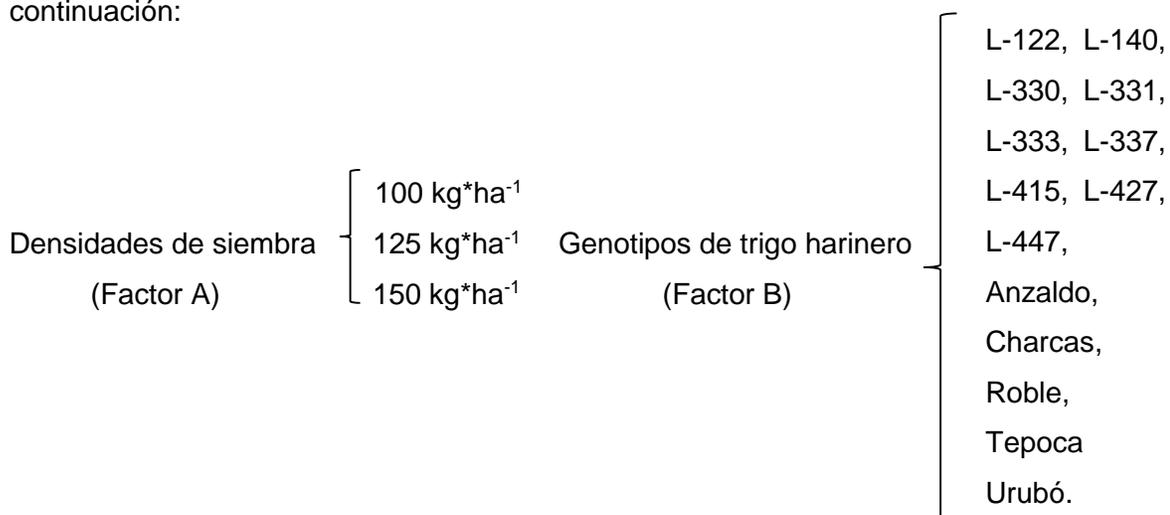
$(\tau\beta)_{ij}$ = Efecto de la i -ésima densidad de siembra, con el efecto del j -ésimo genotipo de trigo (interacción AxB).

ε_{ijk} = Error experimental de la parcela menor [E(b)].

Hay que notar, que numéricamente el error de la parcela corresponde a la interacción bloque densidad de la parcela, y que el error de la subparcela es la interacción bloque genotipo de la subparcela, más la interacción triple (bloque x densidad x genotipo de la subparcela). Algunos autores consideran que el error de la subparcela solo debe estar formado por la interacción triple, eso se daría si los bloques interactuarán con los tratamientos de la subparcela, en nuestro caso consideraremos que dicha interacción no es significativa.

3.3.9. Factores a estudio

En la investigación se realizó, bajo dos factores fundamentales que se detallan a continuación:



3.3.10. Análisis estadístico

Para el análisis estadístico de los datos registrados, de la evaluación del comportamiento agronómico de los catorce genotipos de trigo harinero, se construyó una matriz básica para evaluar las variables agro morfológicas, rendimiento y de calidad. Una vez en la base de datos; fueron sometidos a diferentes análisis estadísticos para dar respuesta a los objetivos planteados.

3.3.10.1. Estadística descriptiva del ensayo

En el análisis descriptivo y su interpretación, del comportamiento de cada genotipo de trigo harinero en estudio en relación a cada variable, se consideró la media, la frecuencia máxima y mínima, el desvío estándar, la asimetría, kurtosis y el rango. El análisis estadístico descriptivo se realizó con el software SAS versión 9.4.

3.3.10.2. Análisis de varianza (ANVA)

Se realizó el análisis de la variación de los resultados del experimento aplicando un diseño en bloques completamente al azar con arreglo en parcelas divididas, descomponiéndolo en fuentes de variación, independientes y atribuibles a cada uno de los efectos en que constituye el diseño experimental. Llevándose a cabo un análisis, con el fin de comprobar la existencia de diferencias entre las densidades de siembra y genotipos. El ANVA se calculó aplicando PROC GLM del software SAS versión 9.4.

3.3.10.3. Prueba de rango múltiple de Duncan

Se realizó la prueba de medias de Duncan, ya que tiene mayor sensibilidad estadística, esta prueba se la denomina de comparación múltiple por varios valores referenciales, esta permitió evaluar un alto número de comparaciones, considerando que las medias pueden estar distantes unas de otras, porque para cada comparación se estableció un valor referencial, lo que permitió, ajustar con una mayor precisión los valores experimentales (Ochoa, 2009). La prueba de medias se realizó utilizando el software SAS versión 9.4 y el programa Excel 2010.

3.3.10.4. Coeficiente de correlación

Según Morales y Rodríguez (2011), el coeficiente de correlación múltiple, analiza más de dos variables a la vez, y mide el grado de asociación lineal entre dos variables, tomando valores entre -1 y $+1$. Los valores próximos a 1 indican la fuerza de asociación lineal positiva entre dos variables (es decir que a medida que aumenta el valor de una variable, aumentan los de la otra); valores próximos a -1 indican fuerte asociación lineal negativa y los valores próximos a 0 indican que no existe asociación lineal. El análisis correlación lineal se realizó con el software SAS versión 9.4 y SPSS versión 23.

3.3.10.5. Coeficiente de regresión lineal múltiple

El análisis de la regresión es un proceso estadístico para estimar las relaciones entre variables. Incluye muchas técnicas para el modelado y análisis de diversas variables, cuando la atención se centra en la relación entre una variable dependiente y una o más variables independientes (o predictoras). Más específicamente, el análisis de regresión ayuda a entender cómo el valor de la variable dependiente varía al cambiar el valor de una de las variables independientes, manteniendo el valor de las otras variables independientes fijas. El análisis de regresión lineal se realizó con el software SAS 9.4.

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Condición ambiental

Los datos de la figura 8, se obtuvieron de la Estación Meteorológica de la Carrera de Ingeniería Agronómica - UPEA, ubicado en la Estación Experimental de Kallutaca. La precipitación aunque es muy importante para el desarrollo de las plántulas hasta el llenado del grano, así es que en los meses de septiembre, octubre, noviembre; las precipitaciones no fueron suficientes para la fase de emergencia del cultivo, por lo cual tuvo que realizarse la aplicación del riego manual garantizando de esa manera el desarrollo del cultivo. Las temperaturas tanto máximas fueron casi constantes; sin embargo las temperaturas bajo cero de septiembre hasta noviembre ocasionaron el espigamiento de muchos genotipos de trigo, además de las más baja temperatura registrada fue en mayo cuando el grano ya estaba maduro.

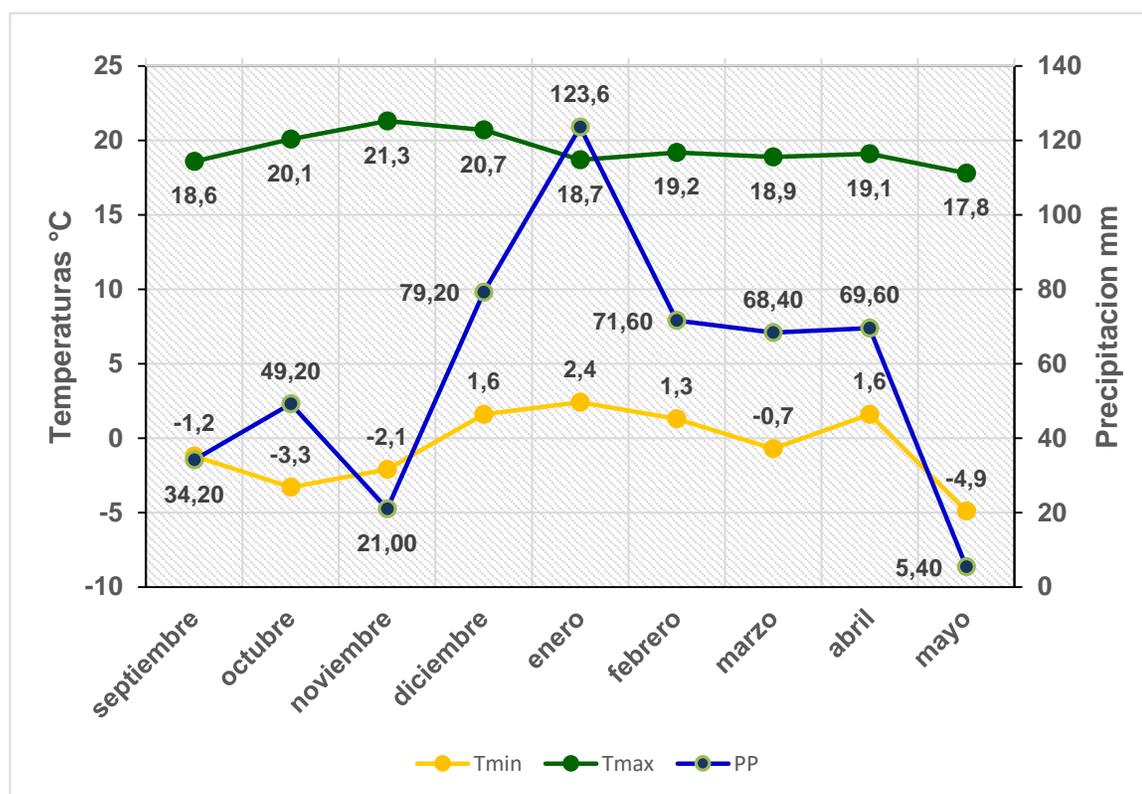


Figura 8. Comportamiento climático de las variables: precipitación acumulada (PP.), temperaturas mínimas (T Min) y temperaturas máximas (T Max), correspondiente a la campaña agrícola 2014-2015, fuente: Estación Meteorológica de la Carrera de Ingeniería Agronómica.

4.2. Análisis descriptivo

El análisis estadístico descriptivo del comportamiento agronómico de los catorce genotipos de trigo harinero, provenientes de los distintos viveros provenientes del CIMMYT (2 HYYT, 20 SAWYT (15), 44 IDYN y 29 SAWSN), se lo realizó tomando en cuenta las características agromorfológicas, los componentes de rendimiento y calidad, con sus respectivas variables se describen en el Cuadro 3.

Cuadro 3. Estadística descriptiva del comportamiento agronómico de 14 genotipos de trigo harinero, con tres densidades de siembra, en la campaña agrícola 2014-2015.

Variable	Media	Máximo	Mínimo	Dev std	Varianza	Asimetría	Kurtosis	Rango
Características Agronómicas								
DF	112.42	117.00	99.00	3.87	14.97	-1.74	4.55	18.00
EP	41.61	59.00	26.00	5.85	34.26	-0.21	0.20	33.00
PP	2.45	5.00	1.00	0.85	0.73	0.39	0.62	4.00
AP	78.23	89.50	68.00	4.84	23.42	0.09	-0.40	21.50
TGR	2.90	4.00	2.00	0.58	0.33	0.00	-0.03	2.00
P	2.96	5.00	2.00	0.78	0.61	0.37	-0.50	3.00
Características Morfológicas								
LA	6.85	8.47	5.67	0.61	0.37	0.34	-0.54	2.80
DES	2.99	4.00	2.00	0.59	0.34	0.00	-0.02	2.00
LE	8.23	11.7	6.17	1.14	1.30	0.76	0.56	5.50
TG	4.22	5.00	3.00	0.98	0.96	-0.46	-1.82	2.00
Componentes de rendimiento								
NM	9.96	1.30	7.33	1.11	1.24	0.00	-0.21	5.67
NEM	483.41	684.00	328.00	93.48	8738.18	0.36	-0.55	356.00
AF	14.93	30.99	57.00	4.74	22.47	0.70	0.65	25.29
PMG	35.98	40.02	28.11	4.75	22.53	-0.68	-1.52	11.91
NGE	25.65	38.50	70.00	6.85	46.96	-0.61	0.42	31.50
NEE	50.38	71.00	31.50	7.95	63.13	-0.01	0.17	39.50
RDTO	3900.00	6059.20	1111.98	1193.98	1423431.9	-0.47	-0.41	4947.22
Componentes de calidad								
PH	42.85	50.89	33.46	3.63	13.20	-0.19	-0.35	17.43

DF = Días a floración; EP = Emergencia de plántulas (n°); PP = Porte de planta (1-5); AP = Altura de planta (cm); TGR = Tipo de grano (1-5); P = Precocidad (1-5); LA = Longitud de arista (cm); DES = Densidad de espiga (1-5); LE = Longitud de espiga (cm); TG = Tamaño de grano (1-5); NM = Número de Macollos por planta (n°); NEM = Número de espigas por metro cuadrado (m²); AF = Área foliar (cm²); PMG = Peso de mil granos (g); NGE = Número de granos por espiga (n°) NEE = Número de espiguillas por espiga (n°); RDTO = Rendimiento en grano (kg/ha) y PH = Peso hectolítrico (kg/hl).

En el comportamiento de los genotipos de trigo harinero, se ve una alta variabilidad, reflejado en el cuadro 3, igualmente los datos analizados cumplen con los parámetros de normalidad, de acuerdo a los valores de kurtosis y asimetría que se encuentran en su mayoría, próximos a cero. Con esta distribución es posible proseguir con el análisis de estadística descriptiva. Las características agromorfológicas, componentes de rendimiento y calidad, en estudio expresado en el cuadro 3, por ejemplo en las variables agronómicas, se destacan el promedio de 112 días a floración de los genotipos, así como el desvío estándar del porte de planta (0.85) en promedio la cantidad se separa de la media 1.6 en el hábito de la planta, y la varianza indica que la observación está en el intervalo del valor de la media, la precocidad se destaca en su rango ya que no hay mucha diferencia solo 3, las observaciones de kurtosis de las características agronómicas, no identifican una curva normal (mesocúrtica), más bien se observan un patrón de curvas empinadas y planas denominadas leptocúrtica y platicúrtica.

En las variables morfológicas, se identifica el promedio de la longitud de arista con 6.85 cm dentro de los genotipos de trigo, así como el desvío estándar de la densidad de espiga (0.59) en promedio la cantidad se separa de la media 2.4 en el hábito morfológico de la planta, y la varianza indica que la observación está en el intervalo del valor muy laxa e intermedio, tanto la densidad de espiga como el tamaño de grano; se destaca en su rango ya que no hay mucha diferencia solo de 2, las observaciones de kurtosis de las características agronómicas, no identifican una curva normal (mesocúrtica), más bien se observan un patrón de curvas empinadas y planas denominadas leptocúrtica y platicúrtica.

Las características del rendimiento, se destaca por el promedio del rendimiento de 3900 $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ de los genotipos de trigo, así como el desvío estándar del número de macollos por planta (1.11) en promedio la cantidad se separa de la media 8.85 macollos, y la varianza indica que la observación está dentro del intervalo pero también el rango del número de macollos; se destaca ya que no hay mucha diferencia entre la máxima y la mínima solo de 5.67 macollos, las observaciones de kurtosis de las características de rendimiento, no identifican una curva normal (mesocúrtica), más bien se observan un patrón de curva empinadas denominada leptocúrtica. Y por último el peso hectolítrico se observa que el promedio es de 42.85 $\text{kg}\cdot\text{hl}^{-1}$ un desvio estandar de 3.63, haciendo una diferencia con la media de 39.22 $\text{kg}\cdot\text{hl}^{-1}$ presenta también una curva platicúrtica.

4.3. Análisis de varianza y prueba de promedios

4.3.1. Análisis de las características agronómicas - morfológicas

Las investigaciones en la evaluación de las características agronómicas, actualmente se han progresado ampliamente con el empleo de técnicas y herramientas moleculares, biotecnológicas, fisiología vegetal y otras. Sin embargo muchas de estas técnicas aún no están disponibles y otras resultan complejas, por lo que la presente investigación se limita a variables fáciles de medirse en campo como: Emergencia de las plántulas (EP), Días a la floración (DF), Porte de la planta (PP), Altura de planta (AP), Tipo de grano (TGR) y precocidad (P) Estas variables permitirán responder a los objetivos del ensayo, a continuación se muestra en el cuadro 4, los análisis de varianza de las mismas.

Las características morfológicas del trigo, en su mayoría corresponden a la estructura de la espiga, por eso numerosos autores han señalado a estas estructuras que presentan muy pocas variaciones para la tolerancia a factores abióticos, biótico y así también en su conjunto como estructuras con propiedades fotosintéticas. Entre las variables morfológicas que se tomó en campo y laboratorio están: Longitud de arista (LA), Densidad de espiga (DES), Longitud de espiga (LE) y Tamaño de grano (TG).

Cuadro 4. Análisis de varianza para las variables de características agronómicas: Días a la floración (DF) y Altura de planta (AP), Porte de planta (PP), Emergencia de plántulas (EP), Tipo de grano (TGR) y Precocidad (P) para; 14 genotipos de trigo harinero, en la Estación Experimental de Kallutaca en la campaña agrícola 2014-2015.

Fuentes de variación	GL	Cuadrados Medios					
		DF	AP	PP	EP	TGR	P
Bloque	2	28.01 ns	10,32 ns	0.00 ns	27.56 ns	1.29 ns	0.13 ns
Densidad (Ea)	2	31.25 ns	4,92 ns	0.00 ns	61.06 ns	0.15 ns	0.06 ns
Genotipo	4	10.40	19,79	4.00	31.91	0.42	0.63
Densidad*Genotipo	13	57.73 **	131.38 **	1.32 ns	155.02 **	1.153**	2.45 **
Error (Eb)	26	19.04 **	24.29 **	0.00 ns	52.56 **	0.142 ns	0.338 ns
	78	5.96	6.13	0.74	7.63	0.24	0.43
R ²		0.75	0.84	0.36	0.86	0.56	0.57
%C.V.		2.17	3.17	35.00	6.64	16.76	22.05

** : Altamente significativo.

* : Significativo

ns: No significativo.

R²: Coeficiente de determinación. %CV: Coeficiente de variación.

De acuerdo al análisis de varianza del cuadro 4, para las variables de las características agronómicas se verifico diferencias altamente significativas, entre los genotipos de trigo harinero y la interacción de los factores: A y B (Densidad*Genotipo), para las variables Días a floración ($p<.0001$) y Altura de planta ($p<.0001$). Los coeficientes de variación (%C.V.) son de 2.17% entre los días de floración y 3.7% en la altura de planta. Según Moñocopa (2012), la característica agronómica de la altura de planta, puede alcanzar diferencias altamente significativas entre bloques ($p<0.001$) y no así entre genotipos, el promedio general para altura de planta es de 65 cm. El coeficiente de variación puede ser de 15.3%. De acuerdo al mismo autor menciona que esta variable es particularmente importante, pues está directamente relacionada con las perdidas en la cosecha por acame a consecuencia de las granizadas y fuertes vientos que son típicos de la parte altiplánica. De acuerdo a Yapu (2015), el análisis de varianza para variables de comportamiento agronómico se verifica diferencias altamente significativas entre líneas avanzadas (genotipos) precoces de trigo harinero para la variable: días a floración. Lo que implica en contexto general un comportamiento estadísticamente diferenciado de los genotipos de trigo harinero, para días a floración ($p=0.004$).

Según el análisis de varianza (ver cuadro 4), se identificaron estadísticamente, diferencias altamente significativas, entre los genotipos ($p<.0001$) y la interacción de las densidades de siembra y los genotipos ($p<.0001$) para la Emergencia de plántulas. También los valores de coeficiente de variabilidad del Porte de planta 35% y Emergencia de plántulas 6.64%, se encuentran en rangos confiables y reflejan también credibilidad en los resultados presentados. Según Manangón (2014), el porcentaje de emergencia puede alcanzar diferencias significativas entre genotipos; y la interacción de los genotipos con otro factor de manejo no puede alcanzar diferencias significativas estadísticamente, así como los coeficientes de variación pueden alcanzar los 24.86% aceptables dentro de un ensayo. El mismo autor señala en esta etapa de evaluación se presentan muchas dificultades debido a la ausencia de lluvias y a veces fuertes precipitaciones afectando a determinadas parcelas.

El análisis de varianza del cuadro 4, también presenta; para las variables de las características agronómicas se evidencia diferencias altamente significativas entre genotipos de trigo harinero para: Tipo de grano ($p<.0001$) y precocidad ($p<.0001$). Reflejando una alta variabilidad entre genotipos, muy importante para cualquier programa de mejoramiento. Además de ello los valores de coeficiente de variabilidad de Tipo de grano

16.16% y precocidad 22.05%, se encuentran en rangos confiables y reflejan también credibilidad. Por otra parte no se encontraron diferencias estadísticas entre los bloques, densidad de siembra, así también en la interacción del factor A por el factor B (Densidad*Genotipo). Según Yapú (2015), la evaluación en el campo las variables de comportamiento agronómico de los genotipos y verificando los resultados arrojados por el análisis. Se evidencia de manera clara diferencias significativas de los genotipos muy tardías. Representando a un 19% de población estudiada. 29% líneas intermedias. 43%, precoz y muy precoz.

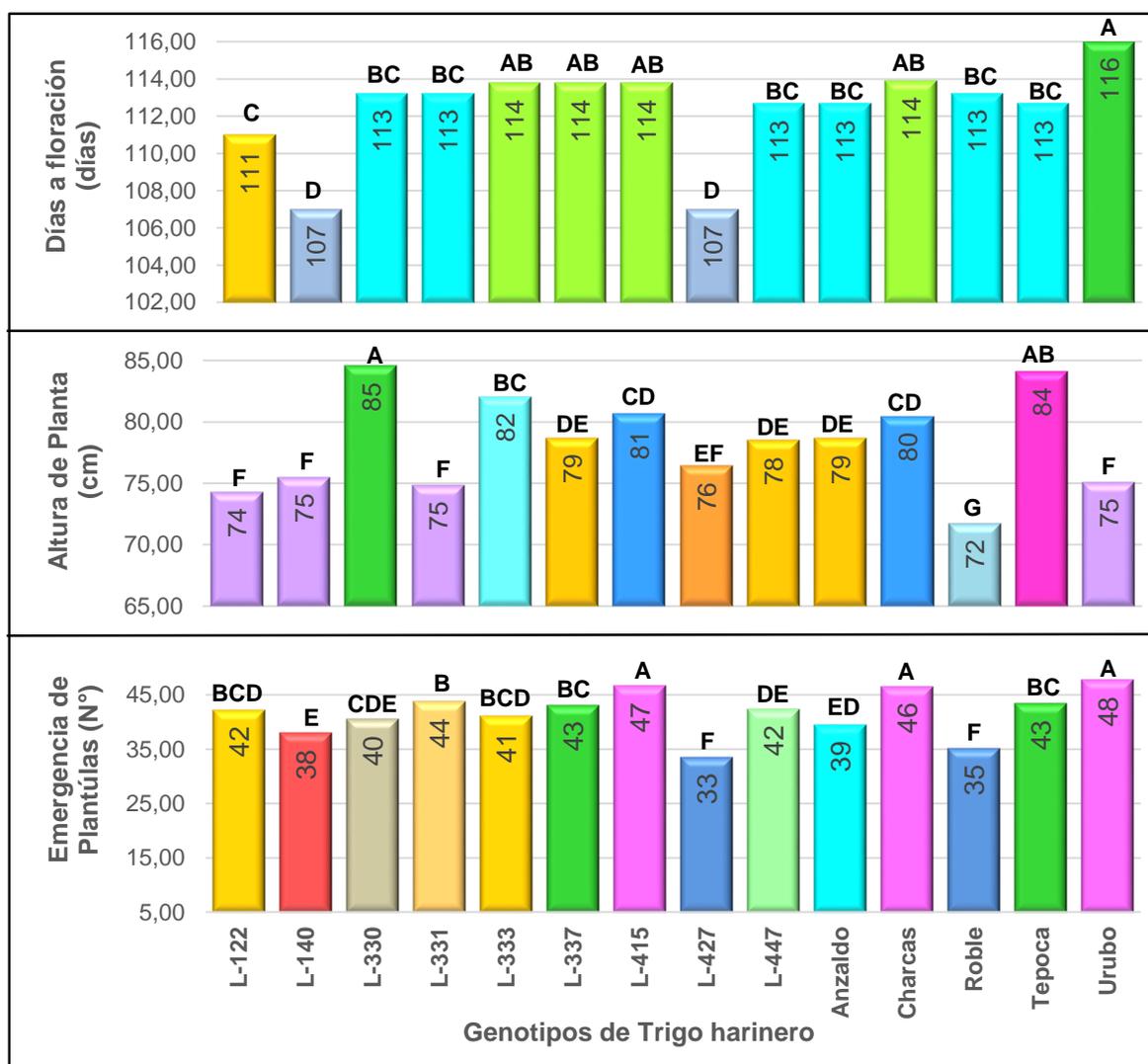


Figura 9. Análisis comparativo de Duncan ($\alpha=0.05$) para las características agronómicas: Días a floración (DF), Altura de planta (AP) y Emergencia de plántulas (EP) para: 14 genotipos de trigo harinero. en la Estación Experimental de Kallutaca en la campaña agrícola 2014-2015.

EL análisis comparativo de medias de rango múltiple de Duncan a nivel de significancia de 5%, de las variables agronómicas se identificó los diferentes agrupamientos o grupos de genotipos en DF, AP y EP además de las frecuencias porcentuales de P y PP.

Días a floración, altura de planta y emergencia de plántulas son variables agronómicas del ensayo que se muestran en la figura 9, donde se evidencio que las líneas elite: L-140 y L-427 alcanzaron la floración en menor tiempo (107 días). Es de mucha importancia este dato ya que se garantiza el rendimiento del trigo, al respecto Miralles (2004), reafirma que la duración de las distintas etapas del cultivo, están reguladas por tres factores determinantes: Temperatura, fotoperiodo (duración del día) y vernalización (requerimiento de horas de frío). El mismo autor señala que el conocimiento de las respuestas del cultivo a estas variables ambientales, permite caracterizar la adaptabilidad de los diferentes cultivares a las distintas zonas productivas.

La prueba de promedios Duncan (figura 9), a nivel de significancia de 5% de la figura 8 de la altura de planta fueron distinguiéndose ocho grupos diferenciándose la L-330 con 85 cm de altura considerándose una línea de porte intermedia. Otros genotipos a considerar son la L-333 y el testigo Tepoca, con alturas de planta que varían de 82 a 84 cm considerándose las de porte intermedia, en tanto que los genotipos de porte baja fueron L-122, L-140, L-331 y Urubó con alturas por debajo de los 76 cm. Gómez (2001), señala la altura promedio de trigo en zonas altiplánicas llegarían a 70 – 90 cm. Esta variable de la altura de la planta es particularmente importante, pues está directamente relacionada con las pérdidas en la cosecha por acame a consecuencia de las granizadas y fuertes vientos que son típicos de la parte altiplánica.

La emergencia de plántulas de los genotipos (figura 9), evidenciaron nueve grupos entre los que se destacó esta la L-415, Charcas y Urubó son de 47, 46, 48 plantas emergidas por metro estas están por encima de las demás, por otra parte L-337 y Tepoca es también un grupo a considerar ya que mostraron 43 plantas emergidas en un metro lineal, sin embargo hay un grupo conformado por la L-427 y Roble con muy pocas plántulas emergidas 33 – 35 plantas respectivamente. De acuerdo a Mamani (1991), indica que el tiempo que transcurre desde el día de siembra hasta la emergencia puede variar por factores físicos del ambiente y suelo entre ellos esta: la temperatura, humedad del suelo, profundidad del suelo. Cabe señalar que esta variable está relacionada con la variable agronómica días a emergencia, por tanto es importante considerar una humedad óptima en el suelo al

momento de la siembra, si bien se realizó la siembra en condiciones óptimas de humedad en los siguientes días y meses no se registró la presencia de precipitación por lo cual el suelo se secó retardando la germinación de las semillas.

Por otro lado, no se evidencian diferencias estadísticas entre las tres densidades de siembra en variables: días a floración, altura de planta y Emergencia de plántulas.

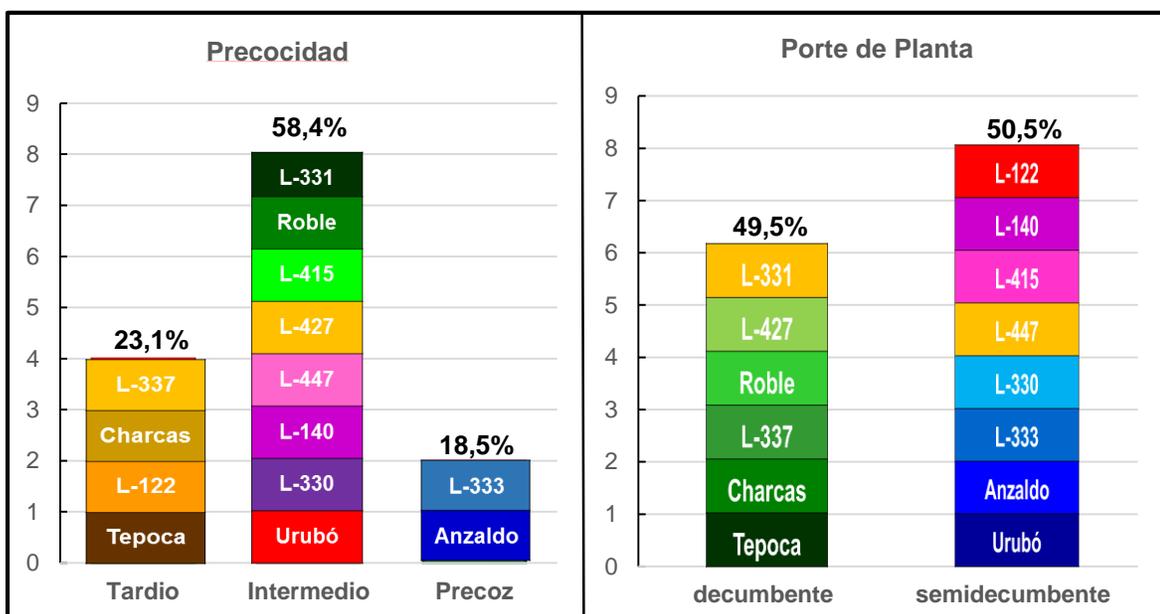


Figura 10. Frecuencias porcentuales para las variables agronómicas; porte de planta y precocidad de 14 genotipos de trigo harinero en la Estación Experimental de Kallutaca 2014-2015.

Las frecuencias porcentuales de la figura 10, para la variable de precocidad muestra que el 58.4% de los genotipos evidencian un nivel intermedio de precocidad entre ellos están los genotipos: L-331, Roble, L-415, L-427, L-447, L-140, L-330 y Urubó, el 23.1% de la población estudiada son tardías: L-337, Charcas, L-122 y Tepoca y el 18.5% son los más precoces entre ellos están los genotipos L-333 y Anzaldo. En el porte de planta el 50.5% de los genotipos es semidecumbente y el 49.5% de la población estudiada es decumbente. El empleo de trigos de ciclo largo o corto no es indiferente para el buen éxito de la cosecha, además que una variedad muy precoz ayuda a resistir la sequía, aunque las variedades con mayor ciclo largo generan mayor producción (Prodelesa, 2009).

Cuadro 5. Análisis de varianza para las variables de características morfológicas: Longitud de arista (LA) y Densidad de espiga (DES), Longitud de espiga (LE) y Tamaño de grano (TG) para; 14 genotipos de trigo harinero. en la Estación Experimental de Kallutaca en la campaña agrícola 2014-2015.

Fuentes de variación	GL	Cuadrados Medios			
		LA	DES	LE	TG
Bloque	2	0.07 ns	0.06 ns	7.43 *	1.18 ns
Densidad (Ea)	2	0.11 ns	0.06 ns	4.12 *	0.41 ns
	4	0.39	0.03	0.61	0.22
Genotipo	13	2.05 **	2.52 **	4.91 **	4.09 **
Densidad*Genotipo	26	0.31 **	0.06 ns	0.64 ns	0.79 ns
Error (Eb)	78	0.12	0.11	0.72	0.54
R ²		0.79	0.80	0.65	0.65
%C.V.		5.09	10.99	10.33	17.40

** : Altamente significativo.

* : Significativo

ns: No significativo.

R²: Coeficiente de determinación. %CV: Coeficiente de variación

De acuerdo al análisis de varianza del cuadro 5, para las variables de las características morfológicas, se evidencia diferencias altamente significativas entre los genotipos de las variables: Longitud de arista ($p < 0.001$) y Densidad de espiga ($p < 0.001$) y por último también se encontró diferencias altamente significativas entre la interacción de factor A y el factor B (Densidad*Genotipo). Además de ello los valores de coeficiente de variación de la longitud de arista 5.09% y Densidad de espiga 10.99%, se encuentran: en rangos honestos que reflejan también credibilidad. Según Guañuna (2014), la variable densidad de la espiga, puede haber diferencias significativas entre genotipos, esto implica que el 43.48 % de genotipos presentan una densidad muy laxa, 34.78 % de la población con densidad laxa y un grupo de genotipos presentaron una densidad densa y muy densa que representaron el 2.17 % de la población. De acuerdo al mismo autor, se pueden evidenciar diferencias estadísticas entre variables cualitativas entre ellas está la longitud de arista, ya que se destacó por la distribución de las barbas en toda la espiga con 73.68 %.

Según el análisis de varianza del cuadro 5, para las variables de las características morfológicas, se evidencia diferencias estadísticamente significativas entre: los bloques ($p = 0.01$) y las densidades de siembra del ensayo ($p = 0.05$) para la variable; Longitud de espiga. Así mismo se encontraron diferencias altamente significativas entre los genotipos de las variables: Longitud de espiga ($p < 0.001$) y Tamaño de grano ($p < 0.001$). Además de ello los valores de coeficiente de variación de la longitud de espiga 10.33% y Tamaño de grano 17.40%, se encuentran: en rangos que reflejan también credibilidad.

Las características de morfología del trigo en su mayoría, corresponden a la estructura floral de la espiga, de ahí que muchos autores han señalado a estas estructuras como fuentes de pequeñas variaciones para la tolerancia a factores abióticos, biótico y así también en su conjunto como estructuras con propiedades fotosintéticas (Yapu, 2015).

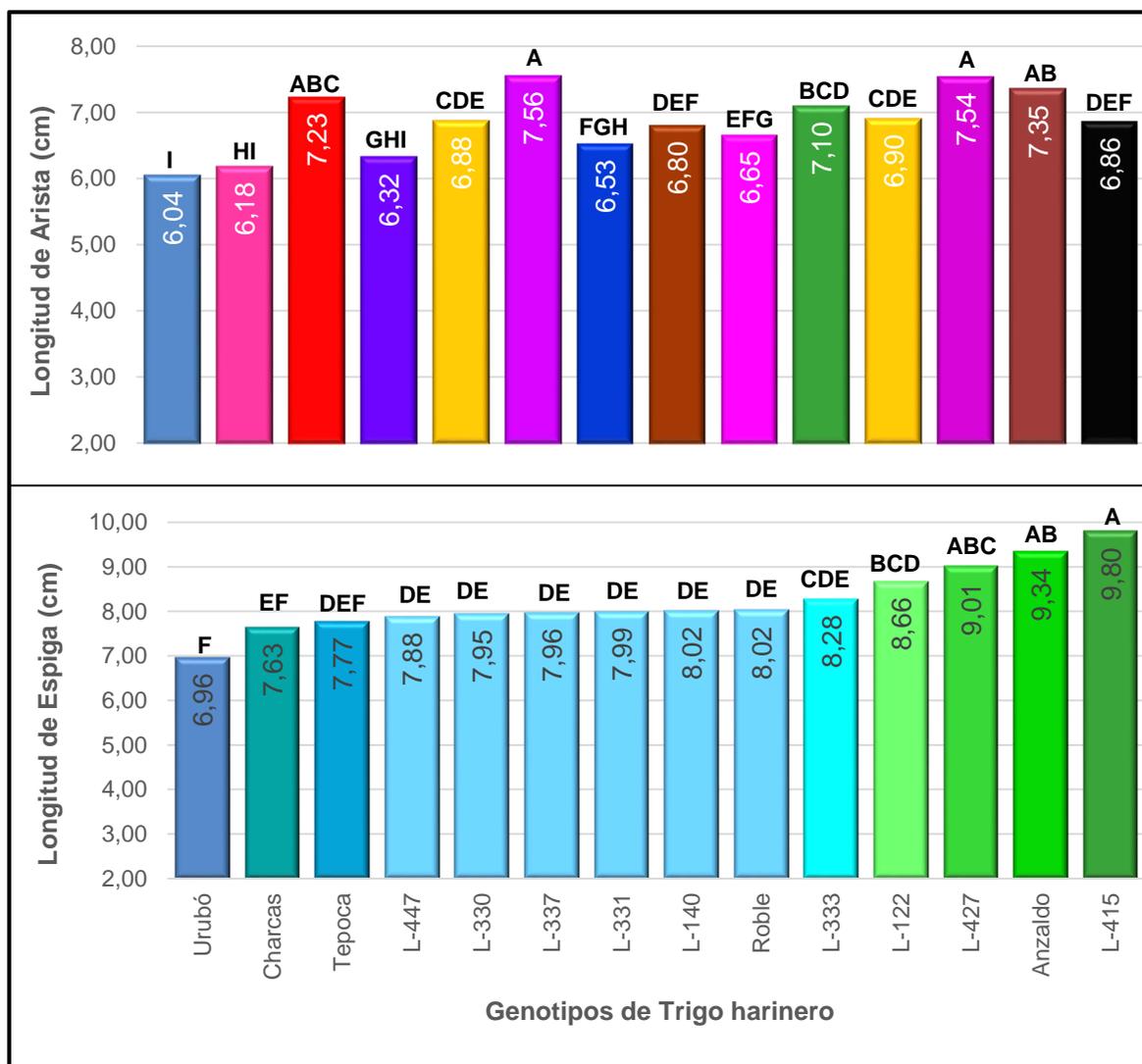


Figura 11. Análisis comparativo de Duncan ($\alpha=0.05$) para las características morfológicas: Longitud de arista (LA) y Longitud de espiga para; 14 genotipos de trigo harinero. en la Estación Experimental de Kallutaca en la campaña agrícola 2014-2015.

Las variables morfológicas longitud de arista y longitud de espiga de la figura 11, muestran en la primera variable que las líneas L-337 y L-427 evidenciaron superioridad respecto a los otros genotipos con 7.5 cm de longitud en sus barbas. Además, se identificó a diez grupos que están por debajo de los 7.4 cm y 6.4 cm, presentando similitud estadísticamente

entre promedios. En la longitud de espiga se identificó a la línea L-415 superior sobre los demás genotipos con 9.8 cm, además de los genotipos Anzaldo y L-427 con 9.3 y 9 cm respectivamente. King y Richards (1984), señalan que la longitud de las barbas (arista) es importante dentro de un programa de mejoramiento en especial en el altiplano ya que en sucesos de granizada ayudan al desgrane además se demostró que en trigos sin barbas, el agua escurre apresuradamente. Por otra parte en las densidades de siembra no se evidenciaron diferencias altamente significativas en las variables LA y LE, por lo cual consideramos no mostrar su respectivo análisis comparativo de Duncan.

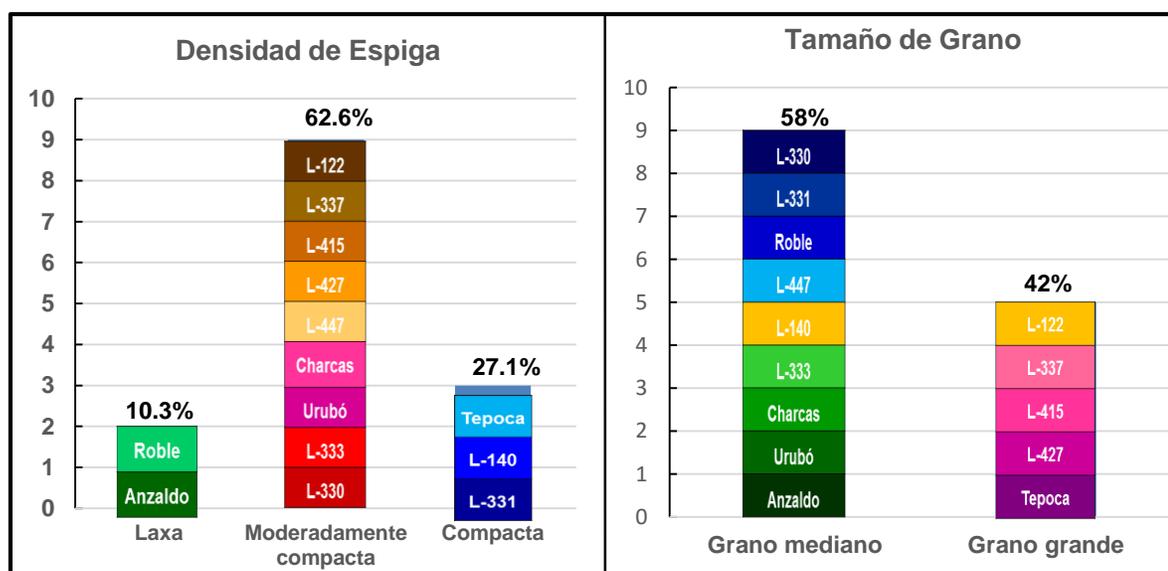


Figura 12. Frecuencias porcentuales de variables morfológicas: Densidad de espiga y Tamaño de grano de 14 genotipos de trigo harinero en la Estación Experimental de Kallutaca 2014-2015.

La densidad de espiga de los genotipos estudiados (figura 12), evidencio que el 62.6% de la población en estudio son moderadamente compactos, entre estos genotipos esta: L-122, L-337, L-415, L-427, L-447, Charcas, Urubó, L-333 y L-330; por otro lado el 27.1% de los genotipos en estudio: Tepoca, L-140y L-331 presentaron una densidad de espiga compacta y el 10.3% conformada por Roble y Anzaldo, evidencian una densidad espigas laxa.

Las frecuencias del tamaño de grano, muestran que el 58% de la población de los genotipos son granos medianos entre ellos figuran las líneas: L-330, L-331, L-447, L-140, L-333 y las variedades: Roble, Charcas, Urubó y Anzaldo. Además que el 42% de la población estudiada evidenciaron ser de grano grande estos genotipos son L-122, L-337, L-415, L-427 y Tepoca.

4.3.2. Análisis de los componentes de rendimiento y calidad

Los componentes de rendimiento son un acumulado de variables, entonces todos estos componentes estarían agrupados a una o más fases del desarrollo vegetativo, llenado de grano del cultivo, dando como resultado el rendimiento. Se han comprobado que los componentes ecofisiológicos son las más apropiadas para inferir los rendimientos, sin embargo son más complicadas de adoptarlas (Slafer *et al.* 2002). Por lo tanto la sencillez para determinar los componentes de rendimiento se basara en las siguientes variables. Número de Macollos por planta (NM), Número de espigas por metro cuadrado (NEM), Área foliar (AF), Peso de mil granos (PMG), Número de granos por espiga (NGE), Número de espiguillas por espiga (NEE), y Rendimiento en grano (RDTO).

Dentro del mejoramiento del grano de trigo, comprende entre sus objetivos: la calidad de grano, el rendimiento en grano que históricamente ha mostrado una asociación negativa con las variables que constituyen la calidad en los diferentes programas de mejoramiento; sin embargo, actualmente CIMMYT ha descartado este concepto, a través de una alta diversidad de germoplasma; cultivares de alto rendimiento y alta calidad de proteína (Guzmán, 2014). Por ello se tomó como variable de calidad al Peso hectolítrico (PH).

Cuadro 6. Análisis de varianza para las variables de los componentes de rendimiento: Número de macollos por planta (NM), Número de espigas por metro cuadrado (NEM), Área foliar (AF), Peso de mil granos (PMG), Número de granos por espiga (NGE) y Número de espiguillas por espiga (NEE) para; 14 genotipos de trigo harinero. en la Estación Experimental de Kallutaca en la campaña agrícola 2014-2015.

Fuentes de variación	GL	Cuadrados Medios					
		NM	NEM	AF	PMG	NGE	NEE
Bloque	2	0.09 ns	30.25 ns	154 ns	1.74 ns	0.95 ns	7.25 ns
Densidad	2	1.023 ns	59464 **	28.0 ns	9.93 ns	19.65 **	230.38 **
(Ea)	4	0.839	47.51	23.27	1.46	0.94	7.6
Genotipo	13	6.889 **	44283.43 **	33.99 *	112.34 **	375.27 *	256.11 **
Densidad*Genotipo	26	1.097 **	15114.65 **	28.97 *	48.4 **	25.98 *	141.53 **
Error (Eb)	78	0.396	56.76	14.82	0.88	3.48	4.83
R ²		0.80	1.00	0.59	0.98	0.95	0.95
%C.V.		6.32	1.56	25.79	2.61	7.27	4.36

** : Altamente significativo.

* : Significativo

ns: No significativo.

R²: Coeficiente de determinación. %CV: Coeficiente de variación.

Según el análisis de varianza (cuadro 6), se identificaron estadísticamente, diferencias altamente significativas, entre densidades de siembra ($p < .0001$), de la variable; número de

espigas por metro cuadrado. Así también se verificaron diferencias altamente significativas entre los genotipos ($p < .0001$) y la interacción de las densidades de siembra y los genotipos ($p < .0001$) para ambas variables del análisis de varianza. De igual forma los valores de coeficiente de variabilidad del número de macollos 6.32% y número de espigas por metro cuadrado 1.56%, se encuentran en rangos confiables y reflejan también credibilidad en los resultados presentados. Por otro lado; no se hallaron diferencias estadísticas entre bloques, densidades de siembra, en el caso de la variable; número de macollos.

Cortés (2012), señala que en condiciones de riego, observó que un genotipo, tuvo un mayor macollaje con, pero cabe destacar que en el presente estudio no se encontró diferencia en el macollaje entre variedades posiblemente debido al estrés hídrico que sufrieron. Con un coeficiente de variación muy elevado de 55%. Por otro lado Manangón (2014), verifico que en la variable número de espigas /m², encontró diferencias altamente significativas entre genotipos con un coeficiente de variación de 32.82%.

Según el análisis de varianza del cuadro 6, para las variables de los componentes de rendimiento, se evidencia diferencias: estadísticamente significativas entre: los genotipos ($p = 0.013$) e interacción de las densidades de siembra por los genotipos ($p = 0.012$) para el área foliar. Así también se encontró diferencias altamente significativas, entre: los genotipos ($p < .0001$) e interacción de las densidades de siembra por los genotipos ($p < .0001$) para el peso de mil granos. Además de ello los valores de coeficiente de variación del área foliar 25.79% y el peso de mil granos 2.61%, los mismos se encuentran: en rangos honestos que reflejan credibilidad. Por otro lado en este análisis de varianza no se encontraron diferencias estadísticas entre bloques, tampoco entre densidades de siembra. De acuerdo a Yousaf, *et al.* (2008), reporta que en características cuantitativas como el peso de mil granos de trigo, hay diferencias significativas ($p = 0.05$), además se pudo demostrar que, el número de tallos productivos por planta y el número de granos por espiga tuvieron un efecto directo en el rendimiento del grano por planta lo cual permitió seleccionar genotipos superiores en trigo.

De acuerdo al análisis de varianza del cuadro 6, para las variables de los componentes de rendimiento, se evidencia diferencias altamente significativas entre densidades de siembra ($p = 0.0076$; $p = 0.004$), los genotipos ($p < .0001$) y la interacción de las densidades de siembra con los genotipos ($p < .0001$) para el número de granos por espiga y el número de espiguillas por espiga. También los valores de coeficiente de variación son 7.27% y 4.36% respectivamente, se encuentran en rangos que reflejan credibilidad. Según Monar (2011),

menciona que las variables NEE y NGE son caracteres varietales y los resultados de esta investigación fueron menores a los reportados por varios autores quizá porque influyeron la temperatura, la humedad, la cantidad y calidad de luz solar, la cantidad de precipitación, la sanidad de las plantas, la nutrición, la eficiencia de la tasa de fotosíntesis, el índice de área foliar, los vientos, la evapotranspiración, la tasa de respiración, amplio rango de temperatura, estrés por sequía que se presentó en la fase reproductiva del cultivo, pudo causar esterilidad de las florecillas y por ende menos granos por espiguilla y por espiga.

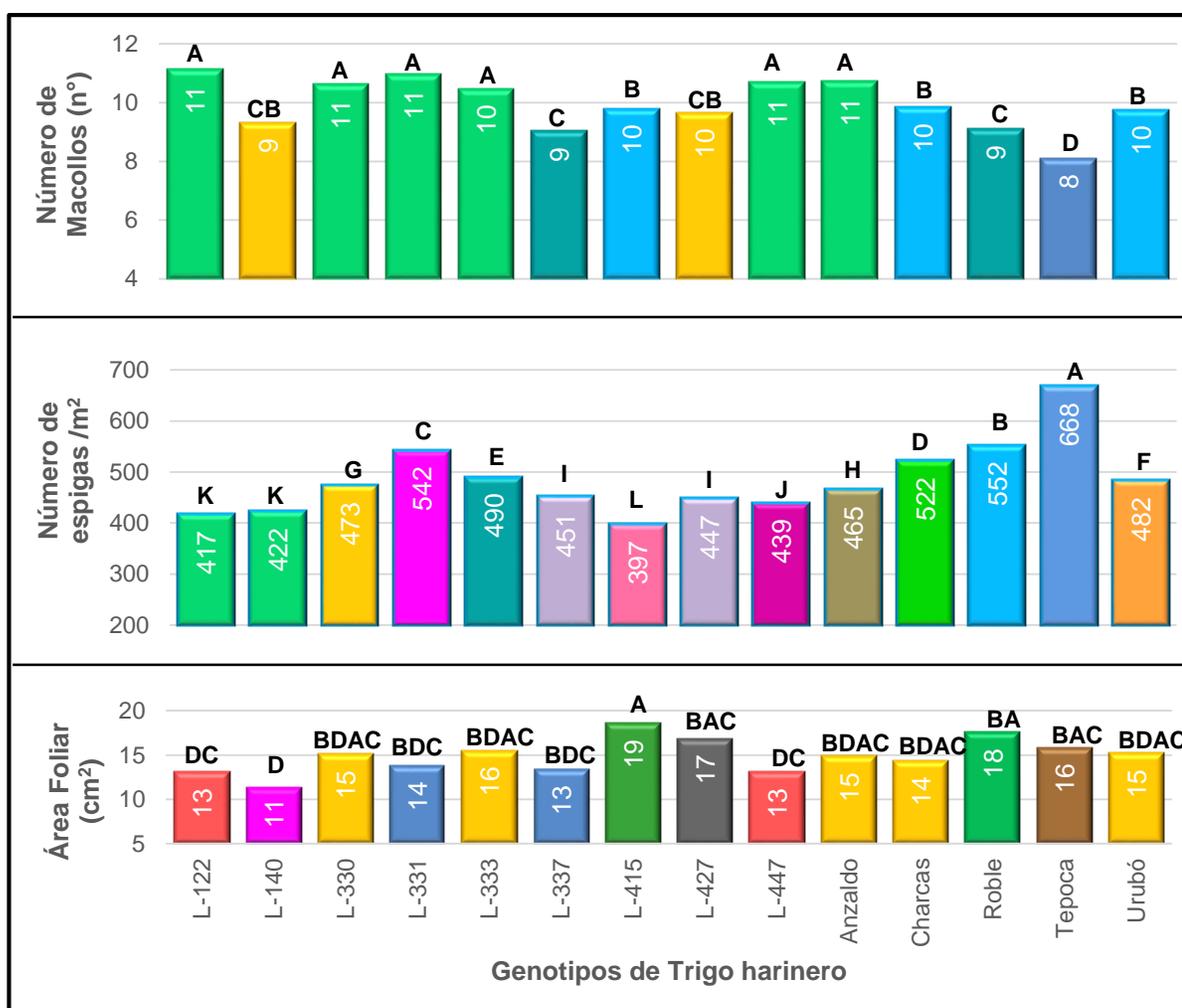


Figura 13. Análisis comparativo de Duncan ($\alpha=0.05$) para los componentes de rendimiento: Número de macollos (NM), Número de espigas /m² (NEM) y Área foliar (AF) para; 14 genotipos de trigo harinero. en la Estación Experimental de Kallutaca en la campaña agrícola 2014-2015.

El análisis comparativo de medias de Duncan de la figura 13, se realizó para variables componentes de rendimiento: número de macollos, número de espigas por metro cuadrado y área foliar; en donde se distinguido en cinco grupos en NM, doce grupos para NEM y ocho grupos en el AF. La prueba de promedios Duncan a nivel de significancia al 5% de la figura 13, evidencia que en el número de macollos los genotipos L-122, L-330, L-331, L-333, L-447 y Anzaldo muestran promedios de 10 a 11 macollos, que los diferencian estadísticamente de los demás genotipos. Por su parte en la variedad Tepoca se identificó 8 macollos es demuestra que tuvo menor cantidad de macollos que los demás genotipos de acuerdo a Reynolds *et al.* (2013), se pueden formar macollos, aún después del espigado y la formación de hojas, el mismo autor señala que esta etapa es donde hay mayor competencia por los nutrimentos entre plantas por lo cual se reduce la cantidad de asimilados para el crecimiento potencial de los macollos ocasionando mortandad de macollos. Los números de espigas por metro cuadrado que se muestran en la figura 13, de los doce grupos identificados; la variedad Tepoca se diferenció con respecto a las demás (genotipos), ya que en un metro cuadrado obtuvo 668 macollos, sin embargo también hay genotipos que destacar como Roble, L-331 y Charcas con 552, 542 y 522 espigas en un metro cuadrado. La prueba de promedio (figura 13) del Área foliar destaca a la línea L-415 con 19 cm² mientras que los demás genotipos evidencian similitud. Las diferencias entre grupos de líneas para área foliar son muy importantes puesto que la hoja bandera aporta nitrógeno entre el 70 a 90% y asociadas al número de hojas por macollo influirán directamente al rendimiento por ser también estas unidades fotosintéticas, y de acuerdo a (Ray y Sinclair, 1998).



Figura 14. Análisis comparativo de Duncan ($\alpha=0.05$) de las densidades de siembra para el número de espigas/m².

En la figura 14, de la comparación de pruebas de promedios de Duncan para las densidades de siembra muestra que en $100 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$ es decir que en esa densidad hay 524 espigas en un metro cuadrado, esto evidencia superioridad significativa con respecto a las otras densidades de siembra (125 y $150 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$).

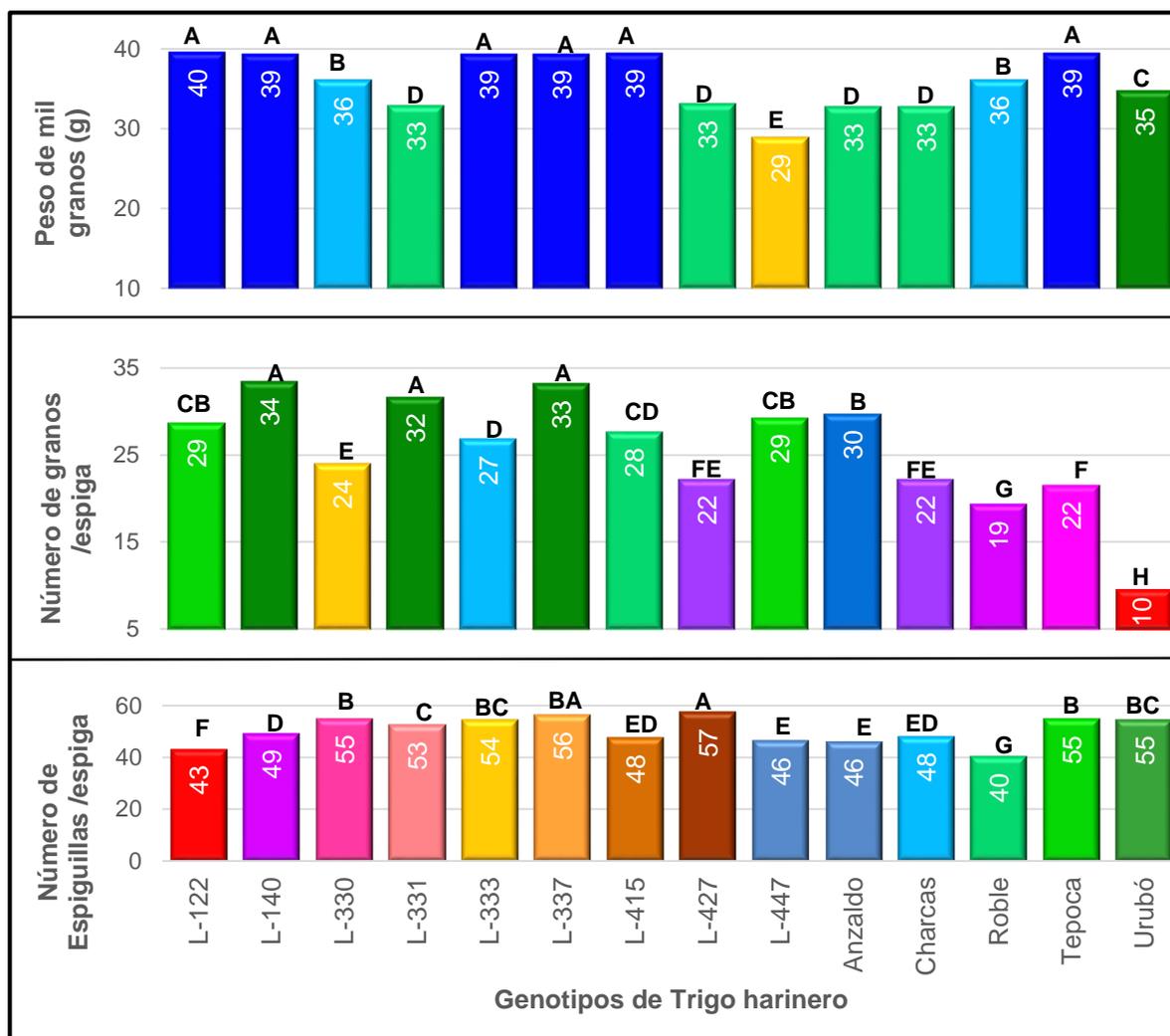


Figura 15. Análisis comparativo de Duncan ($\alpha=0.05$) para los componentes de rendimiento: Peso de mil granos (PMG), Número de granos/espiga (NGE) y Número espiguillas/espiga (NEE) para; 14 genotipos de trigo harinero, en la Estación Experimental de Kallutaca en la campaña agrícola 2014-2015.

El peso de 1000 granos, número de granos/ espiga y número de espiguillas/espiga son componentes de rendimiento que evidencian diferencias estadísticas como lo muestra la figura 15, en la variable peso de mil granos evidencia que un grupo integrado por los genotipos L-122, L-140, L-333, L-337, L-415 y Tepoca se diferenció con el resto de los demás ya que el peso de estos genotipos es entre los 39 a 40 g de 1000 genotipos trigo

harinero. De acuerdo a Balvi, *et al.* (2013) se pueden hallar diferencias significativas entre genotipos de trigo, en la investigación que realizaron evidenciaron que el peso de 1000 granos es de 40 g similar a nuestro ensayo.

El análisis comparativo que muestra la figura 15 del número de granos por espiga para las líneas, L-140, L-331 y L-337 (de 32 a 34 granos por cada espiga) evidencia diferencias estadísticas superiores sobre los demás genotipos, pero hay un genotipo que también debería tomarse en cuenta en el programa de mejoramiento es la variedad Anzaldo que mostro una diferencia estadística junto con las líneas elite mencionadas con 30 granos por cada espiga. El número de espiguillas por espiga de la figura 15, muestra que el genotipo L-427 es superior estadísticamente con 57 espiguillas en una espiga, a esta también le siguen los genotipos: L-330, L-331, L-333, L-337, Tepoca y Urubó, de 53 a 55 espiguillas por espiga importantes a considerarse dentro de los componentes de rendimiento. Estos componentes numéricos o de rendimiento, se definen en forma sucesiva a través del ciclo del cultivo y ayudan a explicar, retrospectivamente, en qué etapa y qué factor produjo una reducción en el rendimiento, atribuido al número de granos. Sin embargo, el trigo posee una notable capacidad de compensación entre componentes, esto es, el aumento de uno al disminuir otro, con poco cambio en el resultado final (Abbate *et al.*, 1994).

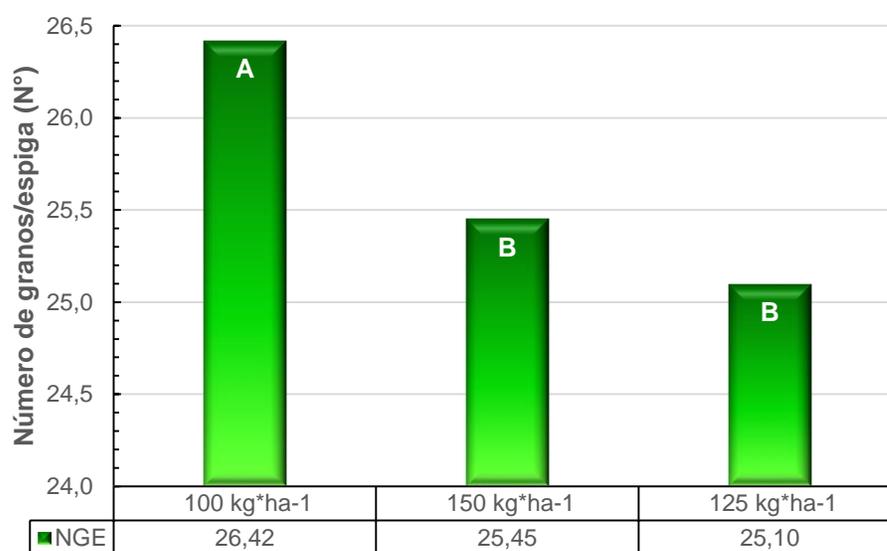


Figura 16. Análisis comparativo de Duncan ($\alpha=0.05$), de las densidades de siembra para el número de granos/espiga

El análisis comparativo de Duncan de la figura 16, de las densidades de siembra del ensayo, evidencia que hay diferencias estadísticas y superioridad de la densidad $100 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$ ya que se obtiene 26 granos/espiga con esa densidad, sin embargo las otras densidades de siembra tanto 150 y $125 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$ se evidencio que se puede obtener 25 granos de trigo harinero/espiga.

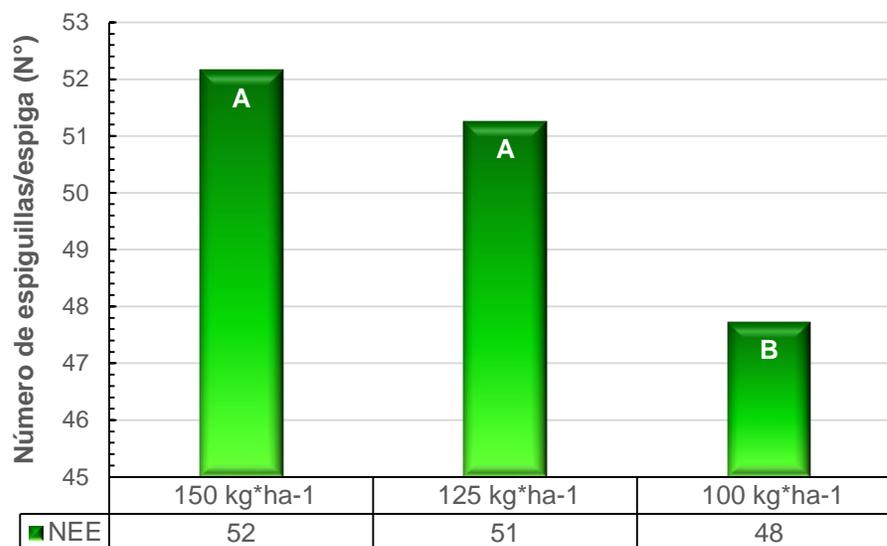


Figura 17. Análisis comparativo de Duncan ($\alpha=0.05$) de las densidades de siembra para el número de espiguillas/espiga.

La prueba de promedios de Duncan de la figura 17, identificó que en densidades de $150 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$ y $125 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$ son estadísticamente superiores ya que con esas densidades de siembra se obtuvo: 52 y 51 espiguillas por cada espiga respectivamente. Sin embargo cabe notar que a una densidad de $100 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$ se evidencia 48 espiguillas por espiga estando por debajo de los promedios de las demás densidades de siembra.

Cuadro 7. Análisis de varianza para las variables de los componentes de rendimiento - calidad: Rendimiento (RDTO) y Peso hectolitrico (PH) para; 14 genotipos de trigo harinero. en la Estación Experimental de Kallutaca en la campaña agrícola 2014-2015.

Fuentes de variación	GL	Cuadrados Medios	
		RDTO	PH
Bloque	2	15977.234 ns	14,325 ns
Densidad	2	864977.123 **	166,358 **
(Ea)	4	8542.5	3,941
Genotipo	13	8444832.9 **	35,183 **
Densidad*Genotipo	26	2282792.7 **	19,587 **
Error (Eb)	78	190121.7	3,924
R ²		0,92	0,81
%C.V.		10.43	4,62

** : Altamente significativo. * : Significativo ns: No significativo.

R²: Coeficiente de determinación. %CV: Coeficiente de variación.

De acuerdo al análisis de varianza (cuadro 7), en la variable de rendimiento, se evidencia diferencias altamente significativas entre: densidades de siembra, genotipos de trigo, y la interacción de ambos. También el coeficiente de variación es de 10.43% haciendo de los datos analizados verídicos. El análisis de varianza de acuerdo a Moñocopa (2012) indica que existe significancia estadística de 0.001 entre líneas (genotipos) de rendimiento.

Según el análisis de varianza del cuadro 7, para las variables de los componentes de rendimiento y calidad, se evidencia diferencias altamente significativas entre densidades de siembra ($p < 0.0001$; $p = 0.002$), los genotipos ($p < 0.0001$) e interacción de las densidades de siembra por los genotipos ($p < 0.0001$) para el rendimiento y el peso hectolitrico. Además de ello los valores de coeficiente de variación son: 8.68% y 4.62%, los mismos se encuentran en rangos verídicos que reflejan credibilidad. Según Moñocopa (2012), puede haber diferencias significativas entre genotipos.

El análisis comparativo de Duncan de la figura 18, para el rendimiento de los genotipos de trigo harinero, evidencian que las líneas L-140, L-337 y L-122 son los genotipos con rendimiento estadísticamente superior sobre los demás con 5024, 4832 y 4749 kg*ha⁻¹, así también los genotipos: Anzaldo, L-331, sus rendimientos promedios son de 4461 y 4417 kg*ha⁻¹, importantes dentro del programa de trigo ya que superan promedio nacional, por su parte las líneas elite L-333 y L-330 son genotipos a considerar ya que en su rendimiento promedio es 4358 y 4235 kg*ha⁻¹ con respecto al testigo Tepoca con un rendimiento

promedio de 1826 kg*ha⁻¹ son superiores, sin embargo la variedad Urubó con un rendimiento promedio de 1557 kg*ha⁻¹ no logra superar la media del testigo.

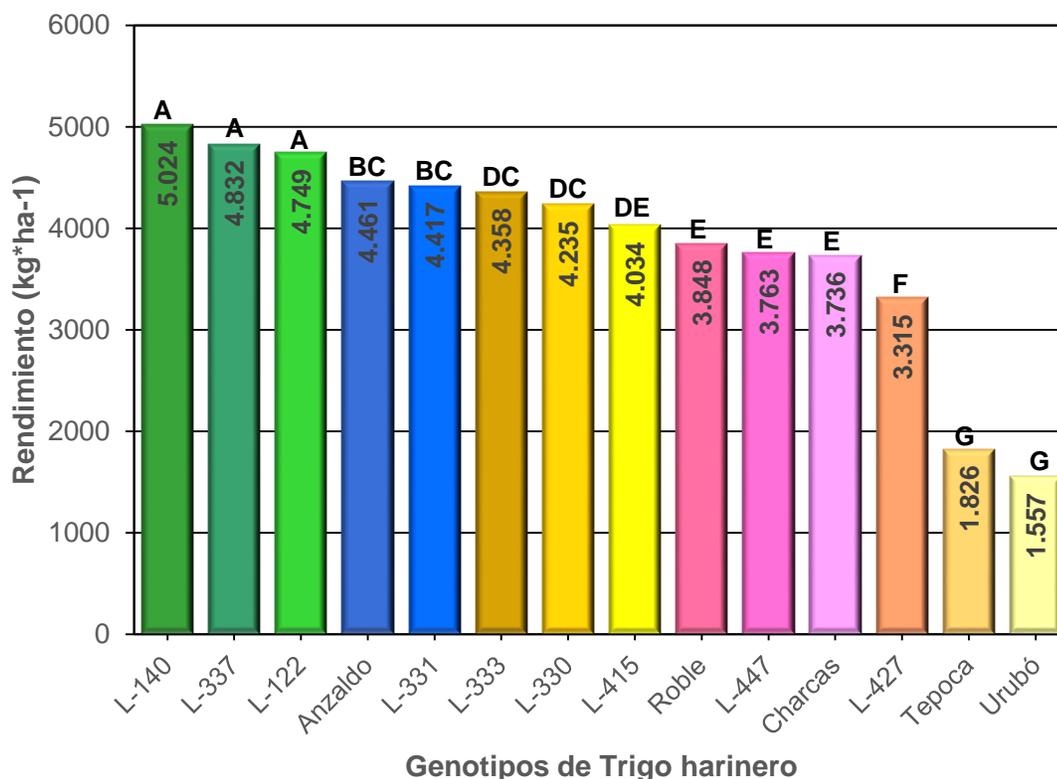


Figura 18. Análisis comparativo de Duncan ($\alpha=0.05$) del rendimiento (RDT) para: 14 genotipos de trigo harinero. en la Estación Experimental de Kallutaca en la campaña agrícola 2014-2015.

De acuerdo a Moñocopa (2012), que realizó su investigación en el altiplano central norte evidencia que su rendimiento general de su ensayo fue de 2676 kg*ha⁻¹. Según Yapu (2015), que realizó su investigación en la estación experimental de kallutaca, logra alcanzar un rendimiento promedio de 2176 kg*ha⁻¹ en la campaña agrícola 2013 – 2014 por debajo los rendimientos obtenidos en nuestro ensayo de la campaña 2014 – 2015 con un rendimiento general de 3900 kg*ha⁻¹.

La prueba de promedios de Duncan (figura 19) para las densidades de siembra en el rendimiento evidencian que en una densidad de 100 kg*ha⁻¹ es superior ya que se evidencian más rendimiento: 4763 kg*ha⁻¹ de grano de trigo harinero en comparación con las demás densidades de 125 y 150 kg*ha⁻¹. Hay que tomar en cuenta que la falta de precipitaciones en los primeros meses es septiembre, octubre y noviembre fue fundamental

para que una densidad superior a los 100 kg*ha⁻¹ no generara mayor rendimiento ya que en su mayoría se hallan granos de trigo vacío, así también el suelo heterogéneo del lugar con falta de materia orgánica pudieron generar estos resultados entre las densidades de siembra.

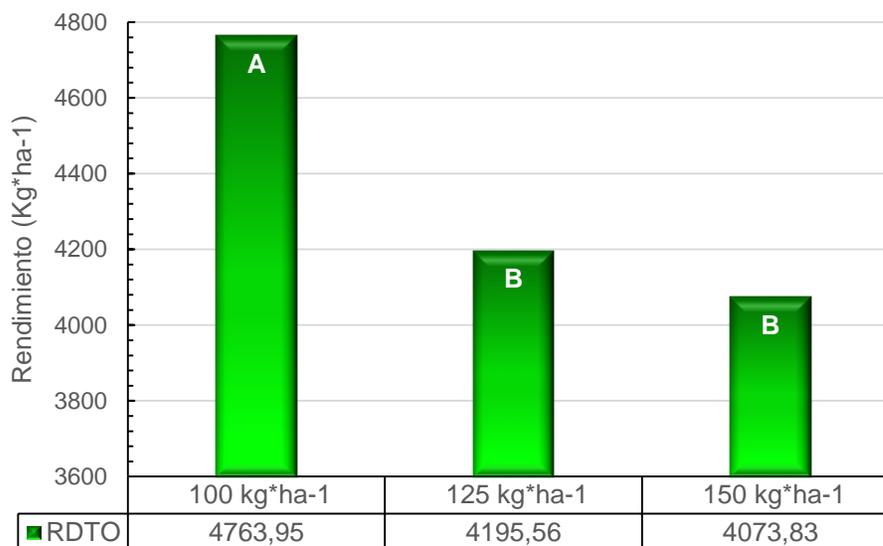
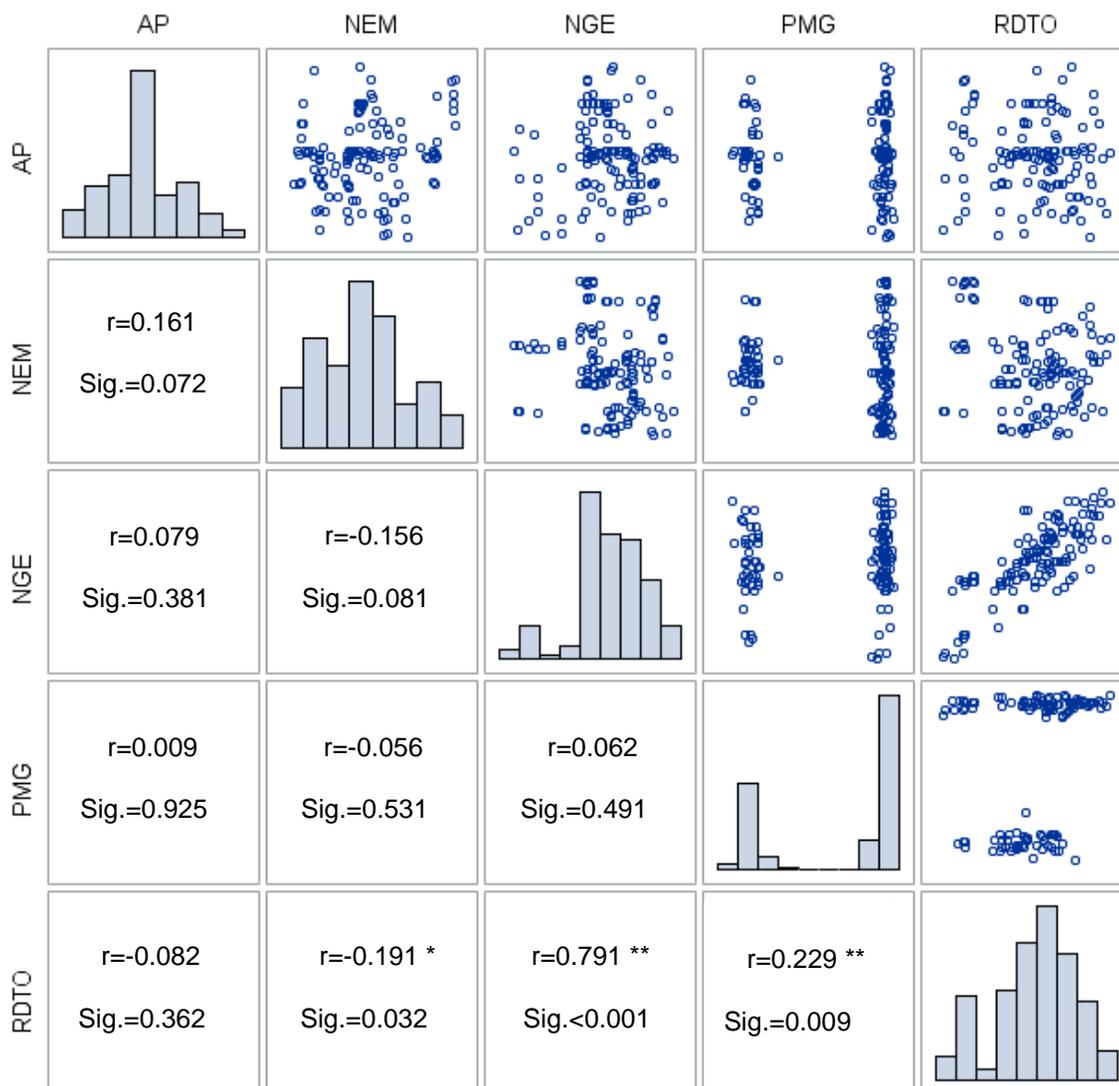


Figura 19. Análisis comparativo de Duncan ($\alpha=0.05$) de las densidades de siembra para el rendimiento.

4.4. Análisis de correlación múltiple

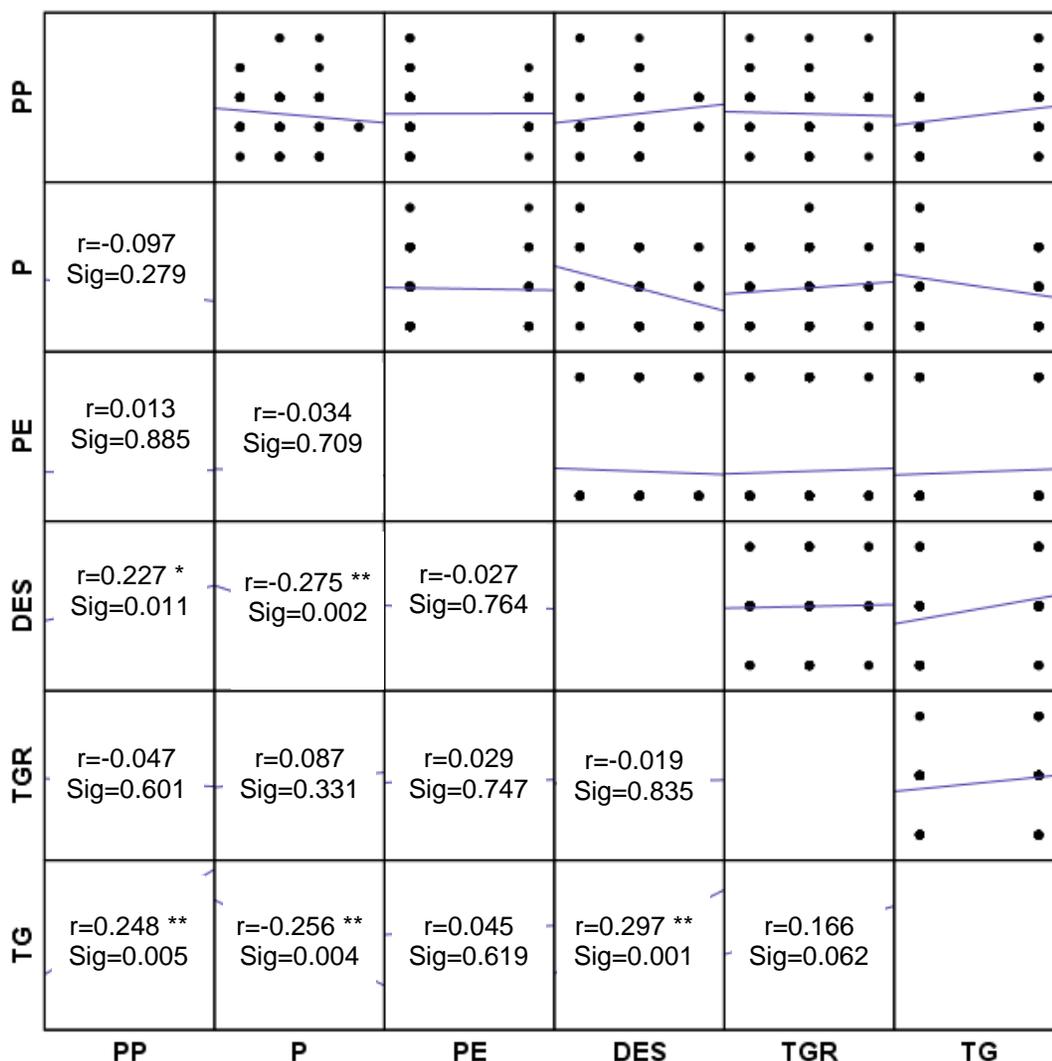
Se evidencian importantes asociaciones entre variables de la figura 20, según al coeficiente de correlación de Pearson. Las correlaciones más destacadas para el rendimiento de grano fueron las siguientes: Una asociación positiva altamente significativa ($r=0.791$) con la variable componente de rendimiento número de granos por espiga, peso de mil granos con una asociación altamente significativa ($r=0.229$), y una asociación significativa con el número de espigas por metro cuadrado ($r=-0.191$). Las asociaciones positivas entre el rendimiento y algunas variables reflejan la validez de este análisis; asimismo una asociación positiva entre el número de granos por espiga y número de espiguillas*m² señala la necesidad de aumentar la densidad de siembra para aumentar a través del número de granos por planta en el rendimiento.



** La correlación es significativa al nivel 0.01 (bilateral). * La correlación es significativa al nivel 0.05

Figura 20. Matriz de dispersión y coeficiente de correlación lineal Pearson, en el comportamiento agronómico de 14 genotipos de trigo harinero en la Estación Experimental de Kallutaca 2014-2015.

Las correlaciones no paramétricas de Spearman de la figura 21 evidencian que los genotipos de trigo harinero, precoces estudiadas en condiciones del Altiplano Norte tienden a tener densidades de espiga muy laxas evidenciándose una asociación negativa altamente significativa ($r=-0.275$) entre el porte de planta y densidad de espiga. Así también se identificó una asociación significativa entre la densidad de espiga y precocidad ($r=0.227$) pero la variable tamaño de grano de los genotipos es significativamente bilaterales o forma una asociación positiva con las variables: porte de la planta ($r=0.248$), precocidad ($r=0.256$) y densidad de espiga ($r=0.297$).



** . La correlación es significativa al nivel 0.01 (bilateral). * . La correlación es significativa al nivel 0.05

Figura 21. Matriz de dispersión y correlación lineal de Spearman en el comportamiento agronómico de 14 genotipos de trigo harinero en la Estación Experimental de Kallutaca 2014-2015.

4.5. Análisis de regresión lineal múltiple

De acuerdo al análisis realizado, se evidencia que por cada $680 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$ hay 323 macollos por planta, así también se identificó que por cada $4744 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$ de trigo harinero se reduce 2 espigas en un metro cuadrado, el área foliar por su parte se reduce $18,26 \text{ cm}^2$ por cada $4272 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$ además por cada $1636 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$ de trigo harinero se incrementa 62 gramos en 1000 granos de trigo, se evidencia también el aumento 135 granos por espiga en cada $426 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$ de trigo y el número de espiguillas por espiga se reduce en 14 por cada $4645 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$.

Cuadro 8. Análisis de regresión lineal múltiple en el comportamiento de 14 genotipos de trigo harinero en la Estación Experimental de Kallutaca 2014-2015.

Variable	Intercept	Estimador del parámetro	Error estándar	t	Sig.
Número de macollos por planta	680,253	323.281	91.878	3.52	0.0006
Número de espigas por m ²	4744,564	-1.747	1.135	-1.54	0.1264
Área foliar	4172,698	-18.269	22.541	-0.81	0.4192
Peso de mil granos	1636,823	62.906	21.851	2.88	0.0047
Número de granos por espiga	426,104	135.414	9.826	13.78	<.0001
Número de espiguillas por espiga	4645,985	-14.807	13.419	-1.10	0.2720

5. CONCLUSIONES

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

Los genotipos L-330, L-415, Urubó y Charcas son genotipos que sobresalieron en el análisis de datos de las características agronómicas, además que el 58.4% de los genotipos estudiados presentan una precocidad intermedia entre ellos esta los genotipos L-331, Roble, L-415, L-427, L-140, L-330 y Urubó. El análisis del rendimiento identificó líneas: L-140, L-337 y L-122 son los genotipos con mayor rendimiento, así también los genotipos; Anzaldo, L-331 y la densidad de siembra de $100 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$ es adecuado cuando no hay mucha precipitación. La presente investigación contribuyó al conocimiento del comportamiento agronómico y densidades de siembra del cultivo.

La etapa más crítica de la investigación fue entre los meses de septiembre a noviembre y parte de diciembre por diferentes condiciones de la Estación Experimental de Kallutaca, siendo las principales características ambientales influyentes: Presencia de sequías durante los primeros y después precipitaciones de alta intensidad, temperaturas medias promedios bajas (efectos negativos sobre complejos metabólicos, fisiológicos y otros), días nublados y bajo radiación solar incidente (efectos negativos sobre la fotosíntesis).

Los componentes de rendimiento acuerdo a los análisis de correlación el rendimiento en grano de trigo harinero, influyen indirectamente a la producción son: número de espigas por metro cuadrado, peso de mil granos, número de granos por espiga, las cuales deben ser consideradas en el Programa Nacional de Trigo. Sin embargo hay que mencionar que lo anterior es una aproximación abreviada de un conjunto de procesos complejos del cultivo de trigo.

6. RECOMENDACIONES

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

Es necesario continuar con la investigación del comportamiento agronómico de genotipos: L-122, L-140 y L-337, y si es que se quiere aplicar una densidad de siembra superior a los $100 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$ es necesario hacerlos con maquinaria adecuada y no tanto manualmente.

En el programa de mejoramiento del trigo sin duda hay mucho material genético de trigo, para distintos tipos de suelo, sin embargo se recomienda no aplicar a la siembra del altiplano, genotipos que siembran en la zona oriental como Urubó, ya que dichos genotipos si bien mantienen un rendimiento parecido al nacional ($1.100 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$) no elevan su rendimiento.

Se recomienda considerar en los programas de mejoramiento de trigo para las localidades del altiplano donde hay productores de ganado bovino, implementar la siembra de trigos de doble propósito (grano-forraje) son valorados; y asimismo, en estas localidades priman precipitaciones altas y en consecuencia el trigo genera mucha biomasa.

7. BIBLIOGRAFÍA

- Abbate, P; Andrade, F; Culot, J. 1994. Boletín Técnico N° 133 EE-INTA Balcarce. 17 p.
- Agamennoni. Vanzolini y Rivas. 2010. Manejo de suelos y cultivos. INTA Ascansubí-Argentina. 1 p.
- Anderson. W. K. and A. Impiglia. 2002. Management of dryland wheat. *In*: Curtis. B.C. S. Rajaram and H. Gómez Macpherspon (eds). Bread Wheat: Improvement and Production. FAO Plant Production and Protection Series. No. 30. <http://www.fao.org/docrep/006/y4011e/y4011e0s.htm#bm28>. (Consulta: diciembre 2016). 45 p.
- Aquino. M. P. 1998. La aplicación del método de siembra de trigo en surcos en el Valle del Balbi, CN; Rodriguez, E; Neiff, N. 2013. Tasa de crecimiento de espigas de Trigo (*Triticum aestivum*) en diferentes niveles de radiación incidentes en corrientes. Rendimiento y sus componentes. Argentina NEA. 14 p.
- Cauthin. Durán y Vega. 2012. Compendio Agropecuario Observatorio Agroambiental y Productivo. Trigo. Bolivia. 65 - 67 p.
- CGIAR. 2014. Wheat: A founder Crop of the CGIAR- Where does it fit in the New CGIAR?
- CIAT – ANAPO. (Centro de Investigación Agrícola Tropical – Asociación de Productores de Oleaginosas y Trigo). 2003. TRIGO Recomendaciones Técnicas. Santa Cruz. Bolivia. 56 p.
- CIMMYT. (Centro Internacional de mejoramiento de Maíz y Trigo).1998. Hechos y tendencias mundiales relacionados con el trigo. La producción de trigo y cebada en ambientes marginales de temporal del mundo en desarrollo. México D.F. 5 p.
- Cortés, PF. 2012. Efecto de la dosis de semilla y uso de camellón sobre el rendimiento de trigo candeal (*Triticum turgidum* L. ssp. durum) en el secano mediterráneo. Balance hidrico Santiago, Chile. 20 p.

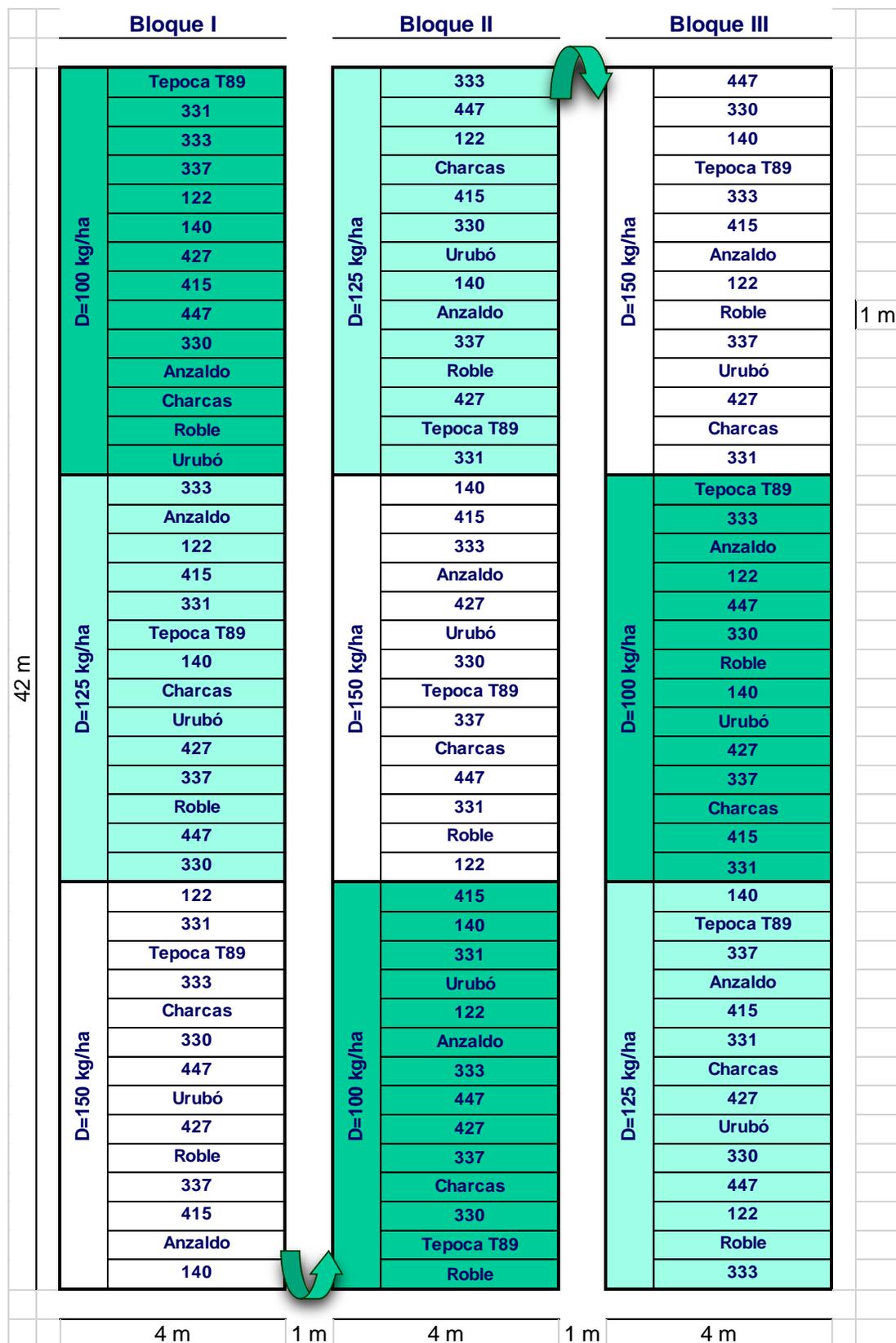
- FAOSTAT. 2009. Food and Agriculture Organization of the United Nations FAO Statistical Data base. Food and Agriculture Organization of the United Nations. <http://faostat.fao.org/> (consultado noviembre. 2016).
- Gasparotto G. 2014. Respuesta agronómica en trigo a diferentes densidades de siembra en lotes con ondulaciones. Villa Rosario Argentina. 2 p.
- Gomez, R. 2001 Adaptación de 12 variedades de trigo al área triguera del Dpto. de Cochabamba. Tesis de grado para optar al grado de ingeniero agrónomo UMSS Cochabamba – Bolivia. 24 – 25 p.
- Google Earth. 2017. Coordenadas geográficas de Estación Experimental de Kallutaca. Consulta: 15 de diciembre de 2106. <http://earth.google.com>
- Guañuna, GD. 2014. Estudio de variabilidad fenotípica de accesiones de trigo (*Triticum aestivum* L.) y Cebada (*Hordeum vulgare* L.) de la colección del INIAP. Distribución de barbas, densidad de espiga. 38, 39 p.
- Guzmán, C. 2014. Socialización de cultivares de trigo desarrollados por el PN-Trigo, INIAF. Tiquipaya-Cochabamba.
- Herbas. R. 2008. Situación del trigo en Bolivia y en contexto internacional. Centro de investigación y promoción del campesinado CIPCA - Bolivia. 9 – 18 p.
- INFOAGRO. 2017. El Cultivo de Trigo (1ª parte). Descripción Morfológica. (Consultado el 10 de diciembre de 2016).
- INIAF. 2015. Programa Nacional de Trigo en el marco del Proyecto de Innovación y Servicios Agrícolas. (PISA). Boletín informativo.
- INTA. 2015. Efecto de la densidad de siembra sobre el comportamiento de variedades de ciclo largo y de ciclo gordo. Argentina. 1 p.
- King, R.W.; Richards, R.A. 1984. Water uptake in relation to preharvest sprouting damage in wheat: ear characteristics. Australian Journal of Agric. Research 35:327.
- Kosina P. Bell M. Ceja J. Jones J. 2013. ATLAS DEL INVESTIGADOR DOCTOR TRIGO. México. D.F. CYMMYT. 8 – 10 p.

- Krüger, H. R. 1992. Manejo de suelos que sufrieron inundación temporaria. EEA Bordenave.
- MACA. 2004. Estudio de la identificación mapeo y análisis de la cadena productiva del trigo. Ministerio de Asuntos Campesinos y Agropecuarios. 10 p.
- Mamani, T. 1991. Evaluación de 15 variedades de trigo harinero (*triticum aestivum* L.) en el altiplano central y norte de Bolivia. Tesis de grado. UMSA La Paz – Bolivia. 24 – 25 p.
- Manangón P. 2014. Evaluación de siete variedades de Trigo (*Triticum aestivum* L.) con tres tipos de manejo nutricional. Variables agronómicas. Cayambe, Quito. 58, 65 p.
- Martin, G. 2003. Cultivo de Trigo. Cátedra de Forrajes y Cereales – FAZ - UNIT
- Marza, F. 2012. Fitomjoramiento. Principios genéticos. Genotipo. El Alto-Bolivia. 25 p.
- Marza, F. y Quispe, F. 2013. Guía Práctica para el Investigador de Trigo. Instituto Nacional de Innovación Agropecuaria y Forestal, INIAF. Programa Nacional de Trigo. 1ra edición. La Paz, Bolivia. 9 p.
- Marza, F. 2014. Utilización de germoplasma de trigo del CIMMYT en el INIAF. Programa Nacional de Trigo. 63 – 65 p.
- Miralles, D. J. 2004. Consideraciones sobre ecofisiología y manejo de Trigo. Mar del Plata: INTA Rafaela.
- Monar, C. 2011. Informe Anual de Labores. Guaranda, Ecuador. 53 p.
- Moñocopa L. 2012. Adaptabilidad De Venticinco Lineas De Trigo Harinero (*Triticum Aestivum*) En Condiciones Del Altiplano Norte Del Departamento De La Paz. 27 p.
- Morales, V. P. 2011. Correlación y regresión, simple y múltiple. Universidad Pontificia Comillas, Madrid. Facultad de Ciencias Humanas y Sociales. p. 13
- Ochoa R. 2009. Diseños Experimentales. Parcelas Divididas. 1^{ra} Edición. Ed. La Paz Bolivia. 98 p.
- Ochoa. 2002. Cultivo de trigo. Requerimientos Edafoclimaticos.

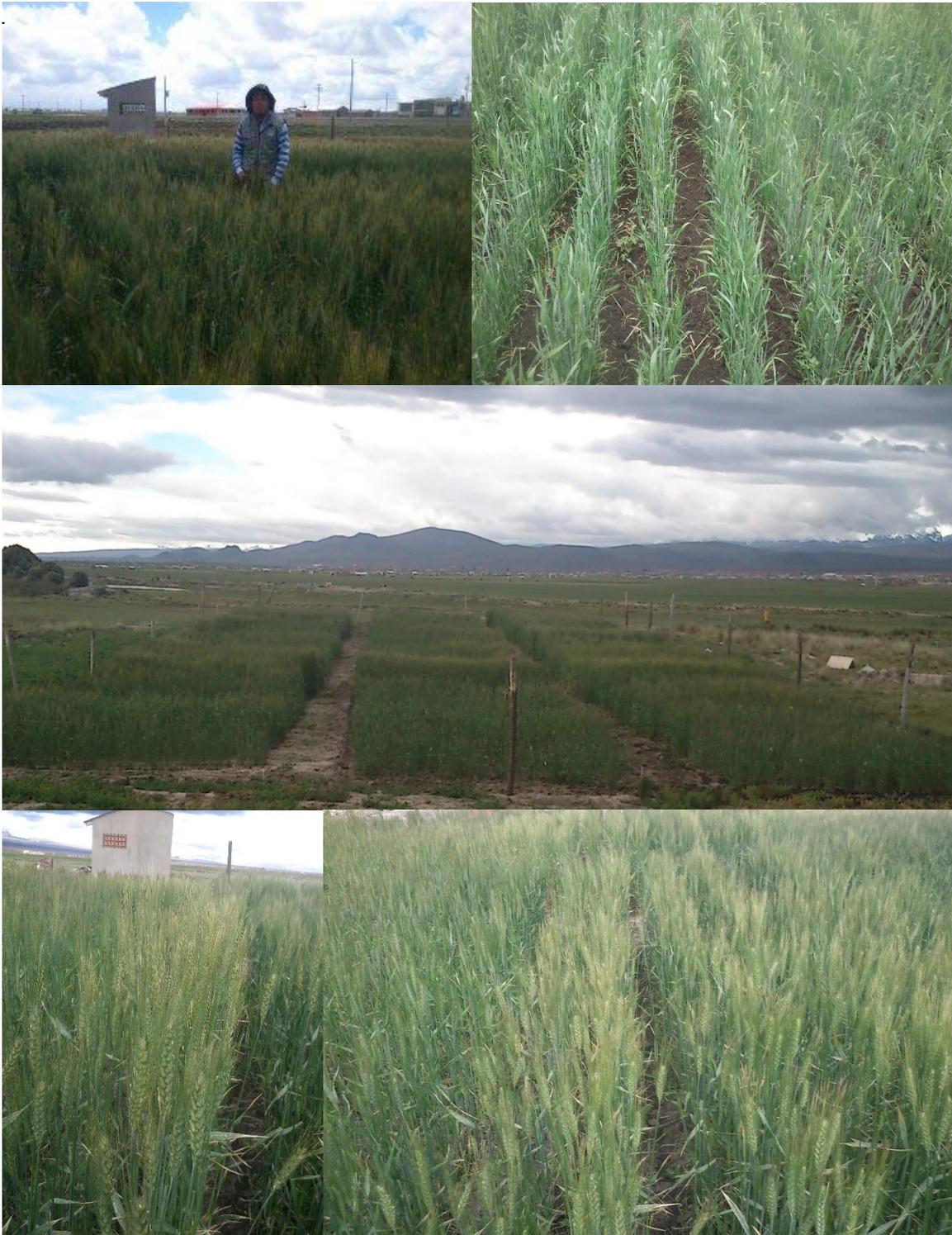
- Prodelesa. 2009? El cultivo de trigo (1ª parte). Consultado el 10 de mayo de 2017. Disponible en www.prodelesa.com.
- Ray, J. y Sinclair, T. 1998. The effect of pot size on growth and transpiration of maize and soybean during water deficit stress. *Journal of Experimental Botany* 49, 1381– 1386.
- Reynolds M.P., Pask A.J.D., Mullan D.M. y Chávez-Dulanto P.N. (Eds.) .2013. *Fitomejoramiento Fisiológico I: Enfoques Interdisciplinarios para mejorar la adaptación del cultivo*. México, D.F.: CIMMYT.
- Robles. R. 1990. Producción de granos y forrajes. 5º edición. Ed. Limusa México D.F. – México. 207 – 238 p.
- Ruiz. Cotrina y De Neef. 2005. Manual tecnificado del cultivo de trigo en la sierra: Plagas y enfermedades. Cajamarca-Perú. 15 p.
- SENAMHI. 2016. SISMET Base de datos: Datos Mensuales (En línea). Consulta: 15 diciembre 2016. <http://www.senamhi.gob.bo/sismet/index.php>
- Slafer, GL; Abeledo, LG; Miralles, DJ; González, FG y Whitechurch, EM. 2001. Photoperiod sensitivity during stem elongation as an avenue to raise potential yield in wheat. *Euphytica* 119, 191–197 p.
- Soldano. O. 1985. El trigo. Ed. Albatros. Buenos Aires – Argentina. 9 – 52 p.
- USDA, (United States Department of Agriculture). 2016. Foreign Agricultural Service: Producción, Supply and Distribution (PSD) Database. Consultado 20 de mayo, 2017. Disponible en <http://www.fas.usda.gov/psdonline/>
- Villar. 2005. Cultivo de trigo. Ministerio de Agricultura y Ganadería. Paraná. 157 p.
- Yapu. W. 2015. Adaptabilidad de 21 líneas avanzadas precoces de trigo harinero (*Triticum aestivum* L.) en la Estación Experimental de kallutaca. El Alto-Bolivia. 24. 38 p.
- Yaqui. Sonora. México. Informe Especial del Programa de Trigo No. 17. México. D.F. CYMMYT.
- Zadoks, JC; Chang, TT; Konzak CF. 1974. A decimal code for the growth stages of cereals. *Weed Res.* 14:415 – 421 p. (Citado por Quispe G. en la tesis de grado.

“adaptabilidad y estabilidad fenotípica de 50 genotipos de trigo harinero en cuatro localidades trigueras de Cochabamba”).

8. ANEXOS



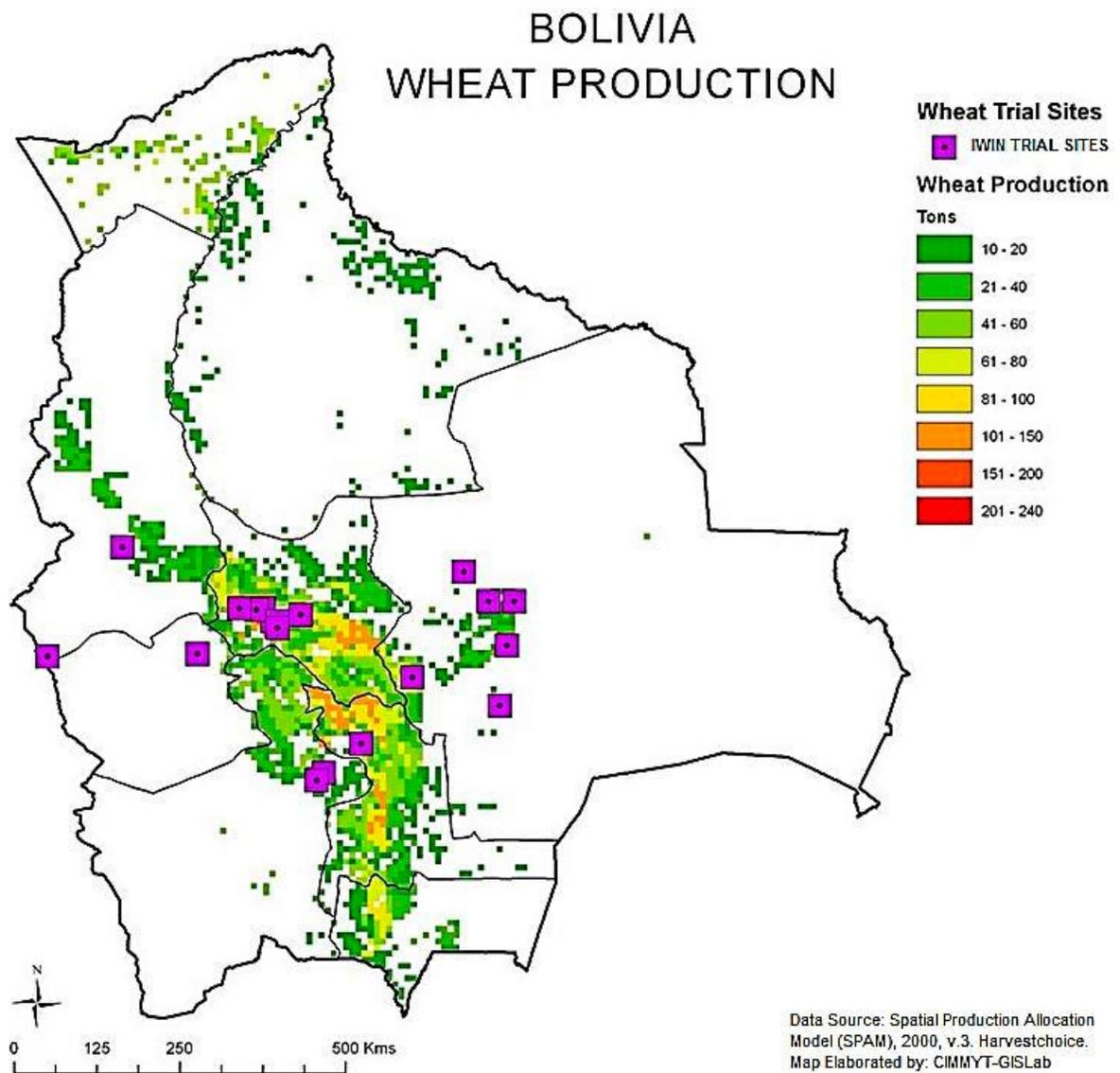
Anexo 1. Croquis del experimento



Anexo 2. Fotografías del desarrollo de la evaluación del ensayo.

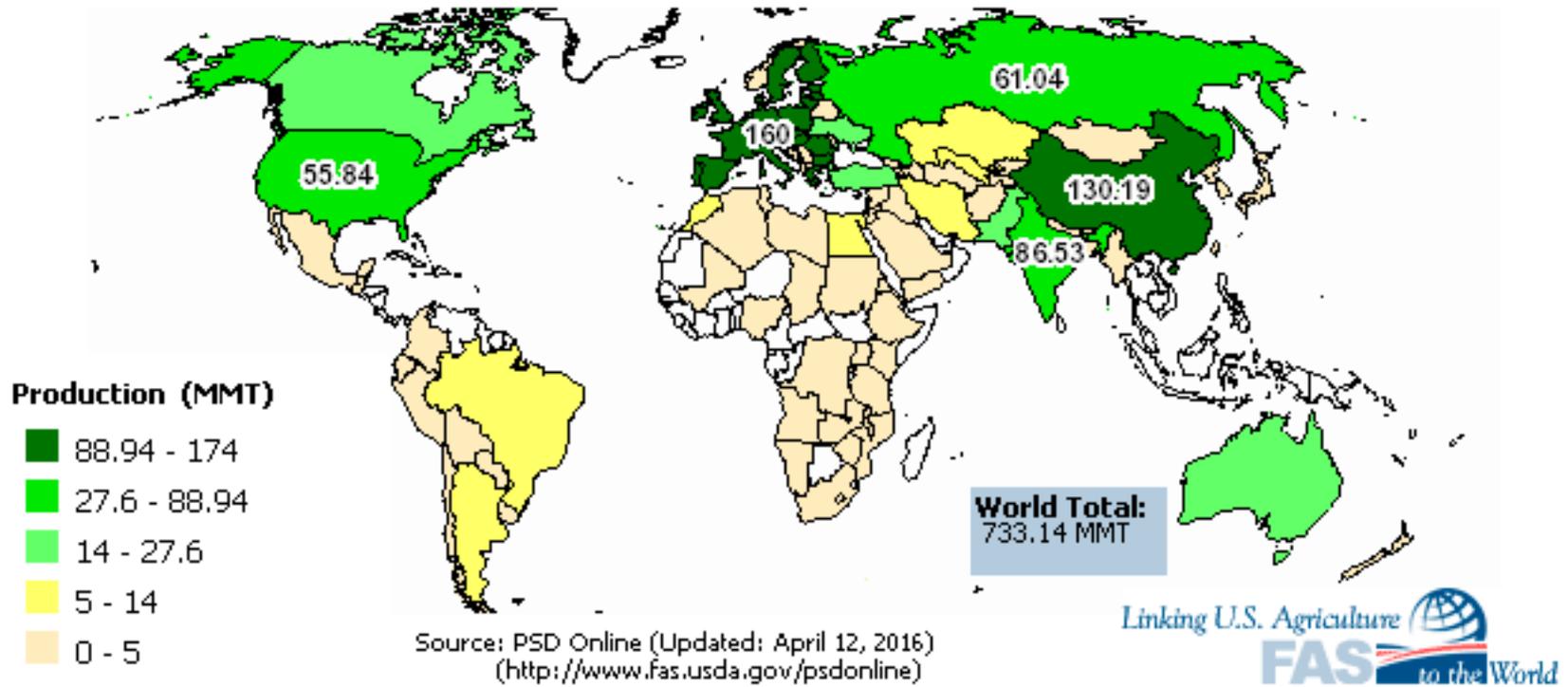


Anexo 3. Cosecha de los genotipos de trigo harinero en la Estación experimental de kallutaca campaña agrícola 2014 -2015



Anexo 4. Producción de trigo en Bolivia

2015/2016 Wheat Production



Anexo 5. Producción mundial de trigo (2015 - 2016) fuente USD

