

**UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA**

**LA MOLINA**

**ESCUELA DE POSGRADO**

**MAESTRÍA EN MEJORAMIENTO GENÉTICO DE  
PLANTAS**



**“IDENTIFICACIÓN DE GENOTIPOS DE TRIGO HARINERO  
(*Triticum aestivum s sp aestivum*) TOLERANTES A SEQUÍA  
EMPLEANDO INDICADORES MORFOLÓGICOS Y  
FISIOLÓGICOS”**

**Presentada por:**

**EMMA YANA ALI**

**TESIS PARA OPTAR EL GRADO DE MAGISTER SCIENTIAE EN  
MEJORAMIENTO GENÉTICO DE PLANTAS**

**Lima - Perú**

**2018**

**UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA  
LA MOLINA**

**ESCUELA DE POSGRADO  
MAESTRÍA EN MEJORAMIENTO GENÉTICO DE PLANTAS**

**“IDENTIFICACIÓN DE GENOTIPOS DE TRIGO HARINERO  
(*Triticum aestivum s sp aestivum*) TOLERANTES A SEQUÍA  
EMPLEANDO INDICADORES MORFOLÓGICOS Y  
FISIOLÓGICOS”**

**TESIS PARA OPTAR EL GRADO DE  
MAGISTER SCIENTIAE**

**Presentada por:  
EMMA YANA ALI**

**Sustentada y aprobada ante el siguiente jurado:**

Dr. Félix Camarena Mayta  
**PRESIDENTE**

Dra. Luz Gómez Pando  
**PATROCINADORA**

Dr. Jorge Jiménez Dávalos  
**MIEMBRO**

Ph. D. Hugo Soplín Villacorta  
**MIEMBRO**

## **DEDICATORIA**

A mis padres, Juana Ali y Francisco Yana quienes con todo su apoyo y cariño estuvieron siempre a mi lado dándome ánimos para seguir adelante.

A DIOS por darme la vida, sabiduría y las fuerzas para recorrer un camino con cada etapa, como la culminación de esta tesis.

## **AGRADECIMIENTOS**

Expreso mi profundo agradecimiento:

A Dios Nuestro Padre, por su infinita providencia y permitirme llegar al término de la especialización.

A la Universidad Nacional Agraria La Molina, por abrirme sus puertas, y a sus profesores por las enseñanzas recibida en la Maestría de Mejoramiento Genético de Plantas.

Al Proyecto: STC-CGIAR 320419. MEJORA EN LOS SISTEMAS PRODUCTIVOS DE PAPA Y TRIGO A TRAVÉS DE VARIEDADES CON TOLERANCIA A LA SEQUÍA Y ALTA EFICIENCIA EN EL USO DE AGUA, COMO ADAPTACIÓN AL CAMBIO CLIMÁTICO EN EL PERÚ, por la financiación parcial de la presente Tesis.

Un especial agradecimiento a mi patrocinadora Dra. Luz Gómez Pando de quien he recibido su valiosa orientación teórica y metodológica, así como el asesoramiento, sugerencia, revisión y corrección en la realización y redacción del presente documento.

Al tribunal calificador: Dr. Jorge Jiménez Dávalos, Ph. D. Hugo Soplín Villacorta y Dr. Félix Camarena Mayta, por las observaciones y sugerencias realizadas.

Al personal del Programa de Investigación y Proyección Social en Cereales y Granos Nativos, por darme su apoyo en el proceso experimental de la investigación.

A toda mi familia Yana, Ali en especial a: mis padres Francisco Yana y Juana Alí, por su cooperación y apoyo incondicional que me han brindado.

# ÍNDICE GENERAL

<b>I. INTRODUCCIÓN.....</b>	<b>1</b>
<b>II. REVISION BIBLIOGRÁFICA.....</b>	<b>4</b>
<b>2.1. El cultivo de trigo (<i>Triticum aestivum s sp aestivum</i>).....</b>	<b>4</b>
2.1.1. Aspectos generales.....	4
2.1.2. Características botánicas .....	4
2.1.3. Fisiología de crecimiento y desarrollo .....	6
2.1.4. Requerimientos hídricos y nutricionales del cultivo .....	10
<b>2.2. Importancia del cultivo de trigo (<i>Triticum aestivum s sp aestivum</i>) .....</b>	<b>12</b>
<b>2.3. Sequía en el mundo y Perú .....</b>	<b>13</b>
<b>2.4. Sequía en las plantas.....</b>	<b>15</b>
2.4.1. Efectos de la sequía .....	15
2.4.2. Mecanismos de defensa de las plantas a la sequía.....	16
2.4.3. Respuestas fisiológicas y bioquímicas de las plantas a la sequía .....	20
2.4.3.1. Uso eficiente de agua, eficiencia de transpiración y uso efectivo de agua .....	21
2.4.3.2. Lectura de valor de clorofila SPAD .....	21
2.4.3.3. Contenido relativo de agua (CRA).....	22
2.4.3.4. Potencial osmótico ( $\Psi_o$ ) y ajuste osmótico (AO).....	23
2.4.3.5. Determinación de la actividad nitrato reductasa.....	24
2.4.3.6. Determinación del contenido de prolina libre.....	26
2.4.3.7. Características relacionadas con el sistema radicular.....	28
<b>2.5. Mejoramiento genético de trigo.....</b>	<b>29</b>
2.5.1. Mejoramiento del rendimiento y otros caracteres de interés .....	29
2.5.2. Mejoramiento genético para estrés abiótico.....	29
2.5.3. Tolerancia del cultivo de trigo a la sequía.....	30
<b>III. MATERIALES Y METODOLOGÍA .....</b>	<b>36</b>
<b>3.1. Condiciones geográficas y características de las localidades experimentales .....</b>	<b>36</b>
<b>3.2. Material experimental .....</b>	<b>36</b>
3.2.1. Material vegetal .....	36
3.2.2. Equipos y materiales de campo.....	37
3.2.3. Equipos de laboratorio.....	37
<b>3.3. Metodología.....</b>	<b>38</b>

<b>3.4. Análisis estadístico .....</b>	<b>42</b>
<b>3.5. Variables y métodos de evaluación .....</b>	<b>44</b>
3.5.1. Características morfológicas y agronómicas.....	44
3.5.1.1. Biomasa aérea planta <sup>-1</sup> (BAP).....	44
3.5.1.2. Área foliar (AF) .....	44
3.5.1.3. Altura de planta (AP).....	44
3.5.1.4. Longitud de espiga (LE).....	44
3.5.1.5. Rendimiento (REN).....	45
3.5.1.6. Número de espigas m <sup>-2</sup> (NEM).....	45
3.5.1.7. Número de granos por espiga (NGE) .....	45
3.5.1.8. Peso de granos por espiga (PGE).....	45
3.5.1.9. Peso de mil granos (PMG) .....	45
3.5.1.10. Índice de cosecha (IC).....	45
3.5.1.11. Número de días transcurridos al 50% de emergencia de espigas (NDE).....	45
3.5.1.12. Número de días transcurridos al 50% de madurez de granos (NDM) .....	46
3.5.2. Características fisiológicas y bioquímicas .....	46
3.5.2.1. Contenido de clorofila SPAD (CC).....	46
3.5.2.2. Contenido relativo de agua (CRA) .....	46
3.5.2.3. Potencial osmótico ( $\Psi_o$ ).....	47
3.5.2.4. Ajuste osmótico (AO) .....	47
3.5.2.5. Contenido de prolina libre (CPL) .....	47
3.5.2.6. Actividad de la enzima nitrato reductasa (AENR) .....	48
3.5.3. Características de la raíz.....	48
3.5.3.1. Longitud de raíz (LR).....	48
3.5.3.2. Peso seco de raíz (PSR).....	48
<b>IV. RESULTADOS Y DISCUSION .....</b>	<b>49</b>
<b>4.1. OBJETIVO 1:.....</b>	<b>49</b>
4.1.1. Características morfológicas y agronómicas.....	49
<b>4.2. OBJETIVO 2 .....</b>	<b>84</b>
4.2.1. Características fisiológicas y bioquímicas .....	84
4.2.2. Análisis de correlación .....	101
<b>4.3. OBJETIVO 3:.....</b>	<b>102</b>
4.3.1. Características morfológicas y agronómicas.....	104

4.3.2. Características fisiológicas y bioquímicas .....	119
4.3.3. Características de la raíz.....	126
4.3.4. Análisis de correlación .....	129
<b>V. CONCLUSIONES.....</b>	<b>141</b>
<b>VI. RECOMENDACIONES.....</b>	<b>143</b>
<b>VII. BIBLIOGRAFÍA .....</b>	<b>144</b>
<b>VIII. ANEXOS.....</b>	<b>162</b>

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1.</b> Períodos críticos de algunos cultivos al déficit hídrico. (Stewart y Nielsen, 1990 y Millar 1993 citado por Departamento de Recursos Hídricos de la Facultad de Ingeniería Agrícola, Universidad de Concepción. Chile, 2012). .....	11
<b>Tabla 2.</b> Exportaciones, producción, consumo y stock finales mundiales de trigo. (USDA, 2014) .....	12
<b>Tabla 3.</b> Identificación (ID), origen y nombres de los genotipos de Trigo harinero. ....	37
<b>Tabla 4.</b> Resumen de análisis de varianza de las variables, Biomasa aérea planta <sup>-1</sup> (BAP) y Área foliar (AF) de 18 genotipos de trigo ( <i>Triticum aestivum s sp aestivum</i> ) en el tratamiento sequía y control. La Molina y Junín-Jauja 2012-2013.....	50
<b>Tabla 5.</b> Resumen de análisis de varianza de las variables, Altura de planta (AP) y Longitud de espiga (LE) de 18 genotipos de trigo ( <i>Triticum aestivum s sp aestivum</i> ) en el tratamiento sequía y control. La Molina y Junín-Jauja 2012-2013.....	56
<b>Tabla 6.</b> Resumen de análisis de varianza de las variables, Rendimiento (REN), Número de espigas m <sup>-2</sup> (NEM) y Número de granos por espiga (NGE) de 18 genotipos de trigo ( <i>Triticum aestivum s sp aestivum</i> ) en el tratamiento sequía y control. La Molina y Junín-Jauja 2012-2013. ....	62
<b>Tabla 7.</b> Resumen de análisis de varianza de las variables, Peso de granos por espiga (PGE), Peso de 1000 granos (PMG) e Índice de cosecha (IC) de 18 genotipos de trigo ( <i>Triticum aestivum s sp aestivum</i> ) en el tratamiento sequía y control. La Molina y Junín-Jauja 2012-2013. ....	70

<b>Tabla 8.</b> Resumen de análisis de varianza de las variables, Número de días transcurridos al 50% de emergencia de espigas (NDE) y Número de días transcurridos al 50% de madurez de granos (NDM) de 18 genotipos de trigo ( <i>Triticum aestivum s sp aestivum</i> ) en el tratamiento sequía y control. La Molina y Junín-Jauja 2012-2013.....	79
<b>Tabla 9.</b> Resumen de análisis de varianza de las variables, Contenido de clorofila SPAD (CC), Contenido relativo de agua (CRA) y Potencial osmótico ( $\Psi_o$ ) de 18 genotipos de trigo ( <i>Triticum aestivum s sp aestivum</i> ) en el tratamiento sequía y control. La Molina y Junín-Jauja 2012-2013.....	85
<b>Tabla 10.</b> Ajuste osmótico (AO) de 18 genotipos de trigo ( <i>Triticum aestivum s sp aestivum</i> ) evaluados en el tratamiento sequía y control. La Molina y Junín-Jauja 2012-2013.....	94
<b>Tabla 11.</b> Resumen de análisis de varianza de las variables, Contenido de prolina libre (CPL) y Actividad de la enzima nitrato reductasa (ANR) de 18 genotipos de trigo ( <i>Triticum aestivum s sp aestivum</i> ) en el tratamiento sequía y control. La Molina y Junín-Jauja 2012-2013.....	96
<b>Tabla 12.</b> Coeficientes de correlación entre el rendimiento y las características morfológicas, agronómicas, fisiológicas y bioquímicas de 18 genotipos de trigo ( <i>Triticum aestivum s sp aestivum</i> ), en los tratamientos control y sequía en los ambientes de La Molina y Junín-Jauja, campaña 2012-2013.....	102
<b>Tabla 13.</b> Media de las variables, Biomasa aérea planta <sup>-1</sup> (BAP), Área foliar (AF), Altura de planta (AP), Longitud de espiga (LE), Rendimiento (REN), Número de espigas m <sup>-2</sup> (NEM), Número de granos por espiga (NGE), peso de granos por espiga (PGE) y Peso de mil granos (PMG) de seis genotipos de trigo ( <i>Triticum aestivum s sp aestivum</i> ) seleccionados en la FASE 1, en el tratamiento sequía en los ambientes de La Molina y Junín-Jauja (2012-2013).....	103
<b>Tabla 14.</b> Media de las variables, Índice de cosecha (IC), Número de días transcurridos al 50% de emergencia de espigas (NDE), Número de días transcurridos al 50% de madurez de granos (NDM), Contenido de clorofila SPAD (CC), Contenido relativo de agua (CRA), Potencial osmótico ( $\Psi_o$ ), Ajuste osmótico (AO), Contenido de prolina libre (CPL) y Actividad de la enzima nitrato reductasa (AENR) de seis genotipos de trigo ( <i>Triticum</i>	



<i>aestivum s sp aestivum</i> ) seleccionados en la FASE 1, en el tratamiento sequía en los ambientes de La Molina y Junín-Jauja (2012-2013).....	103
<b>Tabla 15.</b> Resumen de análisis de varianza de las variables, Biomasa aérea planta <sup>-1</sup> (BAP) y Área foliar (AF) de seis genotipos de trigo ( <i>Triticum aestivum s sp aestivum</i> ) en condiciones de sequía y control. La Molina (2013-2014).....	105
<b>Tabla 16.</b> Resumen de análisis de varianza de las variables, Altura de Planta (AP) y Longitud de Espiga (LE) de seis genotipos de trigo ( <i>Triticum aestivum s sp aestivum</i> ) en condiciones de sequía y control. La Molina (2013-2014).....	107
<b>Tabla 17.</b> Resumen de análisis de varianza de las variables, Rendimiento (REN), Número de espigas m <sup>-2</sup> (NEM) y Número de granos por espiga (NGE) de seis genotipos de trigo ( <i>Triticum aestivum s sp aestivum</i> ) en condiciones de sequía y control. La Molina (2013-2014).....	110
<b>Tabla 18.</b> Resumen de análisis de varianza de las variables, Peso de granos por espiga (PGE). Peso de 1000 granos (PMG) e Índice de Cosecha (IC) de seis genotipos de trigo ( <i>Triticum aestivum s sp aestivum</i> ) en condiciones de sequía y control. La Molina (2013-2014).....	113
<b>Tabla 19.</b> Resumen de análisis de varianza de las variables, Número de días transcurridos al 50% de emergencia de espigas (NDE). Número de días transcurridos al 50% de madurez de granos (NDM) de seis genotipos de trigo ( <i>Triticum aestivum s sp aestivum</i> ) en condiciones de sequía y control. La Molina (2013-2014).....	117
<b>Tabla 20.</b> Resumen de análisis de varianza de las variables, Contenido de clorofila SPAD (CC), Contenido relativo de agua (CRA) y Potencial osmótico ( $\Psi_o$ ) de seis genotipos de trigo ( <i>Triticum aestivum s sp aestivum</i> ) en condiciones de sequía y control. La Molina (2013-2014).....	119
<b>Tabla 21.</b> Potencial osmótico ( $\Psi_o$ ) y Ajuste Osmótico (AO) de los seis genotipos de trigo ( <i>Triticum aestivum s sp aestivum</i> ), en condiciones de sequía y control. La Molina (2013-2014).....	123
<b>Tabla 22.</b> Resumen de análisis de varianza de las variables, Contenido de prolina libre (CPL) y Actividad de la enzima nitrato reductasa (AENR) de seis genotipos de trigo	

( <i>Triticum aestivum s sp aestivum</i> ) en condiciones de sequía y control. La Molina (2013-2014). .....	124
<b>Tabla 23.</b> Resumen de análisis de varianza de las variables, Longitud de raíz (LR) y Peso seco de raíz (PR) de seis genotipos de trigo ( <i>Triticum aestivum s sp aestivum</i> ) en condiciones de sequía y control. La Molina (2013-2014). .....	126
<b>Tabla 24.</b> Coeficientes de correlación entre el rendimiento y las características morfológicas, agronómicas, fisiológicas, bioquímicas y de la raíz de 6 genotipos de trigo ( <i>Triticum aestivum s sp aestivum</i> ), en los tratamientos control y sequía, en el ambiente de La Molina, campaña 2013-2014. ....	130
<b>Tabla 25.</b> Media de las variables, Biomasa aérea planta <sup>-1</sup> (BAP), Área foliar (AF), Altura de planta (AP) y Longitud de espiga (LE) de seis genotipos de trigo ( <i>Triticum aestivum s sp aestivum</i> ) seleccionados en la FASE 1, en el tratamiento sequía en los ambientes de, La Molina y Junín-Jauja (2012-2013) y La Molina (2013-2014). .....	132
<b>Tabla 26.</b> Media de las variables, Rendimiento (REN), Número de espigas m <sup>-2</sup> (NEM), Número de graos por espiga (NGE), Peso de granos por espiga (PGE), Peso de mil granos (PMG) e Índice de cosecha (IC) de seis genotipos de trigo ( <i>Triticum aestivum s sp aestivum</i> ) seleccionados en la FASE 1, en el tratamiento sequía en los ambientes de, La Molina y Junín-Jauja (2012-2013) y La Molina (2013-2014). .....	135
<b>Tabla 27.</b> Media de las variables, Número de días transcurridos al 50% de emergencia de espigas (NDE), Número de días transcurridos al 50% de madurez de granos (NDM), Contenido de clorofila SPAD (CC), Contenido relativo de agua (CRA), Potencial osmótico ( $\Psi_o$ ), Ajuste osmótico (AO), Contenido de prolina libre (CPL) y Actividad de la enzima nitrato reductasa (AENR) de seis genotipos de trigo ( <i>Triticum aestivum s sp aestivum</i> ) seleccionados en la FASE 1, en el tratamiento sequía en los ambientes de, La Molina y Junín-Jauja (2012-2013) y La Molina (2013-2014). .....	138

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1.</b> Principales mecanismos de resistencia a sequía en las plantas elaborado por (Levitt, 1980; Bray, 1997; Alpert y Oliver, 2002; Mundree <i>et al.</i> , 2002; y Walters <i>et al.</i> , 2002). .....	17
---	----

<b>Figura 2.</b> Tolerancia al estrés y rendimiento potencial en cultivos, analizado según el modelo de Finley y Wilkinson (1963), Aquí se contrastan el rendimiento agronómico de dos variedades hipotéticos, versus el rendimiento promedio (Índice ambiental) en diversas localidades y condiciones. ....	31
<b>Figura 3.</b> Efectos de la sequía en el cultivo de trigo. La información se proporciona a partir de las observaciones de (Lawlor y Cornic, 2002; Karthikeyan <i>et al.</i> , 2007; Ji <i>et al.</i> , 2010). ....	35
<b>Figuras 4, 5 y 6.</b> Desarrollo de las plantas, de 18 genotipos de Trigo harinero, en La Molina (2012-2013), en dos tratamientos: control y sequía: 1) Instalación del riego por goteo, 2) inicio de la aplicación del tratamiento de sequía y 3) maduración de planta. ....	40
<b>Figuras 7 y 8.</b> Cobertor corredizo y plantas de 18 genotipos de trigo harinero, en Junín-Jauja (2012-2013), dispuestos en dos tratamientos: control y sequía. ....	41
<b>Figuras 9 y 10.</b> Ensayo realizado para la evaluación del sistema radicular, en La Molina (2013-2014), dispuestos en dos tratamientos: Control y Sequía. ....	42
<b>Figura 11.</b> Comparación y dispersión de promedios de la variable Biomasa aérea planta <sup>-1</sup> (BAP) de 18 genotipos de trigo ( <i>Triticum aestivum s sp aestivum</i> ), evaluadas en el tratamiento sequía y control en los ambientes de La Molina y Junín-Jauja, campaña 2012-2013. Medias con letras iguales no presentan diferencias estadísticas (Tukey, $p > 0.05$ , $n = 3$ ). ....	51
<b>Figura 12.</b> Distribución de los valores de Biomasa aérea planta <sup>-1</sup> (BAP) de 18 genotipos de trigo ( <i>Triticum aestivum s sp aestivum</i> ) bajo condiciones de sequía en los ambientes de La Molina y Junín-Jauja. ....	52
<b>Figura 13.</b> Comparación y dispersión de promedios de la variable Área foliar (AF) de 18 genotipos de trigo ( <i>Triticum aestivum s sp aestivum</i> ), evaluadas en el tratamiento sequía y control en los ambientes de La Molina y Junín-Jauja, campaña 2012-2013. Medias con letras iguales no presentan diferencias estadísticas (Tukey, $p > 0.05$ , $n = 3$ ). ....	53
<b>Figura 14.</b> Distribución de los valores del Área foliar (AF) de 18 genotipos de trigo ( <i>Triticum aestivum s sp aestivum</i> ) bajo condiciones de sequía en los ambientes de La Molina y Junín-Jauja. ....	54

<b>Figura 15.</b> Comparación y dispersión de promedios de la variable Altura de planta (AP) de 18 genotipos de trigo ( <i>Triticum aestivum s sp aestivum</i> ), evaluadas en el tratamiento sequía y control en los ambientes de La Molina y Junín-Jauja, campaña 2012-2013. Medias con letras iguales no presentan diferencias estadísticas (Tukey, $p > 0.05$ , $n = 3$ ).....	57
<b>Figura 16.</b> Distribución de los valores de Altura de planta (AP) de 18 genotipos de trigo ( <i>Triticum aestivum s sp aestivum</i> ) bajo condiciones de sequía en los ambientes de La Molina y Junín-Jauja.....	58
<b>Figura 17.</b> Comparación y dispersión de promedios de la variable Longitud de espiga (LE) de 18 genotipos de trigo ( <i>Triticum aestivum s sp aestivum</i> ), evaluadas en el tratamiento sequía y control en los ambientes de La Molina y Junín-Jauja, campaña 2012-2013. Medias con letras iguales no presentan diferencias estadísticas (Tukey, $p > 0.05$ , $n = 3$ ). .	59
<b>Figura 18.</b> Distribución de los valores de Longitud de espiga (LE) de 18 genotipos de trigo ( <i>Triticum aestivum s sp aestivum</i> ) bajo condiciones de sequía en los ambientes de La Molina y Junín-Jauja.....	60
<b>Figura 19.</b> Comparación y dispersión de promedios de la variable Rendimiento (REN) de 18 genotipos de trigo ( <i>Triticum aestivum s sp aestivum</i> ), evaluadas en el tratamiento sequía y control en los ambientes de La Molina y Junín-Jauja, campaña 2012-2013. Medias con letras iguales no presentan diferencias estadísticas (Tukey, $p > 0.05$ , $n = 3$ ).....	63
<b>Figura 20.</b> Distribución de los valores de Rendimiento (REN) de 18 genotipos de trigo ( <i>Triticum aestivum s sp aestivum</i> ) bajo condiciones de sequía en los ambientes de La Molina y Junín-Jauja.....	64
<b>Figura 21.</b> Comparación y dispersión de promedios de la variable Número de espigas $m^{-2}$ (NEM) de 18 genotipos de trigo ( <i>Triticum aestivum s sp aestivum</i> ), evaluadas en el tratamiento sequía y control en los ambientes de La Molina y Junín-Jauja, campaña 2012-2013. Medias con letras iguales no presentan diferencias estadísticas (Tukey, $p > 0.05$ , $n = 3$ ).....	65
<b>Figura 22.</b> Distribución de los valores de Número de espigas $m^{-2}$ (NEM) de 18 genotipos de trigo ( <i>Triticum aestivum s sp aestivum</i> ) bajo condiciones de sequía en los ambientes de La Molina y Junín-Jauja. ....	66

<b>Figura 23.</b> Comparación y dispersión de promedios de la variable Número de granos por espiga (NGE) de 18 genotipos de trigo ( <i>Triticum aestivum s sp aestivum</i> ), evaluadas en el tratamiento sequía y control en los ambientes de La Molina y Junín-Jauja, campaña 2012-2013. Medias con letras iguales no presentan diferencias estadísticas (Tukey, $p > 0.05$ , $n = 3$ ).....	68
<b>Figura 24.</b> Distribución de los valores de Número de granos por espiga (NGE) de 18 genotipos de trigo ( <i>Triticum aestivum s sp aestivum</i> ) bajo condiciones de sequía en los ambientes de La Molina y Junín-Jauja. ....	69
<b>Figura 25.</b> Comparación y dispersión de promedios de la variable Peso de granos por espiga (PGE) de 18 genotipos de trigo ( <i>Triticum aestivum s sp aestivum</i> ), evaluadas en el tratamiento sequía y control en los ambientes de La Molina y Junín-Jauja, campaña 2012-2013. Medias con letras iguales no presentan diferencias estadísticas (Tukey, $p > 0.05$ , $n = 3$ ).....	71
<b>Figura 26.</b> Distribución de los valores de Peso de granos por espiga (PGE) de 18 genotipos de trigo ( <i>Triticum aestivum s sp aestivum</i> ) bajo condiciones de sequía en los ambientes de La Molina y Junín-Jauja. ....	72
<b>Figura 27.</b> Comparación y dispersión de promedios de la variable Peso de 1000 granos (PMG) de 18 genotipos de trigo ( <i>Triticum aestivum s sp aestivum</i> ), evaluadas en el tratamiento sequía y control en los ambientes de La Molina y Junín-Jauja, campaña 2012-2013. Medias con letras iguales no presentan diferencias estadísticas (Tukey, $p > 0.05$ , $n = 3$ ).....	74
<b>Figura 28.</b> Distribución de los valores de Peso de 1000 granos (PMG) de 18 genotipos de trigo ( <i>Triticum aestivum s sp aestivum</i> ) bajo condiciones de sequía en los ambientes de La Molina y Junín-Jauja.....	75
<b>Figura 29.</b> Comparación y dispersión de promedios de la variable Índice de cosecha (IC) de 18 genotipos de trigo ( <i>Triticum aestivum s sp aestivum</i> ), evaluadas en el tratamiento sequía y control en los ambientes de La Molina y Junín-Jauja, campaña 2012-2013. Medias con letras iguales no presentan diferencias estadísticas (Tukey, $p > 0.05$ , $n = 3$ ). .	76

<b>Figura 30.</b> Distribución de los valores de Índice de cosecha (IC) de 18 genotipos de trigo ( <i>Triticum aestivum s sp aestivum</i> ) bajo condiciones de sequía en los ambientes de La Molina y Junín-Jauja.....	78
<b>Figura 31.</b> Comparación y dispersión de promedios de la variable Número de días transcurridos al 50% de emergencia de espigas (NDE) de 18 genotipos de trigo ( <i>Triticum aestivum s sp aestivum</i> ), evaluadas en el tratamiento sequía y control en los ambientes de La Molina y Junín-Jauja, campaña 2012-2013. Medias con letras iguales no presentan diferencias estadísticas (Tukey, $p > 0.05$ , $n = 3$ ).....	80
<b>Figura 32.</b> Distribución de los valores de Número de días transcurridos al 50% de emergencia de espigas (NDE) de 18 genotipos de trigo ( <i>Triticum aestivum s sp aestivum</i> ) bajo condiciones de sequía en los ambientes de La Molina y Junín-Jauja.....	81
<b>Figura 33.</b> Comparación y dispersión de promedios de la variable Número de días transcurridos al 50% de madurez de granos (NDM) de 18 genotipos de trigo ( <i>Triticum aestivum s sp aestivum</i> ), evaluadas en el tratamiento sequía y control en los ambientes de La Molina y Junín-Jauja, campaña 2012-2013. Medias con letras iguales no presentan diferencias estadísticas (Tukey, $p > 0.05$ , $n = 3$ ).....	83
<b>Figura 34.</b> Distribución de los valores de Número de días transcurridos al 50% de madurez de granos (NDM) de 18 genotipos de trigo ( <i>Triticum aestivum s sp aestivum</i> ) bajo condiciones de sequía en los ambientes de La Molina y Junín-Jauja.....	84
<b>Figura 35.</b> Comparación y dispersión de promedios de la variable Contenido de clorofila (SPAD) de 18 genotipos de trigo ( <i>Triticum aestivum s sp aestivum</i> ), evaluadas en el tratamiento sequía y control en los ambientes de La Molina y Junín-Jauja, campaña 2012-2013. Medias con letras iguales no presentan diferencias estadísticas (Tukey, $p > 0.05$ , $n = 3$ ).....	86
<b>Figura 36.</b> Distribución de los valores de Contenido de clorofila SPAD (CC) de 18 genotipos de trigo ( <i>Triticum aestivum s sp aestivum</i> ) bajo condiciones de sequía en los ambientes de La Molina y Junín-Jauja. ....	87
<b>Figura 37.</b> Comparación y dispersión de promedios de la variable Contenido relativo de agua (CRA) de 18 genotipos de trigo ( <i>Triticum aestivum s sp aestivum</i> ), evaluadas en el tratamiento sequía y control en los ambientes de La Molina y Junín-Jauja, campaña 2012-	

2013. Medias con letras iguales no presentan diferencias estadísticas (Tukey, $p > 0.05$ , $n = 3$ ).....	89
<b>Figura 38.</b> Distribución de los valores de Contenido relativo de agua (CRA) de 18 genotipos de trigo ( <i>Triticum aestivum s sp aestivum</i> ) bajo condiciones de sequía en los ambientes de La Molina y Junín-Jauja. ....	90
<b>Figura 39.</b> Comparación y dispersión de promedios de la variable Potencial osmótico ( $\Psi_o$ ) de 18 genotipos de trigo ( <i>Triticum aestivum s sp aestivum</i> ), evaluadas en el tratamiento sequía y control en los ambientes de La Molina y Junín-Jauja, campaña 2012-2013. Medias con letras iguales no presentan diferencias estadísticas (Tukey, $p > 0.05$ , $n = 3$ ). .	92
<b>Figura 40.</b> Distribución de los valores de Potencial osmótico ( $\Psi_o$ ) de 18 genotipos de trigo ( <i>Triticum aestivum s sp aestivum</i> ) bajo condiciones de sequía en los ambientes de La Molina y Junín-Jauja.....	93
<b>Figura 41.</b> Distribución de los valores de Ajuste osmótico (AO) de 18 genotipos de trigo ( <i>Triticum aestivum s sp aestivum</i> ) bajo condiciones de sequía en los ambientes de La Molina y Junín-Jauja.....	95
<b>Figura 42.</b> Comparación y dispersión de promedios de la variable Contenido de prolina libre (CPL) de 18 genotipos de trigo ( <i>Triticum aestivum s sp aestivum</i> ), evaluadas en el tratamiento sequía y control en los ambientes de La Molina y Junín-Jauja, campaña 2012-2013. Medias con letras iguales no presentan diferencias estadísticas (Tukey, $p > 0.05$ , $n = 3$ ).....	97
<b>Figura 43.</b> Distribución de los valores de Contenido de prolina libre (CPL) de 18 genotipos de trigo ( <i>Triticum aestivum s sp aestivum</i> ) bajo condiciones de sequía en los ambientes de La Molina y Junín-Jauja. ....	98
<b>Figura 44.</b> Comparación y dispersión de promedios de la variable Actividad de la enzima nitrato reductasa (ANR) de 18 genotipos de trigo ( <i>Triticum aestivum s sp aestivum</i> ), evaluadas en el tratamiento sequía y control en los ambientes de La Molina y Junín-Jauja, campaña 2012-2013. Medias con letras iguales no presentan diferencias estadísticas (Tukey, $p > 0.05$ , $n = 3$ ). ....	100

<b>Figura 45.</b> Distribución de los valores de la Actividad de la enzima nitrato reductasa (ANR) de 18 genotipos de trigo ( <i>Triticum aestivum s sp aestivum</i> ) bajo condiciones de sequía en los ambientes de La Molina y Junín-Jauja.....	101
<b>Figura 46.</b> Comparación y dispersión de promedios de la Biomasa aérea planta <sup>-1</sup> (BAP) de seis genotipos de trigo ( <i>Triticum aestivum s sp aestivum</i> ), evaluados en el tratamiento sequía y control en el ambiente de La Molina (2013-2014). Medias con letras iguales no presentan diferencias estadísticas (Tukey. $p > 0.05$ . $n=3$ ).....	105
<b>Figura 47.</b> Comparación y dispersión de promedios de la Área foliar (AF) de seis genotipos de trigo ( <i>Triticum aestivum s sp aestivum</i> ), evaluados en el tratamiento sequía y control en el ambiente de La Molina (2013-2014). Medias con letras iguales no presentan diferencias estadísticas (Tukey. $p > 0.05$ . $n = 3$ ).....	106
<b>Figura 48.</b> Comparación y dispersión de promedios de Altura de planta (AP) de seis genotipos de trigo ( <i>Triticum aestivum s sp aestivum</i> ), evaluados en el tratamiento sequía y control en el ambiente de La Molina (2013-2014). Medias con letras iguales no presentan diferencias estadísticas (Tukey. $p > 0.05$ . $n = 3$ ).....	108
<b>Figura 49.</b> Comparación y dispersión de promedios de la Longitud de espiga (LE) de seis genotipos de trigo ( <i>Triticum aestivum s sp aestivum</i> ), evaluados en el tratamiento sequía y control en el ambiente de La Molina (2013-2014). Medias con letras iguales no presentan diferencias estadísticas (Tukey. $p > 0.05$ . $n = 3$ ).....	109
<b>Figura 50.</b> Comparación y dispersión de promedios del Rendimiento (REN) de seis genotipos de trigo ( <i>Triticum aestivum s sp aestivum</i> ), evaluados en el tratamiento sequía y control en el ambiente de La Molina (2013-2014). Medias con letras iguales no presentan diferencias estadísticas (Tukey. $p > 0.05$ . $n = 3$ ).....	110
<b>Figura 51.</b> Comparación y dispersión de promedios de Número de espigas m <sup>-2</sup> (NEM) de seis genotipos de trigo ( <i>Triticum aestivum s sp aestivum</i> ), evaluados en el tratamiento sequía y control en el ambiente de La Molina (2013-2014). Medias con letras iguales no presentan diferencias estadísticas (Tukey. $p > 0.05$ . $n=3$ ).....	111
<b>Figura 52.</b> Comparación y dispersión de promedios del Número de granos por espiga (NGE) de seis genotipos de trigo ( <i>Triticum aestivum s sp aestivum</i> ), evaluados en el	



tratamiento sequía y control en el ambiente de La Molina (2013-2014). Medias con letras iguales no presentan diferencias estadísticas (Tukey.  $p > 0.05$ .  $n = 3$ )..... 112

**Figura 53.** Comparación y dispersión de promedios del Peso de granos por espiga (PGE) de seis genotipos de trigo (*Triticum aestivum s sp aestivum*), evaluados en el tratamiento sequía y control en el ambiente de La Molina (2013-2014). Medias con letras iguales no presentan diferencias estadísticas (Tukey.  $p > 0.05$ .  $n = 3$ )..... 114

**Figura 54.** Comparación y dispersión de promedios del Peso de 1000 Granos (PMG) de seis genotipos de trigo (*Triticum aestivum s sp aestivum*), evaluados en el tratamiento sequía y control en el ambiente de La Molina (2013-2014). Medias con letras iguales no presentan diferencias estadísticas (Tukey.  $p > 0.05$ .  $n = 3$ )..... 115

**Figura 55.** Comparación y dispersión de promedios del Índice de Cosecha (IC) de seis genotipos de trigo (*Triticum aestivum s sp aestivum*), evaluados en el tratamiento sequía y control en el ambiente de La Molina (2013-2014). Medias con letras iguales no presentan diferencias estadísticas (Tukey.  $p > 0.05$ .  $n = 3$ )..... 116

**Figura 56.** Comparación y dispersión de promedios de Número de días transcurridos al 50% de emergencia de espigas (NDE) de seis genotipos de trigo (*Triticum aestivum s sp aestivum*), evaluados en el tratamiento sequía y control en el ambiente de La Molina (2013-2014). Medias con letras iguales no presentan diferencias estadísticas (Tukey.  $p > 0.05$ .  $n = 3$ )..... 117

**Figura 57.** Comparación y dispersión de promedios de Número de días transcurridos al 50% de madurez de granos (NDM) de seis genotipos de trigo (*Triticum aestivum s sp aestivum*), evaluados en el tratamiento sequía y control en el ambiente de La Molina (2013-2014). Medias con letras iguales no presentan diferencias estadísticas (Tukey.  $p > 0.05$ .  $n = 3$ )..... 118

**Figura 58.** Comparación y dispersión de promedios del Contenido de clorofila SPAD (CC) de seis genotipos de trigo (*Triticum aestivum s sp aestivum*), evaluados en el tratamiento sequía y control en el ambiente de La Molina (2013-2014). Medias con letras iguales no presentan diferencias estadísticas (Tukey.  $p > 0.05$ .  $n = 3$ )..... 120

**Figura 59.** Comparación y dispersión de promedios del Contenido relativo de agua (CRA) de seis genotipos de trigo (*Triticum aestivum s sp aestivum*), evaluados en el tratamiento

sequía y control en el ambiente de La Molina (2013-2014). Medias con letras iguales no presentan diferencias estadísticas (Tukey.  $p > 0.05$ .  $n = 3$ ). ..... 121

**Figura 60.** Comparación y dispersión de promedios del Potencial osmótico ( $\Psi_o$ ) de seis genotipos de trigo (*Triticum aestivum s sp aestivum*), evaluados en el tratamiento sequía y control en el ambiente de La Molina (2013-2014). Medias con letras iguales no presentan diferencias estadísticas (Tukey.  $p > 0.05$ .  $n = 3$ ). ..... 122

**Figura 61.** Comparación y dispersión de promedios del Contenido de prolina libre (CPL) de seis genotipos de trigo (*Triticum aestivum s sp aestivum*), evaluados en el tratamiento sequía y control en el ambiente de La Molina (2013-2014). Medias con letras iguales no presentan diferencias estadísticas (Tukey.  $p > 0.05$ .  $n = 3$ ). ..... 124

**Figura 62.** Comparación y dispersión de promedios de la Actividad de la enzima nitrato reductasa (AENR) de seis genotipos de trigo (*Triticum aestivum s sp aestivum*), evaluados en el tratamiento sequía y control en el ambiente de La Molina (2013-2014). Medias con letras iguales no presentan diferencias estadísticas (Tukey.  $p > 0.05$ .  $n = 3$ ). ..... 125

**Figura 63.** Comparación y dispersión de promedios de la Longitud de raíz (LR) de seis genotipos de trigo (*Triticum aestivum s sp aestivum*), evaluados en el tratamiento sequía y control en el ambiente de La Molina (2013-2014). Medias con letras iguales no presentan diferencias estadísticas (Tukey.  $p > 0.05$ .  $n = 5$ ). ..... 127

**Figura 64.** Longitud de raíz (LR) de seis genotipos de trigo (*Triticum aestivum s sp aestivum*), evaluados en el tratamiento sequía y control en el ambiente de La Molina (2013-2014). ..... 128

**Figura 65.** Comparación y dispersión de promedios del Peso seco de raíz (PR) de seis genotipos de trigo (*Triticum aestivum s sp aestivum*), evaluados en el tratamiento sequía y control en el ambiente de La Molina (2013-2014). Medias con letras iguales no presentan diferencias estadísticas (Tukey.  $p > 0.05$ .  $n = 5$ ). ..... 129

## RESUMEN

El trigo harinero (*Triticum aestivum s sp aestivum*) es un alimento básico de la población peruana; sin embargo, la producción es deficitaria debido a varios factores entre ellos la sequía y el área agrícola limitada. Por lo tanto es necesario identificar cultivares de trigo harinero con alto potencial de rendimiento y tolerantes a la sequía. La investigación tuvo tres objetivos: 1) Evaluar el efecto de la sequía en caracteres morfológicos y agronómicos; 2) Evaluar el efecto de la sequía en caracteres fisiológicos y bioquímicos; e 3) Identificar genotipos con tolerancia a sequía para ser empleadas en programas de mejoramiento. Se establecieron experimentos independientes de control (agua durante todo el ciclo de vida) y sequía (al estado de bota). Se empleó el diseño experimental de bloques completamente al azar con tres repeticiones, en La Molina y Junín-Jauja, durante dos estaciones de cultivo. En la FASE 1 se estudió 18 genotipos de trigo y en la FASE 2 se evaluó 6 genotipos de trigo seleccionados por presentar diferentes grados de tolerancia en la fase anterior. Se observó que la biomasa aérea planta<sup>-1</sup> y el área foliar estuvieron muy relacionadas con el rendimiento de los genotipos de trigos tolerantes a sequía. La longitud de raíz y peso seco de raíz, no presento correlación significativa con el rendimiento de los genotipos de trigo. Por otro lado, las variables número de espigas m<sup>-2</sup> e índice de cosecha, fueron buenos indicadores para la selección de genotipos de trigo con diferentes grados de tolerancia a la sequía. Los genotipos precoces en el tratamiento sequía fueron los que mayor peso de grano obtuvieron. Los genotipos con mayor capacidad de acumular prolina libre y nitrato reductasa, fueron más tolerante a condiciones de sequía. Las características, contenido de clorofila SPAD y potencial osmótico no mostraron relación significativa con el rendimiento de los genotipos tolerantes. Considerando las informaciones previas se seleccionaron los genotipos G-11 y G-15 como “**tolerantes a la sequía**”, G-16 como “**tolerante intermedio a la sequía**” y G-18 como “**susceptible a la sequía**”; en base a la evaluación de características morfológicas, agronómicas, fisiológicas y bioquímicas observadas en diferentes localidades.

**Palabras claves:** trigo, morfológico, fisiológico, sequía y tolerante.

## ABSTRACT

The bread wheat (*Triticum aestivum s sp aestivum*) is a basic food for the Peruvian population, however the production is deficient due to several factors including drought and limited agricultural area. Therefore it is necessary to identify bread wheat cultivars with high yield potential and drought tolerant. The research had three objectives: 1) To evaluate the effect of drought on morphological and agronomic traits; 2) To evaluate the effect of drought on physiological and biochemical characteristics and 3) To identify genotypes with tolerance to drought to be used in breeding programs. Independent experiments were established for control (no water restriction during the life cycle) and drought (boot stage) studies using a completely random blocks design with three replications, in La Molina and Junín-Jauja, during two growing seasons. In PHASE 1, eighteen genotypes of wheat were studied and in PHASE 2, six wheat genotypes were selected presenting different degrees of tolerance in the previous phase. It was observed that aerial biomass plant<sup>-1</sup> and leaf area were closely related to the yield of drought-tolerant wheat genotypes. Root length and root dry weight did not show a significant correlation with the yield of wheat genotypes. On the other hand, the variables number of ears m<sup>-2</sup> and the harvest index were good indicators for the selection of wheat genotypes with different degrees of tolerance to drought. The early genotypes in the drought experiment were those with the highest grain weight. The genotypes with greater capacity to accumulate free proline and nitrate reductase were more tolerant to drought conditions. SPAD chlorophyll content and osmotic potential showed no significant relationship with the performance of tolerant genotypes. Considering the previous information, genotypes G-11 and G-15 were selected as "drought-tolerant", G-16 as "intermediate tolerant to drought" and G-18 as "susceptible to drought"; based on the evaluation of morphological, agronomic, physiological and biochemical characteristics observed in different localities.

**Key words:** wheat, morphological, physiological, drought and tolerant.

<sup>1</sup> Ing. Agrónomo, posgraduada de la Escuela de Posgrado de la UNALM

<sup>2</sup> Profesora Principal, Departamento de Fitotecnia, Facultad de Agronomía, UNALM.

## I. INTRODUCCIÓN

Los cultivos son la fuente principal de la alimentación humana, los cuales para su desarrollo requieren básicamente de suelos fértiles y del agua, que es el factor más importante, puesto que la escasez de este, restringe la productividad de los cultivos (Hsiao *et al.*, 2009). Las plantas para crecer realizan varias actividades fisiológicas como la transpiración, que mantiene la función fotosintética; esta actividad fisiológica es la que más demanda agua y en las regiones que dependen de las lluvias para el desarrollo de los cultivos, esta función fisiológica puede verse limitada por las frecuentes sequías que se presentan en el ciclo de desarrollo de los cultivos, reduciendo, en diferentes niveles, la productividad de los mismos. Esta disminución de la producción de alimentos, por este factor, se hace más frecuente por efecto del cambio climático y junto con el crecimiento constante de la población humana, puede contribuir a reducir las posibilidades de asegurar y hacer sostenible la seguridad alimentaria de muchas naciones especialmente en países en vías de desarrollo.

Por otro lado, en las regiones que disponen de riego, se puede lograr un desarrollo adecuado de los cultivos. El riego se puede aplicar sólo en determinadas zonas. Se estima que en el año 2007 se regaban 277 millones de ha, un 12% de la superficie cultivada mundial (FAO, 2010). Esta superficie irrigada, además de ser escasa va decreciendo. El IPCC (2007) señaló que en Latinoamérica, la oferta de agua de riego disminuirá en los próximos 50 años debido a la creciente demanda para uso humano y a la mayor sequía por el cambio climático.

Gran parte del territorio Peruano está expuesto a sequías periódicas, incluyendo regiones importantes de costa y sierra, cuya intensidad estaría asociada a la ocurrencia de condiciones climáticas especiales, inversas al fenómeno El Niño. Entre el 2000 y 2010 se reportaron a nivel nacional 163 eventos de sequías, siendo mayor en la vertiente del Pacífico (con 127 eventos), seguidos por la vertiente del Titicaca (25 eventos) y la vertiente del Atlántico (11 eventos). La sequía del 2010 en el Altiplano fue una de las más severas, por una alta fluctuación de la precipitación; allí se ha reportado 25 eventos,

afectando a 66724 familias y 332087 ha. En el 2011, eventos de sequía afectaron a los departamentos de Arequipa, Cajamarca, Lambayeque, Piura, La Libertad, Lima, Moquegua, Tacna, Amazonas, Huánuco, San Martín, Junín y Puno, ocasionando la pérdida de cultivos, mortandad pecuaria, proliferación de plagas y enfermedades. Ello afecta principalmente a los pequeños productores agrarios, así como a las poblaciones urbanas del Perú, especialmente en la región alto andina (Autoridad Nacional del Agua, 2013).

Las zonas sobre los 3000 m de altitud, debido a las condiciones adversas del clima y la pobreza de los suelos, tienen pocas opciones de cultivo; destacándose la papa, raíces y tuberosas andinas, la quinua, la cebada, la avena, el trigo, la arvejas, las habas y el tarwi.

El trigo es uno de los cereales ampliamente cultivados a nivel mundial debido a que contribuye a la nutrición de las familias; el 65% de la producción de trigo está destinada a la alimentación humana, el 17% para el consumo animal y el 12% para el uso industrial incluido los biocombustibles (FAO, 2013), y su demanda mundial crece a tasas mayores que las actuales ganancias genéticas en rendimiento de los diferentes países (Reynolds *et al.*, 2009).

En el Perú se siembran aproximadamente 150000 has y esta producción es usada principalmente para la elaboración de pan, galletas, harina y otros productos farináceos, que son parte del consumo básico de la población sin embargo, la producción es deficitaria, requiriéndose la importación del 88% de la demanda nacional, principalmente de Canadá, Estados Unidos, Rusia, Argentina y Paraguay. El 97% de la superficie cultivada se encuentra ubicada en la sierra y el 3% en la costa. El 90% del área sembrada en el país se realiza en secano (Ministerio de Agricultura, 2013). Existen muchos factores que limitan la producción de trigo, en Perú, y entre ellos destacan la limitada área agrícola que posee el Perú y los factores limitantes ambientales adversos que caracterizan la zona alto andina donde se cultiva el trigo. Esta situación se agudiza con el cambio climático y existe la posibilidad de que áreas extensas pueden presentar limitada disponibilidad de agua en el futuro requiriéndose de variedades con alta tolerancia a la sequía.

Fischer (2007) indica que el rendimiento continúa siendo el factor de mayor importancia para el crecimiento de la producción y la ganancia en rendimiento potencial del trigo. Es por ello, que la búsqueda de variedades tolerantes al estrés por sequía es sumamente importante y es uno de los objetivos prioritarios en los programas de mejoramiento genético de trigo, en áreas donde las sequías son frecuentes o no se cuenta con el

suministro de agua necesario para los requerimientos del cultivo (Kirigwi *et al.*, 2004). En el caso de la sierra Peruana es sumamente importante disponer de nuevas variedades con mejor tolerancia a la sequía para ponerlas a disponibilidad de los agricultores, considerando que el trigo es alimento básico y es producido mayormente para autoconsumo.

En base a lo anteriormente expuesto se plantea la hipótesis: Por lo menos uno o más caracteres morfológicos o fisiológicos en trigo permitirán la selección fenotípica de genotipos con tolerancia a condiciones de sequía.

Para la comprobación de esta hipótesis se trazaron los siguientes objetivos:

### **Objetivo general**

Establecer protocolos de selección de trigo harinero tolerante al estrés por sequía, en poblaciones desarrolladas por diferentes métodos de mejoramiento genético de plantas.

### **Objetivos específicos**

- Evaluar el efecto de la sequía en caracteres morfológicos y agronómicos de trigo harinero.
- Evaluar el efecto de la sequía en caracteres fisiológicos y bioquímicos de trigo harinero.
- Identificar genotipos con tolerancia a la sequía para ser empleadas en programas de mejoramiento.

## II. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

### 2.1. El cultivo de trigo (*Triticum aestivum s sp aestivum*)

#### 2.1.1. Aspectos generales

El origen del actual trigo cultivado se encuentra en la región Asiática comprendida entre los ríos Tigris y Éufrates, habiendo numerosas gramíneas silvestres comprendidas en esta área emparentadas con el trigo. Desde Oriente Medio el cultivo del trigo se difundió en todas las direcciones (CIMMYT, 2008).

El trigo es una planta anual, herbácea, autógena, angiosperma y monocotiledónea, que pertenece a la clase Liliopsida, al orden Poales, familia Poaceae y género *Triticum* (Gramene *Triticum*, 2010).

El género *Triticum* tiene más de 30 especies, destacando entre ellas dos: *Triticum aestivum s sp aestivum* o hexaploide o trigo harinero, el cual se utiliza básicamente en la producción de harina para pan, galletas y repostería. La segunda especie, *Triticum turgidum* L. ssp. *durum* (Desf.) Husn., corresponde al trigo extra duro o candeal. Este último se destina fundamentalmente a la obtención de semolina para la fabricación de fideos y pastas (Manual Agropecuario, 2002).

#### 2.1.2. Características botánicas

##### **Raíz**

El trigo tiene dos tipos de raíces: las llamadas seminales que se originan de las semillas y las raíces adventicias que se originan en el nudo o plataforma de macollamiento en la base del tallo, cumplen las funciones de sostén y absorción, a las cuales se denomina sistema radicular fibroso o fasciculado (López, 1990; Carrera, 2005).

Las raíces fasciculadas, alcanzan en su mayoría una profundidad de 25 cm, llegando algunas de ellas hasta un metro de profundidad (Zaruma y Jarrin, 2011). Su desarrollo está



influenciado por el genotipo, el tipo de suelo, la profundidad de siembra, la humedad y otros factores (López, 1990).

### **Tallo**

El tallo del trigo es una caña hueca con 6 nudos sólidos que se alargan hacia la parte superior, alcanzando entre 0.50 a 2 metros de altura, es poco ramificado. El nudo verdadero es un tabique que se manifiesta por una zona más abultada o algo contraída y es el punto donde nace la hoja y la yema (López, 1990; Monar, 2004).

El tallo, al comienzo de la fase vegetativa se halla dentro de una masa celular que constituye el nudo de macollamiento o ahijamiento. Este tallo presenta brotes auxiliares a partir de los cuales se origina los tallos hijos o macollos. Se vuelve después hueco, salvo en los nudos, donde permanece compacto (López, 1990; Rojas, 2003).

### **Hojas**

Las hojas del trigo tienen una forma linear-lanceolada (alargadas, rectas y terminadas en punta) con vaina, lígula y aurículas bien definidas. (Guerrero, 1999).

Según Sánchez (1994), en cada nudo nace una hoja, la cual puede tener una longitud que varía de 15 a 25 cm y de 0.5 a 1.0 cm de ancho. El número de hojas varía de 4 a 6, en cada nudo nace una hoja, excepto los nudos que están debajo del suelo que en lugar de hojas producen brotes o macollos.

### **Inflorescencia**

La inflorescencia es una espiga que se forma en el brote terminal. Cuando termina el macollamiento comienza a elevarse en el tallo, a la vez que este último se alarga en la fase de encañado. Al terminar el desarrollo del tallo aparece la espiga, envuelta en la última hoja (INIAP, 2000).

La inflorescencia es una espiga compuesta por un raquis o eje central de nudos y entrenudos cortos, sobre el cual van dispuestas 20 a 30 espiguillas en forma alterna y laxa o compacta.

Cada espiguilla está formada por dos glumas que contienen más de dos flores, ubicadas en un eje de nudos y entrenudos llamado la raquilla. Cada flor está conformada de dos glumillas o brácteas llamadas lemma y palea, tres anteras y un pistilo con estigma bifido y plumoso y dos lodículos (López, 1990; Esquinas, 2006; Monar, 2007).

La lemma puede estar provista de arista con barba o sin barba, de ser así, el trigo se llama aristado. El trigo es un cultivo autógeno con una polinización cruzada que varía de 1 a 5% dependiendo del genotipo, factores ambientales y bióticos (López, 1990; CIMMYT, 2006).

### **Fruto**

Los granos son cariósides secos e indehiscentes; que presentan forma aovada, ovalada y elíptica con sus extremos redondeados. El grano está formado de pericarpio o envoltura del fruto, la envoltura de las semillas (testa y capa hialina), la aleurona, el endosperma y el embrión o germen. El germen se encuentra en la cara dorsal del grano en uno de los extremos opuesto a la escobilla o mechón de pelos finos, remanentes de las vellosidades estigmáticas. El endospermo, es un depósito de alimentos para el embrión, que representa el 82% del peso del grano. El pericarpio y la testa, juntamente con la capa aleurona, conforman el salvado de trigo. El grano de trigo contiene proteínas y dos de ellas la gliadina y glutenina en contacto con el agua forman el gluten. El gluten facilita la elaboración de panes con el uso de levaduras (López, 1990; FAO, 2006).

### **2.1.3. Fisiología de crecimiento y desarrollo**

Según Silva *et al.* (2011) el desarrollo fenológico es un proceso de cambios cualitativos en el que se forman y/o mueren diferentes estructuras de la planta.

Conocer los estadios de desarrollo del trigo permite determinar los procesos fisiológicos que ocurren en la planta durante cada período. Además, hay períodos o etapas del desarrollo, como el estadio de plántula, donde las especies pueden ser particularmente sensibles (o insensibles) a un estrés determinado (Nilsen y Orcutt, 1996). La fenología también es importante para establecer el monitoreo del cultivo, con el fin de tomar decisiones respecto al manejo agronómico.

### **Germinación**

En cuanto la semilla alcanza una humedad de 45% se activa la germinación y se manifiesta por el alargamiento de la coleorriza; ésta proporciona anclaje y absorbe agua y nutrientes. Posteriormente, el coleóptilo emerge atravesando la superficie del suelo y van apareciendo las raíces seminales. La germinación puede tardar entre 8 a 15 días. La temperatura ambiental óptima para esta etapa varía entre 20-25°C (López, 1990).

## **Crecimiento de la plántula**

El primer entrenudo de la planta no desarrolla, mientras el segundo sí lo hace y se coloca dos centímetros bajo el suelo pasando a formar la corona. Posteriormente van apareciendo las primeras hojas. Se considera el crecimiento desde la primera hoja emergida hasta la novena (Baker y Gallagher, 1983).

Cuando la plántula tiene entre 2 a 3 hojitas ocurre la “inducción floral”, donde el ápice de crecimiento de arruga simple, que produce primordios de hojas pasa a un estado de arruga doble y empieza a formar las estructuras de la espiguilla embrionaria. Durante la inducción floral el punto de crecimiento se encuentra sobre el último nudo de la corona de la planta, debajo del suelo (Rawson y Gómez, 2001). La espiga comienza su desarrollo, aunque muy lentamente, con la iniciación floral del ápice vegetativo (Bell y Fisher, 1994).

## **Macollaje**

El macollaje ocurre al aparecer la cuarta o quinta hoja verdadera de la plántula. En la axila de las hojas se activa una yema que da origen a los macollos primarios, simultáneamente los nudos de la corona dan lugar a la emisión de las raíces secundarias. El macollo primario tiene su propia corona, pero en cuanto emerge su cuarta o quinta hoja se activa su primera yema axilar y forma un macollo secundario, y este forma su propio sistema radicular independiente pero interconectado (Kirby, 1974).

Inicialmente los macollos se encuentran protegidos por la vaina de la hoja, de cuya yema axilar toman los azúcares y nutrientes necesarios para su alimentación. Al emerger su tercera hoja los macollos se vuelven independientes y suelen formar raíces adventicias o secundarias en su base, las cuales les suministran los nutrientes para el crecimiento del vástago vegetativo (López, 1990).

Existen seis factores que influyen en el macollamiento: el genotipo, la densidad de siembra, la profundidad de siembra, los nutrientes, la temperatura y el agua. Así por ejemplo: la temperatura entre 18-22 °C, los días cortos, y la baja densidad de siembra favorecen el macollamiento. Sin embargo, un mayor número de macollos tiene un efecto contrario sobre los componentes del rendimiento porque disminuyen el número de granos por espiga y el peso de mil granos (Stapper, 2007). A temperatura superior a 23°C disminuye el número de macollos. Por lo tanto, la aparición de los tallos no termina en una etapa específica del desarrollo del trigo, sino más bien está controlado por factores genéticos y ambientales. No obstante, se considera una duración aproximada de 28 a 30

días y dependiendo de varios factores coincide con la diferenciación de las glumas dentro de la espiga.

### **Alargamiento del tallo o encañado**

Cuando en la espiga embrionaria se forma la espiguilla terminal acaba el macollamiento y se inicia el periodo de encañado o elongación del tallo. El crecimiento del tallo empieza sobre el meristemo de cada nudo y da origen al entrenudo respectivo; simultáneamente a la elongación de los entrenudos la espiga continúa su desarrollo sobre el último nudo del tallo, por lo tanto, en condiciones limitantes el crecimiento del tallo puede competir con el de la espiga. Asimismo las raíces y las hojas continúan su crecimiento (Gallagher y Biscoe, 1978). El acortamiento de los entrenudos superiores puede dejar disponibles compuestos orgánicos que pueden usarse en la diferenciación adicional de flores, el llenado de granos o en incrementar el macollaje (López, 1990).

Durante esta etapa se forma toda el área foliar, por lo tanto, se requieren elevadas cantidades de nitrógeno. Además, una temperatura fresca ayuda a la formación de más tallos con espigas. El encañado y macollamiento son los períodos donde se define el número de espiguillas por espiga y en cuanto las florecillas de la espiguilla formen sus estigmas habrá terminado la elongación del tallo (Acevedo *et al.*, 1998).

La temperatura óptima para el encañado varía entre 18-22°C; temperaturas sobre los 30°C afectan la altura de la planta, el verdor de las hojas, el crecimiento de raíces, la tasa de respiración y promueven la producción de sustancias tóxicas (López, 1990).

### **Buche o bota**

El estado de buche o bota ocurre cuando la espiga termina de diferenciarse dentro de la vaina de la hoja bandera y se nota como una hinchazón, pues la espiga está próxima a salir; en este momento los macollos entran en competencia. En cuanto salen las aristas de la vaina de la hoja bandera ha finalizado el estado de bota. En el estado de encañado y bota se determina el número de florecillas por espiguilla que tendrá finalmente la espiga (Rawson y Gómez, 2001).

### **Espigado**

El espigado es el proceso de emergencia de las espigas, luego de que las flores han terminado de formarse. Cada espiguilla puede contener entre tres y cinco potenciales flores fértiles, las cuales son polinizadas en un 96% de los casos. Rawson y Gómez (2001)

señalan que las espiguillas ya formadas pueden contener de dos a seis flores, de las cuales pueden ser fértiles desde dos hasta cinco; esto está influenciado por la evapotranspiración.

El espigado es el estadio fenológico en el cual se define el número de espigas fértiles por metro cuadrado y el número de granos por espiga. Si durante el espigado hay altas temperaturas, la planta dedica gran parte de su actividad a la transpiración, lo cual afecta directamente la elaboración de materia seca. Se estima que tres cuartas partes de la materia seca total se producen entre el macollaje y la floración. La temperatura ambiental óptima está entre 18-22°C. Temperaturas súbitas menores a 15°C o por encima de 30°C producen esterilidad en las flores (Owen, 1971; Saini y Aspinall, 1982).

### **Antesis**

La antesis ocurre cuándo las anteras emergen de las flores, luego de que han diseminado el polen dentro de flor y ha ocurrido la fecundación. Las anteras empiezan a perder su coloración brillante, se marchitan y colapsan. La antesis empieza en la parte central de la espiga y continúa hacia la parte basal y apical durante un periodo de tres a cinco días. Las flores próximas a la espiguilla central son fertilizadas de dos a seis días antes que las flores distales, estos granos usualmente tienen mayor peso. En este período queda determinado el número de granos por espiga. Además, el almacenamiento de compuestos orgánicos del tallo se torna más activo, antes de que comience el llenado del grano y cuando el área foliar es máxima. El cuaje de los granos es favorecido por una alta luminosidad y es sensible al déficit hídrico. Asimismo, elevadas y bajas temperaturas durante la antesis generan esterilidad (López, 1990).

### **Estado lechoso del grano**

De 16 a 18 días después de la fecundación, el grano ya se encuentra totalmente formado solo hace falta llenarse, por lo que en esta etapa se hace importante el agua como responsable del transporte de nutrientes (López, 1990). El almidón que se acumula en los granos proviene de la fotosíntesis que aún se realiza en las últimas hojas y en la espiga, también en el resto de la planta se produce un movimiento de los fotosintatos y proteínas hacia la espiga. El grano al partirse tiene una consistencia lechosa. Si durante este periodo fenológico las temperaturas son altas y además están acompañadas por vientos fuertes y secos se ve afectado el transporte de nutrientes y el grano finalmente no acumula todas las reservas y presenta un aspecto “escaldado” o “arrugado” (López, 1990).

### **Estado pastoso del grano**

En este período fenológico el grano ha alcanzado su máximo tamaño y ha terminado la translocación de fotosintatos y al partirse se observa un contenido pastoso. Luego va perdiendo su coloración verde hasta alcanzar un color crema o marrón. El grano empieza a perder humedad y pasa de un estado masoso a un estado más duro; alcanzando la maduración fisiológica, conteniendo entre 45 a 50 % de humedad (López, 1990).

Temperaturas por debajo de 18 °C producen plasmólisis dando lugar a granos arrugados y las temperaturas altas, afectan la calidad proteica del grano.

### **Madurez de cosecha**

En este período el grano pasa de un estado “rayable a la uña” (20% de humedad) a otro llamado “frágil al diente” (14% de humedad).

Cabe resaltar que durante los tres últimos estadios de desarrollo, queda determinado el peso de mil granos, uno de los componentes de los parámetros de rendimiento del cultivo (López, 1990).

#### **2.1.4. Requerimientos hídricos y nutricionales del cultivo**

García (2004) indica que el rendimiento del cultivo de trigo en una región determinada, es la resultante de la interacción entre factores ecológicos, tecnológicos y genéticos, pero en muchos casos, los rendimientos potenciales del cultivo no se alcanzan debido a la nutrición deficiente, y su manejo a través de la fertilización, constituyéndose en uno de los limitantes de la producción de trigo.

### **Suelo**

El suelo, actúa como elemento de captación y retención del agua de lluvia, cediéndola posteriormente a las raíces de los cultivos. En este sentido, cumple una importante función al distribuir en el tiempo el suministro agua, amortiguando dentro de ciertos límites, los períodos de sequía. La capacidad de almacenaje de agua del suelo depende de su espacio poroso (determinado principalmente por la textura de sus distintas capas) y de su espesor o profundidad. Esta última se ve condicionada por la presencia de limitaciones a la penetración de las raíces, o por la diferente habilidad del cultivo para explorar el perfil en suelos homogéneos y profundos (Krüger y Venanzi, 2009).

Es importante que el suelo donde se cultiva el trigo sea profundo para que haya un amplio desarrollo del sistema radicular. En condiciones de secano se recomienda que el suelo tenga una buena capacidad de retención, pero que a su vez, tenga un buen drenaje, un pH de suelo óptimo para el trigo está entre 5.4 a 7.0 (Guerrero, 1999).

### Temperatura

El trigo requiere un acumulado entre 1800 y 2400 °C para completar su ciclo biológico; para completar la fase vegetativa requiere entre 1100 y 1400 °C, mientras que para la fase reproductiva entre 700 y 970 °C. La temperatura ideal para el crecimiento y desarrollo del trigo está entre 10 y 24 °C (Soto *et al.*, 2009).

### Necesidades de agua

El requerimiento de agua por el cultivo de trigo se da en toda su fase fenológica, por lo que el déficit de agua, producirá una disminución en los rendimientos. Sin embargo, hay etapas o estados fenológicos en el desarrollo del cultivo, en donde el efecto del estrés hídrico es mayor. Dichos estados corresponden a una fase de activo crecimiento o división celular donde, en un breve período de tiempo, ocurren grandes cambios de tamaño en algún componente de producción de la planta.

En el caso del trigo los periodos críticos son:

**Tabla 1.** Períodos críticos de algunos cultivos al déficit hídrico. (Stewart y Nielsen, 1990 y Millar 1993 citado por Departamento de Recursos Hídricos de la Facultad de Ingeniería Agrícola, Universidad de Concepción. Chile, 2012).

CULTIVOS	PERÍODOS CRÍTICOS					
	Encañado	Espiga Hinchada	Espigado	Floración	Grano Lechoso	Grano Pastoso
Trigo			*****	*****	****	
Cebada			*****	*****	****	
Avena			*****			
Arroz			*****	*****		
Centeno				*****	*****	
Maíz				*****	*****	

El trigo puede desarrollarse bien con 300 o 400 mm, siempre que la distribución sea adecuada y comúnmente se cultiva en regiones de 400 a 750 mm anuales (CIMMYT, 2011).

## 2.2. Importancia del cultivo de trigo (*Triticum aestivum* s *sp aestivum*)

### Panorama mundial

Álvarez, 2000 indica que, desde la antigüedad el trigo ha sido muy importante en la alimentación humana. El nacimiento de la agricultura en el área del cercano oriente está íntimamente relacionado a la domesticación del trigo y la cebada. Esta importancia se ha mantenido hasta el presente constituyéndose como uno de los cultivos de mayor producción representando un tercio de la producción mundial de cereales. Se cultiva dos tipos de trigo en el mundo: el trigo harinero o blando (*T. aestivum*) y el trigo duro (*T. turgidum*), la producción y consumo a nivel mundial se muestran en la, Tabla 2.

**Tabla 2.** Exportaciones, producción, consumo y stock finales mundiales de trigo. (USDA, 2014)

	2009/10	2010/11	2011/12	2012/13
Exportación	135,4	134,0	153,8	147,4
Producción	687,0	652,4	697,5	655,5
Consumo	654,2	655,2	697,1	679,3
Stock finales	201,8	199,0	199,9	175,6
Relación stock/consumo	0,31	0,30	0,29	0,26

Millones de toneladas

El trigo forma parte del desarrollo económico y cultural del hombre, siendo uno de los cereales ampliamente cultivado a nivel mundial, por contribuir principalmente a la nutrición de las familias. El 65% de la producción de trigo está destinada para la alimentación humana, el 17% para el consumo animal y el 12% para el uso industrial incluido los biocombustibles (FAO, 2013), el trigo se cultiva en todo el mundo siendo la principal área de cultivo la zona templada del hemisferio norte (INFOAGRO, 2000).

**En Perú,** el trigo es usado principalmente para la elaboración de pan, galletas, harina y otros productos farináceos, que son parte del consumo básico de la población. La producción a nivel nacional en el año 2015, fue de 214849 toneladas, en una superficie de 138357 hectáreas; esta producción solo cubre el 12% de la demanda nacional y el 88% restante fue importado, de Canadá, Estados Unidos, Rusia, Argentina y Paraguay. La baja producción de trigo en Perú, se debe a muchas causas y una de ellas es que el 97% de la superficie cultivada se encuentra ubicada en la sierra y el 3% en la costa, donde el 90% del área sembrada se encuentra bajo condiciones de secano. El rendimiento promedio nacional en el año 2015, fue de 1553 kg ha<sup>-1</sup>, y los departamentos que presentaron mayores rendimientos fueron: Arequipa, Tacna, Junín, La Libertad, Cusco e Ica, con 6918, 3000, 2403, 2109, 1773 y 1861 Kg ha<sup>-1</sup>; respectivamente. Estos departamentos presentaron,



rendimientos por encima del promedio nacional, sin embargo no son los principales productores de trigo, a excepción de La Libertad (Ministerio de Agricultura, 2017).

### 2.3. Sequía en el mundo y Perú

Según Inzunza *et al.*, 2010, la escasa disponibilidad de agua para la agricultura en las zonas de riego del mundo, es causada por una demanda cada vez mayor de una población en constante aumento y asociado a la incertidumbre de las precipitaciones. Uno de los factores principales que limita la producción de trigo a nivel mundial es la disponibilidad de agua por efecto del cambio climático que amenaza con aumentar progresivamente el número de personas con hambre en las próximas décadas, debido a los nuevos inconvenientes causados en la agricultura y la alimentación por este fenómeno. La temperatura alrededor del mundo podría incrementarse hasta 6 °C en el 2050, desencadenando una serie de amenazas sobre todo para la agricultura (GIPB, 2009).

La sequía es la deficiencia de precipitaciones en un periodo relativamente prolongado. Esta definición, muy general, debe precisarse para cada región geográfica en términos de cuál es el déficit de lluvias y el tiempo durante el que se prolonga. Se han identificado más de 150 definiciones de sequía (Valiente, 2001) y puede ser clasificada en:

**Sequía meteorológica:** se refiere a la deficiencia de la precipitación sobre un periodo de tiempo que puede ser de días a años. La definición cuantitativa de una sequía dependerá de las características de la región y de la aplicación que se dará a dicha definición, pero típicamente estará basada en una medida de la precipitación como el Índice de Precipitación Estandarizada.

**Sequía hidrológica:** está asociada a los efectos del déficit en precipitación sobre la disponibilidad de agua superficial y subsuperficial (caudales de los ríos, niveles de los reservorios, etc.), por lo que la magnitud y duración se definen a nivel de cuenca hidrográfica. Por ejemplo, si bien la precipitación es el origen de esta sequía, debido a los procesos hidrológicos normales, se pueden observar demoras en la sequía hidrológica con respecto al déficit de precipitación. Debido a esto, puede haber desfases con respecto a los impactos sobre otros sectores, como la agricultura por secano. Además, la recuperación de las componentes hidrológicas puede demorar debido a los largos tiempos de recarga.

**Sequía agronómica:** relaciona el déficit meteorológico e hidrológico con impactos sobre los cultivos. Se enfoca en el desbalance entre el requerimiento de evapotranspiración de

los cultivos y la disponibilidad de agua de precipitación, suelo, subterránea, etc. El requerimiento de los cultivos dependerá de las condiciones ambientales (insolación, humedad del aire, temperatura, etc.) las propiedades del suelo, las características del cultivo específico, y en la fase de su desarrollo en el que se encuentra.

**Sequía socioeconómica:** difiere de los anteriores en que asocia a las actividades humanas con elementos de las sequías meteorológicas, hidrológicas y agronómicas. Puede resultar de efectos sobre la oferta y demanda de bienes económicos, así como del impacto diferenciado entre distintos grupos en la población. Más aún, esta sequía puede generar conflictos entre grupos que compiten por recursos asociados con el agua (Instituto Geofísico del Perú, 2012).

### **En Perú**

Según Kuroiwa (2012) el Perú tiene una distribución muy desigual de los recursos hídricos debido a la presencia de la corriente peruana (localmente conocida como la Corriente de Humboldt), la cordillera de los Andes y la selva amazónica creando una gran diversidad de climas. El consumo anual de agua en el Perú es aproximadamente de 20072 millones de m<sup>3</sup> por año, de los cuales 80% se emplean en actividades agrícolas, siendo irrigadas 1729000 ha: en la costa se riegan 1080000 ha, pero sólo 836000 son explotadas para propósitos comerciales. La sierra peruana y la selva peruana tienen el 18% y el 5% de las tierras agrícolas del Perú, respectivamente.

La sequía en Perú, es muy recurrente en la zona andina; las causas pueden ser varias, pero la principal parece ser, el fenómeno “El Niño” que tiene influencia sobre las tierras altas centrales y del sur, así como, en cierto grado, sobre la Amazonía. La sequía también puede producirse por movimientos anticiclónicos sobre el Pacífico occidental, en el caso del valle del Mantaro, y por temperaturas anormalmente cálidas en el océano Atlántico, en el caso de la cuenca del Amazonas (PNUD, 2013).

Según Hocquenghem (1998) citado por Torres y Gómez (2008) en el Perú, las sequías tienen una larga historia e incluso, están asociadas a grandes desastres, como el colapso de la cultura moche, según investigaciones de Lonnie Thompson. Entre los siglos XVII y XIX las sequías más importantes ocurrieron entre los años, 1706-1715, 1759-1760, 1766-1776, 1792-1812 y de 1805 a 1814; también en 1847-1849, 1858-1861, 1867-1870, 1881-1884, 1885-1886, 1892-1896 y 1900-1901.

Debido a que más del 70 % de la agricultura de la sierra del Perú se conduce bajo condiciones de secano; es decir que dependen de las lluvias, la sequía es uno de los fenómenos meteorológicos de mayor impacto en el sector agropecuario. En áreas de cultivo de secano, la sequía agronómica va ligada a la sequía meteorológica, con un pequeño desfase temporal que depende de la capacidad de retención de humedad del suelo. Por otro lado, en áreas irrigadas, la sequía agronómica está más vinculada a la sequía hidrológica. Es por esto que cronológicamente primero se presenta la sequía meteorológica, luego la sequía agronómica y finalmente la sequía hidrológica (Torres y Gómez, 2008).

## **2.4. Sequía en las plantas**

### **2.4.1. Efectos de la sequía**

Desde un punto de vista ecofisiológico, se ha definido al estrés hídrico o sequía como cualquier limitación al funcionamiento óptimo de una planta, impuesta por una disponibilidad de agua insuficiente (Medrano y Flexas, 2003). Desde un punto de vista fisiológico la palabra estrés connota algún tipo de sufrimiento, una alteración del funcionamiento normal con consecuencias sobre el crecimiento o el desarrollo de la planta (Salisbury y Ross, 2000). La falta de disponibilidad hídrica, que causa el estrés, puede deberse a un déficit hídrico edáfico o a una demanda evaporativa atmosférica excesiva, o a la interacción de ambos factores, aspecto, este último, que se enmarca en lo que se conoce como sequía. Una alta demanda evaporativa ocurre por ejemplo cuando aumenta en forma excesiva el déficit de presión de vapor de la atmósfera (Campbell y Norman, 1998).

La sequía produce en las plantas un conjunto de respuestas que se establecen como señales. La disminución del agua edáfica y/o el aumento de la demanda evaporativa de la atmósfera disparan una serie de eventos, que comienzan con la disminución del potencial hídrico ( $\Psi$ ) que se transmite a todos los órganos de la planta. La disminución del  $\Psi$  produce una pérdida concomitante de turgencia celular ( $\Psi_p$ ), el bloqueo de la síntesis de citocininas en las raíces; y con un aumento del pH de la savia xilemática (Lichtenthaler, 2003; Gollan *et al.*, 1992). Estos primeros eventos desencadenan otros, como por ejemplo la cavitación xilemática, la disminución del alargamiento celular en los órganos en crecimiento lo que provoca una reducción de la superficie foliar, el cierre estomático, y la disminución de la fotosíntesis.

La sequía causa la disminución del potencial del agua de la planta ( $\Psi$ ); esto trae aparejado que el xilema cavite, lo que se traduce en una pérdida de conductancia hidráulica de la planta ( $kL$ ), lo que hace que el  $\Psi$  disminuya aún más (Buckley, 2005).

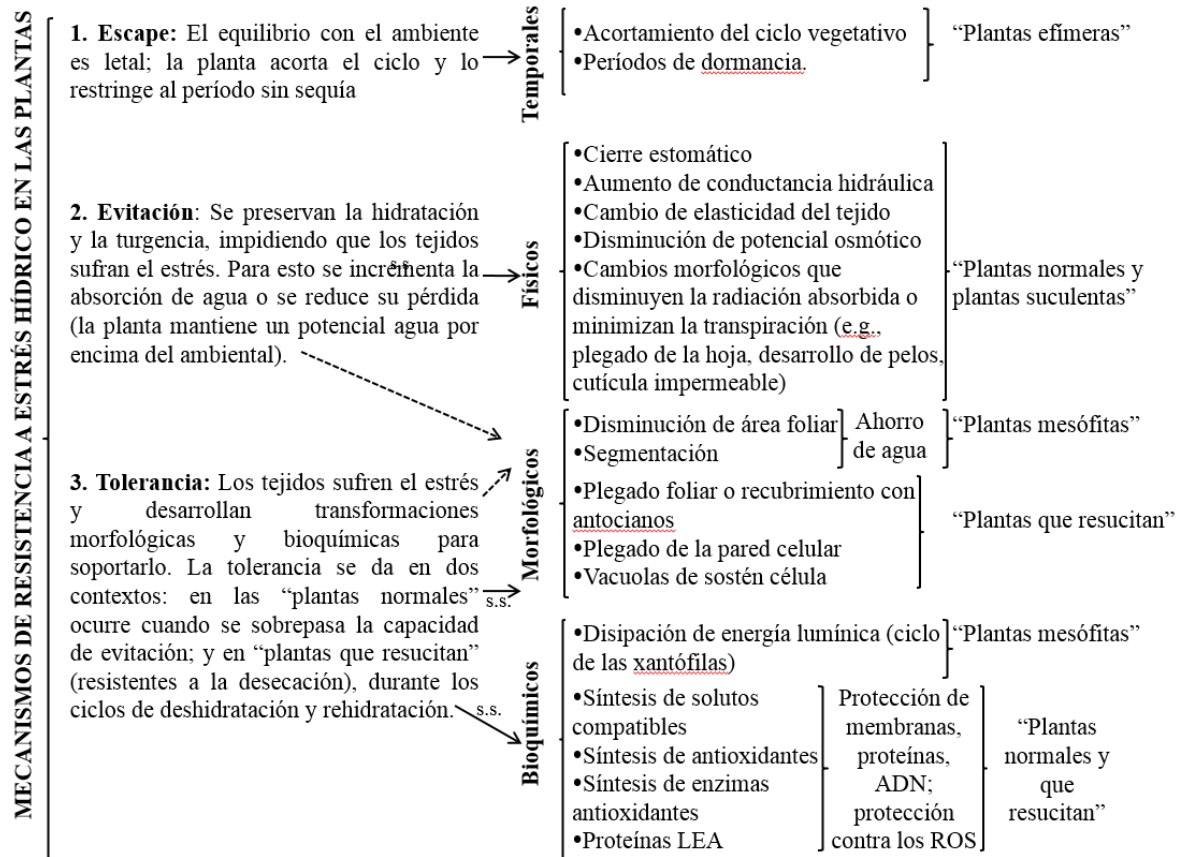
La severidad resultado de la sequía en las plantas depende de varios factores, entre los que se encuentran la intensidad y duración de la sequía, el grado de aclimatación de la planta y su nivel de resistencia. La planta alcanza la aclimatación en el mediano plazo, por ejemplo, luego de convivir con un estrés no demasiado severo. Durante la aclimatación, sufre modificaciones, como una reducción de la superficie foliar, tejidos más rígidos, un cierto ajuste osmótico o la disminución de la relación hoja-raíz. Una planta no aclimatada, ante un déficit hídrico no tan intenso, puede sufrir respuestas agudas de daño, como pérdida de turgencia, senescencia y defoliación. Una planta aclimatada, en cambio, puede resistir situaciones de sequía severa, sin manifestar síntomas tan graves. Por supuesto que todas las respuestas, tanto agudas como de mediano plazo, están mediadas por la resistencia genética de la planta, que es resultado de su grado de adaptación evolutiva.

#### **2.4.2. Mecanismos de defensa de las plantas a la sequía**

En las plantas existen varios mecanismos de resistencia a la sequía. Los distintos tipos de plantas privilegian diversos mecanismos; y cada tipo de planta recurre a varios mecanismos al mismo tiempo (Levitt, 1980; Alpert y Oliver, 2002; Walters *et al.*, 2002). La variedad de mecanismos entre especies y dentro de las especies no es arbitraria, sino que refleja determinados tipos de estrategia de defensa contra el estrés, adquiridos mediante adaptación evolutiva.

Las plantas del desierto exhiben estrategias extremas para defenderse de la sequía. Las plantas “efímeras” acortan su ciclo vegetativo, para adaptarse a períodos muy breves con humedad edáfica, como puede ocurrir luego de una breve lluvia. Las plantas “resucitadoras” o tolerantes a la desecación, están adaptadas a perder casi toda su humedad, permaneciendo en vida latente durante los episodios de sequía. Algunas llegan a contenidos relativos de agua cercanos al 5%, para luego rehidratarse y retomar la actividad vital. Las plantas “suculentas” del desierto se defienden reteniendo mucha humedad gracias a un potente ajuste osmótico y abren las estomas por la noche, cuando el déficit de presión de vapor es muy bajo (Figura 1; Campbell y Norman, 1998). Estas estrategias extremas se ven acompañadas generalmente por otras adaptaciones como la disminución de la superficie foliar las hojas se achican y muchas veces se transforman en espinas, la

acumulación de un grueso recubrimiento ceroso cuticular, la disminución del tamaño del organismo y el aumento de la exploración radical para captar más agua del suelo. Las “suculentas” han adquirido, además, una adaptación en el mecanismo fotosintético, que les permite la captación nocturna de CO<sub>2</sub> (metabolismo CAM). Todas estas modificaciones entrañan, en general, una disminución del potencial para producir biomasa.



**Figura 1.** Principales mecanismos de resistencia a sequía en las plantas elaborado por (Levitt, 1980; Bray, 1997; Alpert y Oliver, 2002; Mundree *et al.*, 2002; y Walters *et al.*, 2002).

Las plantas cultivadas, por el contrario, han sido seleccionadas entre especies que no pueden considerarse, en sentido estricto, como resistentes a sequía y que están caracterizadas por una alta producción de biomasa. Estas especies llamadas “mesófitas” son de todas maneras, salvando las diferencias específicas, bastante resistentes a estrés hídrico, ya que poseen muchas de las adaptaciones que acumularon las plantas durante su conquista del medio terrestre. Estas plantas mesófitas se adaptan a zonas sin déficit hídrico o con déficit moderado y, en ellas, el mecanismo de defensa contra el estrés hídrico es fundamentalmente el cierre estomático. El cierre estomático limita la adquisición de CO<sub>2</sub> y, en estas condiciones, el aparato fotosintético genera electrones libres y especies reactivas del oxígeno (ROS) que pueden degradar las membranas celulares, pero estas

plantas han adquirido mecanismos bioquímicos para neutralizarlos. En estas plantas mesófitas coexisten dos tipos de mecanismos de resistencia al estrés causado por sequía. Por un lado, los mecanismos evitadores, que preservan la hidratación y la turgencia de los tejidos, impidiendo que estos sufran el estrés por sequía, y los mecanismos de tolerancia que actúan mitigando el daño, cuando los tejidos conviven con el estrés (Levitt, 1980, Figura 1).

Los mecanismos evitadores actúan sobre distintos puntos del sistema de transporte del agua en la planta y su acción es física, facilitando la adquisición de agua o limitando su pérdida. El movimiento del agua en la planta es pasivo, no requiere gasto de energía metabólica y es provocado por gradientes de potencial hídrico; la transpiración causa una caída del potencial hídrico en las hojas, por debajo del potencial del suelo y provoca que el agua ascienda desde las raíces; a su vez, el bajo potencial osmótico de las células hace que el agua ingrese a ellas desde el apoplasto. Para evitar la sequía, los mecanismos evitadores minimizan la resistencia al flujo de agua en la planta, limitan la transpiración, o provocan la baja del potencial osmótico para favorecer el ingreso de agua al simplasto. Entre los mecanismos de evitación se cuentan los que limitan la transpiración, como el cierre estomático, ya mencionado; el recubrimiento de la epidermis con cutícula y pelos; el aumento de la conductancia hidráulica (mediante mayor densidad y profundidad de raíces o por apertura de los canales de agua de la endodermis), el cambio de elasticidad del tejido ya que una mayor rigidez implica una mayor hidratación ante aumentos leves del potencial de agua, y la disminución del potencial osmótico. También representan mecanismos evitadores, los cambios morfológicos que limitan la radiación absorbida y el calentamiento de las hojas fuente energética de la transpiración, como por ejemplo el desarrollo de hojas angostas, el plegado de las mismas (epinastia) o su recubrimiento con superficies reflectantes. Los mecanismos evitadores actúan en distintos niveles morfológicos. Los mecanismos de cierre estomático, de ajuste osmótico, de cambios en la elasticidad de los tejidos y de apertura de los canales de agua de la endodermis radical, son mecanismos que se desarrollan en un nivel celular. Los cambios en la conductancia hidráulica de los tallos se producen, en cambio, en el nivel de tejidos por ejemplo xilemático y del mesófilo foliar (Osmond *et al.*, 1987; Chaves *et al.*, 2002; Verslues *et al.*, 2006).

Por otro lado, los mecanismos de tolerancia son, en sentido estricto, de tipo bioquímico y actúan en el nivel celular, como respuesta a la ocurrencia del estrés. Cuando las células sufren estrés por sequía, se generan ROS, que producen degradaciones de membranas, y

también de proteínas celulares y del ADN. Estos trastornos son normales en el metabolismo celular, pero se exacerban durante el estrés por sequía. Los mecanismos de tolerancia enfrentan estos desarreglos, desplegando una acción protectora sobre membranas y proteínas en general, reparadora del ADN y antioxidante. En estas acciones están involucradas algunas proteínas y solutos compatibles como azúcares, prolina, manitol y fructano que protegen la fluidez citoplásmica y la integridad de las membranas. También poseen estas enzimas antioxidantes y protectoras del ADN como peroxidasa, catalasa y superóxido-dismutasa, y sustancias que secuestran radicales libres como carotenoides, ascorbato, tocoferoles y glutatión oxidado y reducido (Bray, 1997; Mundree *et al.*, 2002).

Entre todos los mecanismos desarrollados, el ajuste osmótico puede considerarse, por un lado, un mecanismo evitador pues promueve el ingreso de agua a la célula y así evita que éstas sufran estrés, pero también un mecanismo de tolerancia, ya que los solutos compatibles, responsables de bajar el potencial osmótico, se sintetizan al sufrir estrés y tienen una acción protectora sobre las proteínas de las membranas y del citoplasma (Bray, 1997; Mundree *et al.*, 2002). De todas maneras debe tenerse en cuenta que la acción protectora de los solutos compatibles se manifiesta, aun a concentraciones celulares muy bajas, cuando el aporte al ajuste osmótico es insignificante (Bray, 1997). Por otro lado el ajuste osmótico no sólo lo producen los solutos compatibles, cuya acumulación en el citoplasma no compromete la vitalidad, sino también solutos potencialmente tóxicos, como  $\text{Na}^+$  y  $\text{Ca}^{+2}$  que, ante situaciones de estrés por sequía y salinidad, pueden acumularse en las vacuolas y contribuir al potencial osmótico de la célula (Bohnert y Jensen, 1996).

Otro mecanismo de tolerancia al estrés hídrico que disponen las plantas, está relacionado con la protección del aparato fotosintético. Estos se han desarrollado como una adaptación al problema que se suscita cuando, al cerrarse los estomas para evitar la pérdida de vapor de agua, se impide el ingreso de  $\text{CO}_2$ . Cuando esto ocurre, se bloquea la fotosíntesis y se dan las condiciones para un potencial daño del cloroplasto. Esto sucede al no poder disiparse la energía luminosa absorbida por el sistema colector de luz por falta de sustrato reducible, con lo que se corta el sistema de transporte de electrones del cloroplasto, se acumulan ROS y se afecta la integridad de la proteína D1 del fotosistema II (PSII). Asimismo, y fundamentalmente en plantas C3 aumenta mucho la fotorrespiración. Las células se protegen de estos fenómenos dañinos, asociados a la sequía, mediante mecanismos de tolerancia de fotoprotección, que disipan el sobrante de energía

fotoquímica. Parte de esta energía puede disiparse como fluorescencia, pero el mecanismo de tolerancia más efectivo es la disipación por acción del ciclo metabólico de las xantofilas. Este ciclo denominado ciclo H<sub>2</sub>O-H<sub>2</sub>O o ASADA consume energía fotoquímica, transformando violaxantina en anteraxantina y zeaxantina, por acción de la violaxantina de-epoxidasa y la proteína PsbS (Taiz y Zeiger, 1998; Demmig y Adams, 2006). Este mecanismo, desarrollado como una adaptación al cierre estomático, demuestra que, en las plantas, los mecanismos evitadores y tolerantes son concomitantes y la existencia de ambos, necesaria.

En las plantas mesófitas también existen mecanismos anatómicos que pueden considerarse como tolerantes en sentido amplio, ya que se manifiestan cuando ellas han sufrido algún grado de estrés hídrico; pero también pueden considerarse evitadores, ya que tienen el efecto de ahorrar agua para evitar daños ulteriores. En este sentido, una de las respuestas más frecuentes a la sequía es la disminución del crecimiento de los órganos aéreos por menor división y expansión celular. Esta disminución implica una menor superficie transpiratoria, con lo que las plantas consumen menos agua; lo que, en sí mismo, es un mecanismo indirecto de resistencia a sequía (Maseda y Fernández, 2006). Una situación más extrema aún se da en plantas “poco resistentes a sequía”, cuando ante disminuciones del potencial hídrico foliar, se producen fallas en la conducción xilemática por cavitación de los vasos y traqueidas. Ante esta situación disminuye drásticamente la conductancia hidráulica de la planta, y esto produce la deshidratación, muerte y segmentación de muchas hojas, peciolo y tallitos. La segmentación hidráulica implica una mayor vulnerabilidad a la cavitación en la inserción de esos órganos como ramitas y suele darse en las porciones más distales de la planta, provocando una drástica disminución de la superficie transpiratoria, con el consiguiente ahorro de agua (Tyree y Zimmermann, 2002). Este mecanismo de segmentación se ha observado tanto en especies arbóreas, como en herbáceas (e.g., nogal y girasol; Tyree *et al.*, 1993; Lo Gullo *et al.*, 2004).

### **2.4.3. Respuestas fisiológicas y bioquímicas de las plantas a la sequía**

Cuando la disponibilidad de agua por la planta es escasa, los procesos fisiológicos y metabólicos se ven afectados y consecuentemente su crecimiento, por lo que resulta imprescindible el conocimiento y cuantificación de su estado hídrico para estudiar su capacidad de adaptación a condiciones de estrés.



#### **2.4.3.1. Uso eficiente de agua, eficiencia de transpiración y uso efectivo de agua**

El uso eficiente de agua, es la relación entre producción de grano y agua utilizada, es considerado como un factor determinante del rendimiento de grano bajo condiciones de sequía y, por lo tanto, un componente importante de la tolerancia de los cultivos a la sequía. Esta característica ha sido utilizada con el objetivo que la producción puede incrementar por unidad de agua, resultado en lo que se llama “más cultivo por gota” (Blum, 2009). Este enfoque ha sido muy utilizado por diferentes programas de mejoramiento, tratando de lograr que sus cultivares produzcan más con menos agua. Algo similar es la eficiencia de transpiración, que es definida como la relación entre la biomasa producida y agua transpirada durante determinado periodo de tiempo, dando como resultado la identificación de aquellos materiales con mayor producción de biomasa por unidad de agua usada.

Generalmente las metodologías para determinar eficiencia de transpiración y de uso de agua requieren de tiempo, cuidado y mucha precisión, convirtiéndose en una característica fisiológica compleja y costosa (Nigam y Aruna, 2007). Blum (2009), opina que seleccionar plantas por mayor eficiencia de uso de agua bajo condiciones de sequía, muy probablemente esté conllevando, a reducir la producción de grano y por lo tanto a reducir la tolerancia a sequía; debido a la mayor eficiencia de transpiración y el uso eficiente de agua, requiere que la planta reduzca la tasa de transpiración y uso de agua del cultivo, procesos que son de crucial importancia para la asimilación de carbono, crecimiento y producción de la planta. Como la producción de biomasa está ligada a transpiración, el mejoramiento para maximizar la captura de humedad del suelo para transpiración es el objetivo más importante para mejorar rendimiento bajo estrés por sequía (Blum, 2009). El uso efectivo de agua implica máxima captura de humedad del suelo para transpiración, también disminución de la transpiración no estomática y pérdidas mínimas de agua por evaporación del suelo (Blum, 2009).

#### **2.4.3.2. Lectura de valor de clorofila SPAD**

El valor SPAD (Soil Plant Analysis Development) es una unidad que genera el medidor de clorofila SPAD-502. El SPAD-502 determina la cantidad relativa de clorofila presente en la hoja mediante la medida de la absorción de la hoja en dos rangos de longitudes de onda. La Clorofila tiene picos de absorción en regiones de azul (400-500 nm) y rojo (600-700 nm), sin transmitancia en la región cercana a la infrarroja. El SPAD-502 mide la

absorbencia de la hoja en la región roja y cercana a infrarrojo. Usando esas dos transmitancias, el medidor calcula un valor numérico SPAD (Soil Plant Analysis Development), en un rango de 0 a 80 el cual es proporcional a la cantidad de clorofila en la hoja (Manual Minolta SPAD 502). Al igual que algunas características anteriores, el valor de SPAD ha sido usado por varios programas de mejoramiento como sustituto de eficiencia de transpiración. Se ha reportado que valor de clorofila (el cual es fácil y rápido de medir) tiene una alta correlación positiva con eficiencia de transpiración (Nigam y Aruna, 2007).

#### **2.4.3.3. Contenido relativo de agua (CRA)**

Según Pask *et al.* (2013) el contenido relativo de agua (RWC - acrónimo del inglés *relative water content*, o “turgencia relativa”) de una hoja, es la medida de su estado hídrico actual (contenido de agua actual) relacionado con su máxima capacidad de retención de agua en completa turgencia. El RWC proporciona una medición del “déficit hídrico” de la hoja y puede indicar el grado de estrés expresado bajo sequía y calor. El RWC integra el potencial hídrico de la hoja ( $\Psi$ ; otra estimación útil del estado hídrico de las plantas) con el efecto del ajuste osmótico (un mecanismo poderoso de conservación de la hidratación celular) como una medición del estado hídrico de la planta. Un genotipo con la habilidad de minimizar el estrés mediante la conservación de la turgencia en hojas en ambientes bajo estrés, tendrá ventajas fisiológicas (es decir, permite que los procesos dependientes de la turgencia tales como el crecimiento y la actividad estomática, se realicen, además de proteger y mantener al complejo del fotosistema).

El contenido relativo de agua foliar se determina mediante método gravimétrico según Bennett *et al.* (1987) utilizando la ecuación:

$$\text{RWC (\%)} = 100 [(PF-PS)/(PT-PS)]$$

Donde PF, PS y PT son peso fresco, seco y turgente de la hoja, respectivamente. Para obtener el PT, una vez obtenido el PF, se mantiene la hoja escindida en un tubo de vidrio con agua desionizada durante 24 horas a 5 °C. El PS se obtiene tras secar la muestra en la estufa hasta alcanzar un peso constante. Esto requiere mantener la muestra en la estufa durante un mínimo de 48 horas a 80 °C.

#### **2.4.3.4. Potencial osmótico ( $\Psi_o$ ) y ajuste osmótico (AO)**

EL Potencial osmótico ( $\Psi_o$ ), está determinado por la concentración de sustancias osmóticamente activas en la vacuola y es idéntico a la presión osmótica de la savia vacuolar. En una célula vegetal el  $\Psi_o$ , siempre posee valores negativos, que varían con el volumen celular, siendo más próximo a cero en células totalmente hidratadas que en las deshidratada (Salisbury y Ross, 2000).

El ajuste osmótico es el mecanismo mediante el cual las células acumulan, en condiciones de estrés, una serie de solutos compatibles con el funcionamiento normal de la maquinaria celular. Entre estos solutos se encuentran los azúcares, alcoholes, aminoácidos y fundamentalmente, prolina y glicina betaína. Estos solutos tienen como función principal mantener el balance osmótico y pueden acumularse a concentraciones altas sin dañar el funcionamiento fisiológico normal de las células ya que no interfieren con las reacciones bioquímicas normales (Bartels y Nelson, 1994). Se les considera osmoprotectores, es decir, permiten el funcionamiento celular en condiciones de estrés osmótico. El ajuste osmótico se produce en respuesta a disminuciones en el potencial hídrico en órganos en expansión tales como raíces, hojas, coleótilos e inflorescencias donde juega un papel importante el mantenimiento de la entrada de agua durante los procesos de crecimiento y expansión celular (Morgan, 1980). Cuando la expansión se completa y en ausencia de estrés, la capacidad de ajuste osmótico se puede perder gradualmente.

En muchas especies, y concretamente en cereales, los azúcares y aminoácidos son los principales solutos responsables del ajuste osmótico, tanto en hojas expandidas como en hipocótilos e inflorescencias. El valor de la contribución de varios solutos al ajuste osmótico, varía según los diferentes estudios que se han realizado. Estas variaciones pueden ser debidas a distintos factores, como la especie de la planta, el estado de crecimiento y los niveles de radiación en que las plantas se han desarrollado.

Estas variaciones se han puesto de manifiesto en trigo. En este cultivo se ha medido y valorado la contribución de distintos solutos al ajuste osmótico. Johnson *et al.* (1984), midieron en hojas de trigo los solutos: aminoácidos totales, prolina, azúcares libres y potasio, comprobando que las hojas pre-estresadas de los dos cultivares estudiados presentaron valores de  $\Psi_o$  significativamente más bajos, a plena turgencia y turgencia cero, que las hojas que no habían sido sometidas previamente a estrés. Estos resultados indican que en las hojas se había desarrollado ajuste osmótico. La contribución de los solutos

medidos al  $\Psi_o$  a plena turgencia era del 7,1% para los aminoácidos y del 41,9% para el potasio. Considerando el nivel de ajuste osmótico en hojas de trigo, como la acumulación de solutos entre plena turgencia y turgencia cero, Morgan (1992), observó que el  $\Psi_o$  debido a solutos como potasio, aminoácidos y azúcares explican el 90% del  $\Psi_o$  de la savia. El componente mayoritario era el potasio (42-53%) y los aminoácidos (35-43%). La capacidad de ajuste osmótico alta de los genotipos estudiados se debía principalmente a la acumulación de potasio (78%). El siguiente contribuyente en importancia eran los aminoácidos (22%), no encontrándose acumulación de azúcares.

#### **2.4.3.5. Determinación de la actividad nitrato reductasa**

El nitrato es la forma predominante de nitrógeno disponible en el suelo, para la mayoría de las especies cultivadas. La asimilación de nitrato por medio de la Nitrato Reductasa (NR) puede considerarse la vía principal de incorporación del nitrógeno inorgánico en formas orgánicas útiles para el metabolismo vegetal, a pesar de que los costes energéticos de la utilización del nitrato (aproximadamente 2,4 g glucosa por g de proteína producida) son mayores que los de amonio (1,8 g de glucosa por g de proteína) (Zerihun *et al.*, 1998; Stitt y Krapp, 1999). Dicha asimilación puede consumir más del 25% de la energía producida en la fotosíntesis (Solomonson y Barber, 1990).

La disponibilidad de N es un factor limitante para la producción en muchos de los ecosistemas terrestres y es un importante regulador en la respuesta de las plantas al nivel elevado de CO<sub>2</sub>. El estado del N en la planta depende tanto de la disponibilidad del N del suelo, como de la capacidad de la planta para tomarlo y asimilarlo. Además, la reducción de nitrato es un paso limitante en la asimilación del mismo (Natali *et al.*, 2009). La reducción del nitrato es, también, un componente importante en la respuesta fisiológica de la planta al nivel elevado de CO<sub>2</sub> y al secuestro de carbono terrestre.

Aunque generalmente se asume que en plantas herbáceas la asimilación de nitrato ocurre principalmente en la hoja y, en plantas leñosas, en la raíz (Andrews, 1986; Andrews *et al.*, 1992), dependiendo de la especie vegetal y de la concentración de nitrato en el medio, una determinada proporción del mismo se transporta a través del xilema hasta las hojas (Andrews, 1986) donde es reducido hasta amonio, pudiendo después, ser acumulado en las vacuolas o permanecer en el citosol. La conversión de nitrato a amonio consta de dos etapas: en la primera, el nitrato es reducido a nitrito en el citosol vía Nitrato Reductasa y, en la segunda, el nitrito es reducido a amonio en los plastidios vía Nitrito Reductasa (NiR).

Posteriormente, la Glutamina Sintetasa (GS) cataliza la incorporación de amonio al L-glutamato para formar L-glutamina con gasto de ATP. El glutamato sintasa ferredoxina-dependiente (fd-GOGAT), en una transamidación reductiva, transfiere el grupo amida de la glutamina al  $\alpha$ -cetoglutarato con gasto de poder reductor produciendo dos moléculas de glutamato. Uno de estos glutamatos será de nuevo sustrato de la GS, lo que permite el mantenimiento del ciclo, y el otro glutamato podrá utilizarse en otros procesos requeridos por la célula. Se han descrito 2 isoformas de la GS presentes en hojas (McNally *et al.*, 1983), que se conocen como GS1, localizada en el citosol (Mann *et al.*, 1979; Wallsgrave *et al.*, 1980) y GS2, localizada en los cloroplastos (O'Neal y Joy, 1973).

Debido a que la isoforma GS1 aparece en una menor proporción en la mayoría de las especies vegetales y, debido a que es insuficiente para reasimilar todo el amonio celular producido, el amonio debe entrar en el cloroplasto para que GS2 y fd-GOGAT lo asimilen. Para equilibrar el ciclo, la glutamina o el amonio y el  $\alpha$ -cetoglutarato deben entrar al cloroplasto a la misma velocidad que este exporta glutamato al citosol (Yu y Woo, 1988). Tras la síntesis del glutamato, las aminotransferasas transfieren el grupo amino del glutamato al aspartato y a la alanina. El glutamato, el aspartato y, ocasionalmente, la glutamina se comportan como amino-donadores para la síntesis de otros aminoácidos, nucleótidos y compuestos celulares que contienen nitrógeno. Actualmente se considera que el ciclo GS/GOGAT es la vía principal de incorporación de amonio, en compuestos orgánicos en condiciones fisiológicas (Mifflin y Lea, 1976; Wallsgrave *et al.*, 1983; Lea *et al.*, 1984). Este amonio puede proceder de fuentes externas tomándose directamente del medio, o de fuentes internas como producto del catabolismo de compuestos nitrogenados o de la fotorrespiración.

Al mismo tiempo, la concentración de amonio, glutamina o glutamato en hoja se ve afectada tanto por la tasa de reducción del nitrato (Deng *et al.*, 1989) como por la tasa de fotorrespiración (Martin *et al.*, 1983). La fotorrespiración representa la mayor fuente de amonio foliar de plantas C3. En ocasiones, las tasas de fotorrespiración son muy altas, pudiendo alcanzar el flujo de amonio una producción 10 veces mayor que el derivado de la asimilación inicial de nitrato llevada a cabo por la enzima NR (Keys *et al.*, 1978; Givan *et al.*, 1988; Migge *et al.*, 1997).

La enzima Glutamato Deshidrogenasa (GDH) también es capaz de incorporar el amonio al  $\alpha$ -cetoglutarato, con gasto de poder reductor, para formar glutamato, aunque su principal papel sería catalizar la reacción inversa en los procesos catabólicos. Durante mucho

tiempo, se consideró a la GDH como la enzima clave de la incorporación de amonio en aminoácidos debido a su ubicuidad en los organismos vivos y a su presencia en altas concentraciones en determinados tejidos (Loyola y Sanchez, 1984; Srivastava y Singh, 1987). Sin embargo, su baja afinidad por el amonio ha sido un argumento empleado frecuentemente para cuestionar su papel aminante (Mifflin y Lea, 1976, 1980). De hecho, a la GDH se le asigna como función principal el catabolismo del glutamato (Mifflin y Lea, 1980; Stewart *et al.*, 1980).

Como se ha señalado anteriormente, NR, GS y GDH son enzimas clave en el metabolismo del nitrógeno (Lam *et al.*, 1996). Además, están involucradas en la fotosíntesis y el metabolismo de carbohidratos (Evans, 1983; Solomonson y Barber, 1990; Sibout y Guerrier, 1998; Llorens *et al.*, 2003; Hirel *et al.*, 2005). Así, una gran proporción del nitrógeno en la planta está localizado en las hojas, a lo largo de todo su desarrollo, invirtiéndose gran parte en el aparato fotosintético (Makino y Osmond, 1991).

La asimilación del nitrógeno, está afectada por distintos factores ambientales, entre los que cabe señalar la sequía. Esta ampliamente aceptado que la sequía tiene un efecto negativo sobre la concentración de N (Sinclair *et al.*, 2000) y sobre el contenido de aminoácidos y proteínas solubles. Además, se ha constatado que la sequía produce un descenso en la actividad NR como se ha observado en trigo (Xu y Yu, 2006), patata (Ghosh *et al.*, 2000) y maíz (Foyer *et al.*, 1998), descenso que se correlaciona estrechamente con la caída en la asimilación de CO<sub>2</sub>, lo que indica una estrecha co-regulación del metabolismo del carbono y del nitrógeno en plantas superiores.

#### **2.4.3.6. Determinación del contenido de prolina libre**

El potencial hídrico de la planta durante la sequía puede ser mantenido a través del ajuste osmótico. Una reducción del potencial hídrico celular, resultado de la disminución del potencial osmótico, provoca un movimiento de agua hacia el interior de la célula. El potencial de la célula puede hacerse menor por acumulación en el citoplasma de osmolitos compatibles, entre los que se encuentran polioles, sacarosa, glicín-betaina y prolina. Estas moléculas impiden la disminución del potencial hídrico sin interferir con el funcionamiento celular (Bray, 1993).

La capacidad de acumular y utilizar prolina, ha sido correlacionada, en ciertas plantas, con genotipos tolerantes a la sequía (Al-Sulaiti *et al.*, 1990), aunque no existen evidencias directas que demuestren que las plantas que acumulan más prolina, sean más tolerantes a la

sequía (Samaras *et al.*, 1995). Si bien la acumulación de prolina en condiciones de estrés se conoce desde hace mucho tiempo (Barnett y Naylor, 1996) y se han descrito muchas especies vegetales que la acumulan en respuesta a diferentes estreses, las funciones de esta molécula en esas condiciones, no han sido definitivamente establecidas. La prolina podría actuar como osmolito compatible, como estabilizador de proteína, como fuente de carbono y nitrógeno (Samaras *et al.*, 1995) en el mantenimiento del potencial redox celular y como capturador de especies reactivas del oxígeno (Hare *et al.*, 1998).

Los dos principales ajustes metabólicos que están implicados en la acumulación de prolina son la estimulación de la síntesis, controlada en varios puntos y la disminución de su oxidación. A su vez, el descenso de la síntesis proteica bajo condiciones de estrés, contribuye también con la acumulación de prolina. En las hojas de plantas de *L. corniculatus* sometidas a sequía (Borsani *et al.*, 1999) y en hojas de tomate sometidas a estrés salino (Berteli *et al.*, 1995) el incremento de prolina se acompañó de un incremento de la actividad y cantidad de la proteína Fd-GOGAT. También en plantas de arveja no sometidas a estrés, se encontró que la actividad Fd-GOGAT y la cantidad de esa enzima se incrementan en presencia de luz (Pajuelo *et al.*, 1995).

En trigo, cebada y en la planta halófila *M. crystallinum*, sometidas a estrés salino con alternancia de periodos de luz y oscuridad, se observó que la prolina se acumulaba durante el periodo de luz y era utilizada durante el periodo de oscuridad (Sanada *et al.*, 1995). Esto sugiere que en plantas estresadas, la luz es un factor clave en la regulación de la acumulación de prolina.

Durante mucho tiempo, se pensó que la principal función de la prolina era la de actuar como osmolito; nuevas evidencias apuntan a una diversidad de funciones de esta molécula, que en conjunto contribuye a tolerar el estrés osmótico. Es probable que la prolina interactúe con diferentes proteínas, entre ellas enzimas, para preservar la estructura y por lo tanto la actividad biológica. En condiciones *in vitro*, se encontró que compuestos que funcionan como osmolitos citoplasmáticos, retardan la desnaturalización térmica de enzimas y tendrían un rol importante en la protección, frente a algunas formas de desnaturalización debidas al radical hidroxilo (Ortega *et al.*, 1999). Además, su rápida oxidación podría estar relacionada con la utilización de esta molécula como fuente de carbono y nitrógeno, durante el restablecimiento del potencial hídrico (Borsani *et al.*, 1999).

Por otra parte, es probable que la prolina en vegetales tenga un rol importante en la inducción específica de genes relacionados con la tolerancia al estrés (Iyer y Caplan, 1998). Nanjo *et al.* (1999), aportan evidencias sobre el rol regulador de esta molécula en la morfogénesis, dado que la prolina es el mayor constituyente de las proteínas estructurales de pared.

#### **2.4.3.7. Características relacionadas con el sistema radicular**

Las raíces son importantes por varias funciones fisiológicas como son: a) nutrición vegetal, cuya función tiene una relación directa con la cantidad y calidad de biomasa a cosechar (follaje, frutas, flores, granos, etc.); b) como órgano de reserva; c) como órgano de sostén; d) como órgano involucrado en la regulación fisiológica de la planta (Morales, 1997).

Un sistema radical vigoroso, es importante para mantener la absorción de agua en suelos secos, como característica de adaptación (Turner, 1979; Huang y Gao, 2000). Las raíces profundas y extensas, en los perfiles bajos del suelo, son fundamentales para el buen comportamiento de los cultivos bajo limitaciones de suministro de agua, siempre y cuando exista agua disponible en perfiles profundos del suelo (Sponchiado *et al.*, 1989; Blum, 2002). Los sistemas radicales superficiales son más efectivos en la absorción de nutrientes en los primeros 20 cm del suelo donde los nutrientes están concentrados, y los sistemas de raíces profundas favorecen la adquisición de agua y la resistencia a sequía (Ho *et al.*, 2005).

Existen diferentes métodos para evaluar raíces, como excavaciones directas en campo, submuestreos en campo, rizotrones, potes, sistemas hidropónicos y columnas con suelo; algunos de estos métodos, como los directos en campo, suelen ser muy costosos y con alta demanda de mano de obra. Tales metodologías cuantifican el vigor y la profundización del sistema radical, en términos de biomasa y longitud y la distribución de estas a través del perfil del suelo. El CIAT desarrollo un sistema de cuantificación, que usa cilindros de acetato transparente llenos de suelo, el cual permite la determinación de la profundización de la raíz tomada desde la superficie del suelo, en diferentes etapas del desarrollo de la planta e igualmente, la cuantificación de la producción de raíces en términos de biomasa y longitud total (Polanía *et al.*, 2009).



## **2.5. Mejoramiento genético de trigo**

### **2.5.1. Mejoramiento del rendimiento y otros caracteres de interés**

El mejoramiento del trigo y otros cultivos, ha sido durante la segunda mitad del siglo XX, notoriamente eficiente en aumentar los rendimientos. Al menos una proporción equivalente al 50% de los aumentos en rendimiento observado en los campos de los productores parece haber sido originada en aumentos en los rendimientos potenciales a través del mejoramiento genético (Slafer *et al.*, 1994) y la otra mitad por aportes del manejo, especialmente la utilización de insumos agroquímicos (fertilizantes y plaguicidas). La magnitud de la ganancia genética en rendimiento, difirió marcadamente entre países, debido a que esta ganancia está influida por los diferentes estreses presentes en los sistemas productivos (Rajaram, 2001).

### **2.5.2. Mejoramiento genético para estrés abiótico**

Nisi *et al.* (2002), indican que uno de los principales objetivos del mejoramiento es buscar mayores rendimientos del cultivo, para lo cual debe mejorarse la resistencia a estrés biótico y abiótico. Actualmente, según Aquino *et al.* (2009), el énfasis del mejoramiento, se concentra en combinar genes asociados con alto potencial de rendimiento, resistencia a diversas enfermedades, tolerancia al estrés causado por factores ambientales y calidad industrial del grano.

Reynolds *et al.* (2013) indican que la aplicación de la fisiología de cultivos en el fitomejoramiento, se enfoca en características selectas de interés general que ayudan a los cultivos a adaptarse al estrés por calor y sequía, dos de los factores abióticos más importantes del mundo. Las oportunidades para mejorar genéticamente el rendimiento potencial del trigo, está asociado con el incremento de la eficiencia de uso de nutrientes y la adaptación al estrés abiótico. La mejora del potencial de rendimiento también es muy importante de por sí, ya que el 70% de trigo producido en el mundo en vías de desarrollo es cultivado en ambientes relativamente favorables (Reynolds *et al.*, 2011). Para lograr el progreso genético continuo en cualquier ambiente, se necesitará realizar una búsqueda de recursos genéticos para contar con variación útil de los caracteres fisiológicos y de las estrategias disponibles.

El fitomejoramiento, utilizando el potencial combinado de las tecnologías convencionales, fisiológicas, moleculares y de modificación genética, proporcionará cultivares con mayor

eficiencia en el uso del agua y nutrientes, mayor tolerancia al calor y a la sequía, resistencia a enfermedades, mayor calidad nutricional y de uso final, y posiblemente la característica más importante, una mayor capacidad para hacer frente a las crecientes temperaturas y precipitaciones extremas, que pueden ocurrir en un mismo lugar con el paso de los años (Reynolds *et al.*, 2013).

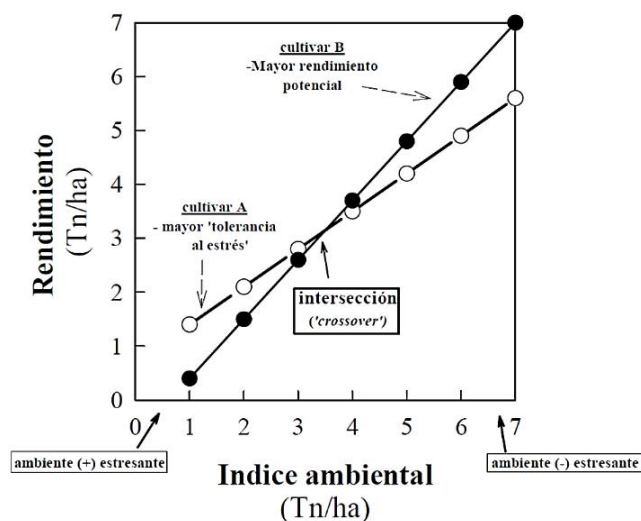
### **2.5.3. Tolerancia del cultivo de trigo a la sequía**

Según Vickers *et al.* (2009) entre las diversas condiciones de estrés abiótico, la sequía, es el más devastador, siendo este un fenómeno no uniforme que influye de manera diferente en las plantas, dependiendo de la etapa de desarrollo, el momento de aparición del estrés. La sequía afectará adversamente la fisiología, morfología, crecimiento y caracteres de rendimiento del cultivo de trigo (Hossain y Da Silva, 2012).

La tolerancia a la sequía es una característica cuantitativa difícil de identificar, ya que está controlada por poligenes y su expresión está influenciada por diversos elementos ambientales. Muchos investigadores han observado que el rendimiento del cultivo de trigo en condiciones de estrés por sequía, es resultado final de una serie de caracteres como los días tomados por el cultivo para alcanzar la madurez fisiológica, la eficiencia del uso del agua, el uso de agua en los cultivos y el índice de cosecha; es decir, involucra múltiples mecanismos genéticos que controlan caracteres fisiológicos, bioquímicos entre otros (Cushman y Bohnert, 2000; Erdei *et al.*, 2002; Mattana *et al.*, 2005). Por lo tanto, la selección de genotipos de trigo debe considerar, además del mecanismo de tolerancia a la sequía, caracteres asociados al incremento de la productividad (Rajaram *et al.*, 1996).

El rendimiento estable de los genotipos bajo condiciones favorables y de estrés por sequía es importante a considerar en la selección de genotipos tolerantes a la sequía (Pirayvatlou, 2001). Además, los genotipos de alto rendimiento en condiciones óptimas pueden no ser tolerantes a la sequía (Blum, 1996; Mardeh *et al.*, 2006); por lo tanto, muchos investigadores prefieren la selección bajo condiciones de estrés y no estrés (Rajaram y Van Ginkle, 2001). Similar situación fue descrita por Finley y Wilkinson (1963) en la representación de un eje de coordenadas del rendimiento de diversos genotipos en varios sitios geográficos (o en un mismo sitio, bajo condiciones de cultivo diferentes, como por ejemplo variando el aporte hídrico) en función del rendimiento agronómico promedio de los genotipos, en cada una de esas localidades (entendido éste como un índice ambiental del grado de limitación hídrica). Se obtuvo una recta que indica cómo se comporta cada

genotipo ante situaciones más o menos estresantes (menores o mayores rendimientos promedio respectivamente). Cuando se incluyen diversos genotipos en este tipo de análisis, es frecuente observar que las variedades que poseen mayor rendimiento potencial (es decir, en condiciones de escasa limitación hídrica) poseen comparativamente menores rendimientos en situaciones de estrés severo. En el ejemplo de la Figura 2 se utiliza este enfoque para evaluar el comportamiento de dos cultivares hipotéticos. En esta figura se puede ver que los cultivares seleccionados por altos rendimientos en condiciones hídricas óptimas, probablemente tendrán un comportamiento agronómico comparativamente peor en condiciones de estrés y viceversa. Esta situación ha sido observada en variedades de trigo enanas. Estos cultivares, cuyo rendimiento potencial es alto, poseen un sistema radicular menos desarrollado, lo que les confiere mayor susceptibilidad a condiciones de sequía (Ali Dib *et al.*, 1990). Sin embargo, esta relación inversa entre rendimiento potencial *versus* tolerancia no parece ser universal, por lo que aún es materia de debate, si mayor tolerancia agronómica al estrés y mayor rendimiento potencial son rasgos necesariamente excluyentes o no (Blum 1996; Richards *et al.*, 2001).



**Figura 2.** Tolerancia al estrés y rendimiento potencial en cultivos, analizado según el modelo de Finley y Wilkinson (1963). Aquí se contrastan el rendimiento agronómico de dos variedades hipotéticos, versus el rendimiento promedio (Índice ambiental) en diversas localidades y condiciones.

Estudios realizados por Ghazal (2013) indican que bajo condiciones de sequía, el rendimiento y los componentes de rendimiento de los cultivares de trigo disminuyen significativamente. En la mayoría de los casos, la reducción aumenta con el aumento del estrés por sequía; además, el estrés por sequía reduce significativamente el rendimiento biológico, el área foliar, la altura de la planta, el número de tallos, el contenido relativo de agua, la clorofila total de las hojas, el índice de cosecha, la acumulación de prolina en las

hojas y el contenido de proteína del grano. Mark y Antony (2005) y Araus *et al.* (2002) afirman que el estrés por sequía no sólo afecta la morfología, sino que también afecta gravemente el metabolismo de la planta. La magnitud de la modificación depende del cultivar, la etapa de crecimiento, la duración y la intensidad del estrés.

- **Características fisiológicas y bioquímicas del cultivo de trigo en condiciones de sequía**

En términos fisiológicos, la tolerancia a estreses abióticos como la sequía es, a menudo, asociada a la supervivencia de la planta. Desde el punto de vista de la mejora analítica, diversos rasgos han sido asociados a un mejor funcionamiento del cultivo, en condiciones de sequía. Las respuestas fisiológicas incluyen el cierre de los estomas, la disminución de la actividad de la fotosíntesis, el desarrollo del estrés oxidativo, la alteración de la integridad de la pared celular, la producción de metabolitos que son tóxicos y causan la muerte de las plantas, el reconocimiento de las raíces, la pérdida de turgencia y ajuste de la ósmosis, reducción del potencial hídrico de la hoja, disminución de la conductancia estomática al CO<sub>2</sub>, reducción de la concentración interna de CO<sub>2</sub> y reducción de las tasas de crecimiento (Bray, 2002). Hay una relación entre las diferentes respuestas fisiológicas de los cultivos y sus funciones de tolerancia en condiciones de sequía, como en el contenido relativo de agua y el potencial de agua (Ritchie *et al.*, 1990) y la integridad de la membrana (Sairam *et al.*, 1990).

La eficiencia de transpiración (TE) es indispensable en las plantas. Varios investigadores propusieron que la TE puede estar influenciada por el cultivar y la sequía (Cosentino *et al.*, 2007; Sankar *et al.*, 2008). Por lo tanto, la selección de cultivares con alta TE es importante para identificar plantas tolerantes a la sequía. El crecimiento es uno de los procesos fisiológicos que es sensible a la sequía y puede verse afectado por la reducción de la presión de turgencia, debido a la baja presión de turgencia. El estrés por sequía disminuye la expansión y el crecimiento celular. Cuando la presión de turgencia es mayor al desarrollo de la pared celular, la expansión celular puede ocurrir (Karthikeyan *et al.*, 2007). El ajuste osmótico es una parte notable de la fisiología de las plantas por la que éstas responden a los eventos de sequía (Maathuis *et al.*, 2003).

Pask *et al.* (2013) indicaron que el ajuste osmótico (AO) ha sido, identificado como un mecanismo que mantiene las funciones fisiológicas bajo condiciones de estrés por sequía. El ajuste osmótico (AO) se refiere al incremento neto de la concentración de solutos en la

célula para poder mantener la turgencia celular (y por lo tanto la hidratación) conforme el déficit hídrico incrementa. Los valores de AO para trigo regularmente varían entre 0.1 a 1.2 MPa, utilizando el método de rehidratación. Varios estudios ponen en evidencia la asociación entre el ajuste osmótico y la estabilidad de rendimientos o biomasa bajo condiciones limitadas de agua. El ajuste osmótico ayuda a mantener un alto contenido relativo de agua (CRA o RWC) a un bajo potencial hídrico de la hoja, siendo evidente que el ajuste osmótico ayuda a mantener el crecimiento mientras la planta presenta transpiración, reduciendo el potencial hídrico de hoja (Blum, 2005). Los valores típicos de CRA varían entre 98% en hojas turgentes y transpirantes hasta alrededor de 40% en hojas severamente deshidratadas y senescentes; el CRA de una hoja en marchitez es de alrededor 60 - 70 % (Pask *et al.*, 2013). Muñoz (2014) observó que el genotipo de trigo duro CIMMYT (D11B\_PCDW 10227) no mostró pérdidas en el contenido relativo de agua bajo ningún tratamiento de sequía, indicando valores positivos, por lo cual el CRA sería un indicador de la tolerancia a la sequía. Por otra parte Bogale *et al.*, 2011, observaron que el CRA de la hoja bandera de trigo es influenciado por la sequía, donde los valores medios del CRA en genotipos bajo un buen suministro de agua fue de 87.6 % y bajo condiciones de deficiencia de agua fue de 55.7 %, el déficit hídrico provocó una reducción de hasta el 37.6 % del CRA de las hojas, pero los genotipos variaron en el mantenimiento de su CRA tanto en condiciones de estrés y no estrés.

Muhammad *et al.* (2012) indican que el estrés hídrico dificulta la fotosíntesis debido a la reducción de la síntesis de pigmentos de clorofila, que se traduce en la disminución de reacciones de recolección de luz. Otras causas en la reducción de la tasa fotosintética son la disminución de la expansión de las hojas, una alteración en la maquinaria fotosintética, una reducida afluencia de CO<sub>2</sub> debido a la baja conductancia estomática y una prematura senescencia foliar. En el caso del trigo el contenido de clorofila total, bajo condiciones de sequía, resultó más sensible en el tratamiento 25 % CC de suministro de agua, y la clorofila A fue la más afectada (Muñoz, 2014). El genotipo CIMMYT (D11B\_PCW 10227) fue el menos afectado, y en algunos tratamientos, incluso, no sufrió pérdidas en clorofila total y clorofila B.

Mediante el aparato portátil Minolta SPAD-502 es posible estimar de forma no destructiva el contenido en clorofila en las hojas y a la vez estimar el estado de nitrógeno de la planta (Gáborčík, 2003; López *et al.*, 2004). Además de servir para controlar el contenido de nitrógeno del cultivo y así poder ajustar las necesidades de fertilización (Martínez y

Guamet, 2004), se ha propuesto su utilización como herramienta indirecta en programas de mejora de trigo, ya que permite seleccionar genotipos con una mayor maquinaria fotosintética por unidad de superficie foliar (Giunta *et al.*, 2002). Los valores de SPAD también mantienen una correlación positiva con la eficacia de transpiración, índice relacionado con la capacidad fotosintética y que contribuye de forma significativa al rendimiento en ambientes secos. Por ello los valores de SPAD se pueden utilizar en los primeros estadios de un programa de mejora encaminado a obtener variedades tolerantes a la sequía (Fotovat *et al.*, 2007). De acuerdo con los resultados obtenidos por Gummuluru *et al.* (1989) para trigo, se ha comprobado que el mantenimiento de la clorofila, es esencial para la actividad fotosintética en condiciones de estrés (Chandrasekar *et al.*, 2000). Se llega a la conclusión de que una mayor cantidad de clorofilas en los genotipos tolerantes a la sequía, puede favorecer la capacidad fotosintética en condiciones de estrés, asociada al mantenimiento de la turgencia de las células.

#### - **Características morfológicas del cultivo de trigo en condiciones de sequía**

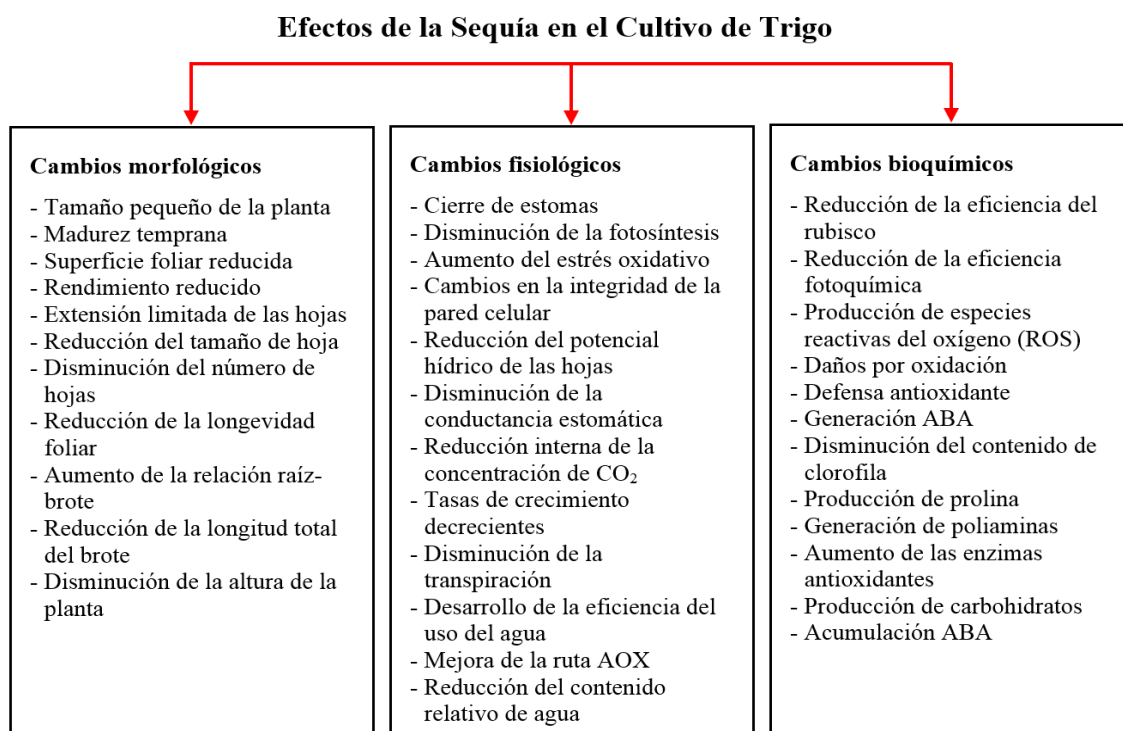
Los efectos de la sequía sobre el rendimiento, los componentes de rendimiento y las características morfológicas del cultivo de trigo han sido estudiados por varios investigadores. Denčić *et al.* (2000) indican que debe prestarse especial atención a las características morfológicas del trigo durante el estrés por sequía, tales como la hoja (forma, expansión, área, tamaño, senescencia y pubescencia) y raíz (peso seco, densidad y longitud). Shi *et al.*, 2010 expresaron que la sequía puede afectar las etapas vegetativa y reproductiva. Por lo tanto, la comprensión de las respuestas de las plantas a la sequía en cada etapa de vida, es crucial para el progreso de la ingeniería y mejoramiento genético.

Rizza *et al.*, 2004 observaron que la madurez temprana, el tamaño pequeño de la planta y el área foliar reducida, pueden estar relacionados con la tolerancia a la sequía. La extensión de la hoja también puede ser limitada bajo condiciones de sequía, con el fin de obtener un equilibrio entre el agua absorbida por las raíces y el estado del agua de los tejidos de la planta. Según Rucker *et al.* (1995) la sequía puede reducir el área foliar y en consecuencia, disminuir la fotosíntesis. Además, el número de hojas por planta, el tamaño de las hojas y la longevidad de las hojas pueden ser reducidas por la sequía (Shao *et al.*, 2008).

La raíz es un órgano importante, ya que tiene la capacidad de moverse para encontrar agua, es el primer órgano que se induce por la sequía. En condiciones de estrés por sequía, las

raíces continúan creciendo para encontrar agua, pero los órganos aéreos se limitan a desarrollarse. Esta respuesta de crecimiento de los brotes y raíces es una adaptación a condiciones de sequía. Para facilitar la absorción de agua, la relación raíz-brote aumenta en condiciones de sequía, los cuales están vinculadas al contenido de ABA de raíces y brotes (Rane y Maheshwari, 2001).

Mirbahar *et al.* (2009) informaron que en un estudio realizado con 25 cultivares de trigo y en 5 tratamientos de estrés por sequía, los resultados fueron la reducción significativa de la altura de planta, la longitud de la espiga, el número de granos por espiga y el peso de 1000 granos. La mayor reducción en todos los caracteres se observó en condiciones de sequía terminal. Leilah y Al-Khateeb (2005) estudiaron la relación entre el rendimiento de grano de trigo y sus componentes en condiciones de sequía en Arabia Saudita, mediante el uso de métodos estadísticos. Los resultados revelaron que el número de espigas m<sup>-2</sup>, el peso de 1000 granos, el peso de granos por espiga y el rendimiento biológico fueron las variables más efectivas que influyeron en el rendimiento de grano. Con base en los resultados, es razonable suponer que se podría obtener un alto rendimiento de plantas de trigo bajo condiciones de sequía seleccionando genotipos con mayor: número de espigas m<sup>-2</sup>, peso de 1000 granos, peso de granos por espiga y rendimiento biológico. En la Figura 3 se muestra los efectos del estrés causado por la sequía en diferentes rasgos del cultivo de trigo.



**Figura 3.** Efectos de la sequía en el cultivo de trigo. La información se proporciona a partir de las observaciones de (Lawlor y Cornic, 2002; Karthikeyan *et al.*, 2007; Ji *et al.*, 2010).

### **III. MATERIALES Y METODOLOGÍA**

#### **3.1. Condiciones geográficas y características de las localidades experimentales**

Los ensayos fueron conducidos en las localidades de La Molina y Junín-Jauja, para alcanzar los objetivos planteados.

##### **LA MOLINA**

El área experimental está ubicada en el Departamento de Lima, Provincia Lima, Distrito La Molina, en el Programa de Investigación y Proyección Social en Cereales y Granos Nativos de la Universidad Nacional Agraria La Molina (latitud: 13° 54' 04" Sur, longitud: 71° 11' 02" Oeste y altitud de 280 msnm). Los datos del clima se describen en los Anexos 1 y 3.

##### **JUNÍN-JAUJA**

El área experimental está ubicada en el Departamento de Junín, provincia de Jauja, distrito de San Lorenzo en el Instituto Regional de Desarrollo de la Universidad Nacional Agraria La Molina (latitud: 12°03'19" Sur; longitud 75°16'30" Oeste y altitud de 3340 m.s.n.m.). Esta localidad constituye la sierra alta de Perú, con suelos pedregosos. Las características del clima se presentan en el Anexo 2.

#### **3.2. Material experimental**

##### **3.2.1. Material vegetal**

Como material vegetal se empleó 18 genotipos de trigo harinero, provenientes del Banco de Germoplasma del Programa de Investigación y Proyección Social en Cereales y Granos Nativos de la UNALM. Estos genotipos fueron seleccionados en experimentos de evaluación de eficiencia y adaptación en condiciones de Junín-Jauja, bajo condiciones de secano por su capacidad de rendimiento en condiciones de sequía en campo. La identificación (ID), origen y nombre de los genotipos empleados en este trabajo se muestran en la Tabla 3.



**Tabla 3.** Identificación (ID), origen y nombres de los genotipos de Trigo harinero.

ID	ORIGEN	NOMBRE
G-1	T	CENTENARIO
G-2	6-101	WORRAKATTA/2*PASTOR
G-3	6-108	BABAX/LR42//BABAX*2/3/PAVON 7S3,+LR47
G-4	6-109	BABAX/LR42//BABAX*2/4/SNI/TRAP#1/3/KAUZ*2/TRAP//KAUZ
G-5	6-110	BABAX/LR42//BABAX*2/4/SNI/TRAP#1/3/KAUZ*2/TRAP//KAUZ
G-6	6-120	KA/NAC//SERI/RAYON
G-7	7-111	1455/2*PASTOR
G-8	8-104	CROC_1/AE.SQUARROSA (224)//OPATA/3/PASTOR
G-9	8-108	GALVEZ/FRET2
G-10	9-107	VEE/LIRA//BOW/3/BCN/4/KAUZ
G-11	9-108	HD2281/YACO/3/KAUZ*2/TRAP//KAUZ
G-12	9-110	KAMB1/MNNK1//WBLL1
G-13	9-114	MILAN/SHA7/3/CROC_1/AE.SQUARROSA (224)//OPATA
G-14	9-116	BABAX/LR42//BABAX*2/3/KURUKU
G-15	9-117	BABAX/LR42//BABAX*2/4/SNI/TRAP#1/3/KAUZ*2/TRAP//KAUZ
G-16	9-119	PVN//CAR422/ANA/5/BOW/CROW//BUC/PVN/3/YR/4/TRAP#1
G-17	9-120	TEMPORALERA M 87*2/KONK
G-18	9-122	SITTA/PRINIA//FRTL

### 3.2.2. Equipos y materiales de campo

**Equipos:** Mula mecánica, trilladora estacionaria, ventilador, mochila fumigadora, herramientas menores y otros.

**Materiales e Insumos:** Bolsas de papel Kraft, etiquetas.

**Fertilizantes:** Nitrato de amonio, Urea, Fosfato di-amónico.

**Insecticidas y fungicidas:** Vertimec, Perfektion y Topas.

### 3.2.3. Equipos de laboratorio

- Balanza electrónica 15 kg máximo marca Jadever JWG-15K (+/- 0.005 kg)
- Balanza de precisión 0.0001 g mínimo marca Mettler (+/- 0.0001 g)
- Agitador magnético
- Escáner OneTouch 9200 Vissioner para calcular el área de las hojas bandera
- Espectrofotómetro, para las pruebas de determinación de prolina y la actividad de la enzima nitrato reductasa
- Estufa para la determinación de biomasa seca
- Microvoltímetro HR-33T
- Cámara psicrométrica C-52 (Wescor Instruments) para la determinación del potencial osmótico de las hojas
- Clorofilómetro (SPAD 502, Minolta) para medir el contenido de clorofila en las hojas

**Reactivos:**

- Nitrato de potasio ( $\text{KNO}_3$ ) 0.1 M
- Di-Potasio hidrogenofosfato ( $\text{K}_2\text{HPO}_4$ ) 0.1 M
- Potasio dihidrogenofosfato ( $\text{KH}_2\text{PO}_4$ ) 0.1 M
- N-Propanol 1% v/v
- Etanol
- Sulfanilamida 1%
- Ácido clorhídrico (HCl) 1.5 M
- N-(1- Naftil) etilen diamino dihidroclorhidratado 0.02%
- Ácido Sulfosalicílico al 3 % en agua
- Ninhidrina acida
- Ácido acético glacial
- Tolueno en fase líquida
- Ácido Ortofosforico al 85% en  $\text{D}_2\text{O}$
- Nitrógeno líquido

**Instrumentos:** mortero, pipetas graduadas de 1 y 5 ml, micropipetas de 50 y 100  $\mu\text{l}$ , placa petri, bisturí, viales, tubos de ensayo, balón de nitrógeno líquido, sacabocados.

**Materiales:** papel filtro y papel aluminio, plástico, bandejas de plástico, tijeras, etiquetas y otros.

### 3.3. Metodología

**Instalación y manejo de los experimentos:** para cumplir los objetivos de la investigación, el experimento fue conducido en dos fases:

#### FASE 1

Esta fase se llevó a cabo en dos localidades, La Molina y Junín-Jauja (2012-2013), con el objetivo de seleccionar 6 genotipos de los 18 estudiados, en base a características morfológicas y fisiológicas en condiciones de sequía. Los genotipos clasificados deberían presentar diferentes niveles de tolerancia a condiciones de sequía: 2 genotipos tolerantes, 2 con tolerancia intermedia y 2 susceptibles.

Los 18 genotipos de trigo harinero (Tabla 3), fueron sembrados de forma independiente en las dos localidades, La Molina y Junín-Jauja, en parcelas experimentales de  $1.20\text{m}^2$  de área

(1m de longitud y 1.20m de ancho o 4 surcos separados a 0.30m), con tres repeticiones. Las diversas evaluaciones se realizaron en plantas de los surcos centrales.

El manejo agronómico se realizó de forma similar en ambas localidades, con una densidad de siembra de 200 kg ha<sup>-1</sup>, la fertilización se realizó aplicando nutrientes (N-P-K) en una dosis de 100-60-0, y se controló la incidencia de insectos y enfermedades, con insecticidas y fungicidas apropiados. La diferencia de las localidades se centró en el manejo del agua o humedad para el cultivo; que se describe a continuación.

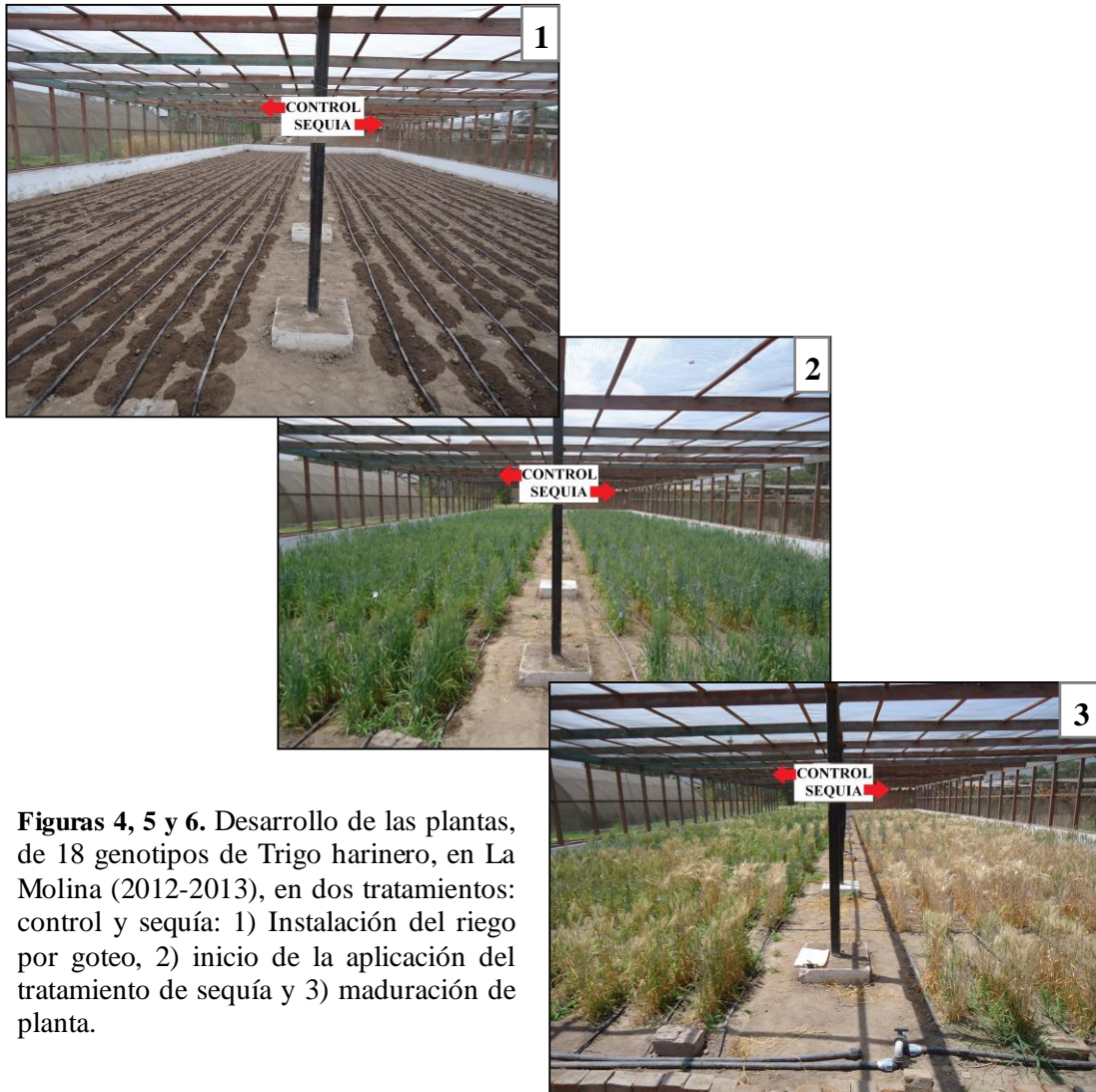
## **LA MOLINA**

En esta localidad el experimento fue conducido en los meses de diciembre (2012) a marzo (2013), empleando riego por goteo. La siembra de los 18 genotipos de trigo se realizó de forma independiente en dos tratamientos: Control y Sequía; estos tratamientos fueron conducidos con una dotación igual y suficiente de agua o a capacidad de campo hasta que las plantas alcanzaron el estado de bota o inicio de espigado, considerado como un periodo crítico por el Departamento de Recursos Hídricos de la Facultad de Ingeniería Agrícola, Universidad de Concepción, Chile, 2012 (Tabla 1). En esta fase fenológica se establecieron los tratamientos.

**Tratamiento control:** se suministró agua en cantidades necesarias hasta la fase de madurez fisiológica.

**Tratamiento sequía:** el cual consistió en dejar de suministrar agua desde la fase fenológica de bota o inicio de espigado hasta la fase de maduración - cosecha (Sequía Terminal).

Las evaluaciones morfológicas y fisiológicas se realizaron en los dos tratamientos. Se cosechó cada parcela, considerando el estado de grano rayable con la uña (20% de humedad del grano). Las Figuras 4, 5 y 6, ilustran el sistema de riego y el desarrollo de las parcelas.



**Figuras 4, 5 y 6.** Desarrollo de las plantas, de 18 genotipos de Trigo harinero, en La Molina (2012-2013), en dos tratamientos: control y sequía: 1) Instalación del riego por goteo, 2) inicio de la aplicación del tratamiento de sequía y 3) maduración de planta.

## JUNÍN-JAUJA

El experimento fue conducido durante los meses de diciembre (2012) a mayo (2013), con una distribución de las parcelas igual a la localidad de La Molina. Este experimento se condujo en condiciones de secano, es decir el agua o la humedad del cultivo provino de la precipitación natural de la zona. Se establecieron igualmente los dos tratamientos, cuando las plantas alcanzaron la fase de bota o inicio de espigado. Se describen a continuación:

**Tratamiento control:** este tratamiento recibió la precipitación normal de la campaña agrícola desde la siembra hasta alcanzar la madurez fisiológica.

**Tratamiento sequía:** a partir de la fase fenológica de bota o inicio de espigado hasta la madurez de cosecha se eliminó la precipitación con el empleo de un cobertor corredizo provocándose el estrés por sequía (Sequía Terminal).

Las Figuras 7 y 8, ilustran las parcelas experimentales y los cobertores corredizos empleados en el estudio.



**Figuras 7 y 8.** Cobertor corredizo y plantas de 18 genotipos de trigo harinero, en Junín-Jauja (2012-2013), dispuestos en dos tratamientos: control y sequía.

Las evaluaciones morfológicas y fisiológicas se realizaron en los dos tratamientos. La cosecha se realizó en forma similar a la descrita en el experimento de La Molina.

## **FASE 2**

Esta fase se realizó en la localidad, La Molina (2013-2014), con el propósito de identificar y corroborar la selección de los mecanismos morfológicos y/o fisiológicos asociados al estrés causado por sequía identificados en los genotipos de trigo seleccionados en la FASE 1; en ambas localidades. El experimento fue conducido en condiciones de campo, los genotipos fueron sembrados en parcelas experimentales de 1.20m<sup>2</sup> de área con tres repeticiones, las evaluaciones, el manejo agronómico tales como: la densidad de siembra, fertilización, control de enfermedades e insectos y la cosecha fueron realizados siguiendo el mismo procedimiento de la FASE 1.

**Experimento en campo:** el experimento fue conducido en los meses de noviembre (2013) a marzo (2014). Se empleó el riego por goteo, la siembra de los 6 genotipos se realizó de manera independiente en dos tratamientos: control y sequía; estos tratamientos fueron conducidos de forma similar a la FASE 1. Donde al tratamiento control se suministró agua a capacidad de campo durante todo el ciclo y en el tratamiento de sequía, se dejó de suministrar agua desde la fase de bota o inicio de espigado hasta la madurez fisiológica de los granos.

**Evaluación del sistema radicular:** este experimento se llevó a cabo empleando un Diseño de Bloques Completos al Azar, con cinco repeticiones, durante los meses de noviembre



(2013) a marzo (2014), usando envases de plástico de 0.3 m de diámetro y 1 m de altura, uno negro externo y uno transparente interno (Figuras 9 y 10).

Los envases de plástico se llenaron con una mezcla de suelo de campo agrícola y compost en una proporción de 3:1 y se fertilizó con (N, P, K) en cantidades adecuadas para obtener plantas vigorosas. Se sembraron cinco semillas por envase; el raleo fue a los días 30 y 35 después de la siembra, dejando una sola planta por envase, el riego fue a capacidad de campo en ambos tratamientos, control y sequía, hasta el estado fenológico de bota o inicio de espigado, procediéndose luego a establecer los tratamientos. Al CONTROL, se suministró agua en cantidades necesarias para un buen desarrollo durante todo el ciclo completo y al tratamiento SEQUÍA, se dejó de suministrar agua desde la fase fenológica de bota o inicio de espigado hasta madurez de cosecha.



**Figuras 9 y 10.** Ensayo realizado para la evaluación del sistema radicular, en La Molina (2013-2014), dispuestos en dos tratamientos: Control y Sequía.

### 3.4. Análisis estadístico

Para realizar el análisis de variancia (ANVA) y prueba de promedios (Tukey), individual, cada experimento, fue establecido en, un Diseño de Bloques Completos al Azar. Los datos se analizaron utilizando los programas estadísticos SAS v.8 (STATISTICAL ANALYSIS SYSTEM), para realizar el, ANVA, y la comparación de medias de Tukey, con un nivel de significación del 5% y S-PLUS 2000, para elaborar las figuras.

**Análisis de variancia, FASE 1:** se realizó un análisis de variancia combinado de los: 18 genotipos de trigo harinero (G); tratamientos, control y sequía (T) y ambientes, La Molina y Junín-Jauja (A), según el siguiente modelo aditivo lineal:

$$Y_{ijkm} = \mu + G_i + T_j + A_k + B_m(jk) + (GT)_{ij} + (GA)_{ik} + (TA)_{jk} + (GTA)_{ijk} + \epsilon_{ijkm}$$

$i = 1, 2, \dots, g$  (Genotipo)  
 $j = 1, 2, \dots, t$  (Tratamientos)  
 $k = 1, 2, \dots, a$  (Ambientes)  
 $m = 1, 2, \dots, b$  (Bloques)

**Donde:**

$Y_{ijkm}$  = Observación correspondiente al  $i$ \_ésimo genotipo, en el  $j$ \_ésimo tratamiento,  $k$ \_ésimo ambiente y  $m$ \_ésimo bloque.

$\mu$  = Media general.

$G_i$  = Efecto del  $i$ \_ésimo genotipo.

$T_j$  = Efecto del  $j$ \_ésimo tratamiento.

$A_k$  = Efecto del  $k$ \_ésimo ambiente.

$B_{m(jk)}$  = Efecto del  $m$ \_ésimo bloque.

$(GT)_{ij}$  = Efecto de la interacción del  $i$ \_ésimo genotipo con el  $j$ \_ésimo tratamiento.

$(GA)_{ik}$  = Efecto de la interacción del  $i$ \_ésimo genotipo con el  $k$ \_ésimo ambiente.

$(TA)_{jk}$  = Efecto de la interacción del  $j$ \_ésimo tratamiento con el  $k$ \_ésimo ambiente.

$(GTA)_{ijk}$  = Efecto de la interacción del  $i$ \_ésimo genotipo con el  $j$ \_ésimo tratamiento y el  $k$ \_ésimo ambiente.

$C_{ijkm}$  = Efecto aleatorio del error.

**Análisis de variancia, FASE 2:** se realizó un análisis de variancia combinado de los: 6 genotipos de trigos seleccionados en la FASE 1 (G) y los tratamientos, control y sequía (T) según el siguiente modelo aditivo lineal:

$$Y_{ijk} = \mu + G_i + T_j + B_{k(j)} + (GT)_{ij} + C_{ijk}$$

$i = 1, 2, \dots, g$  (Genotipo)  
 $j = 1, 2, \dots, t$  (Tratamientos)  
 $k = 1, 2, \dots, b$  (Bloques)

**Donde:**

$Y_{ijk}$  = Observación correspondiente al  $i$ \_ésimo genotipo, en el  $j$ \_ésimo tratamiento y  $k$ \_ésimo bloque.

$\mu$  = Media general.

$G_i$  = Efecto del  $i$ \_ésimo genotipo.

$T_j$  = Efecto del  $j$ \_ésimo tratamiento.

$B_{k(j)}$  = Efecto del  $k$ \_ésimo bloque.

$(GT)_{ij}$  = Efecto de la interacción del  $i$ \_ésimo genotipo con el  $j$ \_ésimo tratamiento.

$C_{ijk}$  = Efecto aleatorio del error.

### **3.5. Variables y métodos de evaluación**

#### **3.5.1. Características morfológicas y agronómicas**

Las evaluaciones de los caracteres morfológicos y agronómicos se realizaron en las FASES 1 y 2:

##### **3.5.1.1. Biomasa aérea planta<sup>-1</sup> (BAP)**

Esta estimación de vigor del cultivo, se midió y mediante muestreo destructivo, en el cual se tomó 10 plantas al azar de cada parcela; estas plantas fueron cortadas a la altura de la superficie del suelo y separadas en hojas, tallo y espigas. Cada estructura de la planta se puso en bolsas de papel y se dejaron en el horno a 60°C por 48 horas para determinar la biomasa seca en g planta<sup>-1</sup>.

##### **3.5.1.2. Área foliar (AF)**

Para el cálculo del área foliar, se tomó al azar tres hojas banderas de cada unidad experimental, las cuales fueron escaneadas a una resolución de 300 DPI (puntos por pulgada por sus siglas en inglés: dots per inch). Luego se procedió a calcular el área foliar con el programa “SisCob” (Brasil), el cual determina el área foliar en cm<sup>2</sup>, previa calibración del programa mediante una unidad conocida, que también debe ser escaneada bajo las mismas condiciones que las hojas banderas.

##### **3.5.1.3. Altura de planta (AP)**

Cuando la planta alcanza su madurez fisiológica, se midió con flexómetro la altura de planta, desde la base de la planta hasta el inicio de la espiga.

##### **3.5.1.4. Longitud de espiga (LE)**

En la fase de madurez fisiológica, se midió la longitud de espiga con la ayuda de un vernier digital, desde el inicio del raquis hasta la espiguilla terminal, sin tomar en cuenta las aristas, en milímetros (mm) de 10 espigas al azar de cada unidad experimental.



### **3.5.1.5. Rendimiento (REN)**

Se evaluó la masa total de los granos trillados de los dos surcos centrales de la parcela. La humedad de los granos en el momento de la evaluación fue de 14%; estos datos fueron transformados para ser expresados en Kg ha<sup>-1</sup>.

### **3.5.1.6. Número de espigas m<sup>-2</sup> (NEM)**

En madurez fisiológica del cultivo se contó el número de espigas presentes en los dos surcos centrales de cada parcela; se calculó el área de los dos surcos centrales y se estimó el número de espigas en el área de un m<sup>-2</sup>.

### **3.5.1.7. Número de granos por espiga (NGE)**

En la etapa de madurez cerca de la cosecha, se cortó 10 espigas seleccionadas al azar de cada unidad experimental y mediante trilla manual se extrajo y contabilizó el número de granos que contenía cada espiga.

### **3.5.1.8. Peso de granos por espiga (PGE)**

Para el cálculo del peso de granos por espiga se recolectó 10 espigas al azar de cada parcela, para luego trillarlas y pesarla de forma individual en (g espiga<sup>-1</sup>).

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

El peso de mil granos se obtuvo contando mil granos de cada parcela y pesándolos en una balanza digital en (g).

### **3.5.1.10. Índice de cosecha (IC)**

Fue calculado a partir del rendimiento en grano y de la biomasa total de los dos surcos centrales de cada parcela y de sus respectivas repeticiones, de acuerdo con la fórmula:

$$IC = (\text{Peso de grano} / \text{Peso total de la parte aérea (paja + grano)}) * 100$$

### **3.5.1.11. Número de días transcurridos al 50% de emergencia de espigas (NDE)**

Número de días transcurridos desde el primer riego o precipitación hasta que el 50% de las espigas de cada unidad experimental habían emergido de la hoja bandera.

### **3.5.1.12. Número de días transcurridos al 50% de madurez de granos (NDM)**

Esta variable se evaluó contando el número de días transcurridos desde el primer riego o precipitación hasta que el 50% de las espigas de la parcela estaban maduros; los granos fueron considerados maduros al alcanzar el 14% de humedad.

### **3.5.2. Características fisiológicas y bioquímicas**

Las evaluaciones de las características fisiológicas y bioquímicas se realizaron en las FASES 1 y 2:

#### **3.5.2.1. Contenido de clorofila SPAD (CC)**

El contenido de clorofila en la hoja se midió en cada parcela, desde el comienzo del tratamiento de sequía hasta el inicio de la maduración del cultivo tanto en las parcelas control y sequía. Para ello, se hicieron muestreos cada 10 días; sin embargo, se tomó en cuenta para el acápite de resultados la última medición realizada, debido a que en esta evaluación se observó mayor diferencia estadística.

Fue determinado usando un medidor de clorofila de mano (SPAD-502 Chlorophyll Meter, Minolta Camera Co., Ltd., Japón) no destructivo. El valor de SPAD fue medido sobre la hoja bandera completamente expandida de 10 plantas por unidad experimental. Esta característica es expresada en unidades SPAD.

#### **3.5.2.2. Contenido relativo de agua (CRA)**

El contenido relativo de agua foliar se determinó mediante método gravimétrico según Bennett *et al.* (1987) utilizando la ecuación:

$$\text{CRA (\%)} = 100 [(\text{PF-PS})/(\text{PT-PS})]$$

Donde PF, PS y PT son peso fresco, seco y turgente de la hoja bandera, respectivamente. Para obtener el PT, una vez obtenido el PF, se mantenía la hoja escindida en una bandeja de plástico con agua destilada durante 24 horas a 6 °C. El PS se obtuvo tras secar la muestra en la estufa hasta alcanzar un peso constante; esto requirió mantener la muestra en la estufa durante 48 horas a 80 °C. Las muestras fueron extraídas los mismos días en que se midió el contenido de clorofila.

### **3.5.2.3. Potencial osmótico ( $\Psi_o$ )**

Para calcular el potencial osmótico foliar (Mpa), se empleó el método de punto de rocío, el que consiste en colocar una muestra de la hoja bandera en la cámara psicrométrica C-52 (Wescor), durante 30 minutos, para que la muestra entre en equilibrio, pasado este tiempo, la cámara psicrométrica se conecta al microvoltímetro HR-33T (Wescor), corrigiendo la temperatura de la cámara, sobre un valor del microvoltímetro, para posteriormente realizar la lectura, el procedimiento detallado se encuentra en el Anexo 4.

La obtención de las muestras se realizó de las hojas banderas de cada unidad experimental, con la ayuda de un sacabocado de 7 mm de diámetro, obteniendo discos de hojas, esto debido a que es adecuado para el porta muestra de la cámara del psicrómetro (C-52). Las muestras que fueron extraídas de las parcelas requirieron ser congeladas inmediatamente, por lo que fueron guardadas en viales de 1 ml y depositadas de inmediato en nitrógeno líquido, para posteriormente llevarlas a un congelador de -70 °C, hasta el momento de la medición, para esto las muestra fueron colocadas en un envase con nitrógeno líquido, para romper la membrana celular, al momento de producirse la descongelación de la muestra. Las muestras fueron extraídas los mismos días en que se midieron los contenidos de clorofila.

### **3.5.2.4. Ajuste osmótico (AO)**

El ajuste osmótico, se calculó como la diferencia entre el potencial osmótico de las plantas control y las plantas sometidas a sequía.

### **3.5.2.5. Contenido de prolina libre (CPL)**

El contenido de prolina libre fue determinado en el laboratorio de calidad del Programa de Cereales y Granos Nativos de la UNALM. Para realizar este análisis en laboratorio, primeramente se extrajo muestras de cada parcela. La muestra consistió en 0.5 g de hoja bandera (incluyendo la nervadura) en estado fresco, por lo cual fueron guardadas inmediatamente en papel aluminio y colocadas dentro de tubos de polipropileno (de 50 ml marca Corning Incorporated, modelo: 430828). Estos tubos que contenían la muestra fueron introducidos de forma inmediata a nitrógeno líquido, para luego guardarlas en un congelador de -70 °C, esto para inactivar cualquier proceso metabólico en la hoja. Las muestras fueron extraídas los mismos días en que se midieron los contenidos de clorofila.

En el laboratorio se procedió a realizar la medición del contenido de prolina libre de cada muestra siguiendo el protocolo descrito por (Bates, 1973).

#### **3.5.2.6. Actividad de la enzima nitrato reductasa (AENR)**

La actividad de la enzima nitrato reductasa fue determinada en el mismo laboratorio donde se realizó el análisis del CPL, siguiendo el protocolo descrito por Harper y Hageman (1972). Las muestras se extrajeron de cada unidad experimental de ambos tratamientos, cada muestra consistió en 0,25 g de hoja bandera (sin nervadura) en estado fresco, por lo cual fueron guardadas inmediatamente en papel aluminio y colocadas dentro de tubos de polipropileno (de 50 ml marca Corning Incorporated). Estos tubos que contenían la muestra fueron introducidos de forma inmediata a nitrógeno líquido, para luego guardarlas en un congelador de -70 °C, hasta el momento de realizar el análisis en laboratorio, esto para inactivar cualquier proceso metabólico en la hoja. Las muestras fueron extraídas los mismos días en que se midieron los contenidos de clorofila.

#### **3.5.3. Características de la raíz**

Las evaluaciones de las características de la raíz se realizaron solo en la FASE 2:

##### **3.5.3.1. Longitud de raíz (LR)**

La longitud total de raíz fue evaluada cuando los granos alcanzaron la madurez fisiológica. Para ello se realizó el corte vertical de los envases y el lavado a mano de las raíces sobre una malla, para evitar la pérdida de las raíces finas; de esta manera se pudo realizar la medida de la longitud total de raíz en cm.

##### **3.5.3.2. Peso seco de raíz (PSR)**

Después de efectuar el lavado de las raíces, se procedió a separar las raíces, de la parte aérea de la planta y fueron guardadas en bolsas de papel para llevarlos al horno a 60 °C durante 48 horas y posteriormente pesarlas en una balanza digital. De esta manera se obtuvo el peso seco de raíz en g planta<sup>-1</sup>.

## IV. RESULTADOS Y DISCUSIONES

Se presentaran considerando los objetivos específicos planteados en la investigación:

### 4.1. OBJETIVO 1:

Evaluación del efecto de la sequía en caracteres morfológicos y agronómicos de trigo harinero.

#### 4.1.1. Características morfológicas y agronómicas

##### **Biomasa aérea planta<sup>-1</sup> (BAP)**

En la Tabla 4 se presenta el análisis de variancia individual y combinado, para la variable biomasa aérea planta<sup>-1</sup>. En el análisis individual los genotipos evaluados en los ensayos de, LM-Control, LM-Sequía, JUU-Control y JUU-sequía (2012-2013), presentaron diferencias estadísticas significativas, con coeficiente de variación de 7.63, 6.35, 10.94 y 8.95 %; respectivamente, los cuales se encuentran en el rango permisible para este tipo de experimento. Así mismo los coeficientes de determinación proyectan una explicación de la variancia en función de los factores en estudio del presente en un 71, 77, 57 y 60 %; respectivamente, dejando un margen de influencia de factores no contemplados en el estudio de 29, 23, 43 y 40 %; respectivamente.

En la Tabla 4 se puede ver el análisis combinado para la variable biomasa aérea planta<sup>-1</sup> de los genotipos estudiados en los tratamientos control y sequía, en los ambientes de La Molina y Junín-Jauja, donde las interacciones: genotipo por ambiente (G\*A) y tratamiento por ambiente (T\*A), resultaron estadísticamente significativos.

En la Figura 11 se presenta los valores de la biomasa aérea planta<sup>-1</sup> obtenidos en el ambiente de La Molina. Se puede apreciar que los genotipos estudiados presentaron valores de biomasa diferentes en el tratamiento control y sequía, siendo el valor promedio en el tratamiento control de 3.53 g que es significativamente superior al del tratamiento sequía de 3.06 g, a un nivel de significancia  $p=0.01$ . El valor de biomasa de los genotipos

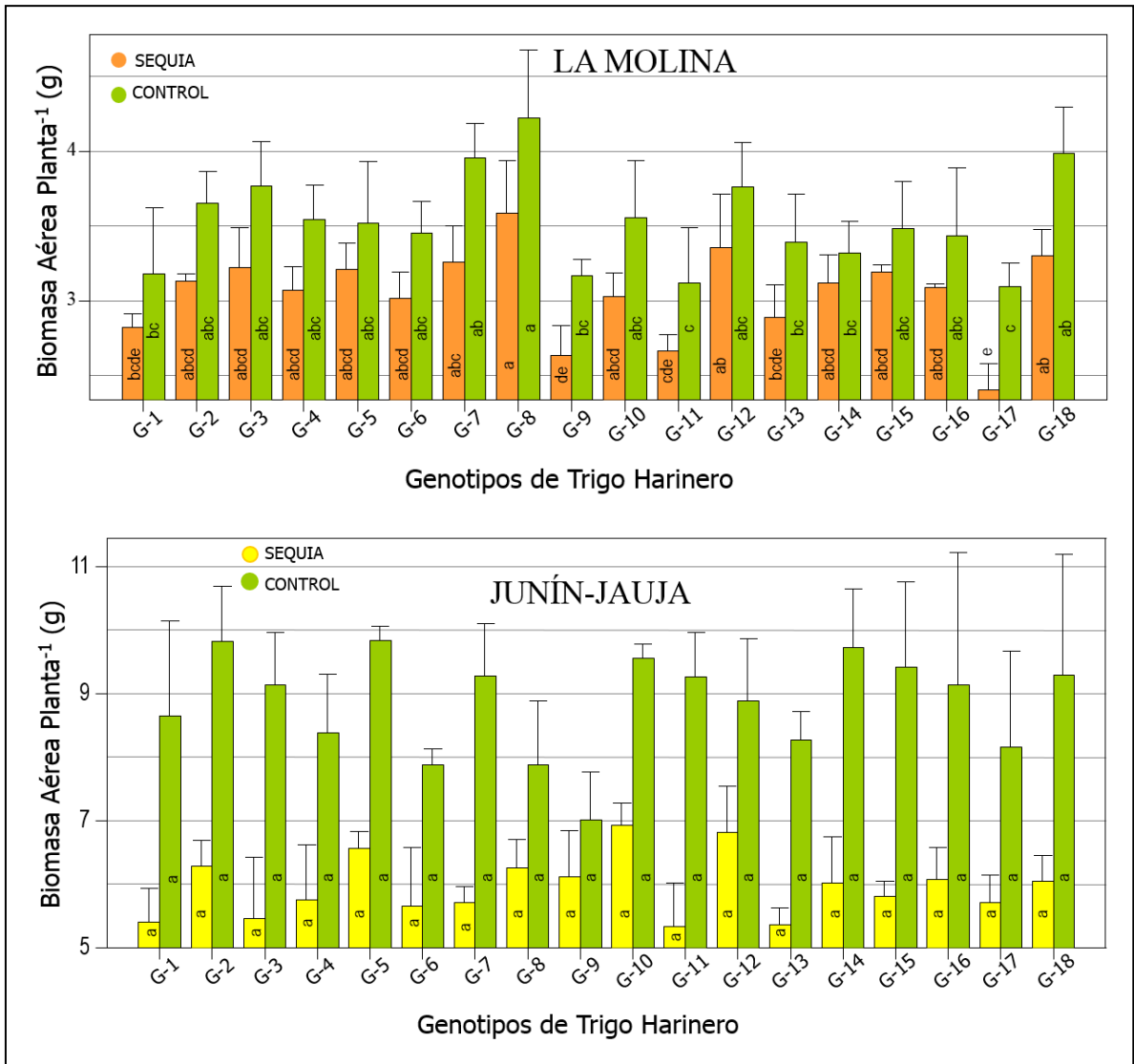
varió de 2.40 a 3.59 g en el tratamiento de sequía y de 3.10 a 4.22 g en el tratamiento control. El genotipo G-8 fue el que presentó mayor biomasa en ambos tratamientos y G-17 fue el que mayor reducción de biomasa experimento por efecto de la sequía aplicada presentando una reducción de 0.70 g.

**Tabla 4.** Resumen de análisis de varianza de las variables, Biomasa aérea planta<sup>-1</sup> (BAP) y Área foliar (AF) de 18 genotipos de trigo (*Triticum aestivum s sp aestivum*) en el tratamiento sequía y control. La Molina y Junín-Jauja 2012-2013.

Análisis Individual	Variables dependientes					
	BAP			AF		
	G <sup>†</sup>	C.V.	R <sup>2</sup>	G <sup>†</sup>	C.V.	R <sup>2</sup>
LA MOLINA-Control	**	7.63	0.71	**	12.06	0.79
LA MOLINA-Sequía	**	6.35	0.77	**	12.02	0.78
JUNÍN-JAUJA-Control	*	10.94	0.57	**	13.80	0.68
JUNÍN-JAUJA-Sequía	*	8.95	0.60	**	12.84	0.73
<b>Análisis Combinado</b>						
Genotipo (G)	4.11**			5.69**		
Tratamiento (T)	462.79**			75.24**		
Ambiente (A)	2745.13**			2951.67**		
G*T	1.38 NS			4.13**		
G*A	2.07*			5.16**		
T*A	237.87**			41.14**		
G*T*A	1.67 NS			3.73**		

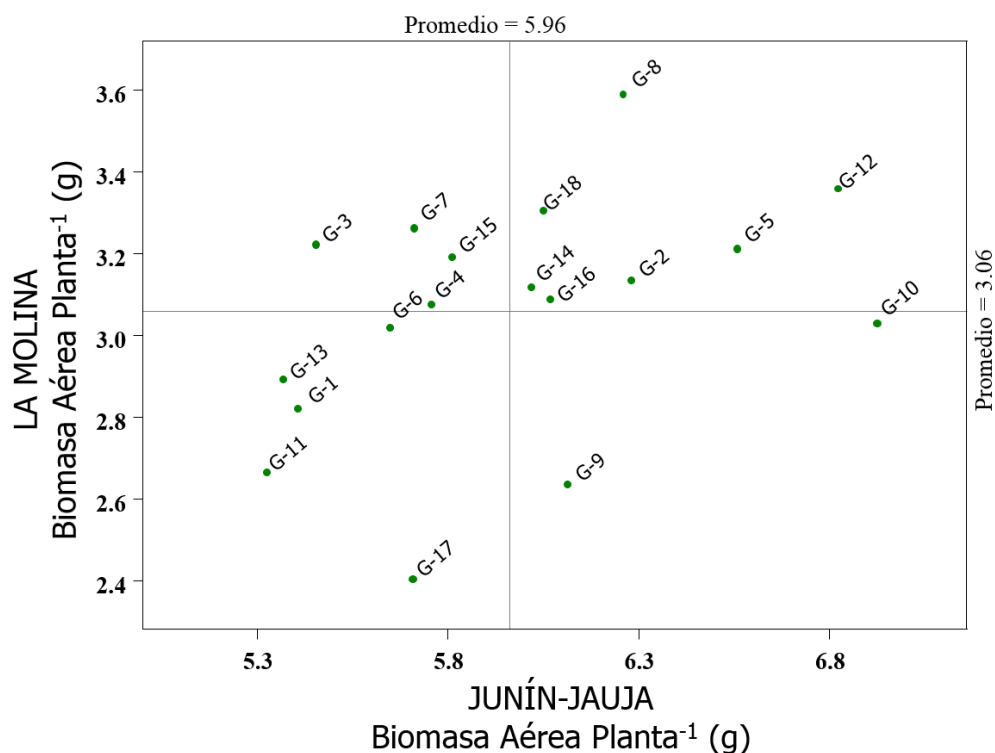
G: 18 Genotipos, T: Sequía y Control, A: La Molina y Junín-Jauja, C.V.: Coeficiente de variación (%) y R<sup>2</sup>: Coeficiente de determinación. † Probabilidad > F, (\*) significativo, (\*\*) altamente significativo.

En Junín-Jauja, se observó un comportamiento similar al de La Molina, los genotipos difieren en valores de biomasa en forma significativa entre los tratamientos control y sequía. El promedio de biomasa de los genotipos en el tratamiento control fue de 8.87 g que es significativamente superior al del tratamiento sequía de 5.96 g, con un nivel de significancia p=0.01. Sin embargo, no hubo diferencias significativas entre los genotipos dentro de ambos tratamientos (Figura 11). El valor de biomasa varió de 5.33 a 6.93 g en el tratamiento de sequía y de 7.02 a 9.84 g en el tratamiento control. Los genotipos G-10 y G-12 fueron los que presentaron menor reducción de biomasa por efecto de la sequía.



**Figura 11.** Comparación y dispersión de promedios de la variable Biomasa aérea planta<sup>-1</sup> (BAP) de 18 genotipos de trigo (*Triticum aestivum s sp aestivum*), evaluadas en el tratamiento sequía y control en los ambientes de La Molina y Junín-Jauja, campaña 2012-2013. Medias con letras iguales no presentan diferencias estadísticas (Tukey, p > 0.05, n = 3).

Considerando los resultados de la interacción genotipo x ambiente, del ANVA COMBINADO, específicamente con los valores del tratamiento sequía, se elaboró la Figura 12; en la cual se puede apreciar la distribución de la biomasa aérea planta<sup>-1</sup> de los genotipos en promedio de los ambientes de La Molina y Junín-Jauja. En el cuadrante superior derecho se puede ver los genotipos con mejores valores de biomasa en ambas localidades como G-8, G-12, G-5, G-2 y G-18. Estos genotipos presentaron valores promedio de biomasa aérea planta<sup>-1</sup> para ambos ambientes igual a 4.92, 5.09, 4.88, 4.71 y 4.68 g; respectivamente.



**Figura 12.** Distribución de los valores de Biomasa aérea planta<sup>-1</sup> (BAP) de 18 genotipos de trigo (*Triticum aestivum* s *sp* *aestivum*) bajo condiciones de sequía en los ambientes de La Molina y Junín-Jauja.

Los genotipos que presentaron valores menores de biomasa aérea de planta<sup>-1</sup> en condiciones de sequía en los ambientes de La Molina y Junín-Jauja figuran en el cuadrante inferior izquierdo y fueron los genotipos, G-11, G-1, G-13 y G-17 (Figura 12), con valores iguales a 3.99, 4.11, 4.13 y 4.06 g; respectivamente.

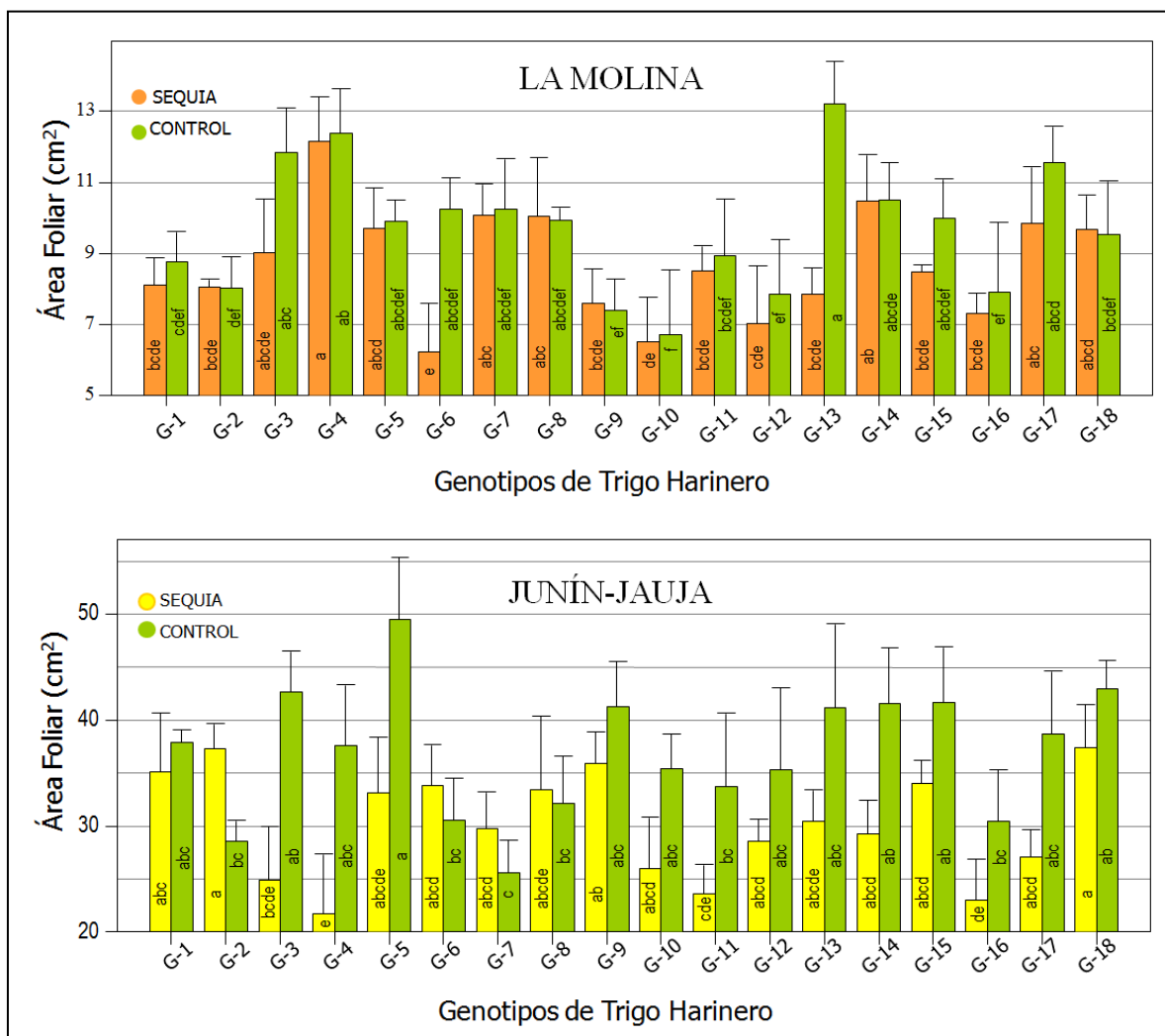
### Área foliar (AF)

El estudio de la variancia individual y combinado, para la variable área foliar (AF), se presenta en la Tabla 4, en el cual se puede observar que en el análisis individual los genotipos conducidos en los ensayos de, LM-Control, LM-Sequía, JIJ-Control y JIJ-sequía, presentaron diferencias estadísticas altamente significativas, con coeficientes de variación de 12.06, 12.02, 13.80 y 12.84 %; respectivamente, estos valores se encuentran en el rango permisible para este tipo de ensayos y los coeficientes de determinación proyectan una explicación de la variancia en función de los factores en estudio del presente en un 79, 78, 68 y 73 %; respectivamente, dejando un margen de influencia de factores no contemplados en el estudio de 21, 22, 32 y 27 %; respectivamente.

En la Tabla 4 se incluye el análisis combinado para la variable área foliar, donde las interacciones: genotipo por tratamiento (G\*T), genotipo por ambiente (G\*A), tratamiento



por ambiente (T\*A) y genotipo por tratamiento por ambiente (G\*T\*A), resultaron estadísticamente significativos.

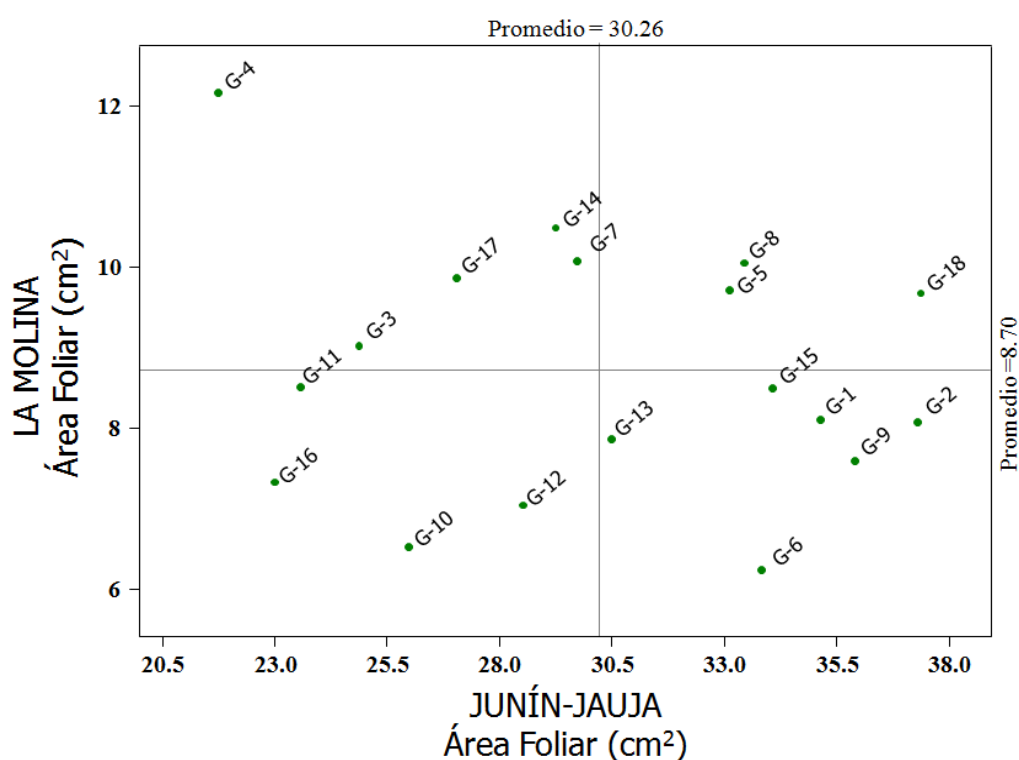


**Figura 13.** Comparación y dispersión de promedios de la variable Área foliar (AF) de 18 genotipos de trigo (*Triticum aestivum* s sp *aestivum*), evaluadas en el tratamiento sequía y control en los ambientes de La Molina y Junín-Jauja, campaña 2012-2013. Medias con letras iguales no presentan diferencias estadísticas (Tukey,  $p > 0.05$ ,  $n = 3$ ).

En la Figura 13, se puede observar la comparación y dispersión de promedio de los 18 genotipos de trigo para el carácter área foliar, evaluados en el tratamiento sequía y control en el ambientes de La Molina. Se puede apreciar que el área foliar de los genotipos en el tratamiento control difiere del tratamiento sequía, lo cual permite inferir que el área foliar promedio en el tratamiento control fue de 9.72 cm<sup>2</sup> que es significativamente superior al del tratamiento sequía de 8.70 cm<sup>2</sup>, a un nivel de significancia  $p=0.01$ . El rango del área foliar de los genotipos varió de 6.23 a 12.15 cm<sup>2</sup> en el tratamiento sequía y de 6.72 a 13.19 cm<sup>2</sup> en el tratamiento control. El genotipo G-4 fue el que presentó mayor área foliar en

ambos tratamientos y G-6 fue el que mayor reducción del área foliar experimento por efecto de la sequía aplicada con una reducción de 4.03 cm<sup>2</sup>.

En Junín-Jauja, se observó que el valor del área foliar de los genotipos difieren de forma significativa entre los tratamientos control y sequía. El valor promedio del área foliar en el tratamiento control fue de 37.04 cm<sup>2</sup> que es significativamente superior al del tratamiento sequía 30.26 cm<sup>2</sup>, a un nivel de significancia p=0.01. El rango del área foliar de los genotipos varió de 21.76 a 37.38 cm<sup>2</sup> en el tratamiento sequía y de 25.59 a 49.55 cm<sup>2</sup> en el tratamiento control. Los genotipos G-18 y G-2 fueron los que presentaron menor reducción del área foliar por efecto de la sequía (Figura 13).



**Figura 14.** Distribución de los valores del Área foliar (AF) de 18 genotipos de trigo (*Triticum aestivum s sp aestivum*) bajo condiciones de sequía en los ambientes de La Molina y Junín-Jauja.

En la Figura 14 se presenta los resultados de la interacción genotipo x ambiente, del ANVA COMBINADO, concretamente con los valores del tratamiento sequía, en el cual se puede ver la distribución del área foliar de los genotipos en promedio de los ambientes de La Molina y Junín-Jauja. En el cuadrante superior derecho se puede apreciar que los genotipos G-18, G-8 y G-5 presentaron mayor área foliar en los dos ambientes del ensayo. Estos genotipos presentaron valores promedio del área foliar para ambos ambientes igual a 23.52, 21.75 y 21.41 cm<sup>2</sup>; respectivamente.

Los genotipos que presentaron valores menores del área foliar en condiciones de sequía en los ambientes de La Molina y Junín-Jauja se encuentran en el cuadrante inferior izquierdo y fueron los genotipos, G-16, G-10, G-12 y G-11 (Figura 14), con valores iguales a 15.17, 16.26, 17.79 y 16.04 cm<sup>2</sup>; respectivamente.

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

En la Tabla 5 se muestra el análisis de variancia individual y combinado, para la variable altura de planta (AP). En el análisis individual los genotipos de trigo mostraron diferencias estadísticas altamente significativas en los experimentos establecidos en LM-Control, LM-Sequía y JUU-sequía y no hubo diferencias significativas en el experimento conducido en JUU-Control. Los coeficiente de variación fueron de 3.19, 5.17, 4.85 y 5.45 %; respectivamente, los cuales se encuentran en el rango valido para este tipo de experimentos. Los coeficientes de determinación de los experimentos que presentaron diferencias estadísticas, proyectan una explicación de la variancia en función de los factores en estudio del presente en un 87, 60 y 68 %; respectivamente, dejando un margen de influencia de factores no contemplados en el estudio de 13, 40 y 32 %; respectivamente.

El análisis combinado para la variable altura de planta de los 18 genotipos de trigo evaluados en los tratamientos control y sequía y en los ambientes de La Molina y Junín-Jauja se presentan en la Tabla 5, donde las interacciones: genotipo por ambiente (G\*A) y tratamiento por ambiente (T\*A), resultaron altamente significativos.

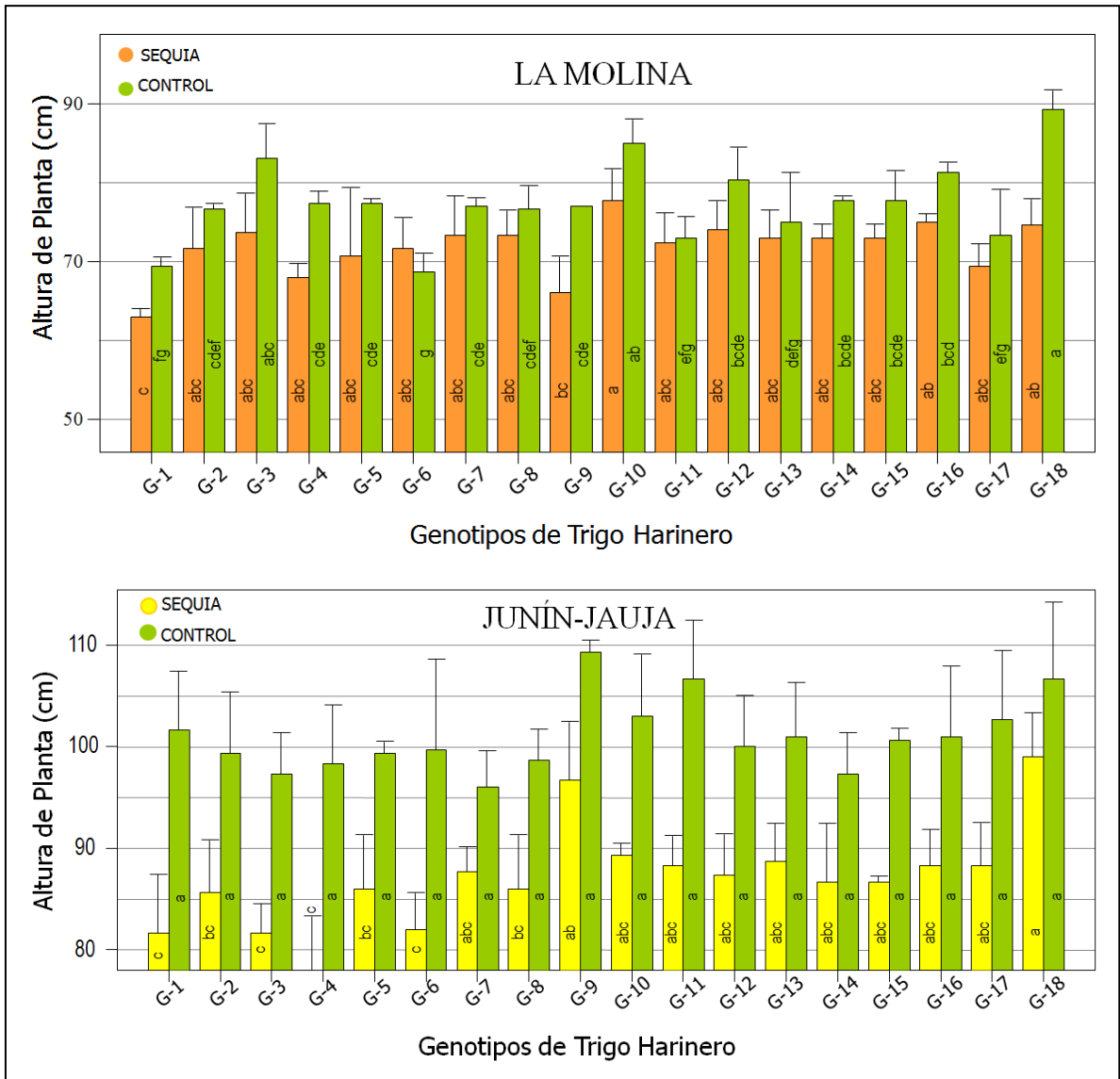
Los valores de altura de planta obtenidos en el ambiente de La Molina son presentados en la Figura 15. Se puede ver que los genotipos estudiados presentaron valores de altura de planta diferentes en el tratamiento control y sequía. El promedio de altura de planta a nivel del tratamiento control fue de 77.54 cm que es significativamente superior al del tratamiento sequía de 71.85 cm, a un nivel de significancia  $p=0.01$ . El rango de altura de plata de los genotipos varió de 63.00 a 77.67 cm en el tratamiento de sequía y de 68.67 a 89.33 cm en el tratamiento control. Los genotipos G-18 y G-10 fueron los que mayor altura de planta presentaron en ambos tratamientos y G-1 fue el que mayor reducción de altura de planta experimento por efecto de la sequía aplicada.

**Tabla 5.** Resumen de análisis de varianza de las variables, Altura de planta (AP) y Longitud de espiga (LE) de 18 genotipos de trigo (*Triticum aestivum s sp aestivum*) en el tratamiento sequía y control. La Molina y Junín-Jauja 2012-2013.

Análisis Individual	Variables dependientes					
	AP			LE		
	G <sup>†</sup>	C.V.	R <sup>2</sup>	G <sup>†</sup>	C.V.	R <sup>2</sup>
LA MOLINA-Control	**	3.19	0.87	**	5.05	0.73
LA MOLINA-Sequía	**	5.17	0.60	**	4.28	0.80
JUNÍN-JAUJA-Control	NS	5.45	0.39	**	4.50	0.80
JUNÍN-JAUJA-Sequía	**	4.85	0.68	**	3.75	0.85
<b>Análisis Combinado</b>						
Genotipo (G)	6.78**			26.45**		
Tratamiento (T)	305.37**			0.80 NS		
Ambiente (A)	1192.82**			1117.07**		
G*T	0.90 NS			0.86 NS		
G*A	3.99**			3.08**		
T*A	53.92**			27.99**		
G*T*A	1.56 NS			0.78 NS		

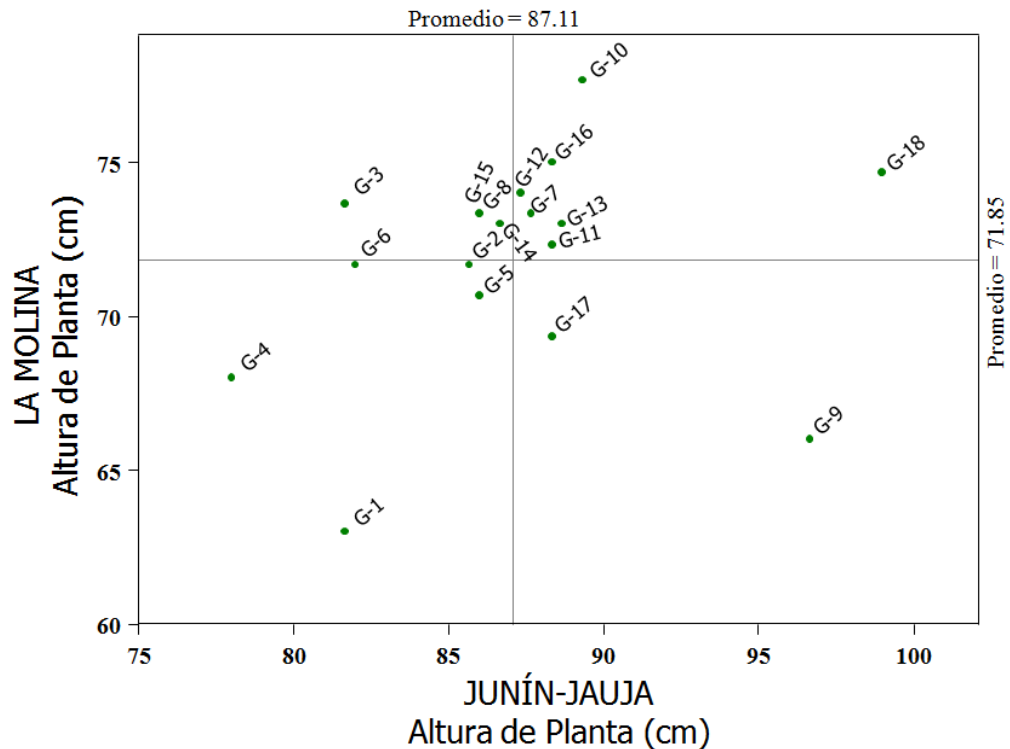
G: 18 Genotipos, T: Sequía y Control, A: La Molina y Junín-Jauja, C.V.: Coeficiente de variación (%) y R<sup>2</sup>: Coeficiente de determinación. † Probabilidad > F, (\*) significativo, (\*\*) altamente significativo.

En Junín-Jauja, el comportamiento de los genotipos es similar al de La Molina, los genotipos presentaron diferencias en los valores de altura de planta de forma significativa entre los tratamientos control y sequía. El promedio de altura de planta de los genotipos en el tratamiento control fue de 101.04 cm que es significativamente superior al del tratamiento sequía de 87.11 cm, con un nivel de significancia  $p=0.01$ . Sin embargo, no hubo diferencias significativas entre los genotipos dentro del tratamiento control, pero si en el tratamiento sequía (Figura 15). Los valores de la altura de planta varió de 78.00 a 99.00 cm en el tratamiento sequía y de 96.00 a 109.33 cm en el tratamiento control. Los genotipos G-9 y G-18 fueron los que mayor altura de planta presentaron y G-4, G-1, G-3 y G-6 fueron los de menor altura de planta en el tratamiento sequía.



**Figura 15.** Comparación y dispersión de promedios de la variable Altura de planta (AP) de 18 genotipos de trigo (*Triticum aestivum s sp aestivum*), evaluadas en el tratamiento sequía y control en los ambientes de La Molina y Junín-Jauja, campaña 2012-2013. Medias con letras iguales no presentan diferencias estadísticas (Tukey,  $p > 0.05$ ,  $n = 3$ ).

Considerando los resultados de la interacción genotipo x ambiente, del ANVA COMBINADO, específicamente con los valores del tratamiento sequía, se elaboró la Figura 16; en el cual se puede apreciar la distribución de la altura de planta de los genotipos en promedio de los ambientes de La Molina y Junín-Jauja. En el cuadrante superior derecho se puede ver que los genotipos G-18, G-10, G-16, G-13, G-12, G-11 y G-7 fueron los que mayor altura de planta presentaron en los dos ambientes del experimento. Estos genotipos presentaron valores promedio de altura de planta para ambos ambientes igual a 86.83, 83.50, 81.67, 80.83, 80.67, 80.33 y 80.50 cm; respectivamente.



**Figura 16.** Distribución de los valores de Altura de planta (AP) de 18 genotipos de trigo (*Triticum aestivum s sp aestivum*) bajo condiciones de sequía en los ambientes de La Molina y Junín-Jauja.

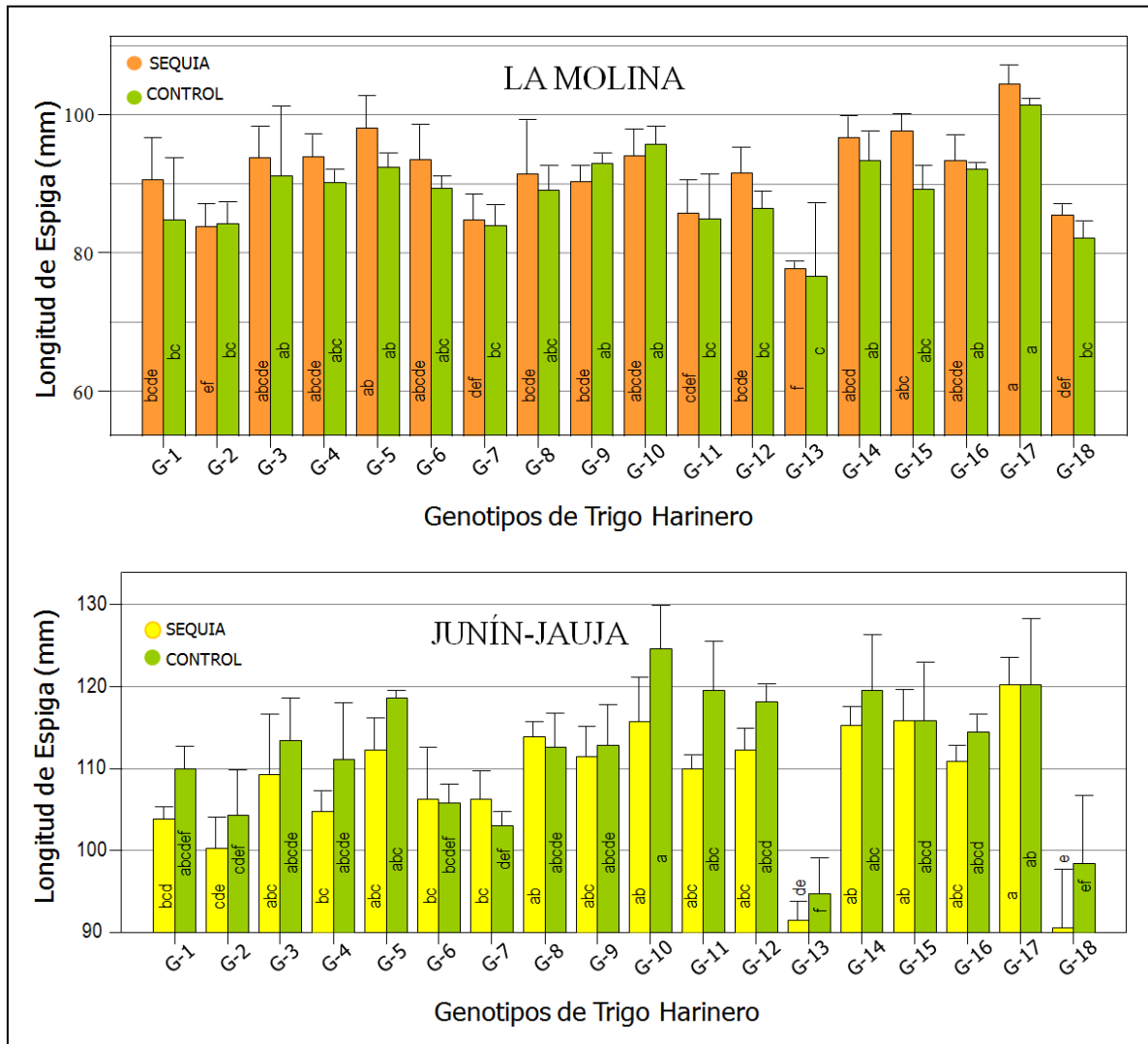
Los genotipos que presentaron menor altura de planta en el tratamiento sequía, en los ambientes de La Molina y Junín-Jauja se encuentran en el cuadrante inferior izquierdo y fueron los genotipos, G-4, G-1 y G-5 (Figura 16), con valores iguales a 73.00, 72.33 y 78.33 cm; respectivamente.

### Longitud de espiga (LE)

El análisis de la variancia individual y combinado, para la variable longitud de espiga se muestra en la Tabla 5. En el análisis individual los genotipos conducidos en los ensayos de, LM-Control, LM-Sequía, JIJ-Control y JIJ-sequía, mostraron diferencias estadísticas altamente significativas, con coeficientes de variación de, 5.05, 4.28, 4.50 y 3.75 %; respectivamente, los cuales se encuentran en el rango permisible para este tipo de ensayo, así mismo indicar que los coeficientes de determinación proyectan una explicación de la variancia en función de los factores en estudio del presente en un 73, 80, 80 y 85 %; respectivamente, dejando un margen de influencia de factores no contemplados en el estudio de 27, 20, 20 y 15 %; respectivamente.

En la Tabla 5 se puede observar las interacciones del análisis combinado, para la variable longitud de espiga de los 18 genotipos de trigo en los tratamientos control y sequía, en los

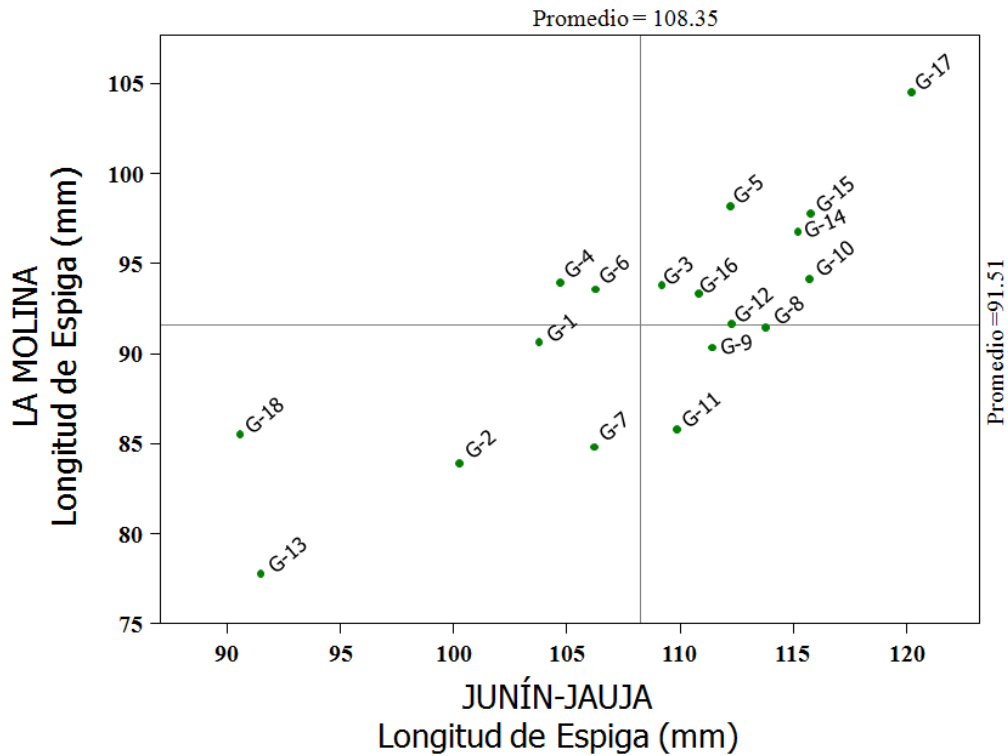
ambientes de La Molina y Junín-Jauja, donde: genotipo por ambiente ( $G^*A$ ) y tratamiento por ambiente ( $T^*A$ ), resultaron altamente significativos.



**Figura 17.** Comparación y dispersión de promedios de la variable Longitud de espiga (LE) de 18 genotipos de trigo (*Triticum aestivum s sp aestivum*), evaluadas en el tratamiento sequía y control en los ambientes de La Molina y Junín-Jauja, campaña 2012-2013. Medias con letras iguales no presentan diferencias estadísticas (Tukey,  $p > 0.05$ ,  $n = 3$ ).

En la Figura 17 se muestra los valores de la longitud de espiga obtenidos en el ambiente de La Molina. Se puede ver que los genotipos presentaron valores de longitud de espiga diferentes entre ellos en el tratamiento control y sequía. Sin embargo, el valor promedio en el tratamiento control de 88.88 mm es ligeramente inferior al del valor promedio del tratamiento sequía de 91.51 mm. El rango de longitud de espiga para los genotipos varió de 77.73 a 104.49 mm en el tratamiento sequía y de 76.60 a 101.41 mm en el tratamiento control. El genotipo G-17 fue el que mayor longitud de espiga desarrollo y G-13 fue el de menor longitud de espiga, en ambos tratamientos.

En Junín-Jauja, la longitud de espiga de los genotipos estudiados presenta diferencias estadísticas y valores similares al de La Molina. El valor promedio de longitud de espiga de los genotipos fue de 112.05 mm en el tratamiento control que es ligeramente superior al valor del tratamiento sequía de 108.35 mm. El rango de longitud de espiga para los genotipos varió entre 90.59 a 120.25 mm en el tratamiento de sequía y de 94.76 a 124.62 mm en el tratamiento control. El genotipo G-17 fue el que presentó mayor longitud de espiga y G-13 fue el de menor longitud de espiga, en los dos tratamientos.



**Figura 18.** Distribución de los valores de Longitud de espiga (LE) de 18 genotipos de trigo (*Triticum aestivum s sp aestivum*) bajo condiciones de sequía en los ambientes de La Molina y Junín-Jauja.

En la Figura 18 se presenta los resultados de la interacción genotipo x ambiente, del ANVA COMBINADO, específicamente con los valores del tratamiento sequía, en el cual se puede ver la distribución de la longitud de espiga de los genotipos en promedio de los ambientes de La Molina y Junín-Jauja. En el cuadrante superior derecho se puede apreciar los genotipos G-17, G-15, G-14, G-5, G-10, G-16 y G-3 con mayor longitud de espiga en los dos ambientes del experimento. Estos genotipos presentaron valores promedio de la longitud de espiga para ambos ambientes igual a 112.07, 106.75, 105.99, 105.20, 104.91, 102.07 y 101.49 mm; respectivamente.



Los genotipos que presentaron valores menores de longitud de espiga en condiciones de sequía en los ambientes de La Molina y Junín-Jauja se encuentran en el cuadrante inferior izquierdo de la Figura 18 y fueron los genotipos, G-13, G-18, G-2, G-7 y G-1, con valores iguales a 84.62, 88.02, 92.08, 95.50 y 97.18 mm; respectivamente.

### **Rendimiento (REN)**

El análisis de variancia individual y combinado, para la variable rendimiento se presenta en la Tabla 6. En el análisis individual los genotipos conducidos en los ensayos de, LM-Control, LM-Sequía, JUU-Control y JUU-sequía (2012-2013), presentaron una diferencia estadística altamente significativa, con coeficientes de variación de 12.02, 14.60, 14.49 y 10.85 %; respectivamente, los cuales se encuentran en el rango permisible para este tipo de ensayos y los coeficientes de determinación proyectan una explicación de la variancia en función de los factores en estudio (genotipos) del presente en un 68, 58, 78 y 86 %; respectivamente, dejando un margen de influencia a factores no contemplados en el estudio de 32, 42, 22 y 14%; respectivamente.

En el análisis combinado de la Tabla 6 se puede apreciar que las interacciones: genotipo por tratamiento (G\*T), genotipo por ambiente (G\*A), tratamiento por ambiente (T\*A) y genotipo por tratamiento por ambiente (G\*T\*A), resultaron altamente significativos.

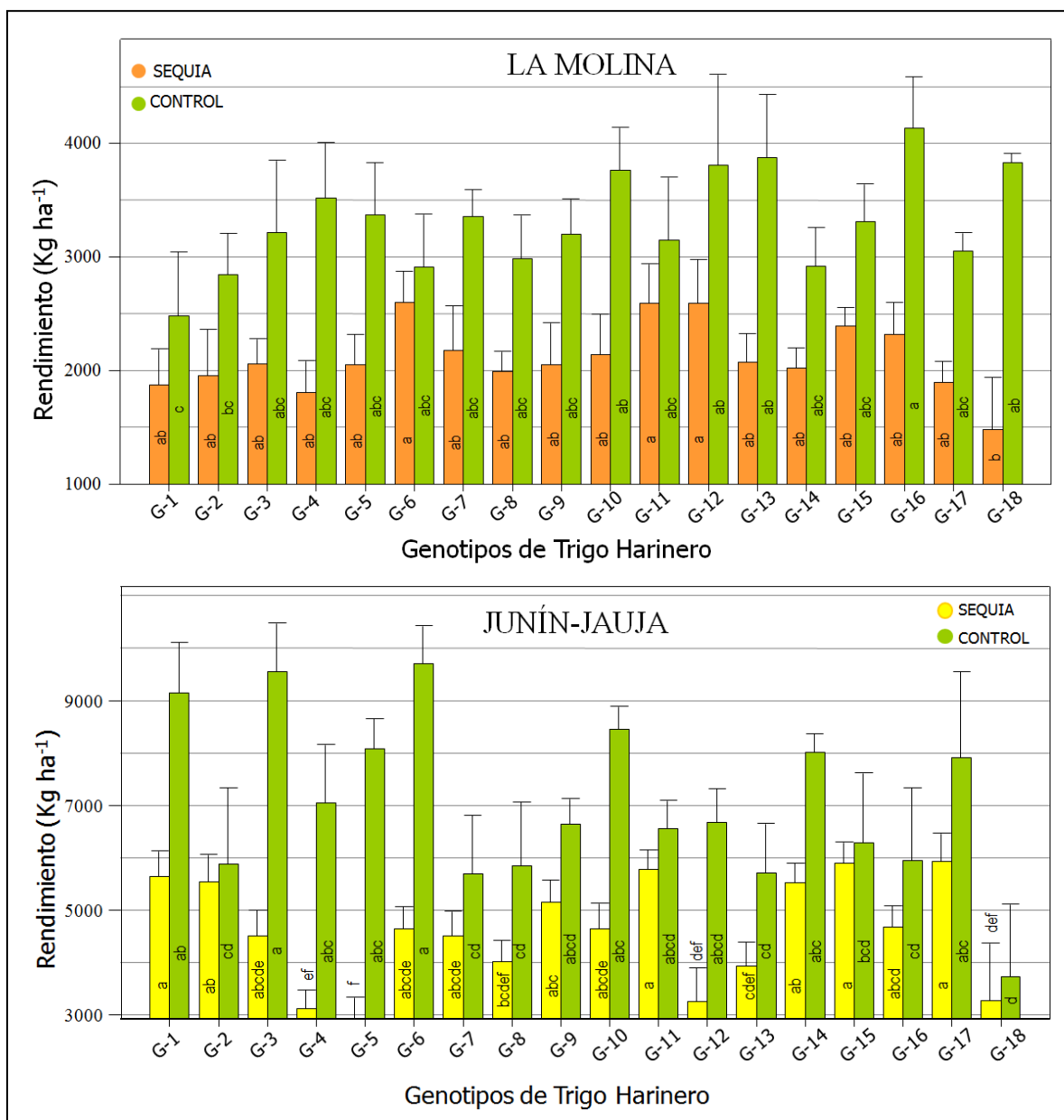
En la Figura 19 se presenta la comparación y dispersión de promedio de los 18 genotipos de trigo para la variable rendimiento, evaluadas en el tratamiento sequía y control en el ambiente de La Molina. Se puede apreciar que los genotipos estudiados presentaron valores de rendimiento diferentes en el tratamiento control y sequía. El promedio a nivel de tratamiento control fue de 3316.42 Kg ha<sup>-1</sup> que es significativamente superior al del tratamiento sequía de 2114.89 Kg ha<sup>-1</sup>, con un nivel de significancia p=0.01. El rendimiento de los genotipos varió entre 1481.11 a 2599.44 Kg ha<sup>-1</sup> en el tratamiento de sequía y de 2480.56 a 4134.44 Kg ha<sup>-1</sup> en el tratamiento control. Los genotipos más rendidores fueron G-6 y G-11 en el tratamiento sequía y G-18 fue el que mayor reducción de rendimiento experimento por efecto de la sequía aplicada presentando una reducción de 2351.11 Kg ha<sup>-1</sup>.

**Tabla 6.** Resumen de análisis de varianza de las variables, Rendimiento (REN), Número de espigas m<sup>-2</sup> (NEM) y Número de granos por espiga (NGE) de 18 genotipos de trigo (*Triticum aestivum* s *sp aestivum*) en el tratamiento sequía y control. La Molina y Junín-Jauja 2012-2013.

Análisis Individual	Variables dependientes								
	REN			NEM			NGE		
	G <sup>†</sup>	C.V.	R <sup>2</sup>	G <sup>†</sup>	C.V.	R <sup>2</sup>	G <sup>†</sup>	C.V.	R <sup>2</sup>
LA MOLINA-Control	**	12.02	0.68	**	11.20	0.66	**	7.41	0.77
LA MOLINA-Sequía	**	14.60	0.58	**	10.40	0.62	**	6.73	0.73
JUNÍN-JAUJA-Control	**	14.49	0.78	**	13.96	0.64	**	6.05	0.81
JUNÍN-JAUJA-Sequía	**	10.85	0.86	**	10.38	0.75	**	6.06	0.68
<b>Análisis Combinado</b>									
Genotipo (G)	7.17**			7.37**			17.15**		
Tratamiento (T)	461.69**			78.22**			79.70**		
Ambiente (A)	1351.79**			203.44**			2857.60**		
G*T	5.37**			2.52**			2.58**		
G*A	10.26**			3.59**			2.60**		
T*A	53.17**			2.37 NS			102.32**		
G*T*A	6.42**			2.00*			1.97*		

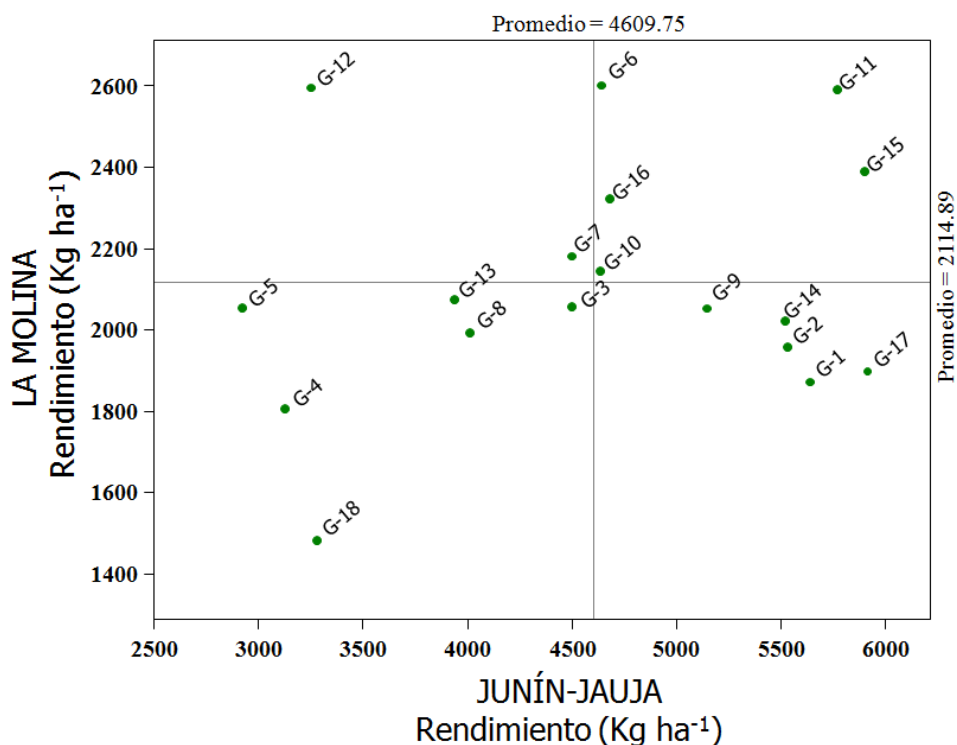
G: 18 Genotipos, T: Sequía y Control, A: La Molina y Junín-Jauja, C.V.: Coeficiente de variación (%) y R<sup>2</sup>: Coeficiente de determinación. † Probabilidad > F, (\*) significativo, (\*\*) altamente significativo.

En Junín-Jauja, se observó un comportamiento de los genotipos similar al de La Molina, los genotipos difirieron en valores de rendimiento en forma significativa entre los tratamientos control y sequía. El rendimiento promedio de los genotipos en el tratamiento control fue de 7045.66 Kg ha<sup>-1</sup> que es significativamente superior al del tratamiento sequía de 4609.75 Kg ha<sup>-1</sup>, con un nivel de significancia p=0.01. Los valores de rendimiento de los genotipos varió entre 2926.67 a 5920.01 Kg ha<sup>-1</sup> en el tratamiento sequía y de 3732.59 a 9691.83 Kg ha<sup>-1</sup> en el tratamiento control. Los genotipos G-11, G-15 y G-17 fueron los que mayor rendimiento presentaron en condiciones de sequía. Los genotipos G-5, G-4, G-18 y G-12 fueron los que mayor reducción del rendimiento experimentaron por efecto de la sequía (Figura 19).



**Figura 19.** Comparación y dispersión de promedios de la variable Rendimiento (REN) de 18 genotipos de trigo (*Triticum aestivum s sp aestivum*), evaluadas en el tratamiento sequía y control en los ambientes de La Molina y Junín-Jauja, campaña 2012-2013. Medias con letras iguales no presentan diferencias estadísticas (Tukey,  $p > 0.05$ ,  $n = 3$ ).

En la Figura 20 se presenta los resultados de la interacción genotipo x ambiente, del ANVA COMBINADO, específicamente con los valores del tratamiento sequía, en el cual se puede apreciar la distribución del rendimiento de los genotipos en promedio de los ambientes de La Molina y Junín-Jauja. En el cuadrante superior derecho se puede ver a los genotipos más rendidores en los dos ambientes del experimento siendo estos G-11, G-15, G-6, G-16 y G-10. Estos genotipos presentaron valores promedio de rendimiento para ambos ambientes igual a 4180.84, 4145.84, 3621.71, 3502.54 y 3390.65 Kg ha<sup>-1</sup>; respectivamente.



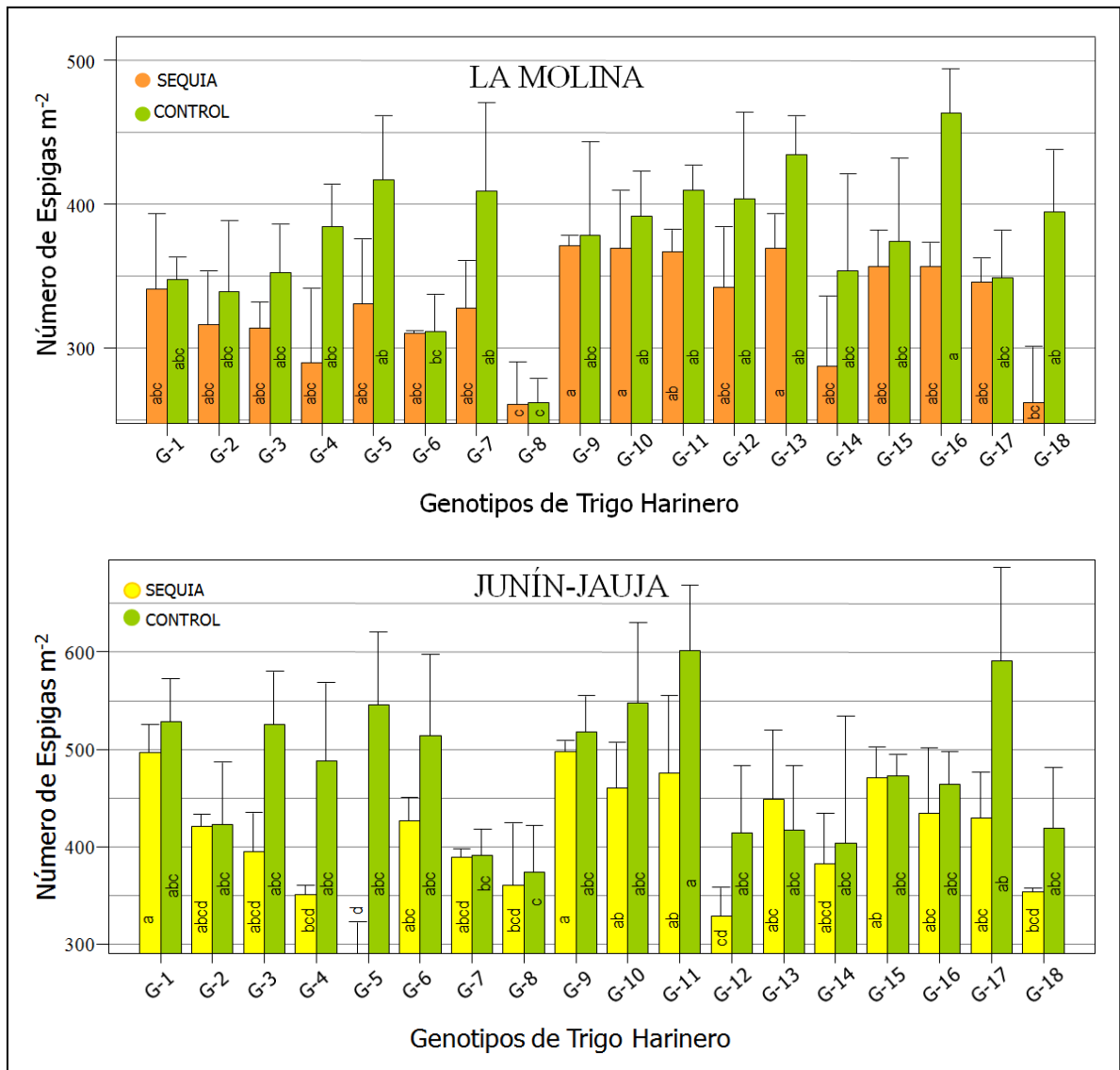
**Figura 20.** Distribución de los valores de Rendimiento (REN) de 18 genotipos de trigo (*Triticum aestivum s sp aestivum*) bajo condiciones de sequía en los ambientes de La Molina y Junín-Jauja.

Los genotipos que presentaron valores menores del rendimiento en condiciones de sequía en los ambientes de La Molina y Junín-Jauja se encuentran en el cuadrante inferior izquierdo y fueron los genotipos, G-18, G-4, G-5, G-8 y G-13 (Figura 20), con valores iguales a 2382.86, 2468.32, 2489.72, 3003.31 y 3007.89 Kg ha<sup>-1</sup>; respectivamente.

### Número de espigas m<sup>-2</sup> (NEM)

En la Tabla 6 se muestra el análisis de variancia individual y combinado, para la variable número de espigas m<sup>-2</sup>. En el análisis individual los genotipos conducidos en los ensayos de, LM-Control, LM-Sequía, JIJ-Control y JIJ-sequía (2012-2013), presentaron diferencias estadísticas altamente significativas, con coeficiente de variación de 11.20, 10.40, 13.96 y 10.38 %; respectivamente, los cuales se encuentran en el rango permisible para este tipo de ensayo, así mismo los coeficientes de determinación proyectan una explicación de la variancia en función de los factores en estudio del presente en un 66, 62, 64 y 75 %; respectivamente, dejando un margen de influencia de factores no contemplados en el estudio de 34, 38, 36 y 25 %; respectivamente.

En el análisis combinado se puede ver que las interacciones: genotipo por tratamiento (G\*T), genotipo por ambiente (G\*A), tratamiento por ambiente (T\*A) y genotipo por tratamiento por ambiente (G\*T\*A), resultaron altamente significativas.

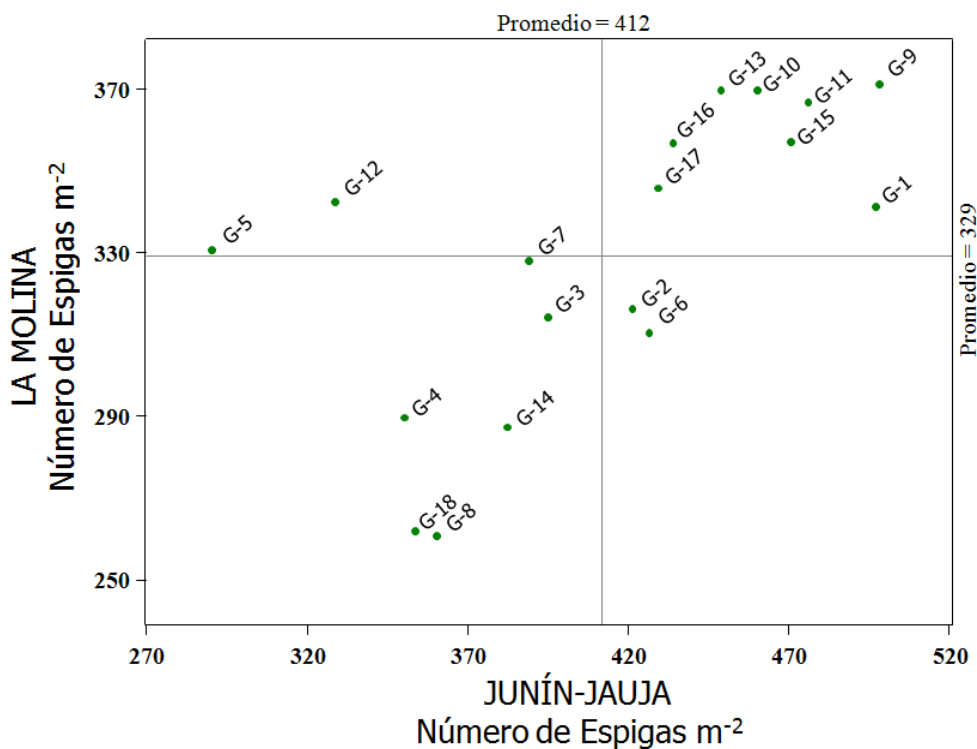


**Figura 21.** Comparación y dispersión de promedios de la variable Número de espigas m<sup>-2</sup> (NEM) de 18 genotipos de trigo (*Triticum aestivum* s *sp* *aestivum*), evaluadas en el tratamiento sequía y control en los ambientes de La Molina y Junín-Jauja, campaña 2012-2013. Medias con letras iguales no presentan diferencias estadísticas (Tukey, p > 0.05, n = 3).

En la Figura 21 se presenta los valores de número de espigas m<sup>-2</sup> obtenidos en el ambiente de La Molina. Se puede apreciar que los genotipos estudiados presentaron valores de número de espigas m<sup>-2</sup> diferentes en el tratamiento control y sequía, siendo el valor promedio en el tratamiento control de 376 espigas m<sup>-2</sup> que es significativamente superior al del tratamiento sequía de 329 espigas m<sup>-2</sup>, con un nivel de significancia p=0.01. El valor de número de espigas m<sup>-2</sup> de los genotipos varió entre 260 a 371 espigas m<sup>-2</sup> en el

tratamiento de sequía y de 262 a 463 espigas  $m^{-2}$  en el tratamiento control. Los genotipos G-9, G-10 y G-13 fueron los que mayor número de espigas  $m^{-2}$  obtuvieron y G-8 fue el que menor número de espigas  $m^{-2}$  presentó en ambos tratamientos.

En Junín-Jauja, se observó un comportamiento similar al de La Molina, los genotipos difieren en valores de número de espigas  $m^{-2}$  en forma significativa entre los tratamientos control y sequía. El promedio de número de espigas  $m^{-2}$  de los genotipos en el tratamiento control fue de 480 espigas  $m^{-2}$  que es significativamente mayor al del tratamiento sequía de 412 espigas  $m^{-2}$ , con un nivel de significancia  $p=0.01$ . El rango de número de espigas  $m^{-2}$  para los genotipos varió entre 291 a 498 espigas  $m^{-2}$  en el tratamiento de sequía y de 374 a 601 espigas  $m^{-2}$  en el tratamiento control. Los genotipos G-1 y G-9 fueron los que presentaron mayor número de espigas  $m^{-2}$  y los genotipos G-5 y G-12 fueron los que menor número de espigas  $m^{-2}$  obtuvieron en los dos tratamientos (Figura 21).



**Figura 22.** Distribución de los valores de Número de espigas  $m^{-2}$  (NEM) de 18 genotipos de trigo (*Triticum aestivum s sp aestivum*) bajo condiciones de sequía en los ambientes de La Molina y Junín-Jauja.

En la Figura 22 se presenta los resultados de la interacción genotipo x ambiente, del ANVA COMBINADO, concretamente con los valores del tratamiento sequía, en el cual se puede apreciar la distribución de número de espigas  $m^{-2}$  de los genotipos en promedio de los ambientes de La Molina y Junín-Jauja. En el cuadrante superior derecho se puede ver

los genotipos que presentaron mayor número de espigas  $m^{-2}$  en ambos ambientes del ensayo siendo estos G-9, G-11, G-15, G-10, G-13, G-1, G-16 y G-17. Estos genotipos presentaron valores promedio de número de espigas  $m^{-2}$  para ambos ambientes igual a 435, 421, 414, 415, 409, 419, 395 y 388 espigas  $m^{-2}$ ; respectivamente.

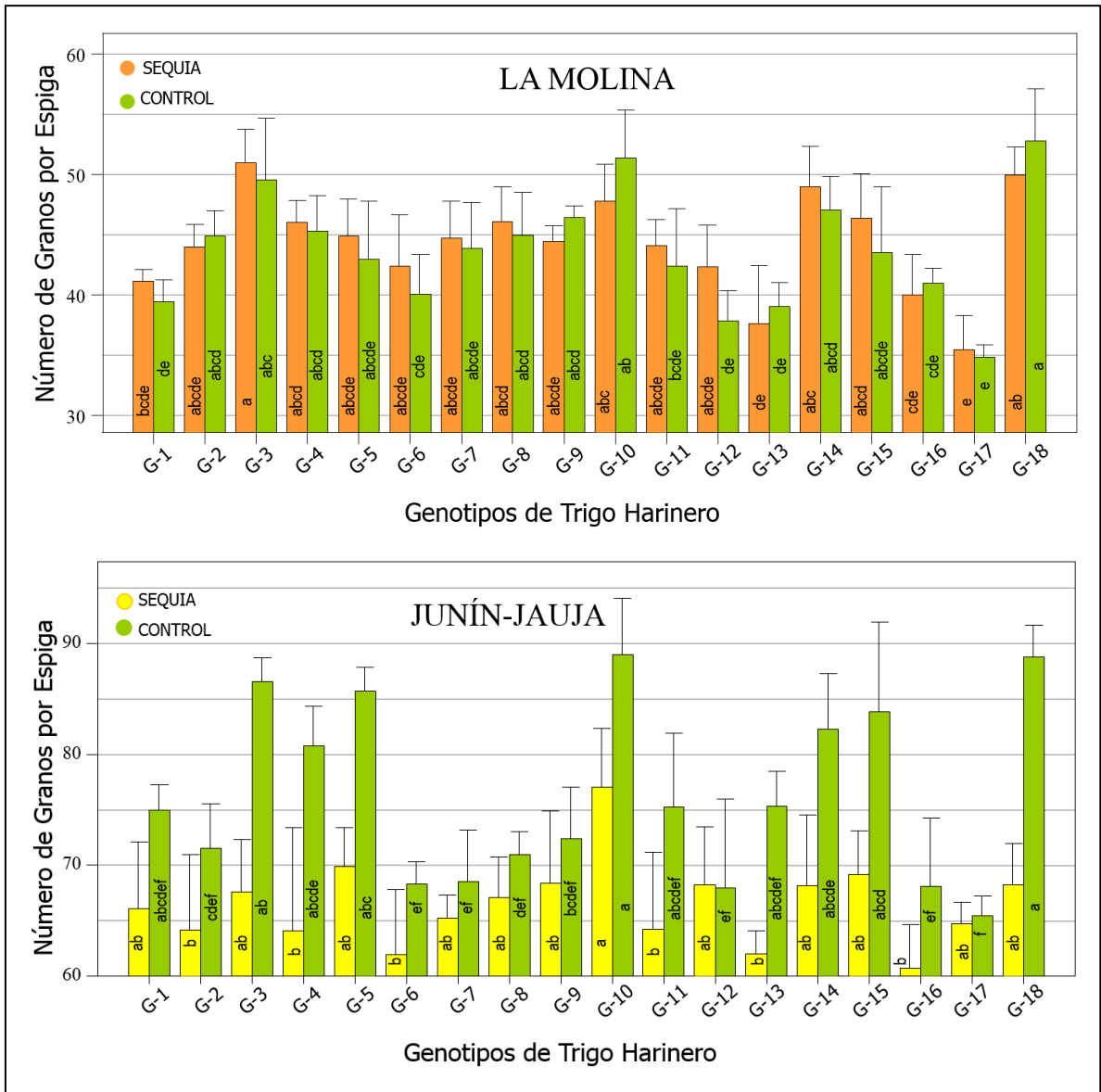
Los genotipos que mostraron valores menores de número de espigas  $m^{-2}$  en condiciones de sequía en los ambientes de La Molina y Junín-Jauja figuran en el cuadrante inferior izquierdo y fueron los genotipos, G-18, G-8, G-4, G-14 y G-3 (Figura 22), con valores iguales a 308, 311, 320, 335 y 354 espigas  $m^{-2}$ ; respectivamente.

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

El estudio de variancia individual y combinado, para la variable número de granos por espiga se presenta en la Tabla 6. En el análisis individual los genotipos conducidos en los ensayos de, LM-Control, LM-Sequía, JUJ-Control y JUJ-sequía (2012-2013), mostraron una diferencia estadística altamente significativa, con coeficientes de variación de 7.41, 6.73, 6.05 y 6.06 %; respectivamente, los cuales se encuentran en el rango permitido para este tipo de estudio, en la misma tabla se puede ver que los coeficientes de determinación proyectan una explicación de la variancia en función de los factores de estudio del presente en un 77, 73, 81 y 68 %; respectivamente, dejando un margen de influencia a factores externos al estudio de 23, 27, 19 y 32 %; respectivamente.

El análisis combinado se puede apreciar en la Tabla 6, donde las interacciones: genotipo por tratamiento (G\*T), genotipo por ambiente (G\*A), tratamiento por ambiente (T\*A) y genotipo por tratamiento por ambiente (G\*T\*A), resultaron estadísticamente significativos.

En la Figura 23 se muestra los valores de número de granos por espiga obtenidos en el ambiente de La Molina. El promedio de número de granos por espiga de los genotipos en el tratamiento control fue de 43 granos por espiga que se asemeja al del tratamiento sequía con 44 granos por espiga. El rango de número de granos por espiga de los genotipos varió de 36 a 51 granos por espiga en el tratamiento sequía y de 35 a 53 granos por espiga en el tratamiento control. Los genotipos G-3 y G-18 fueron los que mayor número de granos por espiga presentaron y G-17 fue el que menor número de granos por espiga obtuvo, en ambos tratamientos.

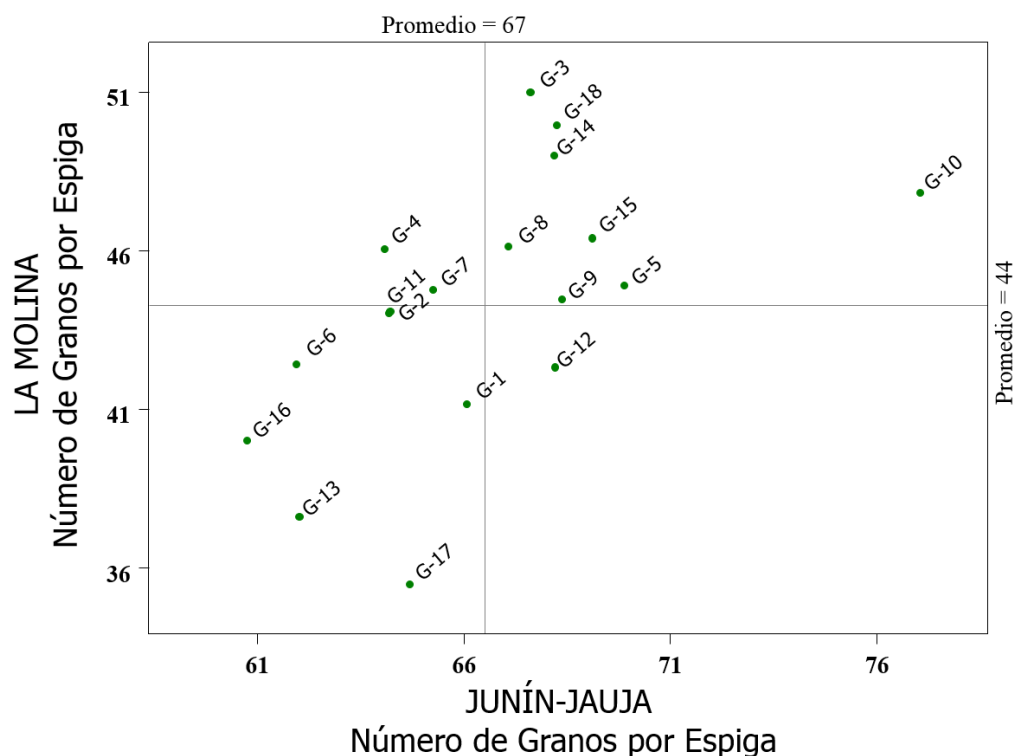


**Figura 23.** Comparación y dispersión de promedios de la variable Número de granos por espiga (NGE) de 18 genotipos de trigo (*Triticum aestivum* s *sp* *aestivum*), evaluadas en el tratamiento sequía y control en los ambientes de La Molina y Junín-Jauja, campaña 2012-2013. Medias con letras iguales no presentan diferencias estadísticas (Tukey,  $p > 0.05$ ,  $n = 3$ ).

En Junín-Jauja, los genotipos estudiados presentaron valores de número de granos por espiga diferentes en el tratamiento control y sequía. El promedio de número de granos por espiga de los genotipos a nivel de tratamiento control fue de 76 granos por espiga el cual es significativamente superior al del tratamiento sequía de 67 granos por espiga, con un nivel de significancia  $p=0.01$ . El rango de número de granos por espiga de los genotipos varió entre 61 a 77 granos por espiga en el tratamiento de sequía y de 66 a 89 granos por espiga en el tratamiento control. El genotipo G-10 fue el que mayor número de granos por espiga presentó en ambos tratamientos y los genotipos G-16 y G-13 fueron los que



experimentaron mayor reducción de número de granos por espiga por efecto de la sequía aplicada.



**Figura 24.** Distribución de los valores de Número de granos por espiga (NGE) de 18 genotipos de trigo (*Triticum aestivum s sp aestivum*) bajo condiciones de sequía en los ambientes de La Molina y Junín-Jauja.

Los resultados de la interacción genotipo x ambiente, del ANVA COMBINADO, concretamente con los valores del tratamiento sequía, se presentan en la Figura 24; en el cual se puede ver la distribución del número de granos por espiga de los genotipos en promedio de los ambientes de La Molina y Junín-Jauja. En el cuadrante superior derecho se puede apreciar los genotipos G-10, G-15, G-18, G-14, G-9, G-8, G-3 y G-5 que presentan mayor número de granos por espiga en ambos ambientes del ensayo. Estos genotipos presentaron valores promedio del número de granos por espiga para ambos ambientes igual a 62, 58, 59, 59, 56, 57, 59 y 57 granos por espiga; respectivamente.

Los genotipos que presentaron valores menores de número de granos por espiga en condiciones de sequía en los ambientes de La Molina y Junín-Jauja se encuentran en el cuadrante inferior izquierdo y fueron los genotipos G-13, G-16, G-17, G-6, G-1, G-2 y G-11 (Figura 12), con valores iguales a 50, 50, 50, 52, 54, 54 y 54 granos por espiga; respectivamente.

## Peso de granos por espiga (PGE)

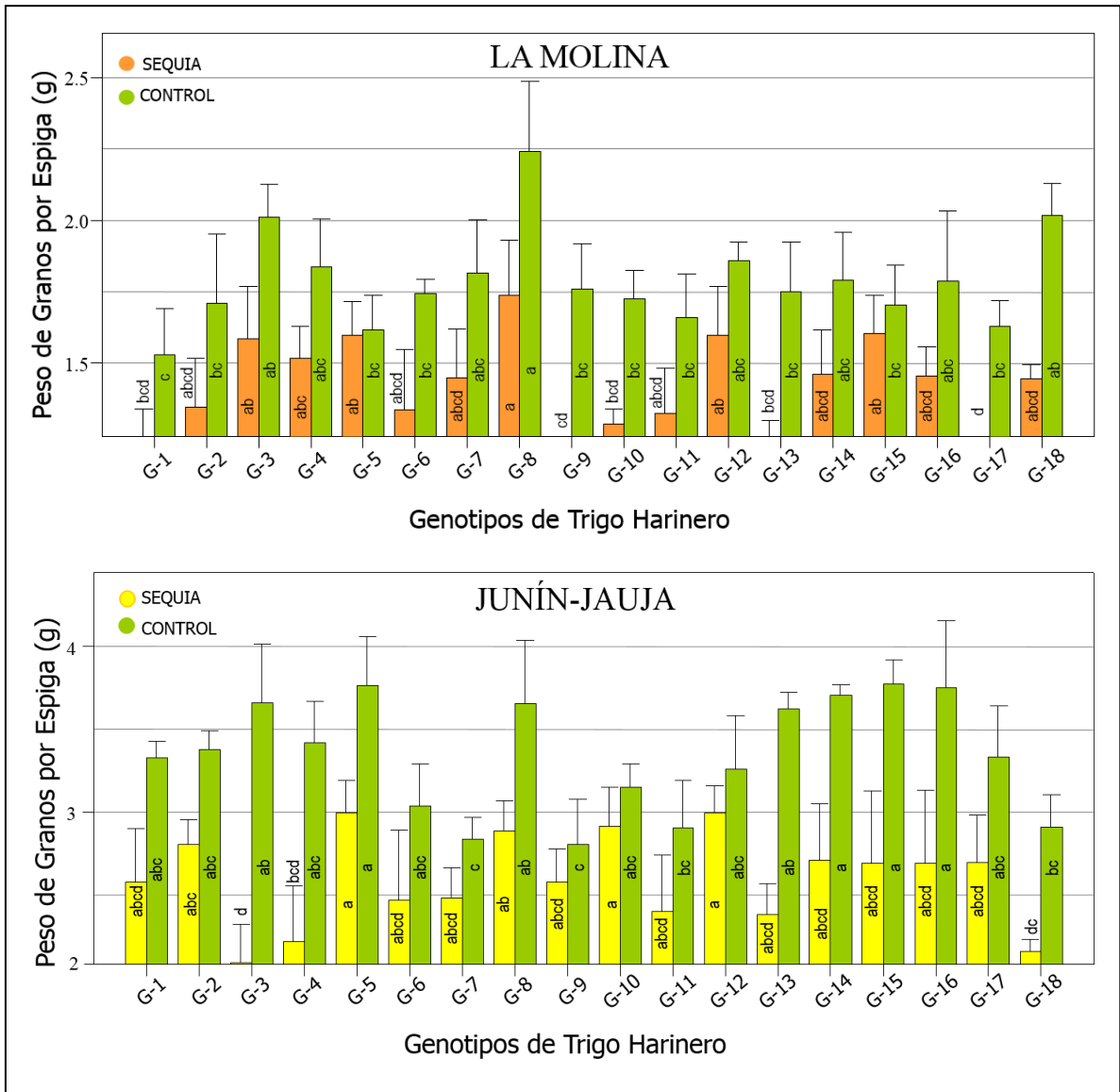
El análisis de variancia individual y combinado, para la variable peso de granos por espiga se presentan en la Tabla 7. En el análisis individual los genotipos conducidos en los ensayos de, LM-Control, LM-Sequía, JUU-Control y JUU-sequía (2012-2013), presentaron diferencias estadísticas altamente significativas, con coeficientes de variación de 8.30, 10.24, 7.42 y 8.39 %; respectivamente, los cuales se encuentran en el rango permisible para este tipo de experimentos y los coeficientes de determinación proyectan una explicación de la variancia en función de los factores en estudio del presente en un 68, 73, 75 y 79 %; respectivamente, dejando un margen de influencia a factores no contemplados en el estudio de 32, 27, 25 y 21 %; respectivamente.

**Tabla 7.** Resumen de análisis de varianza de las variables, Peso de granos por espiga (PGE), Peso de 1000 granos (PMG) e Índice de cosecha (IC) de 18 genotipos de trigo (*Triticum aestivum ssp aestivum*) en el tratamiento sequía y control. La Molina y Junín-Jauja 2012-2013.

Análisis Individual	Variables dependientes								
	PGE			PMG			IC		
	G <sup>†</sup>	C.V.	R <sup>2</sup>	G <sup>†</sup>	C.V.	R <sup>2</sup>	G <sup>†</sup>	C.V.	R <sup>2</sup>
LA MOLINA-Control	**	8.30	0.68	**	6.84	0.80	NS	13.93	0.33
LA MOLINA-Sequía	**	10.24	0.73	**	5.70	0.74	**	13.22	0.56
JUNÍN-JAUJA-Control	**	7.42	0.75	NS	10.96	0.51	**	19.76	0.65
JUNÍN-JAUJA-Sequía	**	8.39	0.79	**	5.97	0.65	**	16.15	0.65
<b>Análisis Combinado</b>									
Genotipo (G)	8.11**			9.15**			4.36**		
Tratamiento (T)	460.31**			382.65**			5.06*		
Ambiente (A)	2690.95**			67.47**			145.54**		
G*T	3.02**			1.92*			2.36**		
G*A	5.60**			1.43 NS			1.86*		
T*A	48.65**			0.02 NS			47.03**		
G*T*A	3.75**			1.62 NS			1.60 NS		

G: 18 Genotipos, T: Sequía y Control, A: La Molina y Junín-Jauja, C.V.: Coeficiente de variación (%) y R<sup>2</sup>: Coeficiente de determinación. † Probabilidad > F, (\*) significativo, (\*\*) altamente significativo.

El análisis combinado se puede apreciar en la Tabla 7, donde las interacciones: genotipo por tratamiento (G\*T), genotipo por ambiente (G\*A), tratamiento por ambiente (T\*A) y genotipo por tratamiento por ambiente (G\*T\*A), resultaron altamente significativos.

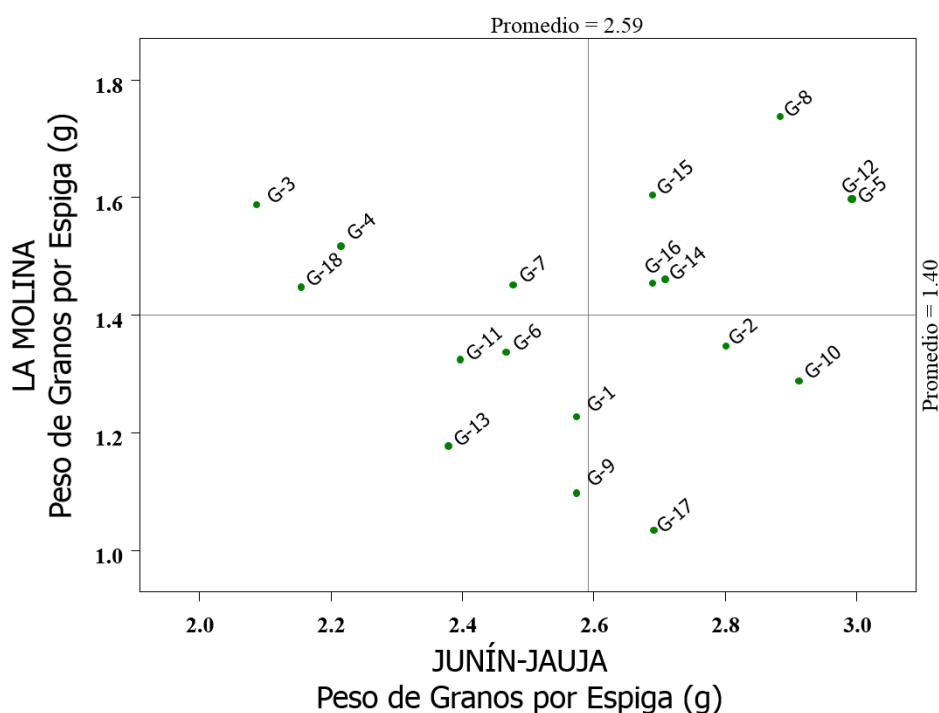


**Figura 25.** Comparación y dispersión de promedios de la variable Peso de granos por espiga (PGE) de 18 genotipos de trigo (*Triticum aestivum s sp aestivum*), evaluadas en el tratamiento sequía y control en los ambientes de La Molina y Junín-Jauja, campaña 2012-2013. Medias con letras iguales no presentan diferencias estadísticas (Tukey,  $p > 0.05$ ,  $n = 3$ ).

En la Figura 25 se presenta los valores de peso de granos por espiga de los 18 genotipos de trigo obtenidos en el ambiente de La Molina. Se puede ver que los genotipos estudiados presentaron valores de peso de granos por espiga diferentes en el tratamiento control y sequía, siendo el valor promedio en el tratamiento control de 1.79 g que es significativamente mayor al del tratamiento sequía de 1.40 g, con un nivel de significancia  $p=0.01$ . El rango de peso de granos por espiga de los genotipos estudiados varió entre 1.03 a 1.74 g en el tratamiento de sequía y de 1.53 a 2.24 g en el tratamiento control. El genotipo G-8 fue el que mayor peso de granos por espiga presentó en ambos tratamientos

del ensayo y los genotipos que mayor reducción del peso de granos por espiga experimentaron por el efecto de la sequía aplicada fueron G-17, G-9, G-13 y G-1.

En Junín-Jauja, se observó un comportamiento similar del peso de granos por espiga de los genotipos estudiados en La Molina, los genotipos difirieron estadísticamente en valores de peso de granos por espiga en forma significativa entre los tratamientos control y sequía. El promedio de peso de granos por espiga de los genotipos en el tratamiento control fue de 3.35 g que es significativamente mayor al del tratamiento sequía de 2.59 g, a un nivel de significancia  $p=0.01$ . El rango de peso de granos por espiga de los genotipos varió entre 2.09 a 3.00 g en el tratamiento sequía y de 2.80 a 3.77 g en el tratamiento control. En la Figura 25 también se puede observar que los genotipos con mayor peso de granos por espiga en los dos tratamientos del ensayo fueron G-5, G-10 y G-12 y los genotipos G-3, G-4 y G-18 fueron los que menor peso de granos por espiga presentaron en el tratamiento sequía.



**Figura 26.** Distribución de los valores de Peso de granos por espiga (PGE) de 18 genotipos de trigo (*Triticum aestivum s sp aestivum*) bajo condiciones de sequía en los ambientes de La Molina y Junín-Jauja.

En la Figura 26 se presenta los resultados de la interacción genotipo x ambiente, del ANVA COMBINADO, específicamente con los valores del tratamiento sequía, en el cual se puede ver la distribución del peso de granos por espiga de los genotipos en promedio de los ambientes de La Molina y Junín-Jauja. En el cuadrante superior derecho de la figura se

puede apreciar a los genotipos G-8, G-12, G-5, G-15, G-14 y G-16 que presentaron mayor peso de granos por espiga en ambos ambientes. Estos genotipos presentaron valores promedio de peso de granos por espiga para ambos ambientes igual a 2.31, 2.29, 2.30, 2.15, 2.08 y 2.07 g; respectivamente.

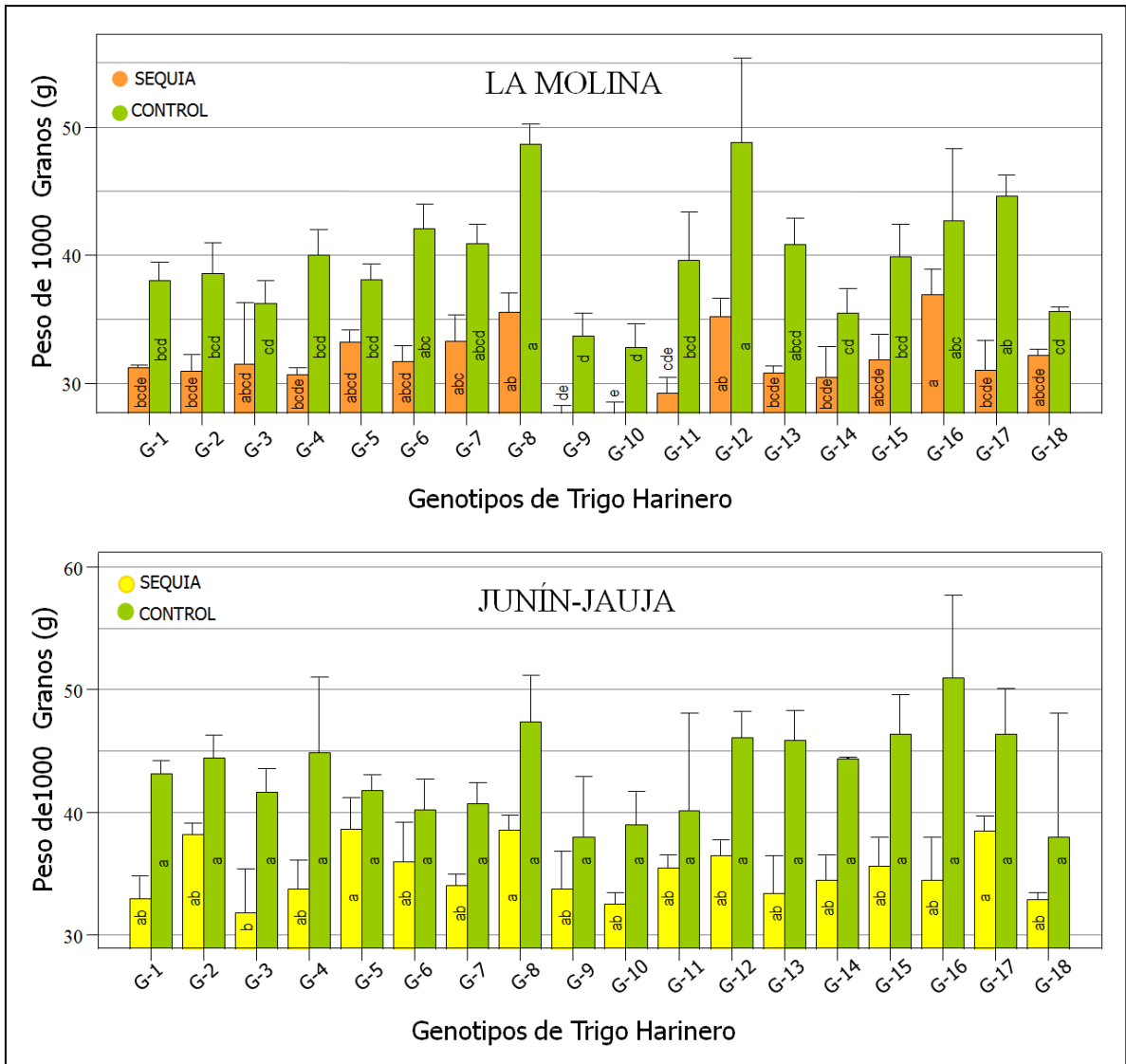
Los genotipos que presentaron valores menores de peso de granos por espiga en condiciones de sequía en los ambientes de La Molina y Junín-Jauja se muestran en el cuadrante inferior izquierdo y fueron los genotipos, G-13, G-11, G-6, G-9 y G-1 (Figura 26), con valores iguales a 1.78, 1.86, 1.90, 1.84 y 1.90 g; respectivamente.

### **Peso de 1000 granos (PMG)**

En la Tabla 7, se muestra el análisis de variancia individual y combinado para la variable peso de 1000 granos. En el análisis individual los genotipos conducidos en los ensayos de, LM-Control, LM-Sequía y JUU-sequía, presentaron diferencias estadísticas altamente significativas y en JUU-Control no hubo diferencias significativas, con coeficientes de variación de 6.84, 5.70, 5.97 y 10.96 %; respectivamente, los cuales se encuentran en el rango permisible para este tipo de ensayo, así mismo indicar que los coeficientes de determinación de los ensayos que presentaron diferencias estadísticas, proyectan una explicación de la variación en función de los factores en estudio en un 80, 74 y 65 %; respectivamente, dejando un margen de influencia a factores no contemplados en el estudio de 20, 26 y 35 %; respectivamente.

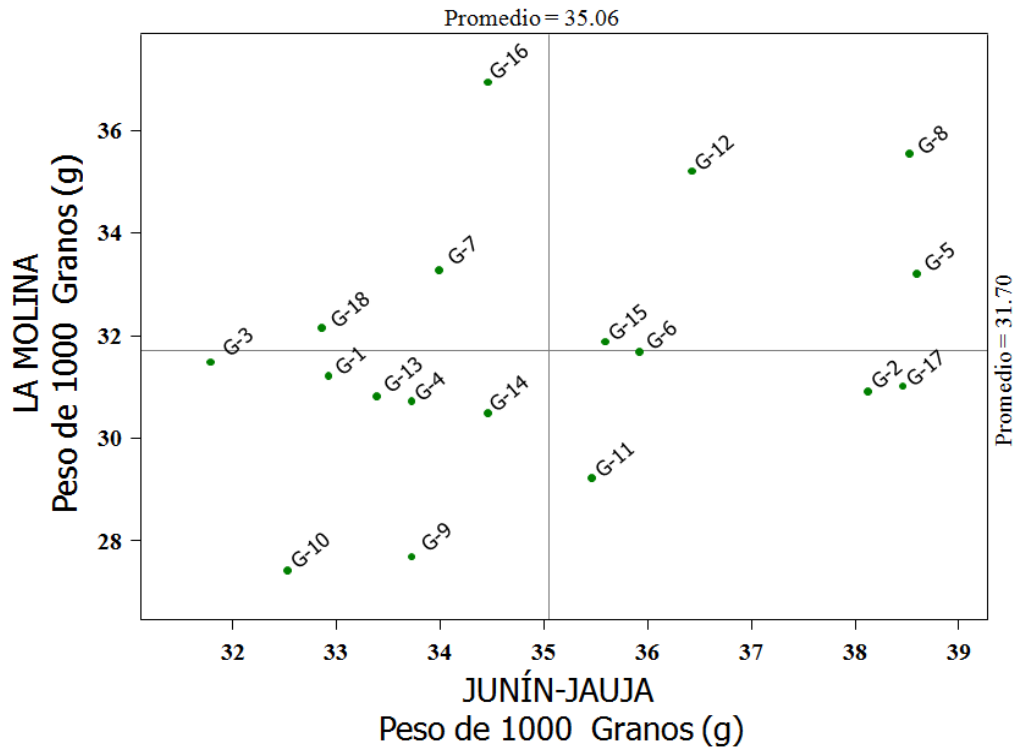
En el análisis combinado se puede ver que los: genotipos, tratamientos, ambientes y la interacción genotipo por tratamiento (G\*T), resultaron estadísticamente significativos.

En la Figura 27 se presentan los valores de peso de 1000 granos de los 18 genotipos de trigo estudiados en los tratamientos control y sequía en el ambiente de La Molina. Se puede ver que los genotipos mostraron valores de peso de 1000 granos diferentes en el tratamiento control y sequía, siendo el valor promedio en el tratamiento control de 39.79 g que es significativamente superior al del tratamiento sequía de 31.70 g, con un nivel de significancia  $p=0.05$ . El rango de peso de 1000 granos de los genotipos varió entre 27.40 a 36.93 g en el tratamiento sequía y de 32.80 a 48.83 g en el tratamiento control. Los genotipos con mayor peso de 1000 granos en los dos ambientes del experimento fueron G-16, G-12 y G-8. Los genotipos G-10 y G-9 fueron los que experimentaron mayor reducción de peso de 1000 granos por efecto de la sequía.



**Figura 27.** Comparación y dispersión de promedios de la variable Peso de 1000 granos (PMG) de 18 genotipos de trigo (*Triticum aestivum* s *sp* *aestivum*), evaluadas en el tratamiento sequía y control en los ambientes de La Molina y Junín-Jauja, campaña 2012-2013. Medias con letras iguales no presentan diferencias estadísticas (Tukey,  $p > 0.05$ ,  $n = 3$ ).

En Junín-Jauja, se observó un comportamiento muy similar al de La Molina, donde los genotipos difirieron en valores de peso de 1000 granos en forma significativa entre los tratamientos control y sequía. El promedio de peso de 1000 granos de los genotipos en el tratamiento control fue de 43.28 g que es significativamente superior al del tratamiento sequía de 35.06 g, con un nivel de significancia  $p=0.05$ . Sin embargo, no hubo diferencias significativas entre genotipos dentro del tratamiento control (Figura 27). El rango de peso de 1000 granos de los genotipos varió de 31.80 a 38.60 g en el tratamiento sequía y de 38.00 a 51.00 g en el tratamiento control. Los genotipos G-8, G-5 y G-17 fueron los que presentaron menor reducción de peso de 1000 granos por efecto de la sequía.



**Figura 28.** Distribución de los valores de Peso de 1000 granos (PMG) de 18 genotipos de trigo (*Triticum aestivum* s sp *aestivum*) bajo condiciones de sequía en los ambientes de La Molina y Junín-Jauja.

Considerando la interacción genotipo x ambiente, del ANVA COMBINADO, específicamente con los valores del tratamiento sequía, se elaboró la Figura 28; en el cual se puede apreciar la distribución de peso de 1000 granos de los genotipos en promedio de los ambientes de La Molina y Junín-Jauja. En el cuadrante superior derecho se puede apreciar a los genotipos G-8, G-12, G-5 y G-15 que presentaron mayor peso de 1000 granos en ambos ambientes del ensayo. Estos genotipos presentaron valores promedio de peso de 1000 granos para ambos ambientes igual a 37.03, 35.82, 35.90 y 33.73 g; respectivamente.

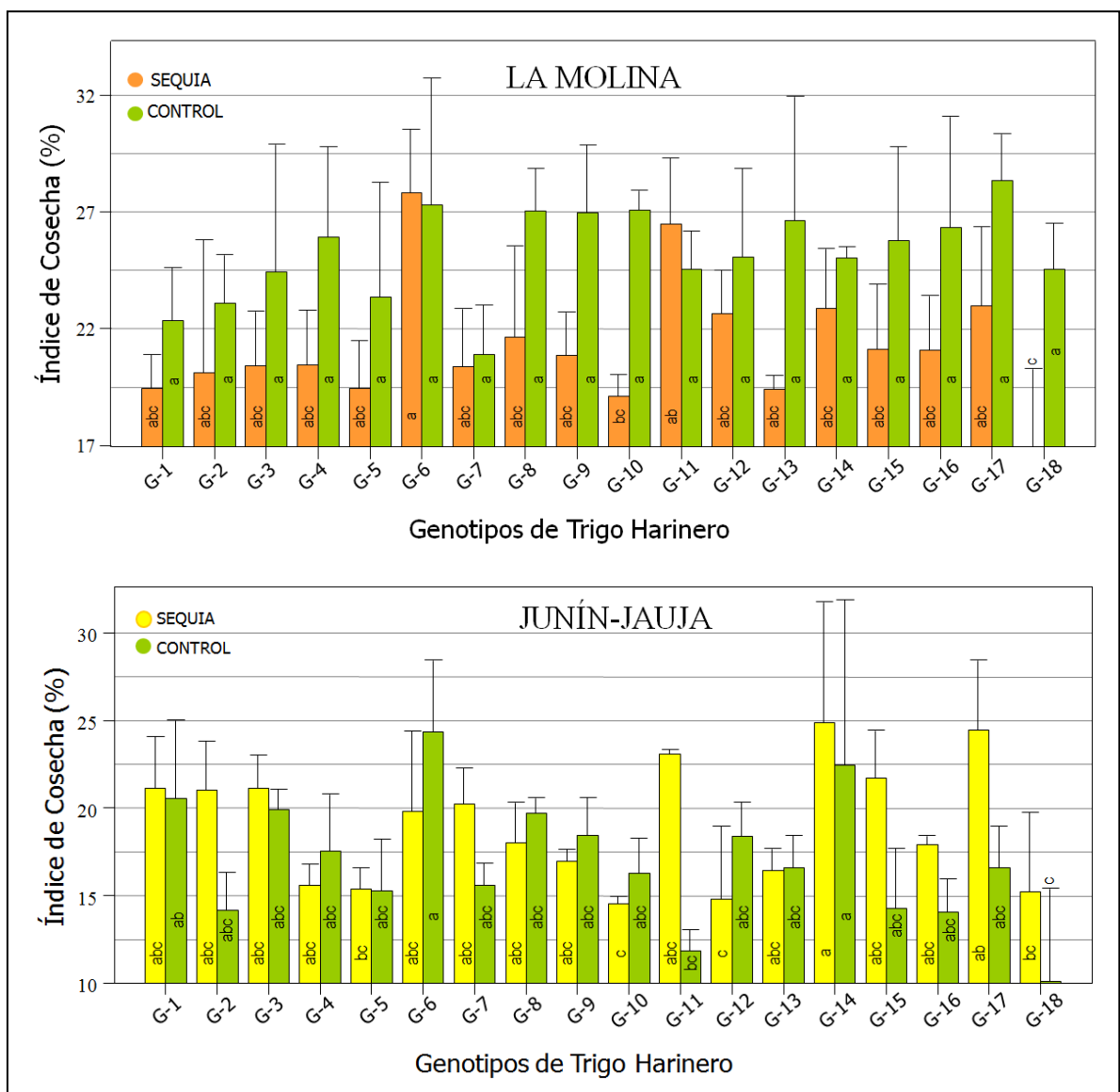
Los genotipos que presentaron valores menores de peso de 1000 granos en condiciones de sequía en los ambientes de La Molina y Junín-Jauja figuran en el cuadrante inferior izquierdo y fueron los genotipos, G-10, G-9, G-4, G-1, G-14 y G-13 (Figura 28), con valores iguales a 29.97, 30.70, 32.22, 32.07, 32.47 y 32.10 g; respectivamente.

### Índice de cosecha (IC)

En la Tabla 7 se presenta el análisis de variancia individual y combinado para la variable índice de cosecha. En el análisis individual los genotipos conducidos en los ensayos de, LM-Sequía, JUI-Control y JUI-sequía, presentaron diferencias estadísticas altamente

significativas y en LM-Control no hubo diferencias significativas, con coeficientes de variación de 13.22, 19.76, 16.15 y 13.93 %; respectivamente. Los coeficientes de determinación de los ensayos que presentaron diferencias estadísticas altamente significativas proyectan una explicación de la variancia en función de los factores en estudio del presente en un 56, 65 y 65 %; respectivamente, dejando un margen de influencia a factores no contemplados en el estudio de 44, 35 y 35 %; respectivamente.

En el análisis combinado de la Tabla 7 se puede ver que resultaron estadísticamente significativas las interacciones: genotipo por tratamiento (G\*T), genotipo por ambiente (G\*A) y tratamiento por ambiente (T\*A).



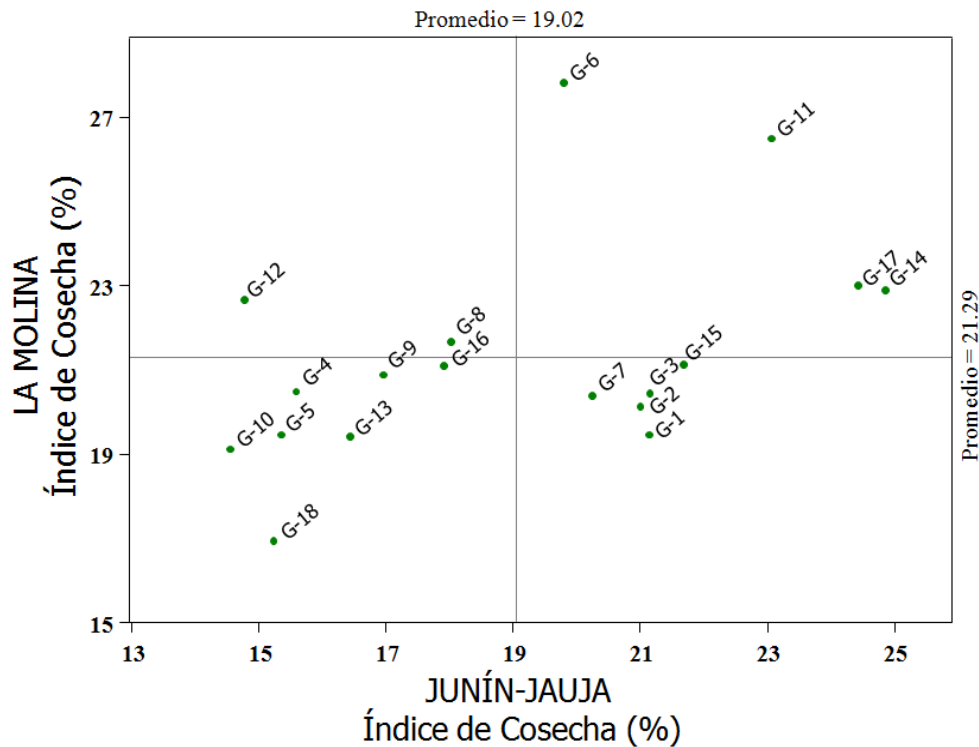
**Figura 29.** Comparación y dispersión de promedios de la variable Índice de cosecha (IC) de 18 genotipos de trigo (*Triticum aestivum s sp aestivum*), evaluadas en el tratamiento sequía y control en los ambientes de La Molina y Junín-Jauja, campaña 2012-2013. Medias con letras iguales no presentan diferencias estadísticas (Tukey,  $p > 0.05$ ,  $n = 3$ ).



En la Figura 29 se presenta los valores de índice de cosecha evaluados en el ambiente de La Molina. Se puede apreciar que los genotipos estudiados presentaron valores de índice de cosecha diferentes en el tratamiento control y sequía, siendo el valor promedio en el tratamiento control de 25.26 % que es significativamente superior al del tratamiento sequía de 21.29 %, con un nivel de significancia  $p=0.01$ . El rango de índice de cosecha de los genotipos varió de 27.81 a 16.93 % en el tratamiento sequía y de 28.33 a 20.91 % en el tratamiento control. El genotipo G-6 fue el que presentó mayor índice de cosecha en ambos tratamientos y G-18 fue el que mayor reducción de índice de cosecha experimentó por efecto de la sequía, presentando una reducción de 7.63 %.

En el ambiente de Junín-Jauja, se observó que los genotipos difieren en valores de índice de cosecha en forma significativa entre los tratamientos control y sequía. El promedio de índice de cosecha de los genotipos en el tratamiento sequía fue de 19.02 % que es significativamente superior al del tratamiento control de 17.01 %, con un nivel de significancia  $p=0.01$ . El valor de índice de cosecha de los genotipos varió entre 14.55 a 24.87 % en el tratamiento sequía y de 10.13 a 24.33 % en el tratamiento control. El genotipo G-14 fue el que mayor índice de cosecha presentó en los dos tratamientos de estudio y los genotipos G-10 y G-12 fueron los que menor índice de cosecha presentaron en el tratamiento sequía (Figura 29).

Considerando los resultados de la interacción genotipo x ambiente, del ANVA COMBINADO, específicamente con los valores del tratamiento sequía, se elaboró la Figura 30; en el cual se puede apreciar la distribución de índice de cosecha de los genotipos en promedio de los ambientes de La Molina y Junín-Jauja. En el cuadrante superior derecho se puede ver a los genotipos con mejores valores de índice de cosecha en ambos ambientes como G-11, G-6, G-17 y G-14. Estos genotipos presentaron valores promedio de índice de cosecha para ambas localidades igual a 24.78, 23.80, 23.71 y 23.87 %; respectivamente.



**Figura 30.** Distribución de los valores de Índice de cosecha (IC) de 18 genotipos de trigo (*Triticum aestivum s sp aestivum*) bajo condiciones de sequía en los ambientes de La Molina y Junín-Jauja.

Los genotipos que presentaron valores menores de índice de cosecha en condiciones de sequía en los ambientes de La Molina y Junín-Jauja se encuentran en el cuadrante inferior izquierdo y fueron los genotipos, G-18, G-10, G-5, G-16, G-13, G-9 y G-4 (Figura 30), con valores iguales a 16.09, 16.83, 17.40, 19.50, 17.92, 18.92 y 18.03 %; respectivamente.

#### Número de días transcurridos al 50% de emergencia de espigas (NDE)

El análisis de variancia individual y combinado, para la variable número de días transcurridos al 50% de emergencia de espigas se presenta en la Tabla 8. En el análisis individual los genotipos conducidos en los ensayos de LM-Control, LM-Sequía, JIJ-Control y JIJ-sequía (2012-2013), presentaron diferencias estadísticas altamente significativas, con coeficientes de variación de 3.22, 3.09, 3.22 y 2.51 %; respectivamente y con coeficientes de determinación que proyectan una explicación de la variancia en función de los genotipos estudiados en un 79, 89, 83 y 87 %; respectivamente, dejando un margen de influencia de factores no contemplados en el estudio de 21, 11, 17 y 13 %; respectivamente.

En el análisis combinado de la Tabla 8, se puede ver que los: genotipos, tratamientos, ambiente y la interacción genotipo por ambiente (G\*A) resultaron altamente significativos,

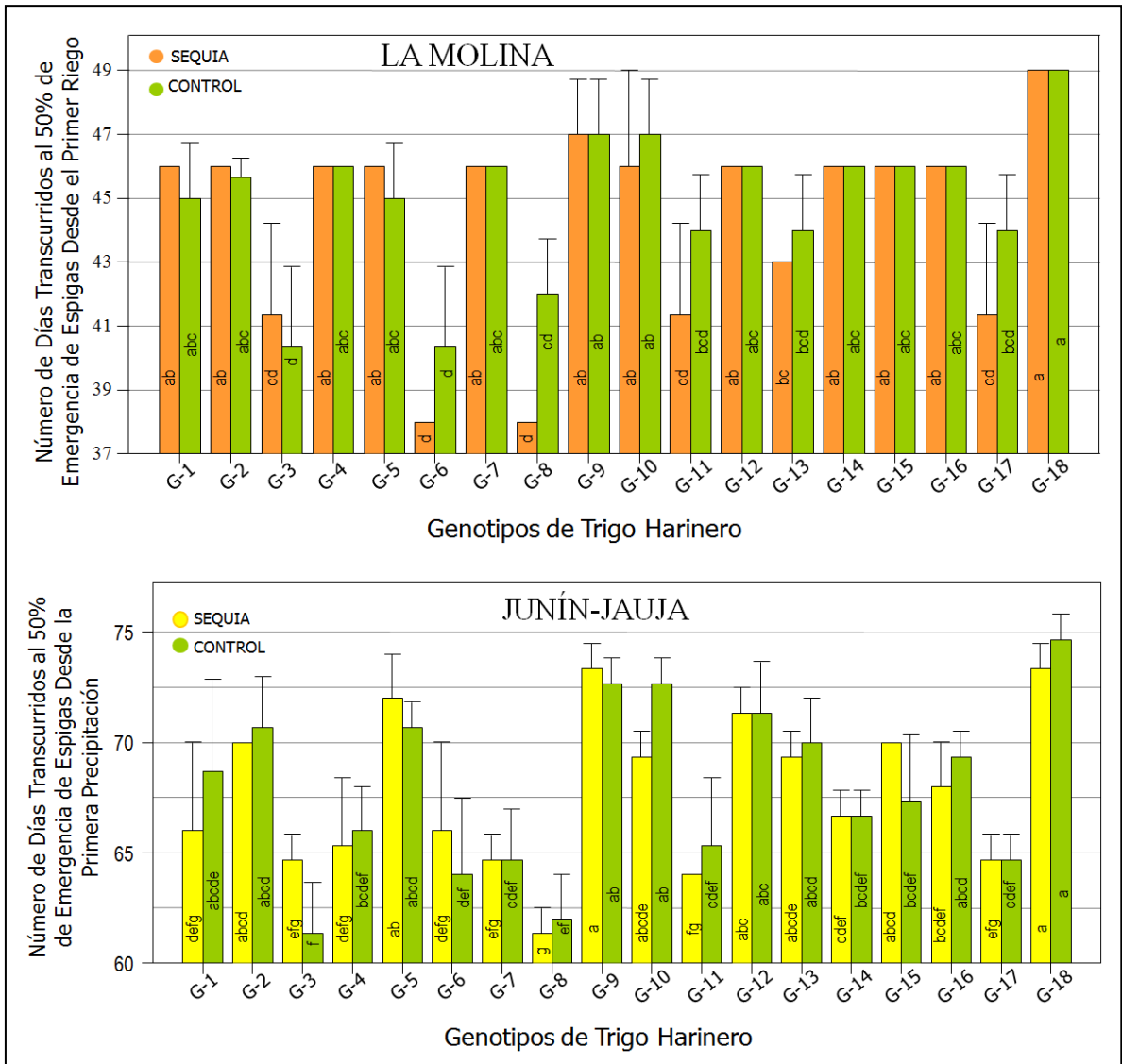
en la misma tabla se puede apreciar que no hubo diferencias estadísticas para las demás interacciones, lo cual pudo deberse a que se inició la aplicación del estrés por sequía durante el estado de bota o inicio de espigado de las plantas.

**Tabla 8.** Resumen de análisis de varianza de las variables, Número de días transcurridos al 50% de emergencia de espigas (NDE) y Número de días transcurridos al 50% de madurez de granos (NDM) de 18 genotipos de trigo (*Triticum aestivum s sp aestivum*) en el tratamiento sequía y control. La Molina y Junín-Jauja 2012-2013.

Análisis Individual	Variables dependientes					
	NDE			NDM		
	G <sup>†</sup>	C.V.	R <sup>2</sup>	G <sup>†</sup>	C.V.	R <sup>2</sup>
LA MOLINA-Control	**	3.22	0.79	**	4.11	0.79
LA MOLINA-Sequía	**	3.09	0.89	**	2.03	0.92
JUNÍN-JAUJA-Control	**	3.22	0.83	**	1.45	0.89
JUNÍN-JAUJA-Sequía	**	2.51	0.87	**	1.89	0.86
<b>Análisis Combinado</b>						
Genotipo (G)	34.87**			28.63**		
Tratamiento (T)	2.41 NS			375.29**		
Ambiente (A)	9943.53**			21705.80**		
G*T	1.45 NS			4.93**		
G*A	5.44**			8.28**		
T*A	0.84 NS			4.44*		
G*T*A	1.10 NS			3.28**		

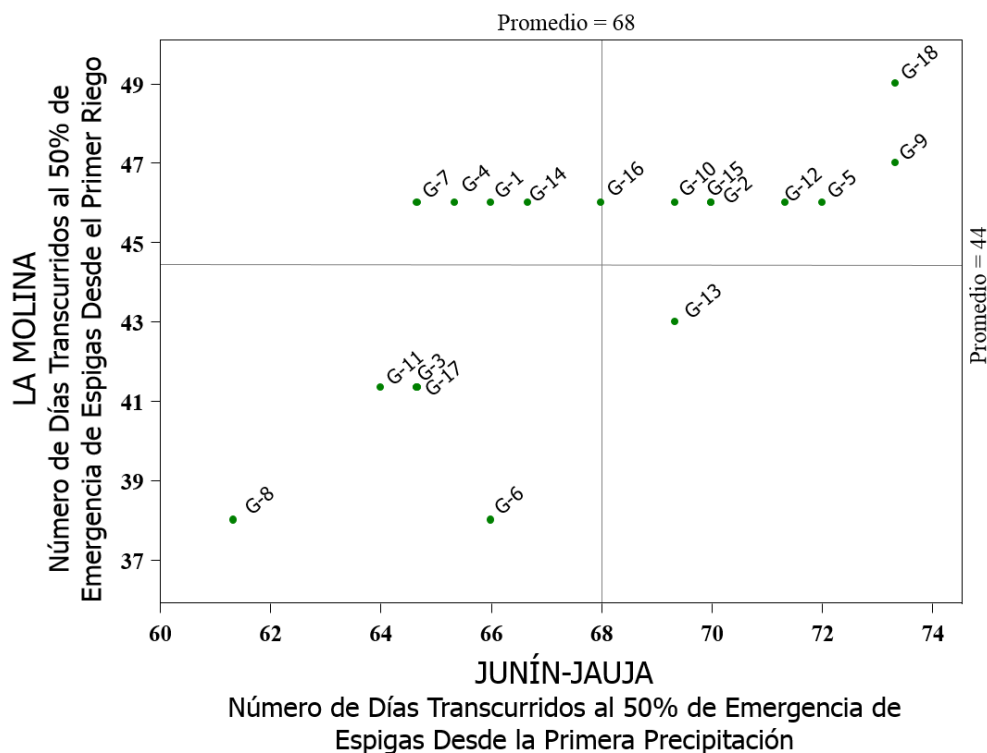
G: 18 Genotipos, T: Sequía y Control, A: La Molina y Junín-Jauja, C.V.: Coeficiente de variación (%) y R<sup>2</sup>: Coeficiente de determinación. † Probabilidad > F, (\*) significativo, (\*\*) altamente significativo.

En la Figura 31 se presenta los valores de la emergencia de espigas de los 18 genotipos de trigo en el ambiente de La Molina. El promedio de la emergencia de espigas de los genotipos fue de 45 días en el tratamiento control y de 44 días en el tratamiento sequía. El rango de la emergencia de espigas de los genotipos varió entre 38 a 49 días en el tratamiento sequía y de 40 a 49 días en el tratamiento control. El genotipo que requirió mayor número de días para la emergencia de espigas fue G-18 y los genotipos que requirieron menor número de días para la emergencia de espigas fueron G-6 y G-8, en ambos tratamientos.



**Figura 31.** Comparación y dispersión de promedios de la variable Número de días transcurridos al 50% de emergencia de espigas (NDE) de 18 genotipos de trigo (*Triticum aestivum s sp aestivum*), evaluadas en el tratamiento sequía y control en los ambientes de La Molina y Junín-Jauja, campaña 2012-2013. Medias con letras iguales no presentan diferencias estadísticas (Tukey,  $p > 0.05$ ,  $n = 3$ ).

El comportamiento de la emergencia de espigas de los 18 genotipos de trigo en Junín-Jauja se lo presenta en la Figura 31. La emergencia de espigas promedio de los genotipos fue de 68 días tanto para el tratamiento control y sequía. El rango de la emergencia de espigas de los genotipos varió entre 61 a 73 días en el tratamiento sequía y de 61 a 75 días en el tratamiento control. Los genotipos que requirieron mayor número de días para la emergencia de espigas fueron G-18 y G-9 y el genotipo G-8 fue el que requirió menor número de días para la emergencia de espigas, en ambos tratamientos.



**Figura 32.** Distribución de los valores de Número de días transcurridos al 50% de emergencia de espigas (NDE) de 18 genotipos de trigo (*Triticum aestivum s sp aestivum*) bajo condiciones de sequía en los ambientes de La Molina y Junín-Jauja.

En la Figura 32 se presenta los resultados de la interacción genotipo x ambiente, del ANVA COMBINADO, concretamente con los valores del tratamiento sequía, en el cual se puede ver la distribución de número de días para la emergencia de espigas de los genotipos de trigo en promedio de los ambientes de La Molina y Junín-Jauja. En el cuadrante superior derecho se puede apreciar a los genotipos G-18, G-9, G-5, G-12, G-15, G-2 y G-10, que requirieron mayor número de días para la emergencia de espigas en ambos ambientes del experimento. Estos genotipos presentaron valores promedio de la emergencia de espigas para ambos ambientes igual a 61, 60, 59, 59, 58, 58 y 58 días; respectivamente.

Los genotipos que presentaron valores menores de número de días para la emergencia de espigas en condiciones de sequía en los ambientes de La Molina y Junín-Jauja figuran en el cuadrante inferior izquierdo y fueron los genotipos, G-8, G-11, G-3, G-17 y G-6 (Figura 32), con valores iguales a 50, 53, 53, 53 y 52 días; respectivamente.

### Número de días transcurridos al 50% de madurez de granos (NDM)

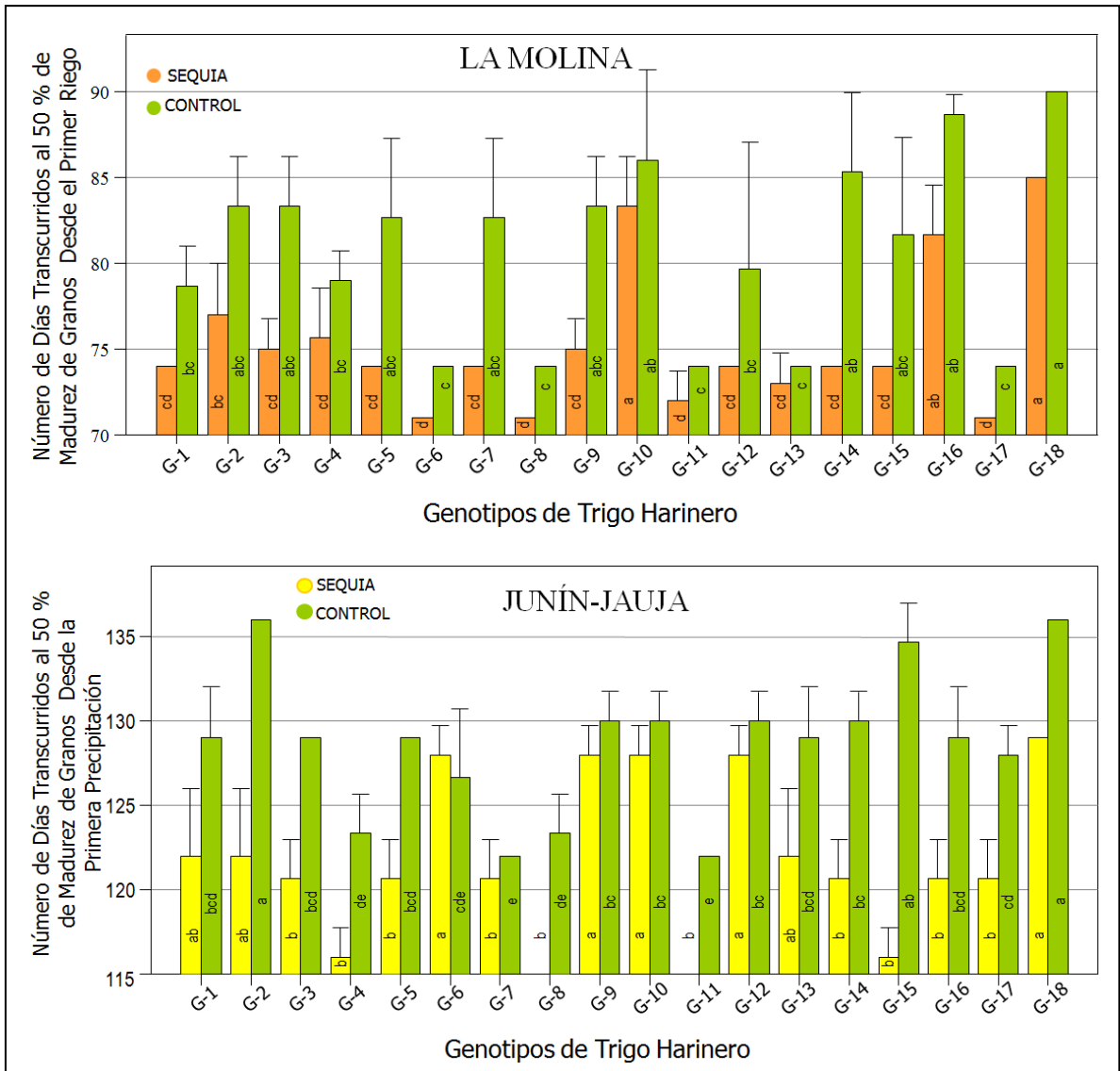
En la Tabla 8 se muestra el análisis de variancia individual y combinado, para la variable número de días transcurridos al 50% de madurez de granos. En el análisis individual los

genotipos conducidos en los ensayos de, LM-Control, LM-Sequía, JUU-Control y JUU-sequía (2012-2013), presentaron diferencias estadísticas altamente significativas, con coeficientes de variación de 4.11, 2.03, 1.45 y 1.86 %; respectivamente, los cuales se encuentran en el rango válido para este tipo de ensayos. Los coeficientes de determinación proyectan una explicación de la variancia en función de los factores en estudio del presente en un 79, 92, 89 y 86 %; respectivamente, dejando un margen de influencia a factores no contemplados en el estudio de 21, 8, 11 y 14 %; respectivamente.

En el análisis combinado se puede observar que las interacciones: genotipo por tratamiento (G\*T), genotipo por ambiente (G\*A), tratamiento por ambiente (T\*A) y genotipo por tratamiento por ambiente (G\*T\*A) presentaron resultados estadísticos altamente significativos.

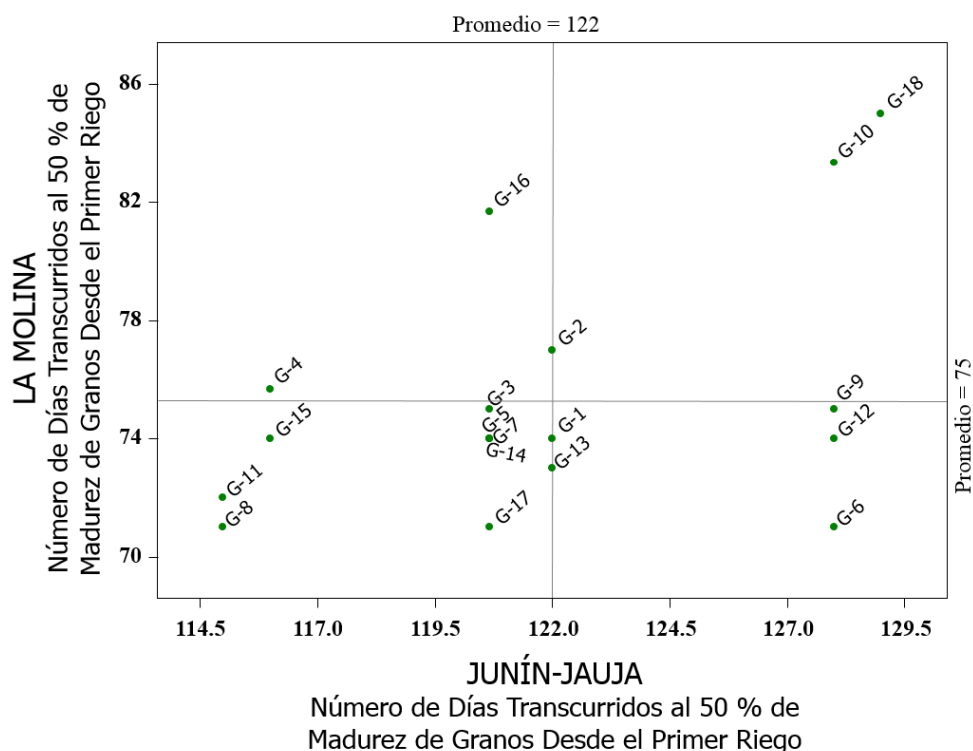
En la Figura 33, se presenta los valores de maduración de granos de trigo evaluados en el ambiente de La Molina. Se puede ver que los genotipos estudiados presentaron diferencias de número de días para alcanzar la madurez de granos en el tratamiento control y sequía. Los genotipos requirieron un valor promedio de 81 días para alcanzar la madurez en el tratamiento control que es significativamente superior al número de 75 días requerido en el tratamiento sequía, con un nivel de significancia  $p=0.01$ . El rango de maduración para los genotipos varió de 71 a 85 días en el tratamiento sequía y de 74 a 90 días en el tratamiento control. Los genotipos G-18 y G-10 fueron los más tardíos y los genotipos G-6, G-8, G-11 y G-17 fueron los que mayor precocidad presentaron en los dos tratamientos del ensayo.

En Junín-Jauja, se observó un comportamiento similar al de La Molina, los genotipos presentaron diferencias en los valores de número de días requeridos para llegar a la maduración de granos entre los tratamientos control y sequía. El promedio de número de días requeridos para la maduración de granos de trigo en el tratamiento control fue de 129 días que es significativamente mayor al número de días requeridos en el tratamiento sequía de 122 días, con un nivel de significancia  $p=0.01$ . El genotipo G-18 fue el más tardío en ambos tratamientos y los genotipos G-8, G-11 y G-15 fueron los más precoces en el tratamiento sequía (Figura 33).



**Figura 33.** Comparación y dispersión de promedios de la variable Número de días transcurridos al 50% de madurez de granos (NDM) de 18 genotipos de trigo (*Triticum aestivum s sp aestivum*), evaluadas en el tratamiento sequía y control en los ambientes de La Molina y Junín-Jauja, campaña 2012-2013. Medias con letras iguales no presentan diferencias estadísticas (Tukey,  $p > 0.05$ ,  $n = 3$ ).

Considerando los resultados de la interacción genotipo x ambiente, del ANVA COMBINADO, específicamente con los valores del tratamiento sequía, se elaboró la Figura 34; en el cual se puede apreciar la distribución de número de días requeridos para la maduración de granos de los genotipos de trigo en promedio de los ambientes de La Molina y Junín-Jauja. En el cuadrante superior derecho se puede ver que los genotipos más tardíos en ambos ambientes fueron G-18 y G-10. Estos genotipos presentaron valores promedio de número de días requeridos para la maduración de granos de 107 y 106 días; respectivamente.



**Figura 34.** Distribución de los valores de Número de días transcurridos al 50% de madurez de granos (NDM) de 18 genotipos de trigo (*Triticum aestivum s sp aestivum*) bajo condiciones de sequía en los ambientes de La Molina y Junín-Jauja.

Los genotipos que requirieron menor número de días para la maduración de granos en condiciones de sequía en los ambientes de La Molina y Junín-Jauja, figuran en el cuadrante inferior izquierdo y fueron los genotipos, G-8, G-11, G-15, G-17, G-14, G-7 y G-5 (Figura 34), con valores iguales a 93, 94, 95, 96, 97, 97 y 97 días; respectivamente.

## 4.2. OBJETIVO 2

- Evaluación del efecto de la sequía en caracteres fisiológicos y bioquímicos de trigo harinero.

### 4.2.1. Características fisiológicas y bioquímicas

#### Contenido de clorofila SPAD (CC)

El análisis de variancia individual y combinado, para la variable contenido de clorofila SPAD se muestra en la Tabla 9. En el análisis individual de los genotipos conducidos en los ensayos de, LM-Control, LM-Sequía, JUU-Control y JUU-sequía, se puede ver que hubo una diferencia estadística altamente significativa, con coeficientes de variación de 5.27, 4.56, 3.47 y 3.13 %; respectivamente, los cuales se encuentran en el rango permisible para



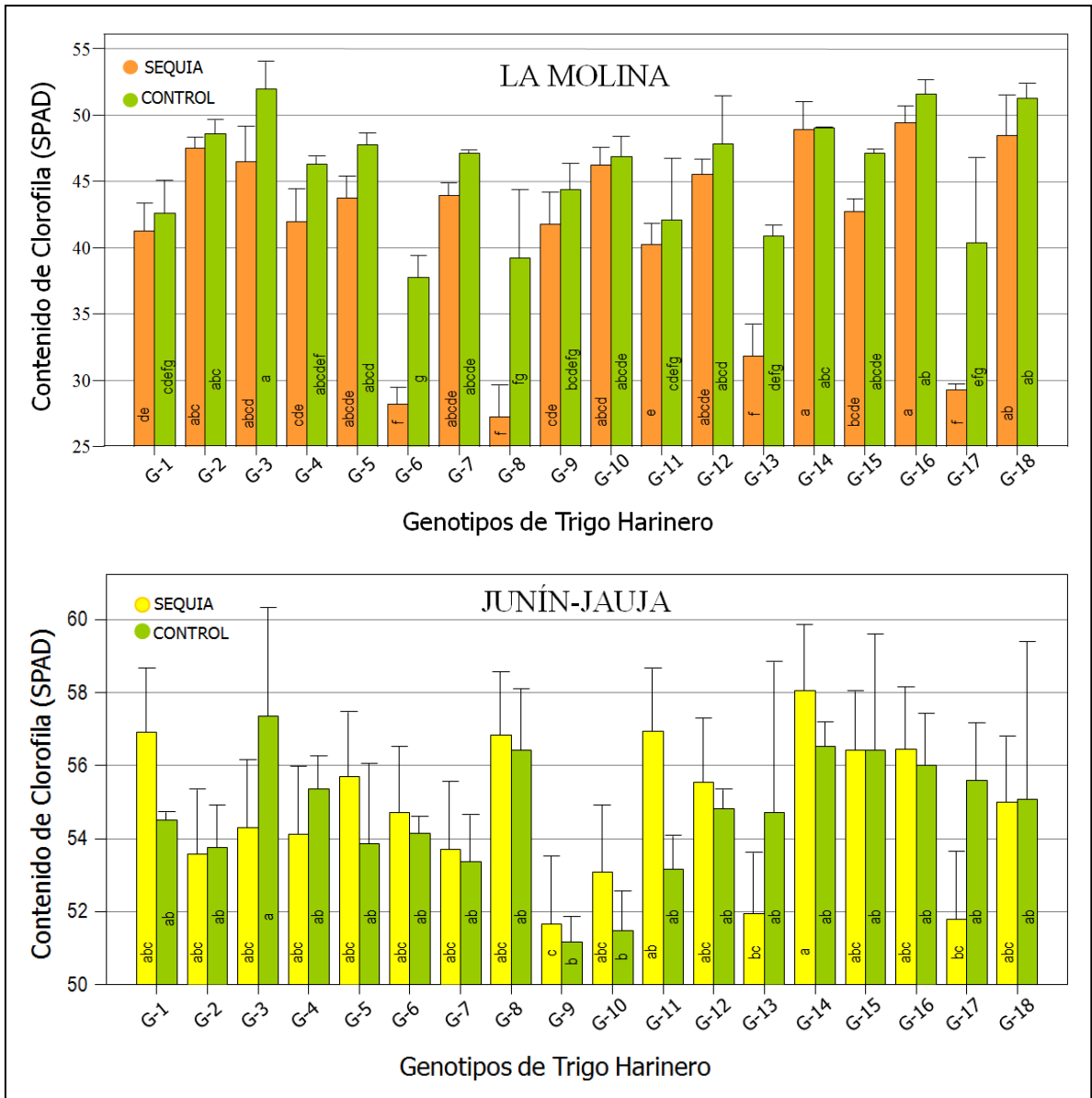
este tipo de ensayos y los coeficientes de determinación proyectan una explicación de la variancia en función de los factores en estudio del presente en un 84, 96, 58 y 67 %; respectivamente, dejando un margen de influencia de factores no contemplados en el estudio de 16, 4, 42 y 33 %; respectivamente.

**Tabla 9.** Resumen de análisis de varianza de las variables, Contenido de clorofila SPAD (CC), Contenido relativo de agua (CRA) y Potencial osmótico ( $\Psi_o$ ) de 18 genotipos de trigo (*Triticum aestivum s sp aestivum*) en el tratamiento sequía y control. La Molina y Junín-Jauja 2012-2013.

Análisis Individual	Variables dependientes								
	CC			CRA			$\Psi_o$		
	G <sup>†</sup>	C.V.	R <sup>2</sup>	G <sup>†</sup>	C.V.	R <sup>2</sup>	G <sup>†</sup>	C.V.	R <sup>2</sup>
LA MOLINA-Control	**	5.27	0.84	NS	14.81	0.35	*	14.37	0.55
LA MOLINA-Sequía	**	4.56	0.96	**	14.70	0.69	**	14.05	0.67
JUNÍN-JAUJA-Control	*	3.47	0.58	NS	5.05	0.48	**	13.92	0.78
JUNÍN-JAUJA-Sequía	**	3.13	0.67	**	6.81	0.70	**	13.78	0.78
<b>Análisis Combinado</b>									
Genotipo (G)	28.61**			1.59 NS			5.68**		
Tratamiento (T)	59.85**			385.30**			198.91**		
Ambiente (A)	1699.42**			28.48**			110.48**		
G*T	4.72**			2.65**			3.80**		
G*A	24.38**			1.79*			6.17**		
T*A	69.88**			22.19**			7.02**		
G*T*A	1.70*			2.43**			3.27**		

G: 18 Genotipos, T: Sequía y Control, A: La Molina y Junín-Jauja, C.V.: Coeficiente de variación (%) y R<sup>2</sup>: Coeficiente de determinación. † Probabilidad > F, (\*) significativo, (\*\*) altamente significativo.

En la Tabla 9 se puede ver el análisis combinado para la variable contenido de clorofila SPAD, en el que las interacciones: genotipo por tratamiento (G\*T), genotipo por ambiente (G\*A) y tratamiento por ambiente (T\*A) resultaron altamente significativos (p=0.01) y la interacción genotipo por tratamiento por ambiente (G\*T\*A) resulto significativo (p=0.05).

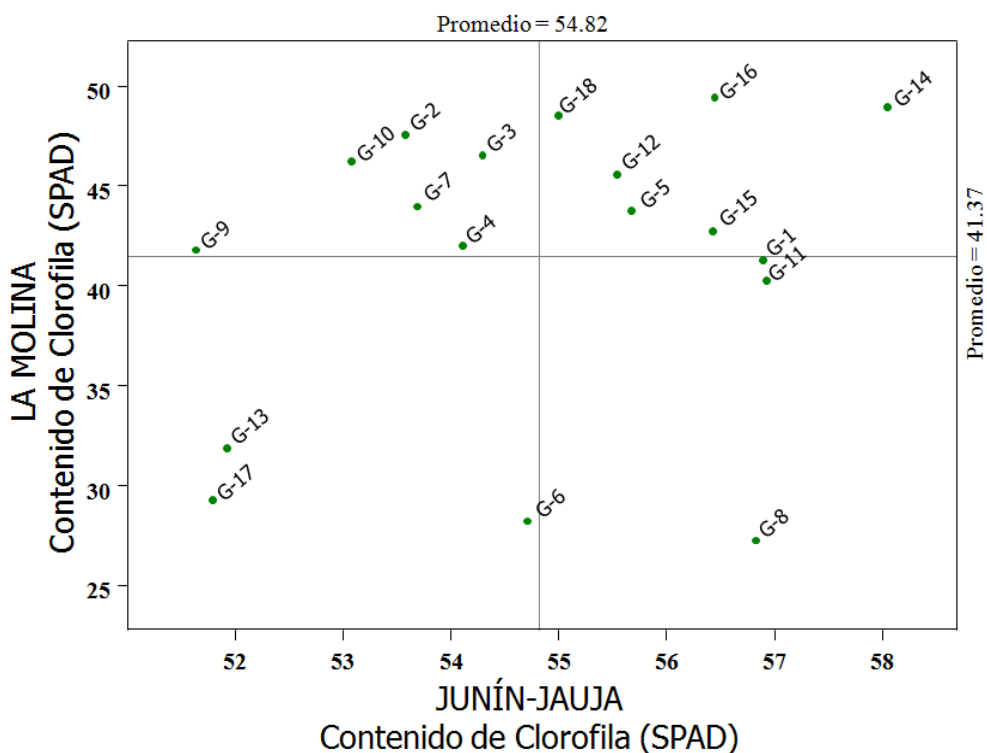


**Figura 35.** Comparación y dispersión de promedios de la variable Contenido de clorofila (SPAD) de 18 genotipos de trigo (*Triticum aestivum s sp aestivum*), evaluadas en el tratamiento sequía y control en los ambientes de La Molina y Junín-Jauja, campaña 2012-2013. Medias con letras iguales no presentan diferencias estadísticas (Tukey,  $p > 0.05$ ,  $n = 3$ ).

Los valores de la comparación y dispersión de promedio de los 18 genotipos de trigo para la variable contenido de clorofila, evaluadas en el tratamiento sequía y control en el ambiente de La Molina se muestra en la Figura 35. Se puede ver que los genotipos estudiados presentaron valores de contenido de clorofila diferentes en el tratamiento control y sequía, siendo el valor promedio en el tratamiento control de 45.71 SPAD que es significativamente superior al del tratamiento sequía de 41.37 SPAD, con un nivel de significancia  $p=0.01$ . El rango de contenido de clorofila de los genotipos varió entre 27.22 a 49.40 SPAD en el tratamiento de sequía y de 37.77 a 52.00 SPAD en el tratamiento

control. Los genotipos G-14 y G-16 fueron los que presentaron mayor contenido de clorofila en los dos tratamientos del ensayo y los genotipos G-8, G-6, G-17 y G-13 fueron los que mayor reducción de contenido de clorofila experimentaron por efecto de la sequía aplicada.

En Junín-Jauja, el promedio de contenido de clorofila de los genotipos fue de 54.65 SPAD en el tratamiento control y 54.82 SPAD en el tratamiento sequía. El rango del contenido de clorofila de los genotipos varió de 51.65 a 58.05 SPAD en el tratamiento sequía y de 51.17 a 57.35 SPAD en el tratamiento control. El genotipo G-14 fue el que mayor contenido de clorofila presentó y G-9 fue el que menor contenido de clorofila mostro, en condiciones de sequía.



**Figura 36.** Distribución de los valores de Contenido de clorofila SPAD (CC) de 18 genotipos de trigo (*Triticum aestivum s sp aestivum*) bajo condiciones de sequía en los ambientes de La Molina y Junín-Jauja.

En la Figura 36 se presenta los resultados de la interacción genotipo x ambiente, del ANVA COMBINADO, concretamente con los valores del tratamiento sequía. En la figura se puede ver la distribución del contenido de clorofila de los genotipos en promedio de los ambientes de La Molina y Junín-Jauja. En el cuadrante superior derecho se puede apreciar a los genotipos G-14, G-16, G-15, G-5, G-12 y G-18, mostraron mayor contenido de clorofila en los dos ambientes del ensayo. Estos genotipos presentaron valores promedio

del contenido de clorofila para ambos ambientes igual a 53.48, 52.93, 49.57, 49.70, 50.55 y 51.73 SPAD; respectivamente.

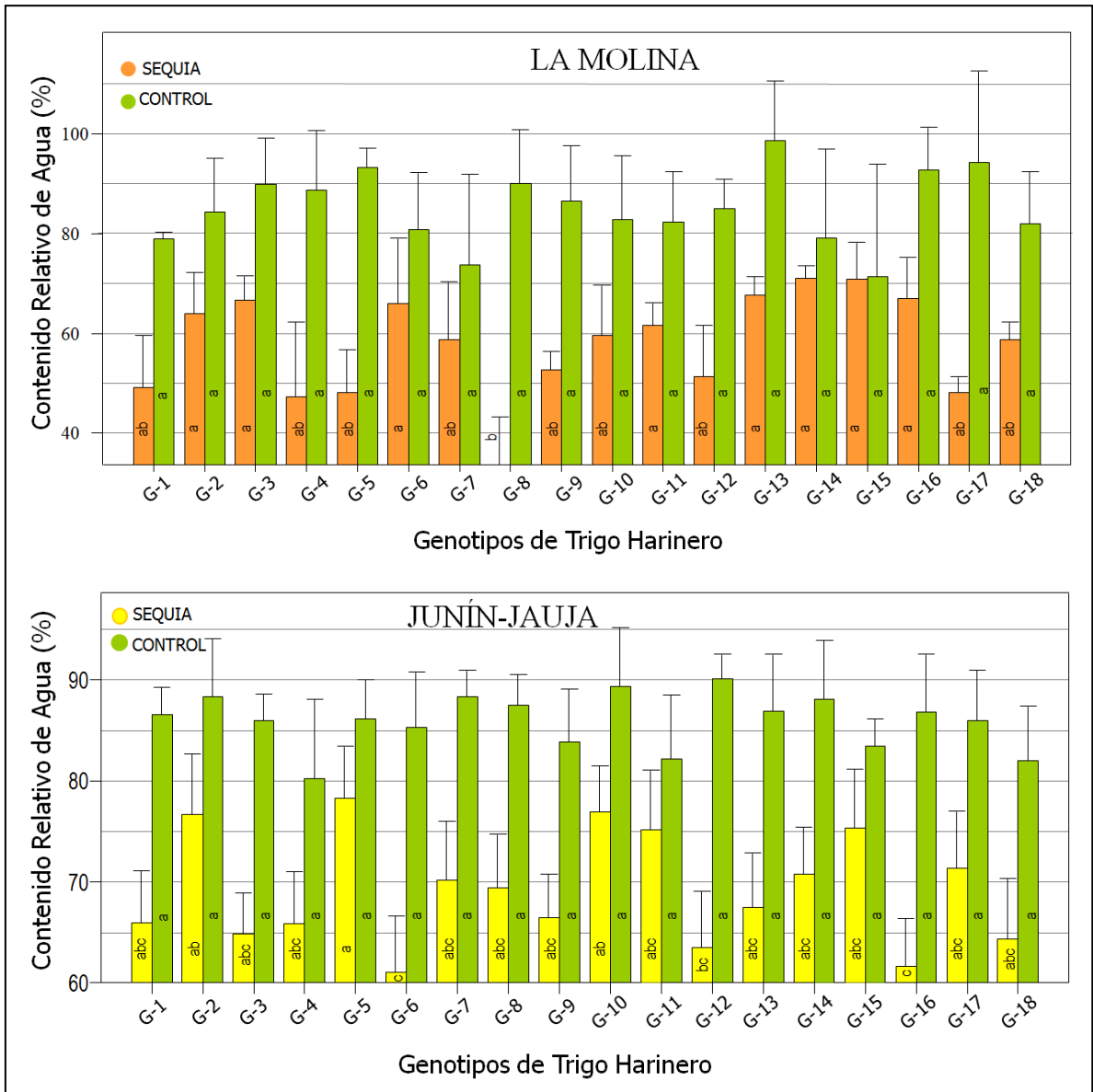
Los genotipos que presentaron valores menores del contenido de clorofila en condiciones de sequía en los ambientes de La Molina y Junín-Jauja se encuentran en el cuadrante inferior izquierdo y fueron los genotipos, G-17, G-13 y G-6 (Figura 36), con valores iguales a 40.53, 41.88 y 41.45 SPAD; respectivamente.

### **Contenido relativo de agua (CRA)**

En la Tabla 9 se puede ver el análisis de variancia individual y combinado para la variable contenido relativo de agua. En el análisis individual los genotipos conducidos en los ensayos de LM-Sequía y JUU-sequía (2012-2013) presentaron diferencias estadísticas altamente significativas y en LM-Control y JUU-Control no hubo diferencias significativas. Los coeficiente de variación fueron 14.70, 6.81, 14.81 y 6.81 %; respectivamente. Los coeficientes de determinación de los ensayos que presentaron diferencias significativas proyectan una explicación de la variancia en función de los factores en estudio del presente en un 69 y 70 %; respectivamente, dejando un margen de influencia a factores no contemplados en el estudio de 31y 30 %; respectivamente.

El análisis combinado para la variable contenido relativo de agua indica que las interacciones: genotipo por tratamiento (G\*T), genotipo por ambiente (G\*A), tratamiento por ambiente (T\*A) y genotipo por tratamiento por ambiente (G\*T\*A) resultaron altamente significativas (Tabla 9).

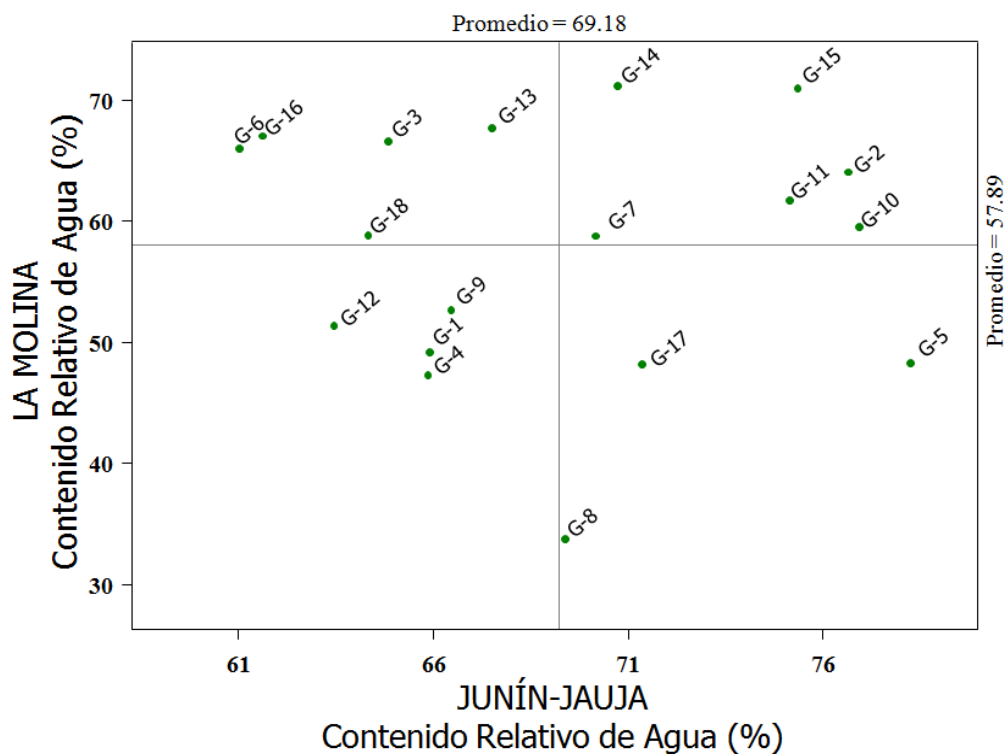
En la Figura 37 se presenta los valores de contenido relativo de agua obtenidos en el ambiente de La Molina. Se puede ver que los genotipos estudiados presentaron valores de contenido relativo de agua diferentes en el tratamiento control y sequía, siendo el valor promedio en el tratamiento control de 85.25 % que es significativamente superior al del tratamiento sequía de 57.89 %, con un nivel de significancia  $p=0.01$ . El valor del contenido relativo de agua de los genotipos varió entre 33.68 a 71.07 % en el tratamiento sequía y de 71.42 a 98.60 % en el tratamiento control. Los genotipos G-14 y G-15 fueron los que mayor contenido relativo de agua presentaron en el tratamiento sequía y G-8 fue el que mayor reducción de contenido relativo de agua experimento por efecto de la sequía aplicada, presentando una reducción de 56.33 %.



**Figura 37.** Comparación y dispersión de promedios de la variable Contenido relativo de agua (CRA) de 18 genotipos de trigo (*Triticum aestivum s sp aestivum*), evaluadas en el tratamiento sequía y control en los ambientes de La Molina y Junín-Jauja, campaña 2012-2013. Medias con letras iguales no presentan diferencias estadísticas (Tukey,  $p > 0.05$ ,  $n = 3$ ).

En Junín-Jauja, se observó un comportamiento similar al de La Molina, los genotipos difieren en valores de contenido relativo de agua en forma significativa entre los tratamientos control y sequía. El promedio de contenido relativo de agua de los genotipos en el tratamiento control fue de 85.95 % que es significativamente superior al del tratamiento sequía de 69.18 %, a un nivel de significancia  $p=0.01$ . Sin embargo, no hubo diferencias significativas entre los genotipos dentro del tratamiento control (Figura 37). El valor del contenido relativo de agua varió de 61.05 a 78.25 % en el tratamiento sequía y de 80.23 a 90.16 % en el tratamiento control. El genotipo G-5 fue el que mayor contenido

relativo de agua presentó y los genotipos G-16 y G-6 fueron los que mayor reducción del contenido relativo de agua experimentaron en el tratamiento sequía.



**Figura 38.** Distribución de los valores de Contenido relativo de agua (CRA) de 18 genotipos de trigo (*Triticum aestivum s sp aestivum*) bajo condiciones de sequía en los ambientes de La Molina y Junín-Jauja.

Considerando los resultados de la interacción genotipo x ambiente, del ANVA COMBINADO, específicamente con los valores del tratamiento sequía, se elaboró la Figura 38; en la cual se puede apreciar la distribución del contenido relativo de agua de los genotipos en promedio de los ambientes de La Molina y Junín-Jauja. En el cuadrante superior derecho se puede ver los genotipos con mejores valores del contenido relativo de agua en ambos ambientes como G-15, G-14, G-11, G-2, G-10 y G-7. Estos genotipos presentaron valores promedio del contenido relativo de agua para ambos ambientes igual a 73.13, 70.91, 68.41, 70.34, 68.23 y 64.45 %; respectivamente.

Los genotipos que presentaron valores menores de contenido relativo de agua en el tratamiento sequía en los ambientes de La Molina y Junín-Jauja figuran en el cuadrante inferior izquierdo y fueron los genotipos, G-4, G-12, G-1 y G-9 (Figura 38), con valores iguales a 56.55, 57.39, 57.53 y 59.53 %; respectivamente.

### **Potencial osmótico ( $\Psi_o$ )**

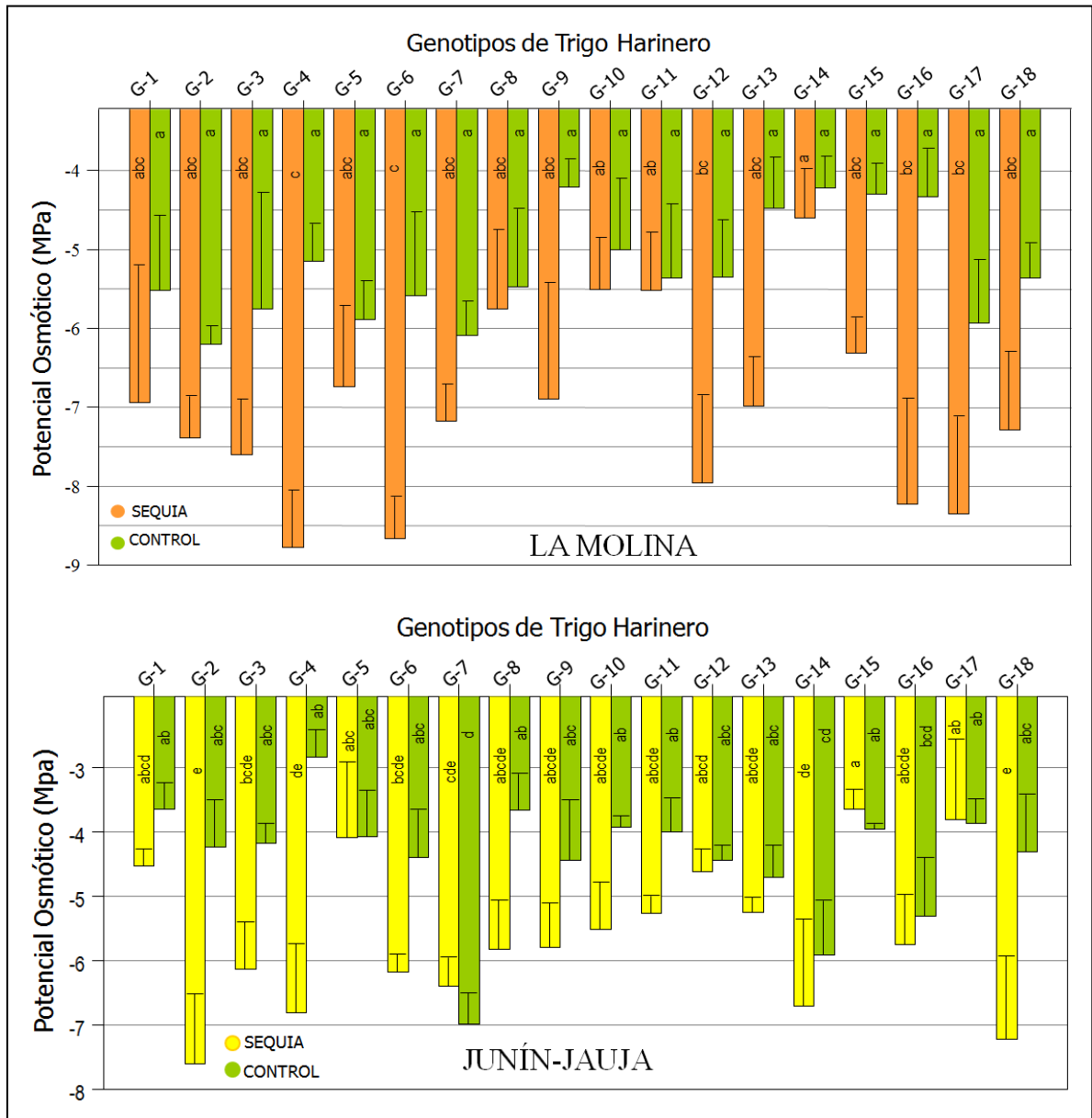
En la Tabla 9 se muestra el análisis de variancia individual y combinado para la variable potencial osmótico. En el análisis individual los genotipos conducidos en los ensayos de, LM-Control, LM-Sequía, JUU-Control y JUU-sequía (2012-2013), presentaron diferencias estadísticas altamente significativas, con coeficiente de variación de 14.37, 14.05, 13.92 y 13.78 %; respectivamente, los cuales se encuentran en el rango válido para este tipo de experimentos. Los coeficientes de determinación proyectan una explicación de la variancia en función de los factores en estudio del presente en un 55, 67, 78 y 78 %; respectivamente, dejando un margen de influencia a factores no contemplados en el estudio de 45, 35, 22 y 22 %; respectivamente.

En el análisis combinado se puede observar que las interacciones: genotipo por tratamiento ( $G*T$ ), genotipo por ambiente ( $G*A$ ), tratamiento por ambiente ( $T*A$ ) y genotipo por tratamiento por ambiente ( $G*T*A$ ), resultaron estadísticamente significativas.

En la Figura 39, se presenta los valores de potencial osmótico evaluados en el ambiente de La Molina. Se puede apreciar que los genotipos estudiados presentaron valores de potencial osmótico diferentes en el tratamiento control y sequía. El promedio de potencial osmótico a nivel tratamiento control fue de -5.23 Mpa que es significativamente superior al del tratamiento sequía de -7.04 Mpa, con un nivel de significancia  $p=0.01$ . Sin embargo, no hubo diferencias significativas entre los genotipos dentro del tratamiento control. El valor de potencial osmótico de los genotipos varió entre -8.77 a -4.61 Mpa en el tratamiento sequía y de -6.20 a -4.21 Mpa en el tratamiento control. El genotipo G-14 fue el que presentó mayor potencial osmótico en ambos tratamientos y los genotipos G-4 y G-6 fueron los que mayor reducción de potencial osmótico experimentaron por efecto de la sequía aplicada.

En Junín-Jauja, se observó un comportamiento similar al de La Molina, los genotipos difirieron en valores de potencial osmótico en forma significativa entre los tratamientos control y sequía. El promedio de potencial osmótico de los genotipos en el tratamiento control fue de -4.38 Mpa que es significativamente mayor al del tratamiento sequía de -5.62 Mpa, con un nivel de significancia  $p=0.01$ . El rango de potencial osmótico de los genotipos varió entre -7.60 a -3.65 Mpa en el tratamiento sequía y de -6.98 a -2.84 Mpa en el tratamiento control. El genotipo G-15 fue el que mayor potencial osmótico presentó y

los genotipos G-18 y G-12 fueron los que mayor reducción del potencial osmótico experimentaron por efecto de sequía (Figura 39).

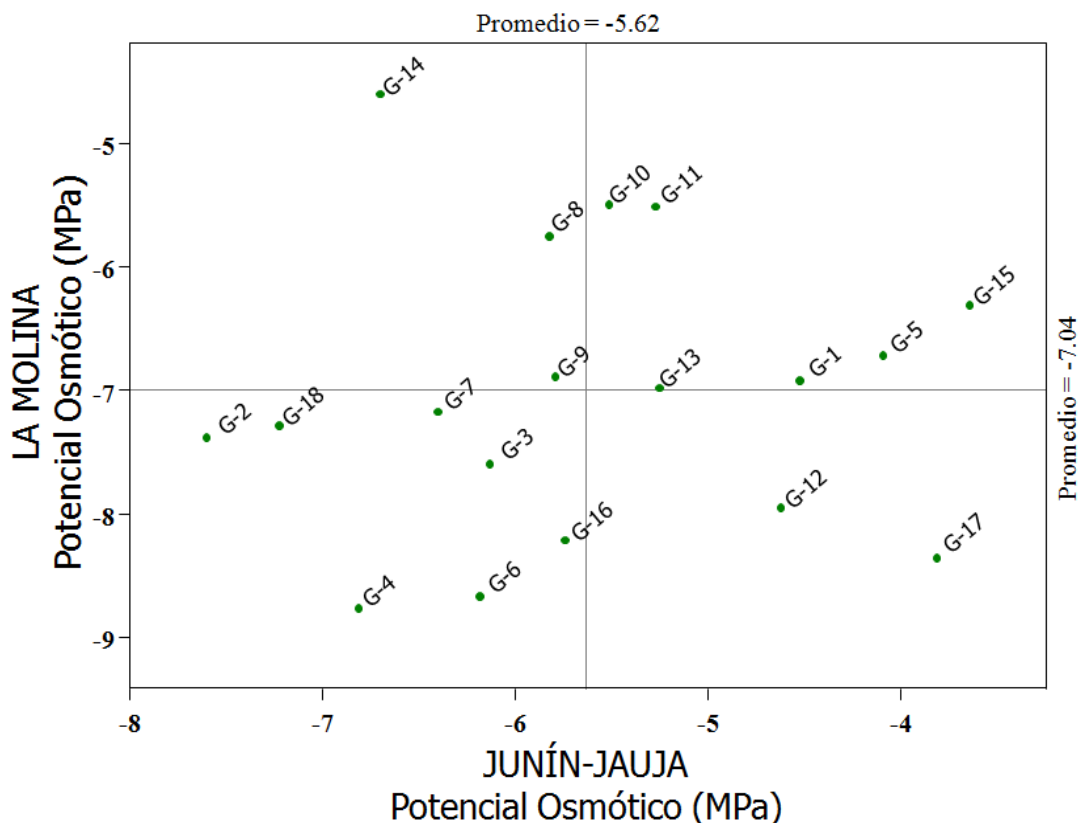


**Figura 39.** Comparación y dispersión de promedios de la variable Potencial osmótico ( $\Psi_o$ ) de 18 genotipos de trigo (*Triticum aestivum s sp aestivum*), evaluadas en el tratamiento sequía y control en los ambientes de La Molina y Junín-Jauja, campaña 2012-2013. Medias con letras iguales no presentan diferencias estadísticas (Tukey,  $p > 0.05$ ,  $n = 3$ ).

Considerando los resultados de la interacción genotipo x ambiente, del ANVA COMBINADO, específicamente con los valores del tratamiento sequía, se elaboró la Figura 40; en el cual se puede apreciar la distribución de potencial osmótico de los genotipos en promedio de los ambientes de La Molina y Junín-Jauja. En el cuadrante superior derecho se puede ver a los genotipos G-15, G-11, G-5, G-10 y G-1 con mejores valores de potencial osmótico en ambos ambientes del experimento. Estos genotipos



presentaron valores promedio de potencial osmótico para ambos ambientes igual a -4.98, -5.39, -5.41, -5.51 y -5.73 Mpa; respectivamente.



**Figura 40.** Distribución de los valores de Potencial osmótico ( $\Psi_o$ ) de 18 genotipos de trigo (*Triticum aestivum* s sp *aestivum*) bajo condiciones de sequía en los ambientes de La Molina y Junín-Jauja.

Los genotipos que presentaron valores menores de potencial osmótico en condiciones de sequía en los ambientes de La Molina y Junín-Jauja figuran en el cuadrante inferior izquierdo y fueron los genotipos, G-4, G-18, G-2, G-6, G-16, G-3 y G-7 (Figura 40), con valores iguales a -7.79, -7.26, -7.52, -7.42, -6.98, -6.87 y -6.79 Mpa; respectivamente.

#### Ajuste osmótico (AO)

En la Tabla 10, se presenta los valores de ajuste osmótico de La Molina. El promedio de ajuste osmótico a nivel ensayo fue de 1.81 Mpa. El rango de ajuste osmótico de los genotipos varió entre 0.16 a 3.89 Mpa. El genotipo G-11 fue el que menor ajuste osmótico presentó y G-16 fue el que mayor ajuste osmótico obtuvo.

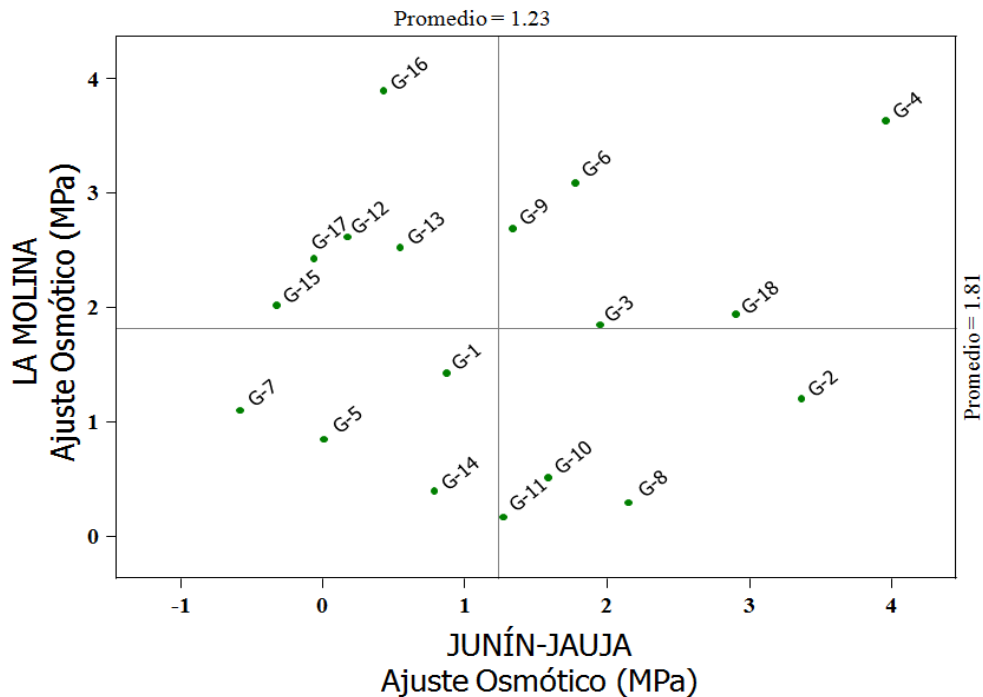
En Junín-Jauja, el promedio de ajuste osmótico fue de 1.23 Mpa. El rango de ajuste osmótico varió de -0.58 a 3.97 Mpa. El genotipo con mayor ajuste osmótico fue G-4 y el de menor ajuste fue G-7 (Tabla 10).

**Tabla 10.** Ajuste osmótico (AO) de 18 genotipos de trigo (*Triticum aestivum* s sp *aestivum*) evaluados en el tratamiento sequía y control. La Molina y Junín-Jauja 2012-2013.

Genotipos	LA MOLINA			JUNÍN-JAUJA		
	$\Psi_o$		AO	$\Psi_o$		AO
	Control	Sequía		Control	Sequía	
G-1	-5,51	-6,93	1,42	-3,64	-4,52	0,88
G-2	-6,20	-7,39	1,19	-4,23	-7,60	3,37
G-3	-5,76	-7,60	1,84	-4,18	-6,13	1,96
G-4	-5,15	-8,77	3,62	-2,84	-6,81	3,97
G-5	-5,89	-6,73	0,84	-4,08	-4,09	0,01
G-6	-5,58	-8,67	3,08	-4,40	-6,18	1,78
G-7	-6,08	-7,18	1,09	-6,98	-6,40	-0,58
G-8	-5,47	-5,76	0,29	-3,67	-5,82	2,16
G-9	-4,21	-6,90	2,69	-4,44	-5,79	1,34
G-10	-5,00	-5,51	0,51	-3,92	-5,51	1,59
G-11	-5,36	-5,52	0,16	-4,00	-5,27	1,27
G-12	-5,34	-7,96	2,61	-4,44	-4,62	0,18
G-13	-4,47	-6,99	2,52	-4,70	-5,25	0,55
G-14	-4,22	-4,61	0,39	-5,91	-6,70	0,79
G-15	-4,30	-6,32	2,02	-3,96	-3,64	-0,32
G-16	-4,33	-8,22	3,89	-5,31	-5,74	0,43
G-17	-5,93	-8,36	2,42	-3,87	-3,81	-0,06
G-18	-5,36	-7,29	1,93	-4,31	-7,22	2,91

Los valores se encuentran en Mpa

En la Figura 41 se presenta los resultados de la interacción genotipo x ambiente, para la distribución del ajuste osmótico de los genotipos en promedio de los ambientes de La Molina y Junín-Jauja. En el cuadrante superior derecho se puede apreciar a los genotipos G-4, G-18, G-6 y G-9, los cuales mostraron mayores valores de ajuste osmótico en los dos ambientes del experimento. Estos genotipos presentaron valores promedio de ajuste osmótico para ambos ambientes igual a 3.80, 2.42, 2.43 y 2.01 Mpa; respectivamente.



**Figura 41.** Distribución de los valores de Ajuste osmótico (AO) de 18 genotipos de trigo (*Triticum aestivum s sp aestivum*) bajo condiciones de sequía en los ambientes de La Molina y Junín-Jauja.

Los genotipos que presentaron valores menores de ajuste osmótico en los ambientes de La Molina y Junín-Jauja figuran en el cuadrante inferior izquierdo y fueron los genotipos, G-5, G-7, G-14 y G-1 (Figura 41), con valores iguales a 0.43, 0.26, 0.59 y 1.15 Mpa; respectivamente.

### Contenido de prolina libre (CPL)

El análisis de variancia individual y combinado para la variable contenido de prolina libre se presenta en la Tabla 11. El análisis individual de los genotipos conducidos en los ensayos de, LM-Control, LM-Sequía, JUJ-Control y JUJ-sequía, muestra una diferencia estadística altamente significativa, con coeficientes de variación de 16.80, 14.24, 13.58 y 14.63 %; respectivamente, los cuales se encuentran en el rango permisible para este tipo de experimentos. Los coeficientes de determinación proyectan una explicación de la variancia en función de los factores en estudio del presente en un 73, 65, 77 y 67 %; respectivamente, dejando un margen de influencia a factores no contemplados en el estudio de 27, 35, 23 y 33 %; respectivamente.

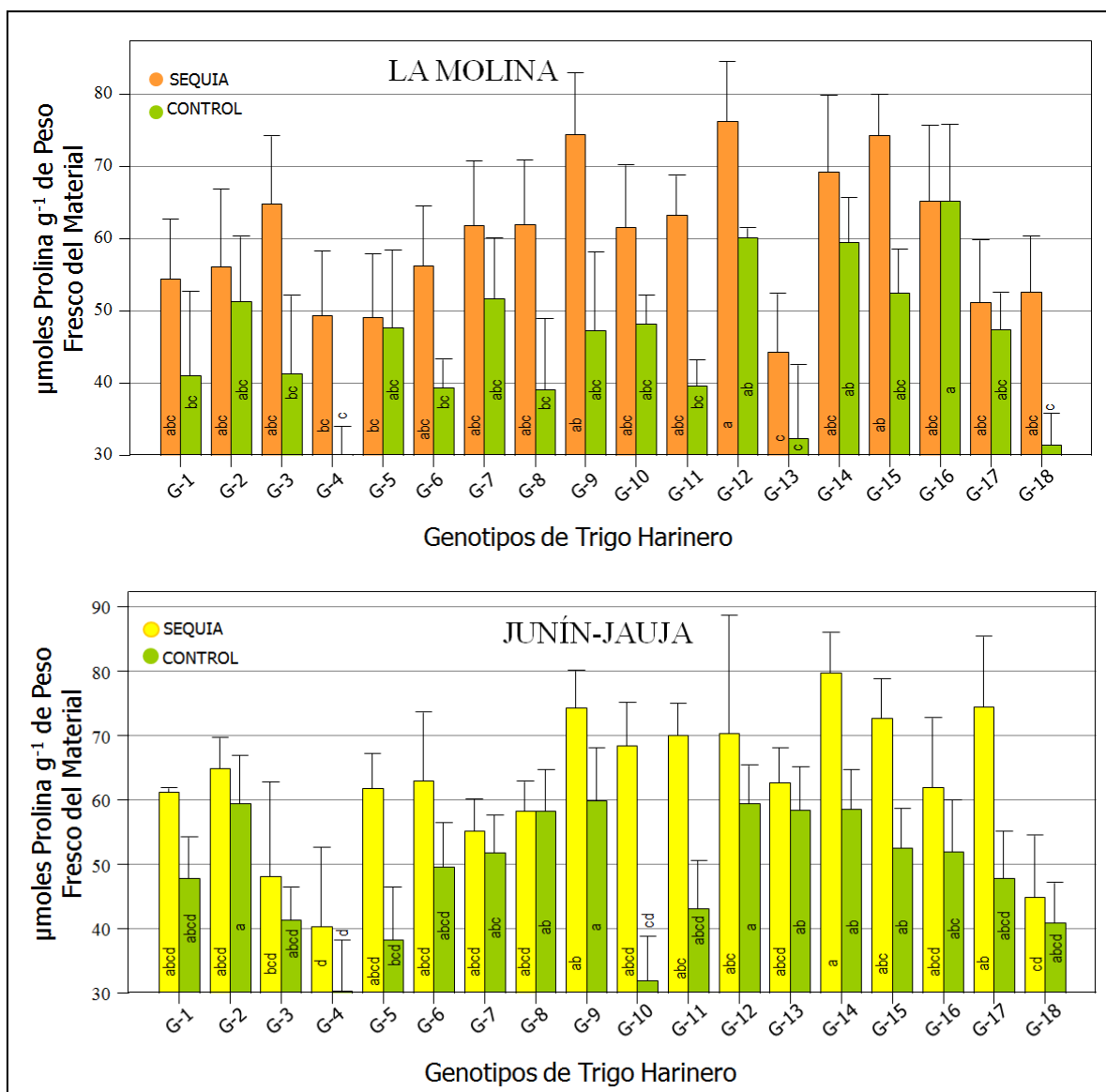
**Tabla 11.** Resumen de análisis de varianza de las variables, Contenido de prolina libre (CPL) y Actividad de la enzima nitrato reductasa (ANR) de 18 genotipos de trigo (*Triticum aestivum* s *sp. aestivum*) en el tratamiento sequía y control. La Molina y Junín-Jauja 2012-2013.

Análisis Individual	Variables dependientes					
	CPL			ANER		
	G <sup>†</sup>	C.V.	R <sup>2</sup>	G <sup>†</sup>	C.V.	R <sup>2</sup>
LA MOLINA-Control	**	16.80	0.73	**	17.20	0.92
LA MOLINA-Sequía	**	14.24	0.65	**	13.07	0.95
JUNÍN-JAUJA-Control	**	13.58	0.77	**	13.87	0.96
JUNÍN-JAUJA-Sequía	**	14.63	0.67	**	15.58	0.97
<b>Análisis Combinado</b>						
Genotipo (G)	11.33**			91.72**		
Tratamiento (T)	166.89**			567.89**		
Ambiente (A)	6.41*			1661.11**		
G*T	1.64 NS			25.08**		
G*A	2.79**			71.10**		
T*A	0.07 NS			174.90**		
G*T*A	2.21**			27.69**		

G: 18 Genotipos, T: Sequía y Control, A: La Molina y Junín-Jauja, C.V.: Coeficiente de variación (%) y R<sup>2</sup>: Coeficiente de determinación. † Probabilidad > F, (\*) significativo, (\*\*) altamente significativo.

En el análisis estadístico combinado para la variable contenido de prolina libre se puede apreciar que las interacciones: genotipo por ambiente (G\*A) y genotipo por tratamiento por ambiente (G\*T\*A) resultaron altamente significativos.

En la Figura 42 se presenta los valores del contenido de prolina libre evaluados en el ambiente de La Molina. Se puede apreciar que los genotipos estudiados presentaron valores de contenido de prolina libre diferentes en el tratamiento control y sequía, siendo el valor promedio en el tratamiento sequía de 60.30  $\mu\text{moles Prolina g}^{-1}$  de PFM que es significativamente superior al del tratamiento control de 45.81  $\mu\text{moles Prolina g}^{-1}$  de PFM. El rango de contenido de prolina libre de los genotipos varió entre 44.30 a 76.14  $\mu\text{moles Prolina g}^{-1}$  de PFM en el tratamiento sequía y de 30.17 a 65.15  $\mu\text{moles Prolina g}^{-1}$  de PFM en el tratamiento control. Los genotipos G-12, G-9 y G-15 fueron los que mayor contenido de prolina libre presentaron y G-13 fue el de menor contenido de prolina libre, en el tratamiento sequía.

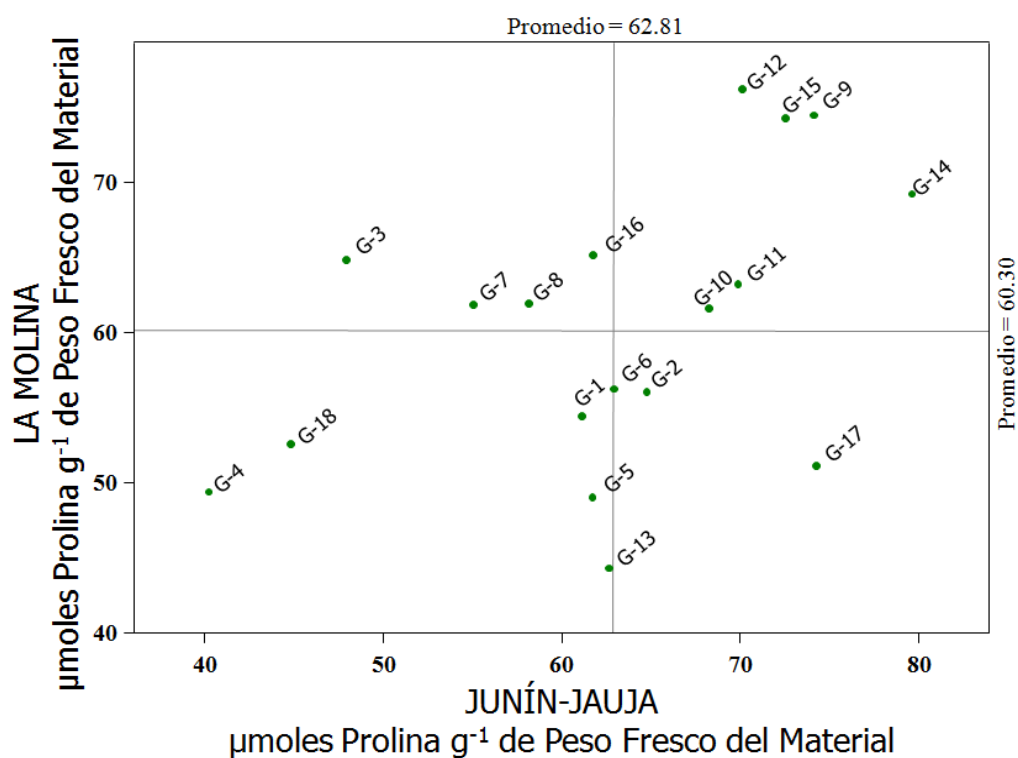


**Figura 42.** Comparación y dispersión de promedios de la variable Contenido de prolina libre (CPL) de 18 genotipos de trigo (*Triticum aestivum s sp aestivum*), evaluadas en el tratamiento sequía y control en los ambientes de La Molina y Junín-Jauja, campaña 2012-2013. Medias con letras iguales no presentan diferencias estadísticas (Tukey,  $p > 0.05$ ,  $n = 3$ ).

En Junín-Jauja, se observó un comportamiento similar al de La Molina, los genotipos presentaron diferencias en valores de contenido de prolina libre en forma significativa entre los tratamientos control y sequía. El promedio de contenido de prolina libre de los genotipos en el tratamiento sequía fue de 62.81  $\mu\text{moles Prolina g}^{-1}$  de PFM que es significativamente superior al del tratamiento control de 48.88  $\mu\text{moles Prolina g}^{-1}$  de PFM. El rango de contenido de prolina libre de los genotipos varió entre 40.27 a 79.64  $\mu\text{moles Prolina g}^{-1}$  de PFM en el tratamiento de sequía y de 30.17 a 59.74  $\mu\text{moles Prolina g}^{-1}$  de PFM en el tratamiento de control. El genotipo G-14 fue el que menor reducción del contenido

de prolina libre experimento y los genotipos G-4 y G-10 fueron las que mayor disminución del contenido de prolina libre experimentaron por efecto de la sequía.

Considerando los resultados de la interacción genotipo x ambiente, del ANVA COMBINADO, específicamente con los valores del tratamiento sequía, se elaboró la Figura 43; en el cual se puede apreciar la distribución de contenido de prolina libre de los genotipos en promedio de los ambientes de La Molina y Junín-Jauja. En el cuadrante superior derecho se puede ver los genotipos con mejores valores de contenido de prolina libre en ambas localidades como G-9, G-15, G-14, G-12, G-11 y G-10. Estos genotipos presentaron valores promedio del contenido de prolina libre para ambas localidades igual a 74.30, 73.42, 74.41, 73.14, 66.54 y 64.92  $\mu\text{moles Prolina g}^{-1}$  de PFM; respectivamente.



**Figura 43.** Distribución de los valores de Contenido de prolina libre (CPL) de 18 genotipos de trigo (*Triticum aestivum s sp aestivum*) bajo condiciones de sequía en los ambientes de La Molina y Junín-Jauja.

Los genotipos que presentaron valores menores de contenido de prolina libre en condiciones de sequía en los ambientes de La Molina y Junín-Jauja se encuentran en el cuadrante inferior izquierdo y fueron los genotipos, G-4, G-18, G-5 y G-1 (Figura 43), con valores iguales a 44.82, 48.71, 55.38 y 57.80  $\mu\text{moles Prolina g}^{-1}$  de PFM; respectivamente.

### **Actividad de la enzima nitrato reductasa (AENR)**

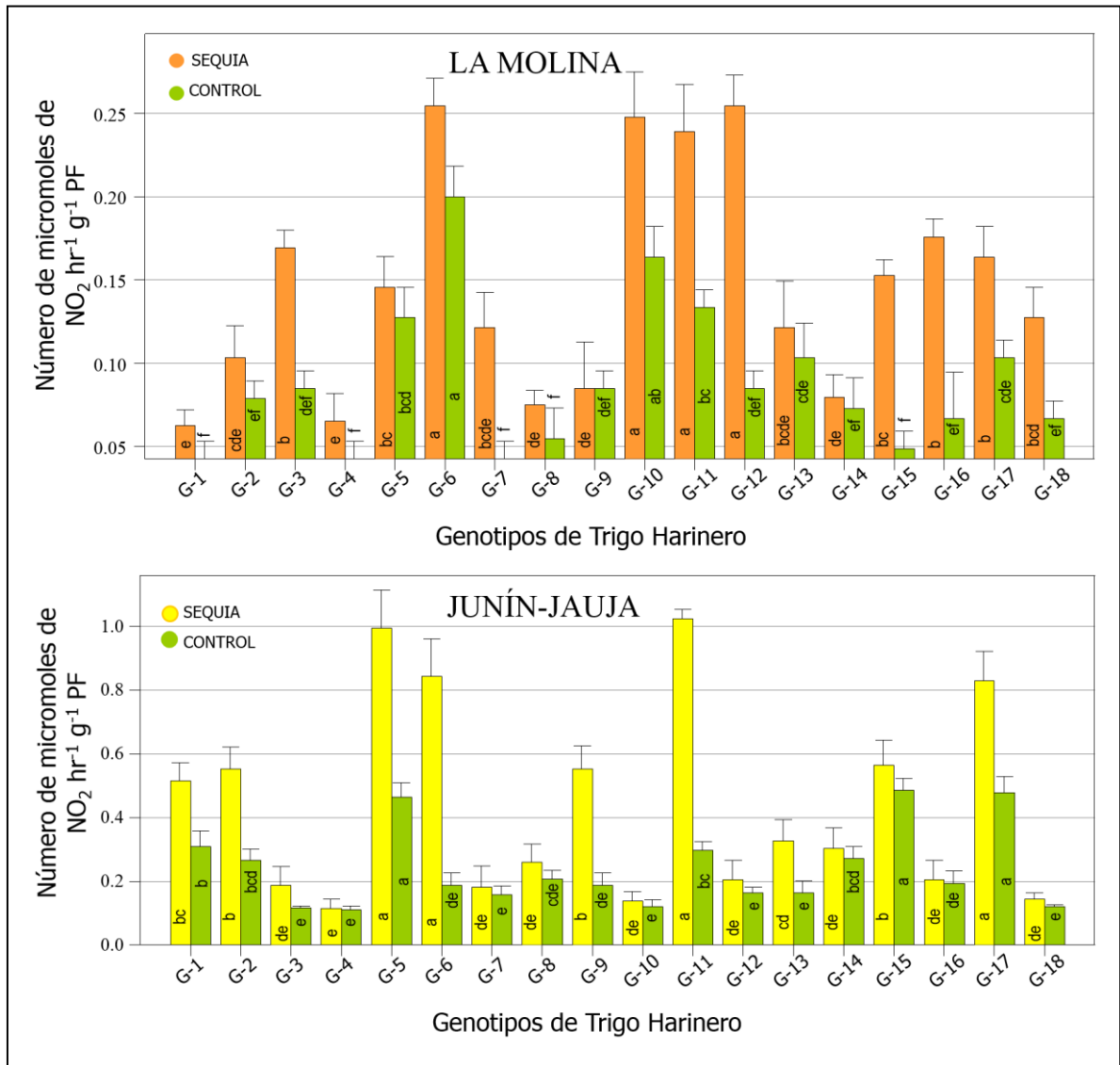
El estudio de variancia individual y combinado para la variable actividad de la enzima nitrato reductasa se presenta en la Tabla 11. En el análisis individual de los genotipos conducidos en los ensayos de, LM-Control, LM-Sequía, JUJ-Control y JUJ-sequía, los genotipos presentaron diferencia estadística altamente significativa, con coeficientes de variación de 17.20, 13.07, 13.87 y 15.58 %; respectivamente, los cuales se encuentran en el rango permitido para este tipo de experimentos. Los coeficientes de determinación proyectan una explicación de la variancia en función de los factores en estudio del presente en un 92, 95, 96 y 97 %; respectivamente, dejando un margen de influencia a factores externos al estudio en un 8, 5, 4 y 3 %; respectivamente.

En la Tabla 11 se puede apreciar el análisis combinado para la variable AENR, en el cual resultaron significativas las interacciones: genotipo por tratamiento (G\*T), genotipo por ambiente (G\*A), tratamiento por ambiente (T\*A) y la interacción triple, genotipo por tratamiento por ambiente (G\*T\*A).

En la Figura 44 se presenta los valores de la AENR obtenidos en el ambiente de La Molina. Se puede apreciar que los genotipos estudiados presentaron valores de la AENR diferentes en el tratamiento control y sequía, siendo el valor promedio en el tratamiento sequía de 0.15 N° de micromoles de NO<sub>2</sub> hora<sup>-1</sup> g<sup>-1</sup> PF que es significativamente superior al del tratamiento control de 0.09 N° de micromoles de NO<sub>2</sub> hora<sup>-1</sup> g<sup>-1</sup> PF, a un nivel de significancia p=0.01. El valor de la AENR de los genotipos varió de 0.06 a 0.25 N° de micromoles de NO<sub>2</sub> hora<sup>-1</sup> g<sup>-1</sup> PF en el tratamiento de sequía y de 0.04 a 0.20 N° de micromoles de NO<sub>2</sub> hora<sup>-1</sup> g<sup>-1</sup> PF en el tratamiento control. Los genotipos G-6, G-10, G-11 y G-12 fueron los que mayor AENR obtuvieron y los genotipos G-1 y G-4 fueron los que menor AENR presentaron en el tratamiento sequía.

En Junín-Jauja, se observó un comportamiento similar al de La Molina, los genotipos difieren en valores de AENR en forma significativa entre los tratamientos control y sequía. El promedio de la AENR de los genotipos en el tratamiento sequía fue de 0.44 N° de micromoles de NO<sub>2</sub> hora<sup>-1</sup> g<sup>-1</sup> PF que es significativamente superior al del tratamiento control de 0.24 N° de micromoles de NO<sub>2</sub> hora<sup>-1</sup> g<sup>-1</sup> PF, con un nivel de significancia p=0.01. El valor de la AENR varió de 0.11 a 1.02 N° de micromoles de NO<sub>2</sub> hora<sup>-1</sup> g<sup>-1</sup> PF en el tratamiento de sequía y de 0.11 a 0.48 N° de micromoles de NO<sub>2</sub> hora<sup>-1</sup> g<sup>-1</sup> PF en el

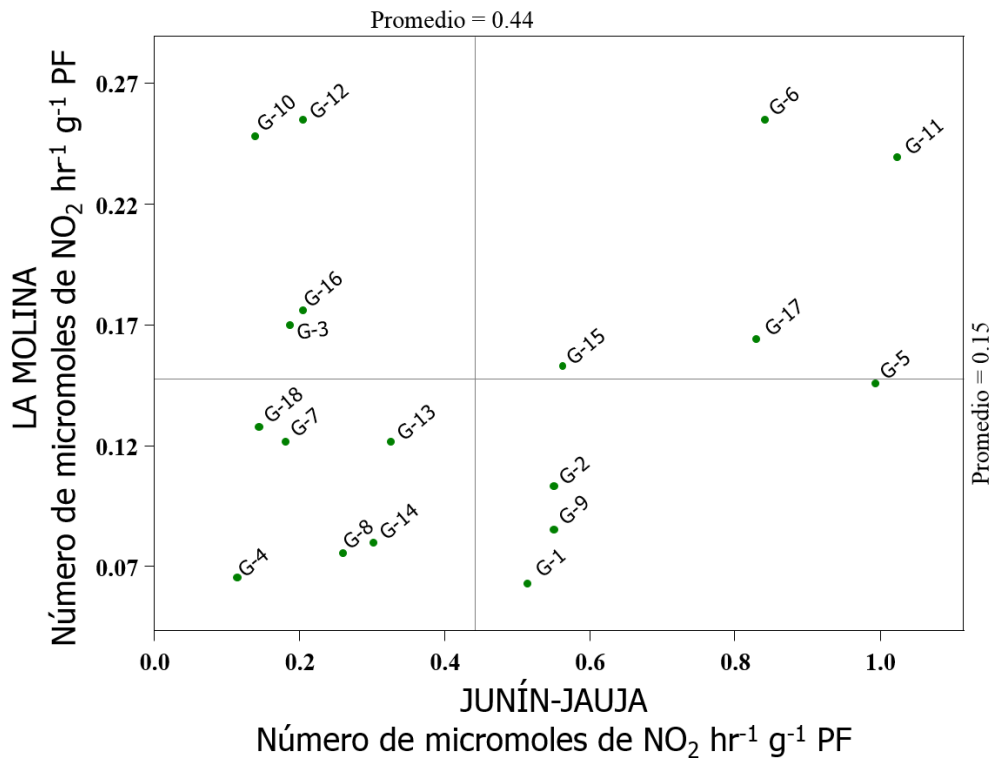
tratamiento control. Los genotipos G-5, G-6, G-11 y G-17 fueron los que presentaron menor reducción de la AENR por efecto de sequía (Figura 44).



**Figura 44.** Comparación y dispersión de promedios de la variable Actividad de la enzima nitrato reductasa (ANR) de 18 genotipos de trigo (*Triticum aestivum s sp aestivum*), evaluadas en el tratamiento sequía y control en los ambientes de La Molina y Junín-Jauja, campaña 2012-2013. Medias con letras iguales no presentan diferencias estadísticas (Tukey,  $p > 0.05$ ,  $n = 3$ ).

En la Figura 44 se presenta los resultados de la interacción genotipo x ambiente, del ANVA COMBINADO, concretamente con los valores del tratamiento sequía, en el cual se puede apreciar la distribución de la AENR de los genotipos en promedio de los ambientes de La Molina y Junín-Jauja. En el cuadrante superior derecho se puede ver los genotipos con mejores valores de AENR en ambos ambientes como G-6, G-11, G-17 y G-15. Estos genotipos presentaron valores promedio de la AENR para ambas localidades igual a 0.55, 0.63, 0.50 y 0.36 N° de micromoles de NO<sub>2</sub> hora<sup>-1</sup> g<sup>-1</sup> PF; respectivamente.





**Figura 45.** Distribución de los valores de la Actividad de la enzima nitrato reductasa (ANR) de 18 genotipos de trigo (*Triticum aestivum s sp aestivum*) bajo condiciones de sequía en los ambientes de La Molina y Junín-Jauja.

Los genotipos que presentaron valores menores de la AENR en condiciones de sequía en los ambientes de La Molina y Junín-Jauja figuran en el cuadrante inferior izquierdo y fueron los genotipos, G-4, G-8, G-14, G-7, G-18 y G-13 (Figura 45), con valores iguales a 0.09, 0.17, 0.19, 0.15, 0.14 y 0.22 N° de micromoles de NO<sub>2</sub> hora<sup>-1</sup> g<sup>-1</sup> PF; respectivamente.

#### 4.2.2. Análisis de correlación

En La Molina los valores de correlación entre el rendimiento y las características morfológicas, agronómicas, fisiológicas y bioquímicas, de los genotipos en el tratamiento sequía se presenta en la Tabla 12. El rendimiento mostró correlación significativa ( $p=0.05$ ) y altamente significativa ( $p=0.01$ ), con las variables de: área foliar ( $r=-0.57$ ), número de espigas m<sup>-2</sup> ( $r=0.50$ ), peso de granos espiga<sup>-1</sup> ( $r=0.59$ ), índice de cosecha ( $r=0.72$ ), contenido de prolina libre ( $r=0.50$ ) y actividad de la enzima nitrato reductasa ( $r=0.71$ ). Considerando estos resultados se puede inferir que el rendimiento presentó una correlación positiva y significativa con todas las variables mencionadas a excepción del área foliar con la cual presentó una correlación negativa. Así mismo se debe indicar que el contenido

relativo de agua también presentó una correlación positiva pero no significativa ( $r=0.31$ ) con el rendimiento de trigo.

**Tabla 12.** Coeficientes de correlación entre el rendimiento y las características morfológicas, agronómicas, fisiológicas y bioquímicas de 18 genotipos de trigo (*Triticum aestivum* s sp *aestivum*), en los tratamientos control y sequía en los ambientes de La Molina y Junín-Jauja, campaña 2012-2013.

Variables	La Molina		Junín-Jauja	
	Sequía	Control	Sequía	Control
	r	r	r	r
Biomasa aérea planta <sup>-1</sup>	-0.026	0.236	-0.376	-0.068
Área foliar	-0.569*	-0.047	0.063	0.158
Altura de planta	0.262	0.662**	-0.004	-0.265
Longitud de espiga	0.042	-0.129	0.352	0.454
Número de espigas m <sup>-2</sup>	0.492*	0.739**	0.774**	0.568*
Número de granos por espiga	0.365	0.663**	0.702**	0.488*
Peso de granos por espiga	0.593**	0.896**	0.729**	0.607**
Peso de mil granos	0.150	0.055	0.040	-0.138
Índice de cosecha	0.723**	0.222	0.820**	0.710**
Número de días transcurridos al 50% de emergencia de espigas	-0.361	0.408	-0.262	-0.386
Número de días transcurridos al 50% de madurez de granos	-0.370	0.393	-0.214	-0.190
Contenido de clorofila SPAD	-0.127	0.425	0.065	0.018
Contenido relativo de agua	0.313	0.324	0.276	0.173
Potencial osmótico	0.019	0.308	0.178	0.210
Ajuste osmótico	0.058	--	-0.235	--
Contenido de prolina libre	0.499*	0.105	0.616**	-0.279
Actividad de la enzima nitrato reductasa	0.714**	0.021	0.371	0.151

(\*,\*\*) Significancia al nivel de probabilidad del 0.05, 0.01; respectivamente.

En Junín-Jauja, el rendimiento de los 18 genotipos de trigo sometidos a estrés por sequía presentaron correlaciones significativas ( $p=0.05$ ) y altamente significativa ( $p=0.01$ ), con las caracteres de: número de espigas m<sup>-2</sup> ( $r=0.77$ ), número de grano por espiga ( $r=0.70$ ), peso de granos por espiga ( $r=0.73$ ), índice de cosecha ( $r=0.82$ ) y contenido de prolina libre ( $r=0.61$ ), por lo cual se puede inferir que el rendimiento presenta una correlación positiva con todas las variables mencionadas. Así mismo se debe indicar que el rendimiento de los genotipos de trigo presentan una correlación negativa pero no significativa con la biomasa aérea planta<sup>-1</sup> ( $r=-0.38$ ) y una correlación positiva pero no significativa, con la longitud de espiga ( $r=0.35$ ) y la actividad de la enzima nitrato reductasa ( $r=0.37$ ).

#### 4.3. OBJETIVO 3:

- Identificación de genotipos con tolerancia a la sequía para ser empleadas en programas de mejoramiento.

Pirayvatlou (2001) indicó que el rendimiento estable de los genotipos bajo condiciones favorables y de estrés por sequía es importante para que los fitomejoradores puedan identificar genotipos tolerantes a la sequía y Cushman y Bohnert, 2000; Erdei *et al.*, 2002; Mattana *et al.*, 2005 indicaron que la tolerancia a la sequía en las plantas es un rasgo muy complejo que involucra múltiples mecanismos genéticos, fisiológicos y bioquímicos.

Considerando los resultados observados en los dos ambientes estudiados, La Molina y Junín (Tabla 13 y 14), se seleccionaron como “**tolerantes a la sequía**” a los genotipos G-11 y G-15, estos genotipos presentaron rendimientos superiores al promedio general en condiciones de sequía en los ambientes de La Molina y Junín-Jauja (Figura 20).

**Tabla 13.** Media de las variables, Biomasa aérea planta<sup>-1</sup> (BAP), Área foliar (AF), Altura de planta (AP), Longitud de espiga (LE), Rendimiento (REN), Número de espigas m<sup>-2</sup> (NEM), Número de granos por espiga (NGE), peso de granos por espiga (PGE) y Peso de mil granos (PMG) de seis genotipos de trigo (*Triticum aestivum s sp aestivum*) seleccionados en la FASE 1, en el tratamiento sequía en los ambientes de La Molina y Junín-Jauja (2012-2013).

Genotipo	Ambiente	VARIABLES								
		BAP	AF	AP	LE	REN	NEM	NGE	PGE	PMG
11	LM	2.66	8.50	72.33	85.76	2588.89	367	44	1.32	29.20
	JUJ	5.33	23.58	88.33	109.91	5772.79	476	64	2.40	35.47
15	LM	3.19	8.48	73.00	97.71	2387.50	357	46	1.60	31.87
	JUJ	5.81	34.08	86.67	115.79	5904.18	471	69	2.69	35.60
14	LM	3.12	10.48	73.00	96.74	2021.67	287	49	1.46	30.47
	JUJ	6.02	29.27	86.67	115.23	5522.56	383	68	2.71	34.47
16	LM	3.09	7.32	75.00	93.30	2320.56	357	40	1.45	36.93
	JUJ	6.07	23.02	88.33	110.84	4684.53	434	61	2.69	34.47
4	LM	3.07	12.15	68.00	93.92	1805.00	289	46	1.52	30.70
	JUJ	5.76	21.76	78.00	104.74	3131.63	351	64	2.22	33.73
18	LM	3.30	9.67	74.67	85.46	1481.11	262	50	1.45	32.13
	JUJ	6.05	37.38	99.00	90.59	3284.60	354	68	2.16	32.87

LM: La Molina, JUJ: Junín-Jauja, BAP: g planta<sup>-1</sup>, AF: cm<sup>2</sup>, AP: cm, LE: mm, REN: Kg ha<sup>-1</sup>, PGE: g y PMG: g

Los genotipos seleccionados como “**tolerantes intermedios a la sequía**” fueron G-14 y G-16, estos genotipos presentaron valores del rendimiento cercanos al promedio general de los 18 genotipos estudiados en condiciones de sequía en los ambientes de La Molina y Junín-Jauja (Figura 20).

Los genotipos seleccionados como “**susceptibles a la sequía**” fueron G-4 y G-18, estos genotipos presentaron rendimientos menores al promedio general en condiciones de sequía en los ambientes de La Molina y Junín-Jauja (Tabla 13 y Figura 20).

**Tabla 14.** Media de las variables, Índice de cosecha (IC), Número de días transcurridos al 50% de emergencia de espigas (NDE), Número de días transcurridos al 50% de madurez de granos (NDM), Contenido de clorofila SPAD (CC), Contenido relativo de agua (CRA), Potencial osmótico ( $\Psi_o$ ), Ajuste osmótico (AO), Contenido de prolina libre (CPL) y Actividad de la

enzima nitrato reductasa (AENR) de seis genotipos de trigo (*Triticum aestivum s sp aestivum*) seleccionados en la FASE 1, en el tratamiento sequía en los ambientes de La Molina y Junín-Jauja (2012-2013).

Genotipo	Ambiente	VARIABLES								
		IC	NDE	NDM	CC	CRA	$\Psi_o$	AO	CPL	AENR
11	LM	26.48	41	72	40.25	61.66	-5.52	0.16	63.17	0.239
	JUJ	23.08	64	115	56.94	75.15	-5.27	1.27	69.90	1.024
15	LM	21.11	46	74	42.70	70.89	-6.32	2.02	74.23	0.153
	JUJ	21.70	70	116	56.43	75.36	-3.64	-0.32	72.60	0.564
14	LM	22.87	46	74	48.90	71.07	-4.61	0.39	69.18	0.080
	JUJ	24.88	67	121	58.05	70.76	-6.70	0.79	79.64	0.303
16	LM	21.08	46	82	49.40	66.98	-8.22	3.89	65.15	0.176
	JUJ	17.92	68	121	56.45	61.64	-5.74	0.43	61.79	0.206
4	LM	20.47	46	76	41.98	47.22	-8.77	3.62	49.37	0.065
	JUJ	15.59	65	116	54.12	65.88	-6.81	3.97	40.27	0.115
18	LM	16.93	49	85	48.47	58.73	-7.29	1.93	52.57	0.127
	JUJ	15.24	73	129	55.00	64.35	-7.22	2.91	44.84	0.145

LM: La Molina, JUJ: Junín-Jauja, IC: %, CC: SPAD, CRA: %,  $\Psi_o$ : Mpa, AO: Mpa, CPL:  $\mu\text{moles Prolina g}^{-1}$  de PFM y AENR: número de micromoles de  $\text{NO}_2$  hora<sup>-1</sup> g<sup>-1</sup> PF

Con los 6 genotipos seleccionados se estableció un experimento en condiciones de La Molina (2013-2014), estudiándose la respuesta al estrés por sequía bajo la misma modalidad empleada en los experimentos precedentes y que permitieron identificar a los genotipos en estudio en la FASE 2, los resultados se presentan a continuación

#### 4.3.1. Características morfológicas y agronómicas

##### Biomasa aérea planta<sup>-1</sup> (BAP)

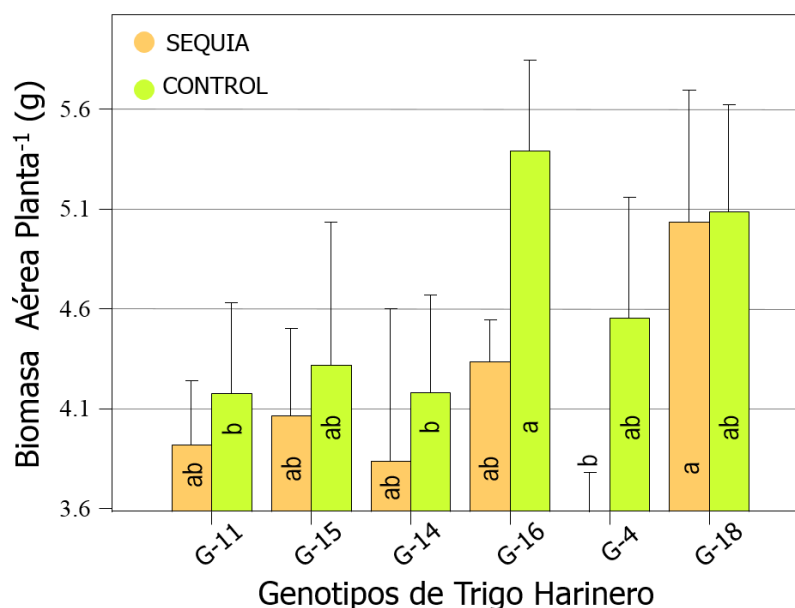
El análisis de variancia individual y combinado para la variable biomasa aérea planta<sup>-1</sup> (BAP), se muestra en la Tabla 15. En el análisis individual los genotipos estudiados en el tratamiento control y sequía, presentaron diferencias estadísticas significativas ( $p=0.05$ ), con coeficientes de variación de 8.52 y 11.91 %; respectivamente, los cuales se encuentran en el rango permisible para este tipo de ensayo y los coeficientes de determinación proyectan una explicación de la variación en función de los genotipos en un 79 y 64 %; respectivamente, dejando un margen de influencia a factores no contemplados en el estudio de 21 y 36 %; respectivamente.

**Tabla 15.** Resumen de análisis de varianza de las variables, Biomasa aérea planta<sup>-1</sup> (BAP) y Área foliar (AF) de seis genotipos de trigo (*Triticum aestivum s sp aestivum*) en condiciones de sequía y control. La Molina (2013-2014).

Análisis Individual	Variables dependientes					
	BAP			AF		
	G <sup>†</sup>	C.V.	R <sup>2</sup>	G <sup>†</sup>	C.V.	R <sup>2</sup>
LM-Control (2013-2014)	*	8.51	0.79	**	15.11	0.79
LM-Sequía (2013-2014)	*	11.91	0.64	**	15.31	0.83
<b>Análisis Combinado</b>						
Genotipo (G)	6.52**			12.52**		
Tratamiento (T)	10.89**			10.65**		
G*T	1.32 NS			1.43 NS		

LM: La Molina, G: Genotipos Seleccionados, C.V.: Coeficiente de variación (%) y R<sup>2</sup>: Coeficiente de determinación. † Probabilidad > F. (\*) significativo, (\*\*) altamente significativo.

En el análisis combinado Tabla 15, se puede observar que los genotipos (G) y tratamientos (T), resultaron estadísticamente altamente significativos (p=0.01) y la interacción genotipo por tratamiento (G\*T) no significativo.



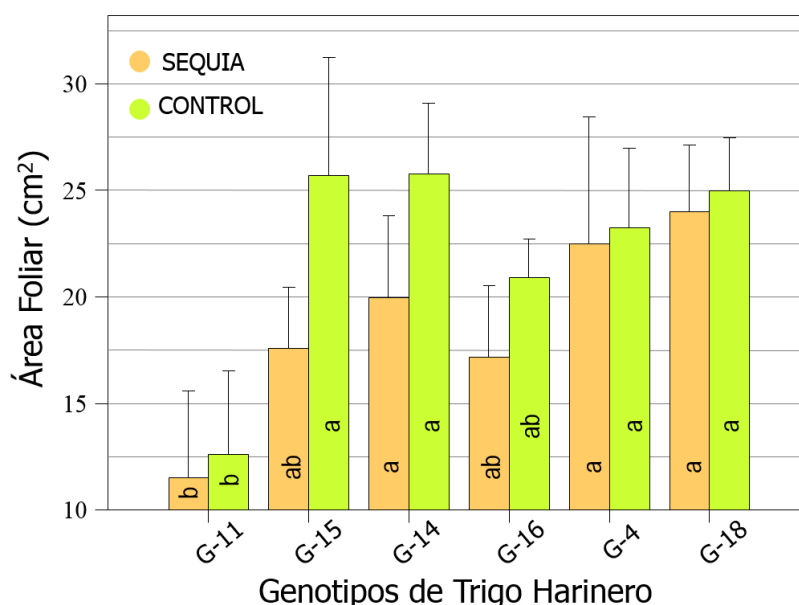
**Figura 46.** Comparación y dispersión de promedios de la Biomasa aérea planta<sup>-1</sup> (BAP) de seis genotipos de trigo (*Triticum aestivum s sp aestivum*), evaluados en el tratamiento sequía y control en el ambiente de La Molina (2013-2014). Medias con letras iguales no presentan diferencias estadísticas (Tukey. p > 0.05. n=3).

En la Figura 46 se presentan los valores de la biomasa aérea planta<sup>-1</sup> de los seis genotipos de trigo estudiados en el tratamiento sequía. El valor de biomasa promedio a nivel del tratamiento fue de 4.12 g planta<sup>-1</sup>. El rango de biomasa de los genotipos vario entre 3.58 a 5.03 g. El genotipo G-18 fue el que mayor biomasa desarrollo y G-4 fue el que mayor reducción de peso de biomasa experimentó por efecto de la sequía.

En el tratamiento control, el promedio de biomasa de los seis genotipos fue de 4.62 g planta<sup>-1</sup>. El valor de biomasa aérea por planta vario de 4.18 a 5.39 g. El genotipo 16 fue el que mayor biomasa desarrollo y los genotipos G-11 y G-14 fueron los que menor biomasa presentaron.

### Área foliar (AF)

En la Tabla 15, se muestra el análisis de variancia individual y combinado, para la variable área foliar (AF), en el análisis individual se aprecia que en el tratamiento control y sequía, hubo diferencias estadísticas altamente significativas ( $p=0.01$ ) entre genotipos, con coeficientes de variación de 15.11 y 15.31 %; respectivamente y los coeficientes de determinación proyectan una explicación de la variación en función de los genotipos del 79 y 83 %; respectivamente, dejando un margen de influencia de factores no observados en el estudio del 21 y 17 %; respectivamente.



**Figura 47.** Comparación y dispersión de promedios de la Área foliar (AF) de seis genotipos de trigo (*Triticum aestivum s sp aestivum*), evaluados en el tratamiento sequía y control en el ambiente de La Molina (2013-2014). Medias con letras iguales no presentan diferencias estadísticas (Tukey.  $p > 0.05$ .  $n = 3$ ).

En el análisis combinado para la variable área foliar, se observó que los genotipos (G) y tratamientos (T), resultaron altamente significativos ( $p=0.01$ ). El promedio del área foliar de los seis genotipos en el tratamiento control fue de 22.20 cm<sup>2</sup>, siendo este valor significativamente superior a 18.80 cm<sup>2</sup> del tratamiento sequía.

En la Figura 47 se presenta los valores de área foliar. En el tratamiento sequía, los genotipos G-18, G-4 y G-14 presentaron mayor área foliar con valores medios de 24.02,

22.49 y 19.97 cm<sup>2</sup>; respectivamente; por otro lado, los genotipos G-15 y G-16 mostraron valores intermedios de área foliar con 17.61 y 17.19 cm<sup>2</sup>; respectivamente y finalmente G-11 fue el que menor área foliar presentó con un valor medio de 11.52 cm<sup>2</sup>. Al comparar estos valores con el del tratamiento control, los genotipos G-14, G-15 y G-16, fueron los que mayormente disminuyeron el área foliar debido al estrés por sequía.

### Altura de Planta (AP)

El análisis individual y combinado para la variable altura de planta (AP), de los seis genotipos, se presenta en la Tabla 16, donde en el análisis individual se aprecia que en los tratamientos sequía y control hubo diferencias estadísticas altamente significativas ( $p=0.01$ ) entre genotipos, con coeficientes de variación de 2.84 y 3.92 %; respectivamente y sus coeficientes de determinación presenta una explicación de las diferencias en función de los genotipos del 87 y 79 %; respectivamente, dejando un margen de influencia del 13 y 21 %; respectivamente a factores no contemplados en el estudio.

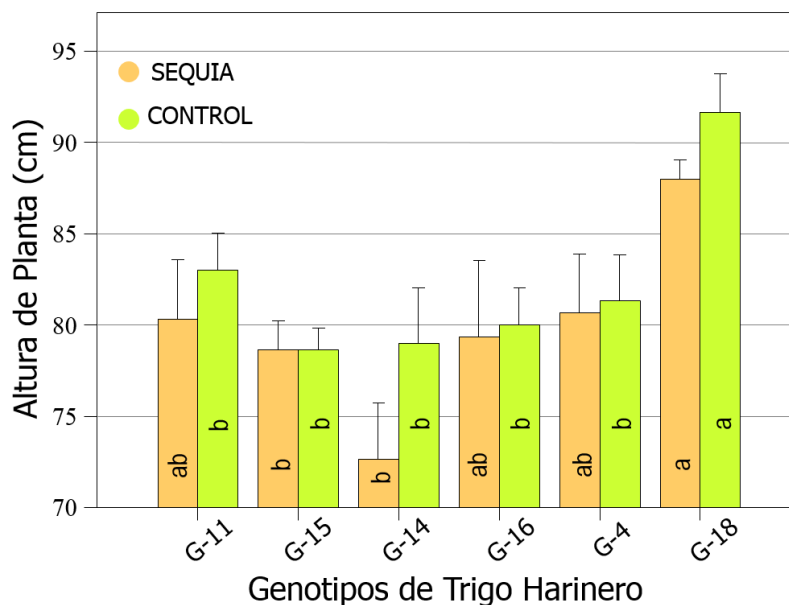
**Tabla 16.** Resumen de análisis de varianza de las variables, Altura de Planta (AP) y Longitud de Espiga (LE) de seis genotipos de trigo (*Triticum aestivum* s *sp aestivum*) en condiciones de sequía y control. La Molina (2013-2014).

Análisis Individual	Variables dependientes					
	AP			LE		
	G <sup>†</sup>	C.V.	R <sup>2</sup>	G <sup>†</sup>	C.V.	R <sup>2</sup>
LM-Control (2013-2014)	**	2.84	0.87	**	3.96	0.81
LM-Sequía (2013-2014)	**	3.92	0.79	**	1.78	0.98
<b>Análisis Combinado</b>						
Genotipo (G)	17.64**			37.57**		
Tratamiento (T)	6.41*			4.16 NS		
G*T	1.13 NS			4.92 **		

LM: La Molina, G: Genotipos Seleccionados, C.V.: Coeficiente de variación (%) y R<sup>2</sup>: Coeficiente de determinación. † Probabilidad > F. (\*) significativo, (\*\*) altamente significativo.

De la misma forma en la Tabla 14, se observa el análisis combinado donde: los genotipos (G) y tratamientos (T), resultaron altamente significativos ( $p=0.01$ ). El promedio de altura de planta de los seis genotipos en el tratamiento control fue de 82.28 cm, siendo este valor significativamente mayor al del tratamiento sequía de 79.94 cm.

En la Figura 48, se aprecia que en el tratamiento sequía, el genotipo que mayor altura de planta alcanzo fue G-18 con un valor de 88.00 cm, los genotipos G-4, G-11 y G-16 fueron los que presentaron valores intermedios de altura de planta con 80.67, 80.33 y 79.33 cm; respectivamente y los genotipos que menor altura de planta presentaron fueron G-15 y G-14 con valores de 78.67 y 72.67 cm; respectivamente.



**Figura 48.** Comparación y dispersión de promedios de Altura de planta (AP) de seis genotipos de trigo (*Triticum aestivum* s sp *aestivum*), evaluados en el tratamiento sequía y control en el ambiente de La Molina (2013-2014). Medias con letras iguales no presentan diferencias estadísticas (Tukey,  $p > 0.05$ .  $n = 3$ ).

En el tratamiento control la altura de planta de los genotipos vario de 78.67 a 91.67 cm. Comparando los valores que presentaron los genotipos en el tratamiento sequía con su correspondiente control, los genotipos G-11, G-4 y G-18 fueron los que mayor reducción de altura de planta experimentaron por efecto de la sequía aplicada.

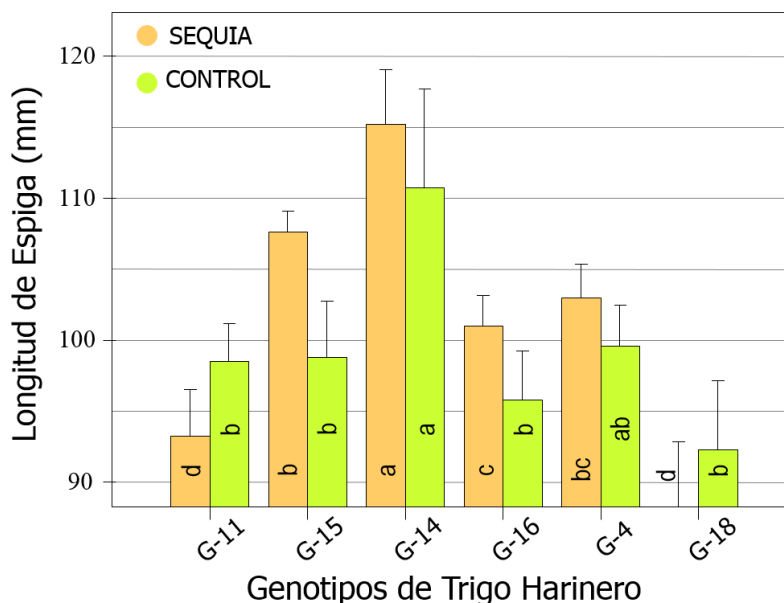
### Longitud de espiga (LE)

El análisis individual para la variable longitud de espiga (LE), de los seis genotipos estudiados, se presenta en la Tabla 16, donde los genotipos en los tratamientos control y sequía presentaron diferencias estadísticas altamente significativas ( $p=0.01$ ), con coeficientes de variación de 3.96 y 1.78 %; respectivamente y los coeficientes de determinación proyectaron una explicación de la variación en función de los genotipos en un 81 y 98 %; respectivamente dejando un margen de influencia a factores no contemplados en el estudio de 19 y 2 %; respectivamente.

De la misma forma en la Tabla 16, se observa el análisis combinado donde, los genotipos (G) y la interacción genotipo por tratamiento ( $G*T$ ), resultaron altamente significativos ( $p=0.01$ ). En la Figura 49, se puede apreciar que los genotipos difirieron en su comportamiento para cada tratamiento. El promedio de la longitud de espiga a nivel tratamiento sequía fue de 101.37 mm que es ligeramente superior al del tratamiento control



de 99.28 mm. La longitud de espiga en el tratamiento sequía de los genotipos G-4, G-14, G-15 y G-16 son mayores al del tratamiento control.



**Figura 49.** Comparación y dispersión de promedios de la Longitud de espiga (LE) de seis genotipos de trigo (*Triticum aestivum s sp aestivum*), evaluados en el tratamiento sequía y control en el ambiente de La Molina (2013-2014). Medias con letras iguales no presentan diferencias estadísticas (Tukey.  $p > 0.05$ .  $n = 3$ ).

En el tratamiento sequía, los genotipos con mayor longitud de espiga fueron G-14 y G-15 con valores de 115.18 y 107.59 mm; respectivamente, los genotipos con valores intermedios de longitud de espiga fueron G-4 y G-16 con 102.95 y 100.99 mm; respectivamente y los genotipos que presentaron menor longitud de espiga fueron G-11 y G-18 con 93.23 y 88.25 mm; respectivamente (Figura 49).

### **Rendimiento (REN)**

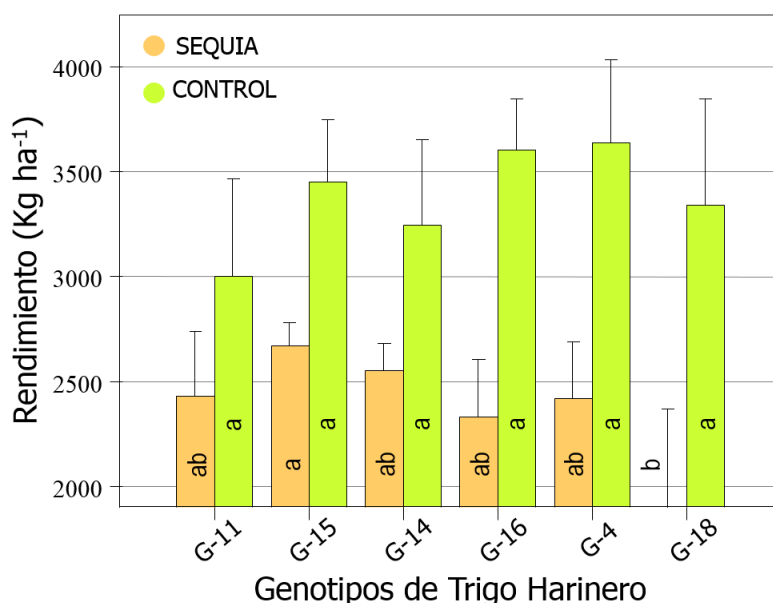
En la Tabla 17, se presenta el análisis de variancia individual para la variable rendimiento (REN) de los seis genotipos estudiados, el cual muestra diferencias estadísticas significativas entre genotipos en el tratamiento sequía ( $p=0.05$ ), que indica una respuesta diferencial de los genotipos al déficit de agua. Por otro lado no hubo diferencias significativas entre genotipos en el tratamiento control. Los coeficientes de variación fueron 12.02 y 10.21 %; respectivamente y el coeficiente de determinación para el tratamiento sequía proyecta una explicación de la variancia en función de los genotipos en un 71 %, dejando un margen de influencia de factores no contemplados en el estudio del 29 %.

**Tabla 17.** Resumen de análisis de varianza de las variables, Rendimiento (REN), Número de espigas m<sup>-2</sup> (NEM) y Número de granos por espiga (NGE) de seis genotipos de trigo (*Triticum aestivum s sp aestivum*) en condiciones de sequía y control. La Molina (2013-2014).

Análisis Individual	Variables dependientes								
	REN			NEM			NGE		
	G <sup>†</sup>	C.V.	R <sup>2</sup>	G <sup>†</sup>	C.V.	R <sup>2</sup>	G <sup>†</sup>	C.V.	R <sup>2</sup>
LM-Control (2013-2014)	NS	12.02	0.39	NS	11.61	0.48	NS	10.01	0.57
LM-Sequía (2013-2014)	*	10.21	0.71	*	13.60	0.64	*	9.84	0.66
<b>Análisis Combinado</b>									
Genotipo (G)	1.67 NS			4.01 *			4.76 **		
Tratamiento (T)	79.64 **			33.34 **			16.24 **		
G*T	1.70 NS			0.81 NS			1.18 NS		

LM: La Molina, G: Genotipos Seleccionados, C.V.: Coeficiente de variación (%) y R<sup>2</sup>: Coeficiente de determinación. † Probabilidad > F. (\*) significativo, (\*\*) altamente significativo.

En la Tabla 17 también, se muestra el análisis combinado, donde el tratamiento (T) resulto altamente significativo (p=0.01), manifestando una diferencia significativa del rendimiento entre el tratamiento control y sequía. El rendimiento promedio de los 6 genotipos, en el tratamiento control fue de 3379.17 Kg ha<sup>-1</sup>, que es significativamente mayor al del tratamiento sequía igual a 2383.15 Kg ha<sup>-1</sup>.



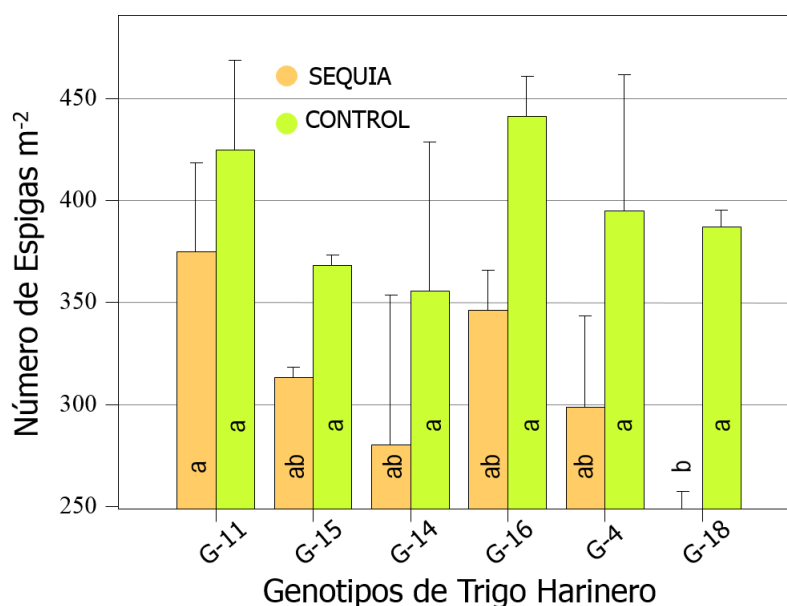
**Figura 50.** Comparación y dispersión de promedios del Rendimiento (REN) de seis genotipos de trigo (*Triticum aestivum s sp aestivum*), evaluados en el tratamiento sequía y control en el ambiente de La Molina (2013-2014). Medias con letras iguales no presentan diferencias estadísticas (Tukey. p > 0.05. n = 3).

En la Figura 50, se puede ver que en el tratamiento sequía, el genotipo G-15 es el de mayor rendimiento, seguido de los genotipos G-14, G-11, G-4 y G-16 y G-18; existiendo diferencias significativas entre los valores de rendimiento de G-15 igual a 2669.3 Kg ha<sup>-1</sup> y

G-18 con 1902.8 Kg ha<sup>-1</sup>. Al realizar la comparación entre los valores de rendimiento de los genotipos, entre el tratamiento sequía y su respectivo tratamiento control se puede apreciar que los genotipos G-18, G-16 y G-4, son los que mayor reducción del rendimiento experimentaron por efecto de la sequía igual a 1437.1, 1271.9 y 1217.9 Kg ha<sup>-1</sup>; respectivamente.

### Número de espigas m<sup>-2</sup> (NEM)

El análisis individual y combinado para la variable número de espigas m<sup>-2</sup>, de los seis genotipos seleccionados se presenta en la Tabla 17, en esta tabla se puede observar, que en el tratamiento sequía los genotipos presentaron diferencias estadísticas significativas (p=0.05) y en el tratamiento control no hubo diferencias estadísticas, los coeficientes de variación fueron 13.60 y 11.61 %; respectivamente. Además indicar que el coeficiente de determinación para el tratamiento sequía muestra una explicación de la variancia en función de los genotipos en un 64 %, dejando un margen de influencia de factores no contemplados en el estudio de 36 %.



**Figura 51.** Comparación y dispersión de promedios de Número de espigas m<sup>-2</sup>(NEM) de seis genotipos de trigo (*Triticum aestivum s sp aestivum*), evaluados en el tratamiento sequía y control en el ambiente de La Molina (2013-2014). Medias con letras iguales no presentan diferencias estadísticas (Tukey. p > 0.05. n=3).

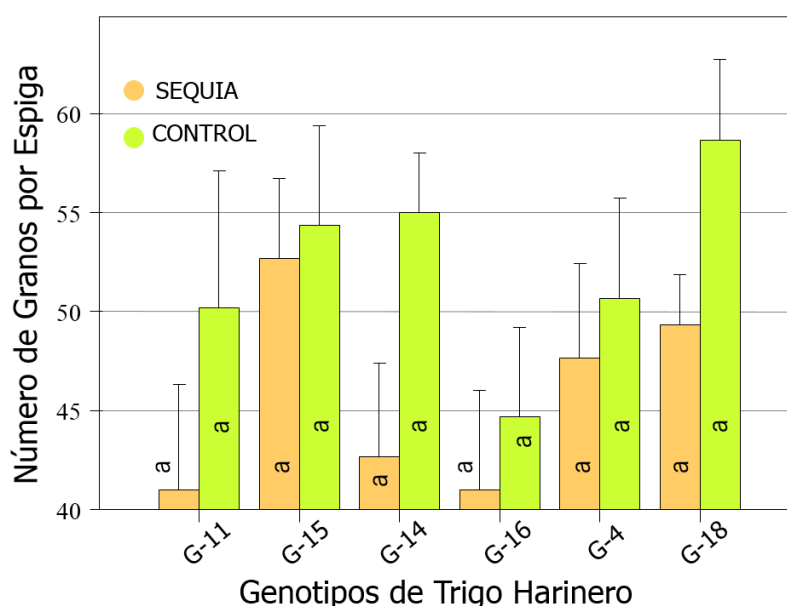
En el análisis combinado los tratamientos (T) y genotipos (G) mostraron diferencias estadísticas altamente significativas (p=0.01) y (p=0.05); respectivamente. El promedio de número de espigas m<sup>-2</sup> de los seis genotipos en el tratamiento control fue de 395 espigas m<sup>-2</sup>.

<sup>2</sup>, valor significativamente mayor al del promedio en el tratamiento sequía con 310 espigas m<sup>-2</sup>.

En la Figura 51, se puede apreciar las diferencias estadísticas significativas en el tratamiento sequía. El genotipo que presentó mayor número de espigas fue G-11 con un valor promedio de 375 espigas m<sup>-2</sup>, los genotipos; G-16, G-15, G-4 y G-14, fueron los que presentaron valores intermedios con, 346, 313, 299 y 281 espigas m<sup>-2</sup>; respectivamente y G-18 fue el que presentó menor número de espigas con 249 espigas m<sup>-2</sup>. Al realizar la comparación del número de espigas m<sup>-2</sup> de los genotipos G-11, G-16, G-15, G-4, G-14 y G-18, con sus respectivos controles se puede ver que hay una diferencia de 50, 95, 55, 96, 75 y 137 espigas m<sup>-2</sup>; respectivamente, siendo el G-18 el que mayor reducción de número de espigas m<sup>-2</sup> experimento debido a la sequía terminal aplicada.

### Número de granos por espiga (NGE)

El análisis de variancia individual y combinado para la variable número de granos por espiga de los seis genotipos se muestra en la Tabla 17, donde se puede observar que en el tratamiento sequía los genotipos presentaron diferencias estadísticas significativas (p=0.05) y en el tratamiento control no hubo diferencias estadísticas, con coeficientes de variación de 9.84 y 10.01 %; respectivamente, el coeficiente de determinación del tratamiento de sequía proyecta una explicación de la variancia en función de los factores en estudio en un 66%, dejando un margen de influencia a factores no contemplados en el estudio de 34%.



**Figura 52.** Comparación y dispersión de promedios del Número de granos por espiga (NGE) de seis genotipos de trigo (*Triticum aestivum s sp aestivum*), evaluados en el tratamiento sequía y

control en el ambiente de La Molina (2013-2014). Medias con letras iguales no presentan diferencias estadísticas (Tukey.  $p > 0.05$ .  $n = 3$ ).

En el análisis combinado se puede apreciar que los tratamientos (T) y genotipos (G), resultaron altamente significativos ( $p=0.01$ ). El promedio de número de granos por espiga de los seis genotipos en el tratamiento control fue de 53 granos por espiga valor significativamente superior al del tratamiento sequía con 46 granos por espiga.

En la Figura 52, se presenta los valores de número de granos por espiga de los genotipos estudiados. En el tratamiento sequía los genotipos G-15, G-18, G-4, G-14, G-16 y G-11 presentaron los valores medios de 53, 49, 48, 43, 41 y 41 granos por espiga; respectivamente. Comparando estos valores con los del tratamiento control se aprecia la siguiente diferencia 1, 8, 3, 12, 4 y 9 granos por espiga; respectivamente, siendo G-14, G-11 y G-18 los genotipos que mayor reducción del número de granos por espiga experimentaron por efecto de la sequía aplicada.

### Peso de granos por espiga (PGE)

El análisis de variancia individual para la variable peso de granos por espiga (PGE) se lo presenta en la Tabla 18, en esta tabla se puede apreciar que en: LM-control y LM-sequía (2013-2014), no hubo diferencias estadísticas entre los seis genotipos.

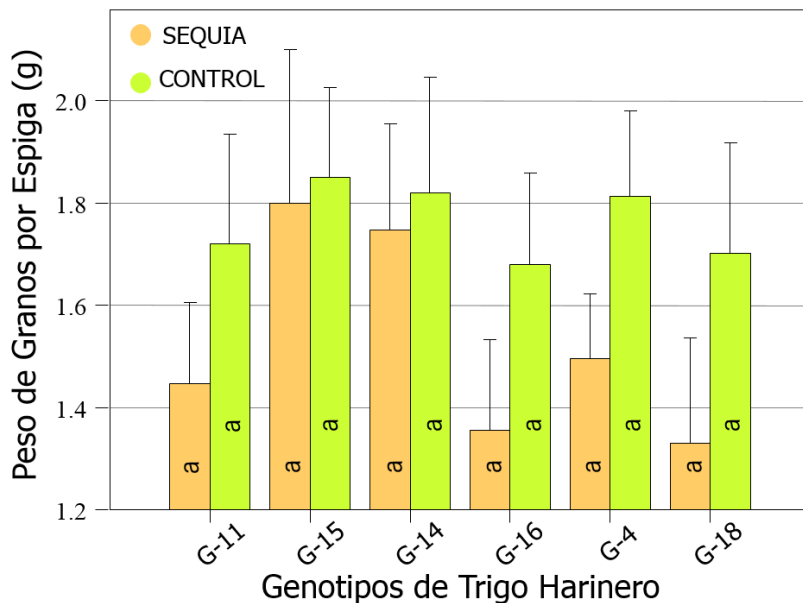
**Tabla 18.** Resumen de análisis de varianza de las variables, Peso de granos por espiga (PGE). Peso de 1000 granos (PMG) e Índice de Cosecha (IC) de seis genotipos de trigo (*Triticum aestivum* s *sp aestivum*) en condiciones de sequía y control. La Molina (2013-2014).

Análisis Individual	Variables dependientes								
	PGE			PMG			IC		
	G <sup>†</sup>	C.V.	R <sup>2</sup>	G <sup>†</sup>	C.V.	R <sup>2</sup>	G <sup>†</sup>	C.V.	R <sup>2</sup>
LM-Control (2013-2014)	NS	8.75	0.56	**	4.49	0.88	NS	16.12	0.64
LM-Sequía (2013-2014)	NS	12.52	0.66	**	5.36	0.77	*	18.77	0.67
<b>Análisis Combinado</b>									
Genotipo (G)	3.49*			11.26**			6.40**		
Tratamiento (T)	16.50**			318.63**			0.28 NS		
G*T	0.95 NS			11.60**			0.52 NS		

LM: La Molina, G: Genotipos Seleccionados, C.V.: Coeficiente de variación (%) y R<sup>2</sup>: Coeficiente de determinación. † Probabilidad > F. (\*) significativo, (\*\*) altamente significativo.

En la Tabla 18 se observa el análisis combinado para la variable peso de granos por espiga de los seis genotipos estudiados en los tratamientos control y sequía, en el ambientes de La Molina (2013-2014). En este análisis combinado se puede ver que los genotipos (G) y

tratamiento (T) muestran una diferencia estadística altamente significativas ( $p=0.05$ ) y ( $p=0.01$ ); respectivamente. El promedio de peso de granos por espiga de los genotipos a nivel tratamiento control fue de 1.77 g, siendo este significativamente mayor a la media del tratamiento sequía con 1.53 g.



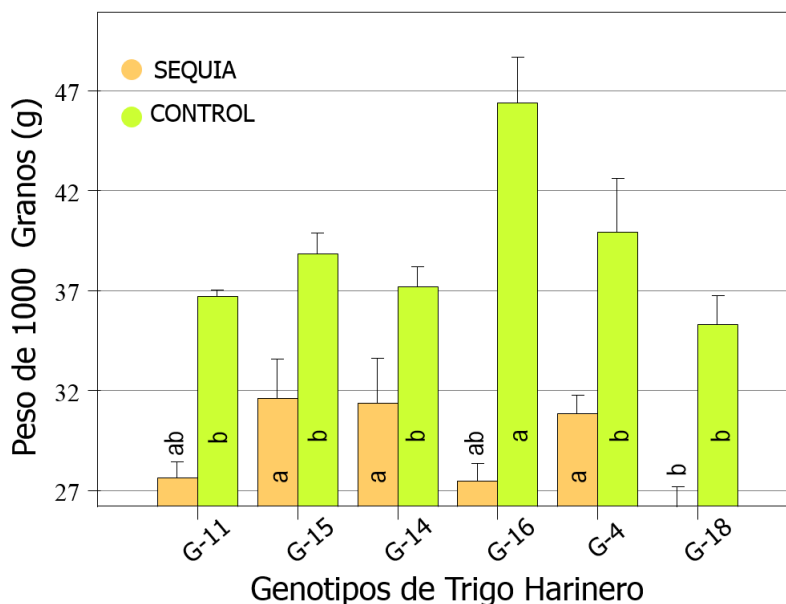
**Figura 53.** Comparación y dispersión de promedios del Peso de granos por espiga (PGE) de seis genotipos de trigo (*Triticum aestivum s sp aestivum*), evaluados en el tratamiento sequía y control en el ambiente de La Molina (2013-2014). Medias con letras iguales no presentan diferencias estadísticas (Tukey.  $p > 0.05$ .  $n = 3$ ).

En la Figura 53, se puede observar que en el tratamiento sequía, los genotipos presentaron el siguiente orden: G-15, G-14, G-4, G-11, G-16 y G-18 con 1.80, 1.75, 1.50, 1.45, 1.36 y 1.33 g; respectivamente y al realizar la comparación del peso de granos por espiga de estos genotipos con sus respectivos controles se aprecia que hay una diferencia de 0.05, 0.07, 0.31, 0.27, 0.32 y 0.37 g, respectivamente, por lo cual se puede inferir que G-18, G-16 y G-4 son los que mayor reducción del peso de granos por espiga experimentaron por efecto de la sequía.

### **Peso de 1000 granos (PMG)**

El análisis variancia individual y combinado de la variable peso de 1000 granos (PMG) de los seis genotipos se presenta en la Tabla 18, en el análisis individual se puede observar que en los tratamientos control y sequía hubo diferencias estadísticas altamente significativas ( $p=0.01$ ) entre genotipos, con coeficientes de variación de 4.49 y 5.36 %; respectivamente. Los coeficientes de determinación en los dos ensayos que presentaron diferencias significativas proyectan una explicación de la variancia en función de los

factores en estudio del presente en un 88 y 77 %; respectivamente, dejando un margen de influencia a factores no contemplados en el estudio de 12 y 23 %; respectivamente.



**Figura 54.** Comparación y dispersión de promedios del Peso de 1000 Granos (PMG) de seis genotipos de trigo (*Triticum aestivum s sp aestivum*), evaluados en el tratamiento sequía y control en el ambiente de La Molina (2013-2014). Medias con letras iguales no presentan diferencias estadísticas (Tukey.  $p > 0.05$ .  $n = 3$ ).

En el análisis combinado para la variable PMG, se puede apreciar que los; genotipos (G), tratamientos (T) y la interacción genotipo por tratamiento (G\*T), resultaron altamente significativos ( $p=0.01$ ), para un mejor análisis de los resultados nos referiremos a la interacción (G\*T). La media del peso de 1000 granos de los seis genotipos fue de 39.05 g en el tratamiento control y 29.17 g en el tratamiento sequía, entre estos valores existe diferencias significativas.

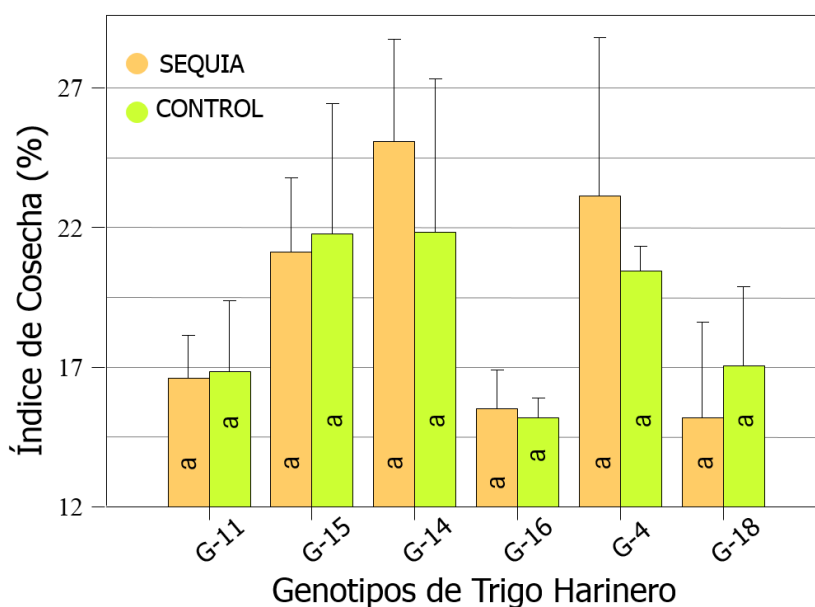
En la Figura 54, en el tratamiento sequía, los genotipos con mayor PMG fueron G-15, G-14 y G-4 con 31.59, 31.34 y 30.83 g; respectivamente, seguidos de los genotipos G-11 y G-16 con 27.61 y 27.46 g; respectivamente y G-18 fue el que menor PMG presentó con 26.18 g. Si se observa el peso de 1000 granos, de estos genotipos, en el tratamiento control se puede ver que los genotipos que mayor reducción experimentaron por efecto de la sequía aplicada fueron G-16, G-4 y G-18.

### Índice de cosecha (IC)

El análisis de variancia individual y combinado para la variable Índice de cosecha (IC), se presenta en la Tabla 18, en el análisis individual se puede observar que en el tratamiento control no hubo diferencias estadísticas y en el tratamiento sequía si hubo diferencias

estadísticas significativas entre los seis genotipos ( $p=0.05$ ), los coeficientes de variación muestran valores de 16.12 y 18.77 %; respectivamente, los cuales están en el rango permisible para este tipo de estudios, además en la misma tabla se puede ver que el coeficiente de determinación del tratamiento sequía, indica una explicación de la variación en función de los genotipos en un 67 %, dejando un margen de influencia a factores no contemplados en el estudio del 33 %. En el análisis combinado para la variable IC, se observa que los genotipos (G) presentaron diferencias estadísticas altamente significativas.

Si ordenamos los genotipos del tratamiento sequía de mayor a menor índice de cosecha se puede ver la siguiente secuencia: G-14, G-4, G-15, G-11, G-16 y G-18 con 25.08, 23.12, 21.14, 16.60, 15.53 y 15.20 %; respectivamente (Figura 55). Al comparar los valores del índice de cosecha de cada uno de estos genotipos con sus respectivos controles se puede apreciar que G-14 y G-4 presentan mayor IC en el tratamiento sequía que en sus respectivos controles, lo cual es diferente a la respuesta de los demás genotipos.



**Figura 55.** Comparación y dispersión de promedios del Índice de Cosecha (IC) de seis genotipos de trigo (*Triticum aestivum* s sp *aestivum*), evaluados en el tratamiento sequía y control en el ambiente de La Molina (2013-2014). Medias con letras iguales no presentan diferencias estadísticas (Tukey.  $p > 0.05$ .  $n = 3$ ).

### Número de días transcurridos al 50% de emergencia de espigas (NDE)

En la Tabla 19 se muestra el análisis de variancia individual y combinado, para la variable número de días transcurridos al 50% de emergencia de espigas (NDE), en el análisis individual se observa que en el tratamiento control y sequía, hubo diferencias estadísticas altamente significativas entre genotipos ( $p=0.01$ ), con coeficientes de variación de 3.01 y



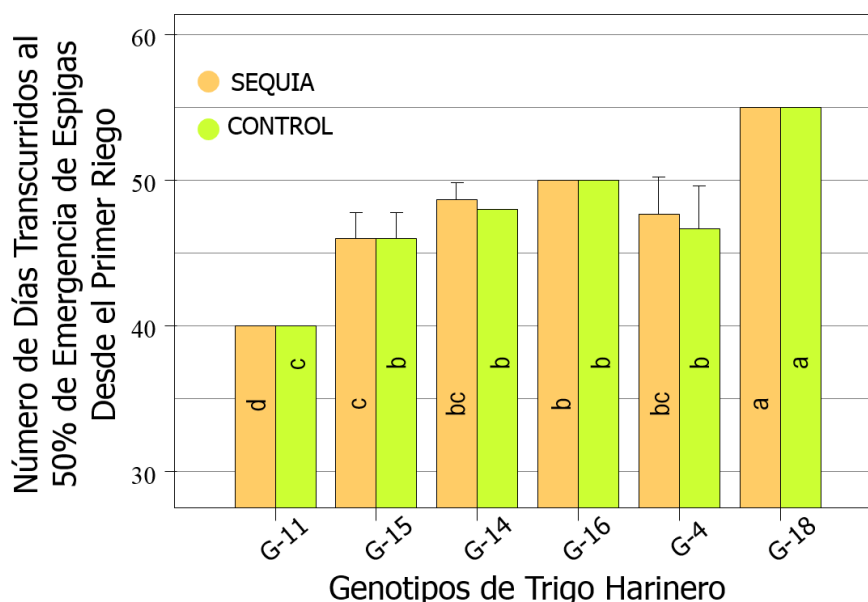
2.69 %; respectivamente y los coeficientes de determinación proyectan una explicación de la variación en función de los genotipos en un 95 y 96 %; respectivamente, dejando un margen de influencia de factores no contemplados en el estudio de 5 y 4%; respectivamente.

**Tabla 19.** Resumen de análisis de varianza de las variables, Número de días transcurridos al 50% de emergencia de espigas (NDE). Número de días transcurridos al 50% de madurez de granos (NDM) de seis genotipos de trigo (*Triticum aestivum s sp aestivum*) en condiciones de sequía y control. La Molina (2013-2014).

Análisis Individual	Variables dependientes					
	NDE			NDM		
	G <sup>†</sup>	C.V.	R <sup>2</sup>	G <sup>†</sup>	C.V.	R <sup>2</sup>
LM-Control (2013-2014)	**	3.01	0.95	**	1.77	0.93
LM-Sequía (2013-2014)	**	2.69	0.96	**	2.27	0.87
Análisis Combinado						
Genotipo (G)	78.53**			31.21**		
Tratamiento (T)	0.37 NS			15.63**		
G*T	0.16 NS			1.33 NS		

LM: La Molina, G: Genotipos Seleccionados, C.V.: Coeficiente de variación (%) y R<sup>2</sup>: Coeficiente de determinación. † Probabilidad > F. (\*) significativo, (\*\*) altamente significativo.

En el análisis combinado para la variable número de días transcurridos al 50% de emergencia de espigas, se observa que solo los genotipos (G) presentan una diferencia estadística altamente significativa (p=0.01).



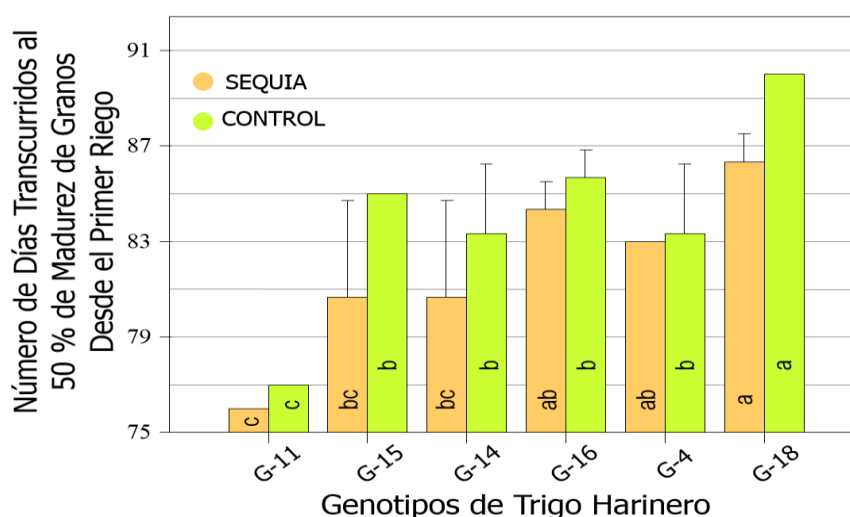
**Figura 56.** Comparación y dispersión de promedios de Número de días transcurridos al 50% de emergencia de espigas (NDE) de seis genotipos de trigo (*Triticum aestivum s sp aestivum*), evaluados en el tratamiento sequía y control en el ambiente de La Molina (2013-2014). Medias con letras iguales no presentan diferencias estadísticas (Tukey. p > 0.05. n = 3).

Si se observa la Figura 56 se aprecia que G-11 y G-15 son los que menor número de días requieren para alcanzar el 50% de emergencia de espigas con una media de 40 y 46 días; respectivamente, seguido de los genotipos G-4 y G-14 que requieren de 48 y 49 días; respectivamente y los genotipos G-16 y G-18 que requieren de 50 y 55 días; respectivamente.

### Número de días transcurridos al 50% de madurez de granos (NDM)

El análisis de variancia individual de la variable número de días transcurridos al 50% de madurez de granos (NDM) se presenta en la Tabla 19, en el que se puede ver que en los tratamientos sequía y control hubo diferencias estadísticas altamente significativas ( $p=0.01$ ) entre genotipos, con coeficientes de variación de 1.77 y 2.27 %; respectivamente y los coeficiente de determinación muestran una explicación de la variación en función de los genotipos en estudio en un 93 y 87 %; respectivamente, dejando un margen de influencia a factores no contemplados en el estudio de 7 y 13 %; respectivamente.

En la Tabla 19 se puede ver también el análisis combinado para la variable NDM de los seis genotipos en los tratamientos control y sequía. En este análisis combinado se observa que los genotipos (G) y tratamientos (T), presentaron diferencias estadísticas altamente significativas ( $p=0.01$ ). El promedio del NDM de los seis genotipos en el tratamiento control fue de 84 días, siendo este valor significativamente mayor a 81 días requeridos en el tratamiento sequía.



**Figura 57.** Comparación y dispersión de promedios de Número de días transcurridos al 50% de madurez de granos (NDM) de seis genotipos de trigo (*Triticum aestivum* s *sp* *aestivum*), evaluados en el tratamiento sequía y control en el ambiente de La Molina (2013-2014). Medias con letras iguales no presentan diferencias estadísticas (Tukey.  $p > 0.05$ .  $n = 3$ ).

En la Figura 57, se presenta el número de días requeridos para alcanzar el 50% de madurez de granos de los genotipos estudiados. En el tratamiento sequía el genotipo G-11 fue el que menor NDM requirió con 76 días, seguido de G-14, G-15, G-4 y G-16 con 81, 81, 83 y 84 días; respectivamente y G-18 fue el que mayor NDM requirió con 86 días. Comparando los valores de número de días requeridos para alcanzar el 50% de madurez de granos de cada uno de los genotipos en el tratamiento sequía y control, se puede apreciar que G-15, G-18 y G-14 presentaron mayor reducción del NDM por efecto de la sequía aplicada.

#### 4.3.2. Características fisiológicas y bioquímicas

##### Contenido de clorofila SPAD (CC)

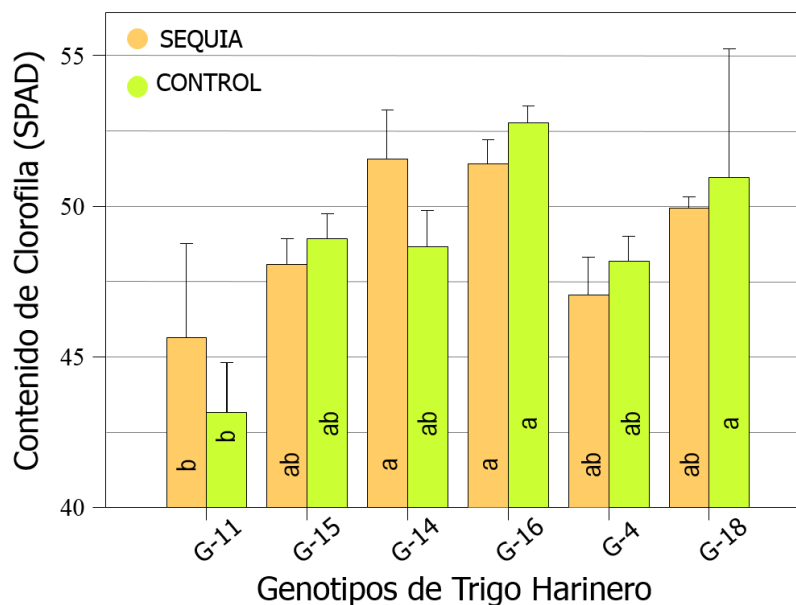
El análisis individual y combinado para la variable contenido de clorofila SPAD (CC), de los seis genotipos estudiados, se presenta en la Tabla 20. En el análisis individual se puede apreciar, que en los tratamientos sequía y control hubo diferencias estadísticas altamente significativas ( $p=0.01$ ) entre genotipos, con coeficientes de variación de 4.28 y 3.48 %; respectivamente y sus coeficientes de determinación presentan una explicación de la variación en función de los genotipos de 79 y 76 %; respectivamente, dejando un margen de influencia a factores no contemplados en el estudio de 21 y 24 %; respectivamente.

**Tabla 20.** Resumen de análisis de varianza de las variables, Contenido de clorofila SPAD (CC), Contenido relativo de agua (CRA) y Potencial osmótico ( $\Psi_o$ ) de seis genotipos de trigo (*Triticum aestivum s sp aestivum*) en condiciones de sequía y control. La Molina (2013-2014).

Análisis Individual	Variables dependientes									
	CC			CRA			$\Psi_o$			
	G <sup>†</sup>	C.V.	R <sup>2</sup>	G <sup>†</sup>	C.V.	R <sup>2</sup>	G <sup>†</sup>	C.V.	R <sup>2</sup>	
LM-Control (2013-2014)	**	4.28	0.79	NS	6.13	0.38	NS	9.50	0.71	
LM-Sequía (2013-2014)	**	3.48	0.76	**	7.80	0.77	*	9.19	0.75	
<b>Análisis Combinado</b>										
Genotipo (G)	11.98**			3.46*			7.95**			
Tratamiento (T)	0.07 NS			90.22**			25.89**			
G*T	1.60 NS			3.31*			0.87 NS			

LM: La Molina, G: Genotipos Seleccionados, C.V.: Coeficiente de variación (%) y R<sup>2</sup>: Coeficiente de determinación. † Probabilidad > F. (\*) significativo, (\*\*) altamente significativo.

En el análisis combinado se observa que: los genotipos (G) presentan una diferencia estadística altamente significativa ( $p=0.01$ ) y que no hubo diferencias significativas entre tratamientos.

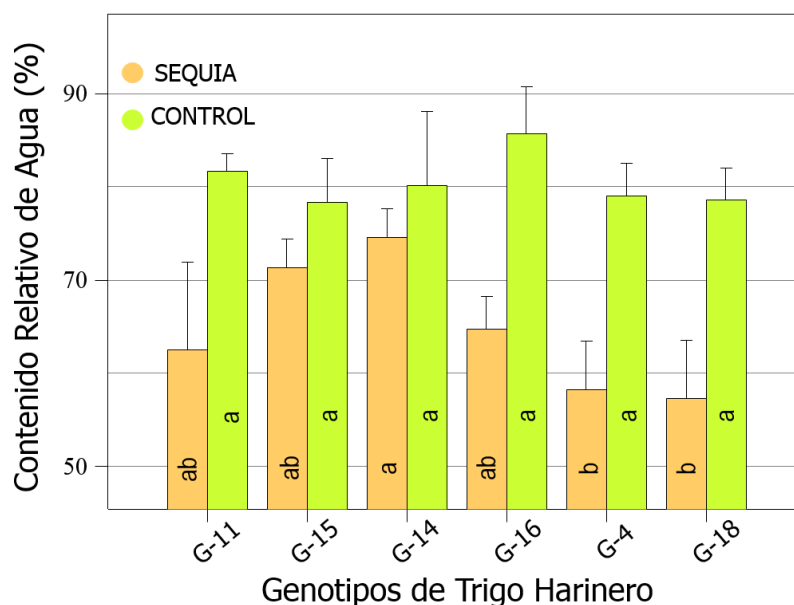


**Figura 58.** Comparación y dispersión de promedios del Contenido de clorofila SPAD (CC) de seis genotipos de trigo (*Triticum aestivum s sp aestivum*), evaluados en el tratamiento sequía y control en el ambiente de La Molina (2013-2014). Medias con letras iguales no presentan diferencias estadísticas (Tukey.  $p > 0.05$ .  $n = 3$ ).

En la Figura 58, se puede observar que hay diferencias entre los valores del CC de los genotipos en el tratamiento sequía, donde G-14 y G-16 son los genotipos que mayor CC presentaron con 51.57 y 51.40 SPAD; respectivamente, G-18, G-15 y G-4 son los genotipos que muestran valores intermedios del CC con 49.93, 48.07 y 47.07 SPAD; respectivamente y G-11 es el genotipo que menor CC presentó con 45.63 SPAD. Al realizar una comparación de los valores del CC que presentan estos genotipos en condiciones de sequía con sus respectivos controles se puede ver que G-14 y G-11 muestran mayor CC en el tratamiento sequía que en el control y en los demás genotipos el CC del tratamiento control es mayor a los del tratamiento sequía.

### Contenido relativo de agua (CRA)

El análisis de variancia individual y combinado para la variable contenido relativo de agua (CRA) de los seis genotipos, se muestra en la Tabla 20. En el análisis individual se puede ver que en el tratamiento sequía si hubo diferencias estadísticas altamente significativas ( $p=0.01$ ) entre genotipos y no en el tratamiento control, los coeficientes de variación fueron 7.80 y 6.13 %; respectivamente. El coeficiente de determinación del tratamiento sequía explica la variación en función de los genotipos en un 77 % dejando un margen de influencia del 23 % a factores no contemplados en el estudio.



**Figura 59.** Comparación y dispersión de promedios del Contenido relativo de agua (CRA) de seis genotipos de trigo (*Triticum aestivum s sp aestivum*), evaluados en el tratamiento sequía y control en el ambiente de La Molina (2013-2014). Medias con letras iguales no presentan diferencias estadísticas (Tukey.  $p > 0.05$ .  $n = 3$ ).

En el análisis combinado para la variable contenido relativo de agua, se puede apreciar que los genotipos (G), tratamientos (T) presentan diferencias estadísticas significativas ( $p=0.05$ ) y la interacción (G\*T) muestra una respuesta diferencial estadística altamente significativa ( $p=0.01$ ). El promedio del CRA de los seis genotipos a nivel tratamiento control fue de 80.59 %, que es significativamente mayor al promedio del tratamiento sequía con 64.78 %.

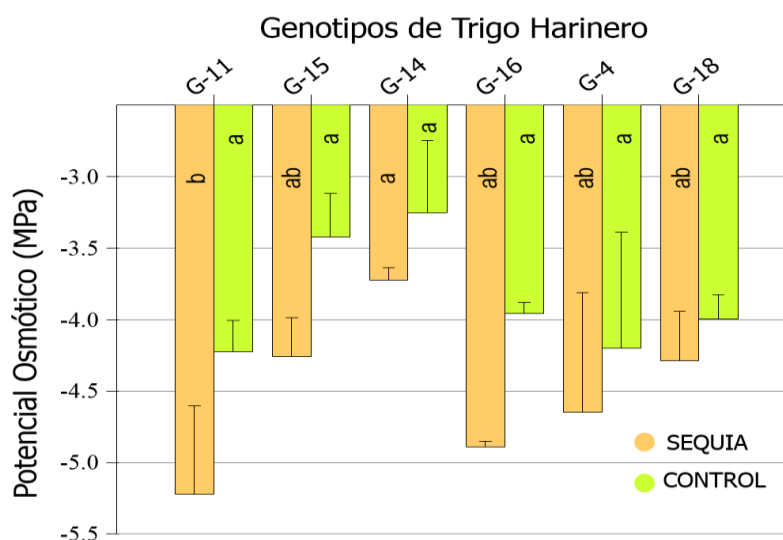
El comportamiento del contenido relativo de agua de los seis genotipos de trigo en el tratamiento sequía, que es el tema de estudio, se lo presenta en la Figura 59, en esta figura se puede observar que los genotipos con mayor contenido relativo de agua fueron G-14 y G-15 con CRA de 74.59 y 71.34 %; respectivamente; los genotipos que muestran contenidos relativos de agua cercanos a la media fueron G-16 y G-11 con CRA de 64.70 y 62.51 %; respectivamente y los genotipos G-4 y G-18 fueron los que menor CRA presentaron con 58.22 y 57.31 %; respectivamente. Al estudiar el contenido relativo de agua de estos genotipos en el tratamiento sequía y compararlo con su respectivo tratamiento control se puede ver en la Figura 59 que los genotipos que mayor reducción del CRA experimentaron por efecto de la sequía aplicada fueron: G-4, G-18, G-16 y G-11.

## Potencial osmótico ( $\Psi_o$ )

El análisis de variancia individual y combinado para la variable potencial osmótico ( $\Psi_o$ ) de los seis genotipos, se muestra en la Tabla 20. En el análisis individual se puede ver que en el tratamiento sequía si hubo diferencias estadísticas ( $p=0.05$ ) y en el tratamiento control no hubo diferencias estadísticas, los coeficientes de variación fueron de 9.19 y 9.50 %; respectivamente y el coeficiente de determinación del tratamiento de sequía presenta una explicación de la variación en función de los genotipos en un 75% dejando un margen de influencia del 25% a factores no contemplados en el estudio.

En el análisis combinado para la variable  $\Psi_o$ , se puede ver que los genotipos (G) y tratamientos (T), resultaron altamente significativos ( $p=0.01$ ). La media del potencial osmótico de los seis genotipos estudiados en el tratamiento control fue igual a -3.84 Mpa, que es estadísticamente superior a la del tratamiento sequía con -4.50 Mpa.

En el tratamiento sequía se puede apreciar que el genotipo G-14 fue el que mayor potencial osmótico presentó con -3.72 Mpa, los genotipos con cantidades de potencial osmótico cercanos a la media de los seis genotipos fueron G-15, G-18, G-4 y G-16 con -4.26, -4.29, -4.64 y -4.89 Mpa; respectivamente y el genotipo G-11 fue el que menor potencial osmótico presentó con -5.22 Mpa (Figura 60). Al comparar el  $\Psi_o$  de cada uno de los genotipos del tratamiento sequía con su respectivo tratamiento control, se puede apreciar que G-11, G-16 y G-15 fueron los que mayor reducción del  $\Psi_o$  experimentaron por efecto de la sequía aplicada.



**Figura 60.** Comparación y dispersión de promedios del Potencial osmótico ( $\Psi_o$ ) de seis genotipos de trigo (*Triticum aestivum* s *sp* *aestivum*), evaluados en el tratamiento sequía y control en el ambiente de La Molina (2013-2014). Medias con letras iguales no presentan diferencias estadísticas (Tukey,  $p > 0.05$ ,  $n = 3$ ).

### Ajuste Osmótico (AO)

En la Tabla 21, se muestra el ajuste osmótico de los seis genotipos estudiados, en esta tabla se puede apreciar que los genotipos G-11, G-16 y G-15, fueron los que mayor ajuste osmótico presentaron con 1.00, 0.93 y 0.83 Mpa; respectivamente, G-14 y G-4 mostraron valores intermedios del ajuste osmótico con 0.47 y 0.44 Mpa; respectivamente y el genotipo G-18 fue el que menor ajuste osmótico presentó con un valor de 0.29 Mpa.

**Tabla 21.** Potencial osmótico ( $\Psi_o$ ) y Ajuste Osmótico (AO) de los seis genotipos de trigo (*Triticum aestivum s sp aestivum*), en condiciones de sequía y control. La Molina (2013-2014).

Genotipos	LA MOLINA (2013-2014)		AO
	$\Psi_o$		
	Control	Sequía	
G-4	-4.20	-4.64	0.44
G-11	-4.22	-5.22	1.00
G-14	-3.25	-3.72	0.47
G-15	-3.42	-4.26	0.83
G-16	-3.96	-4.89	0.93
G-18	-3.99	-4.29	0.29

Los valores se encuentran en Mpa

### Contenido de prolina libre (CPL)

En la Tabla 22 se muestra el análisis de variancia individual y combinado para la variable contenido de prolina libre (CPL). En el análisis individual se puede apreciar que en el tratamiento de sequía hubo diferencias estadísticas significativas ( $p=0.05$ ) entre genotipos y en el tratamiento control no hubo diferencias significativas, con coeficientes de variación de 11.86 y 13.56 %; respectivamente y el coeficiente de determinación en el tratamiento sequía presenta una explicación de la variación en función de los genotipos del 66 % dejando un margen de influencia del 34 % a factores no contemplados en el estudio.

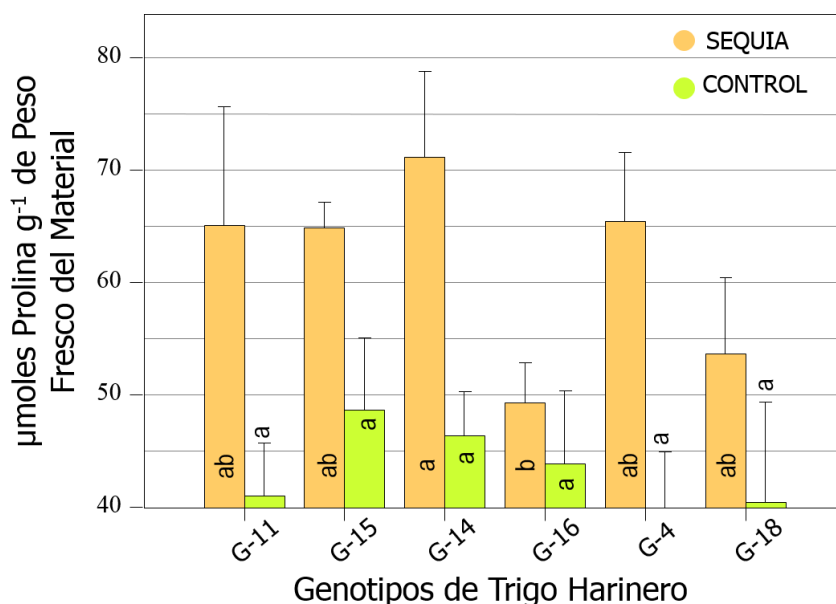
En el análisis combinado de la variable contenido de prolina libre, se puede observar que los genotipos (G) y tratamientos (T), presentaron resultados estadísticos significativos ( $p=0.05$ ) y altamente significativos ( $p=0.01$ ); respectivamente.

**Tabla 22.** Resumen de análisis de varianza de las variables, Contenido de prolina libre (CPL) y Actividad de la enzima nitrato reductasa (AENR) de seis genotipos de trigo (*Triticum aestivum s sp aestivum*) en condiciones de sequía y control. La Molina (2013-2014).

Análisis Individual	Variables dependientes					
	CPL			AENR		
	G <sup>†</sup>	C.V.	R <sup>2</sup>	G <sup>†</sup>	C.V.	R <sup>2</sup>
LM-Control (2013-2014)	NS	13.56	0.46	**	14.84	0.92
LM-Sequía (2013-2014)	*	11.86	0.66	**	14.08	0.89
Análisis Combinado						
Genotipo (G)	3.34*			17.61**		
Tratamiento (T)	68.12**			220.99**		
G*T	2.22 NS			16.03**		

LM: La Molina, G: Genotipos Seleccionados, C.V.: Coeficiente de variación (%) y R<sup>2</sup>: Coeficiente de determinación. † Probabilidad > F. (\*) significativo, (\*\*) altamente significativo.

La diferencia entre tratamiento (T) se puede observar en la Figura 61. El promedio del contenido de prolina libre de los seis genotipos en el tratamiento sequía fue de 61.57  $\mu\text{moles Prolina g}^{-1}$  de PFM que es significativamente superior al del tratamiento control de 43.34  $\mu\text{moles Prolina g}^{-1}$  de PFM.



**Figura 61.** Comparación y dispersión de promedios del Contenido de prolina libre (CPL) de seis genotipos de trigo (*Triticum aestivum s sp aestivum*), evaluados en el tratamiento sequía y control en el ambiente de La Molina (2013-2014). Medias con letras iguales no presentan diferencias estadísticas (Tukey.  $p > 0.05$ .  $n = 3$ ).

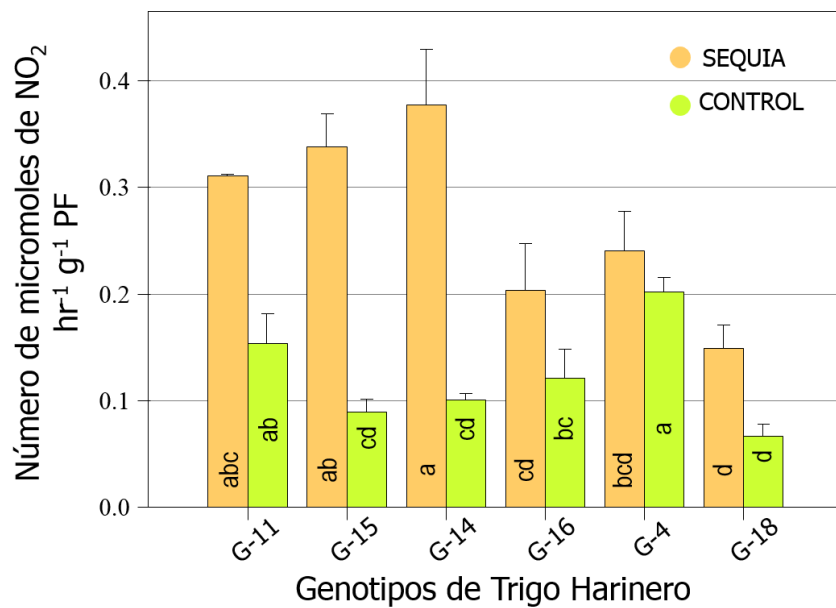
En la Figura 61, se puede apreciar que el genotipo con mayor contenido de prolina libre fue G-14 con 71.17  $\mu\text{moles Prolina g}^{-1}$  de PFM y los genotipos que presentaron valores intermedios del contenido de prolina libre fueron G-4, G-11, G-15 y G-18 con valores de 65.40, 65.09, 64.85 y 53.64  $\mu\text{moles Prolina g}^{-1}$  de PFM; respectivamente y G-16 fue el genotipo que menor contenido de prolina libre presentó con 49.28  $\mu\text{moles Prolina g}^{-1}$  de



PFM y si comparamos estos valores con su respectivo tratamiento control se puede ver que las plantas de cada uno de los genotipos: G-4, G-11, G-14, G-15, G-16 y G-18 en el tratamiento sequía supero a su respectivo control en 25.51, 24.09, 24.88, 16.25, 5.42 y 13.23  $\mu\text{moles Prolina g}^{-1}$  de PFM; respectivamente.

### Actividad de la enzima nitrato reductasa (AENR)

El análisis de variancia individual y combinado de la variable actividad de la enzima nitrato reductasa (AENR) se lo presenta en la Tabla 22. En el análisis individual se puede ver que tanto en el tratamiento control como en sequía hubo diferencias estadísticas altamente significativas entre genotipos ( $p=0.01$ ), con coeficientes de variación de 14.84 y 14.08 %; respectivamente y coeficientes de determinación del 92 y 89 %; respectivamente los cuales explican la variación en función de los genotipos, dejando un margen de influencia del 8 y 11 %; respectivamente a factores no contemplados en el estudio.



**Figura 62.** Comparación y dispersión de promedios de la Actividad de la enzima nitrato reductasa (AENR) de seis genotipos de trigo (*Triticum aestivum s sp aestivum*), evaluados en el tratamiento sequía y control en el ambiente de La Molina (2013-2014). Medias con letras iguales no presentan diferencias estadísticas (Tukey.  $p > 0.05$ .  $n = 3$ ).

En el análisis combinado se puede apreciar que, los genotipos (G), tratamientos (T) y la interacción genotipo por tratamiento ( $G^*T$ ), resultaron altamente significativos ( $p=0.01$ ), por lo cual nos referiremos a la interacción ( $G^*T$ ) y para una mejor visualización de estos resultados se presenta la Figura 62, en el cual se aprecia que dentro de cada genotipo la AENR fue diferente en los tratamientos control y sequía. La media de la AENR de los seis genotipos en el tratamiento sequía fue de 0.27 número de micromoles de  $\text{NO}_2$  hora<sup>-1</sup> g<sup>-1</sup> PF

que es significativamente mayor al del tratamiento control de 0.12 número de micromoles de NO<sub>2</sub> hora<sup>-1</sup> g<sup>-1</sup> PF.

En el tratamiento sequía, los genotipos G-14 y G-15 fueron los que mayor AENR presentaron con 0.38 y 0.34 número de micromoles de NO<sub>2</sub> hora<sup>-1</sup> g<sup>-1</sup> PF; respectivamente, los genotipos que presentaron valores intermedios de la AENR fueron G-11 y G-4 con 0.31 y 0.24 número de micromoles de NO<sub>2</sub> hora<sup>-1</sup> g<sup>-1</sup> PF; respectivamente y G-16 y G-18 fueron los que menor AENR presentaron con valores de 0.20 y 0.15 número de micromoles de NO<sub>2</sub> hora<sup>-1</sup> g<sup>-1</sup> PF; respectivamente. Al comparar la AENR de cada uno de los genotipos del tratamiento sequía con su respectivo tratamiento control, se puede indicar que los genotipos G-11, G-14 y G-15 incrementaron la AENR al aplicar el tratamiento sequía.

### 4.3.3. Características de la raíz

#### Longitud de raíz (LR)

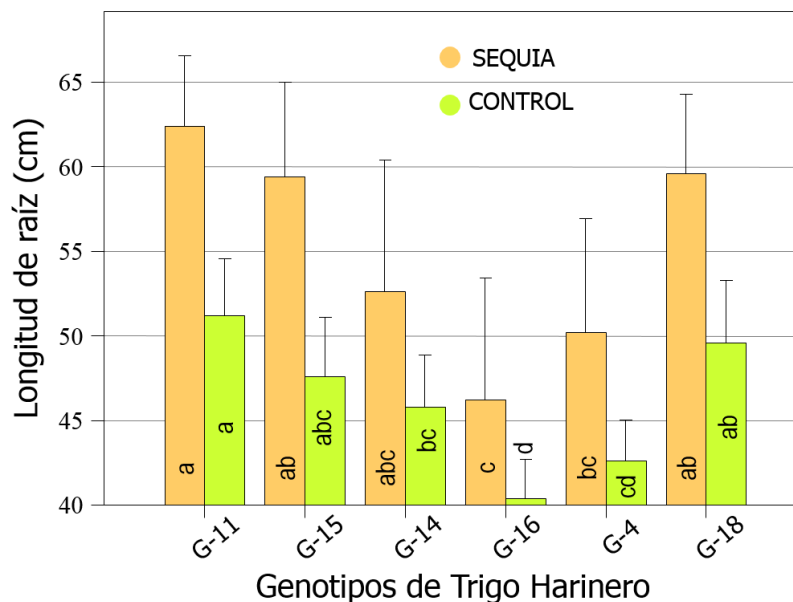
En la Tabla 23, se puede observar el análisis de variancia individual para la variable longitud de raíz (LR), en base a esta se puede indicar que en el tratamiento control y sequía, hubo diferencias estadísticas altamente significativas (p=0.01) entre genotipos en la característica LR, con coeficientes de variación de 5.82 y 9.90 %; respectivamente, los cuales están en el rango permisible para este tipo de experimentos, además debemos indicar que los coeficientes de determinación proyectan la explicación de la variación en función de los factores en estudio del 78 y 69 %; respectivamente, dejando un margen de influencia a otros factores no contemplados en el estudio del 22 y 31 %; respectivamente.

**Tabla 23.** Resumen de análisis de variancia de las variables, Longitud de raíz (LR) y Peso seco de raíz (PR) de seis genotipos de trigo (*Triticum aestivum s sp aestivum*) en condiciones de sequía y control. La Molina (2013-2014).

Análisis Individual	Variables dependientes					
	LR			PSR		
	G <sup>†</sup>	C.V.	R <sup>2</sup>	G <sup>†</sup>	C.V.	R <sup>2</sup>
LM-Control (2013-2014)	**	5.82	0.78	**	13.27	0.89
LM-Sequía (2013-2014)	**	9.90	0.69	**	13.87	0.68
<b>Análisis Combinado</b>						
Genotipo (G)	14.68**			25.86**		
Tratamiento (T)	63.79**			2.82**		
G*T	0.83 NS			9.95**		

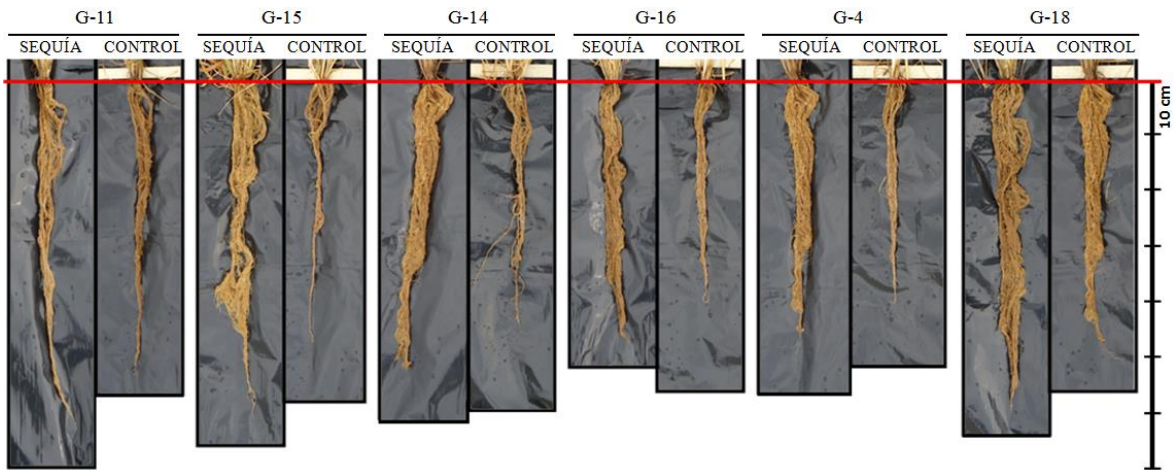
LM: La Molina, G: Genotipos Seleccionados, C.V.: Coeficiente de variación (%) y R<sup>2</sup>: Coeficiente de determinación. † Probabilidad > F. (\*) significativo, (\*\*) altamente significativo.

En el análisis de variancia combinado Tabla 23, se puede apreciar que los genotipos (G) y tratamientos (T), resultaron altamente significativos ( $p=0.01$ ). La media para la longitud de raíz de los seis genotipos en el tratamiento sequía fue de 55.07 cm el cual es significativamente mayor a 46.20 cm valor que corresponde al tratamiento control.



**Figura 63.** Comparación y dispersión de promedios de la Longitud de raíz (LR) de seis genotipos de trigo (*Triticum aestivum s sp aestivum*), evaluados en el tratamiento sequía y control en el ambiente de La Molina (2013-2014). Medias con letras iguales no presentan diferencias estadísticas (Tukey.  $p > 0.05$ .  $n = 5$ ).

En la Figura 63, se puede ver que en el tratamiento sequía el genotipo que mayor longitud de raíz alcanzó fue G-11 con 62.40 cm, los genotipos que muestran valores intermedios para esta variable fueron G-18, G-15 y G-14 con 59.60, 59.40 y 52.60 cm; respectivamente y los genotipos G-4 y G-16 fueron los que menor longitud de raíz desarrollaron con 50.20 y 46.20 cm; respectivamente. Al realizar la comparación de los valores de la longitud de raíz de cada genotipo (G-4, G-11, G-14, G-15, G-16 y G-18) del tratamiento sequía con su respectivo control, se puede ver en la Figura 63 y 64, que hay una diferencia de 7.60, 11.20, 6.60, 11.80, 5.80 y 10.0 cm; respectivamente, por lo cual se puede indicar que los genotipos G-11, G-15 y G-18 fueron los que mayor longitud de raíz desarrollaron bajo condiciones de sequía.

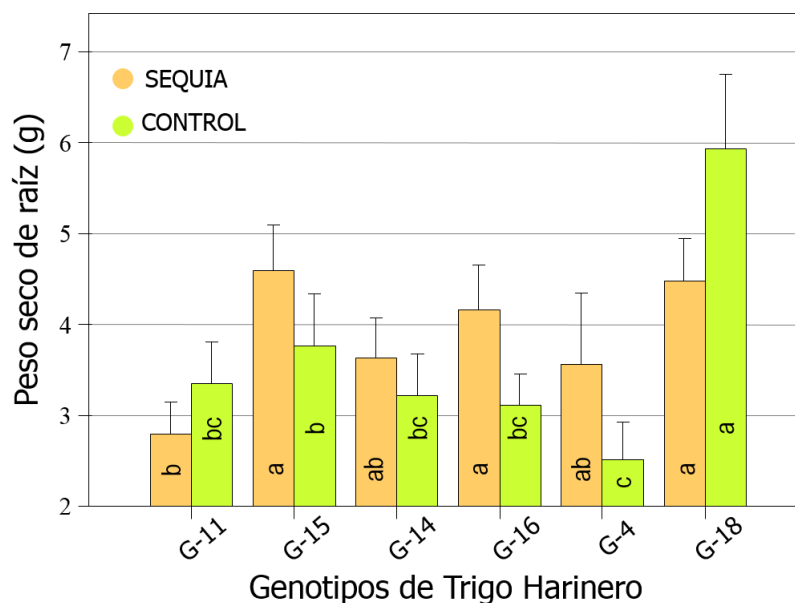


**Figura 64.** Longitud de raíz (LR) de seis genotipos de trigo (*Triticum aestivum s sp aestivum*), evaluados en el tratamiento sequía y control en el ambiente de La Molina (2013-2014)

### **Peso seco de raíz (PSR)**

En el análisis de variancia individual para la variable peso seco de raíz (PSR) de la Tabla 22, se puede ver que en los tratamiento control y sequía hubo diferencias estadísticas altamente significativas ( $p=0.01$ ), entre genotipos, con coeficientes de variación de 13.27 y 13.87 %; respectivamente, los cuales se encuentran en el rango permisible para este tipo de estudios y los coeficientes de determinación presentaron valores de 89 y 68 %; respectivamente, proyectando la explicación de la variación en función del factor en estudio y dejando un margen de influencia a otros factores no contemplados en el estudio en un 11 y 32 %; respectivamente.

En el análisis combinado para la variable peso seco de raíz (Tabla 22), se puede ver que los genotipos (G), tratamientos (T) y la interacción genotipo por tratamiento ( $G*T$ ), resultaron altamente significativos. En la Figura 65 se puede apreciar que existen diferencias de peso seco de raíz entre tratamientos. El promedio de PSR de los genotipos a nivel tratamiento sequía fue de 3.87 g que es significativamente mayor al del tratamiento control de 3.65 g, además se puede ver que cada genotipo de forma individual manifiesta diferencias del PSR en su tratamiento sequía y control.



**Figura 65.** Comparación y dispersión de promedios del Peso seco de raíz (PR) de seis genotipos de trigo (*Triticum aestivum s sp aestivum*), evaluados en el tratamiento sequía y control en el ambiente de La Molina (2013-2014). Medias con letras iguales no presentan diferencias estadísticas (Tukey,  $p > 0.05$ .  $n = 5$ ).

En la Figura 65, se puede ver que los genotipos que mayor PSR obtuvieron en condiciones de sequía fueron G-15, G-16 y G-18, los genotipos que presentaron valores intermedios del PSR fueron G-14 y G-4, y el genotipo con menor PSR en condiciones de sequía fue G-11. En función de la misma figura se realizó la comparación del PSR de cada genotipo en su tratamiento control y sequía, logrando evidenciar que los genotipos G-11 y G-18 fueron los únicos que experimentaron reducción del PSR al aplicar la sequía y los genotipos G-15, G-14, G-16 y G-4, fueron los que obtuvieron mayor PSR en su tratamiento sequía en comparación con su tratamiento control. Con estos resultados se puede indicar que los genotipos G-15, G-14, G-16 y G-4, lograron incrementar el PSR en un 0.83, 0.41, 1.06 y 1.04 g; respectivamente, al experimentar el estrés por sequía.

#### 4.3.4. Análisis de correlación

El análisis de correlación de los datos obtenidos para los 6 genotipos de trigo seleccionados en la FASE 1, pone en manifiesto la relación entre el rendimiento y las características: morfológicas, agronómicas, fisiológicas, bioquímicas y de la raíz, evaluados en los tratamientos sequía y control en el ambiente de La Molina campaña agrícola 2013-2014 (Tabla 24). El rendimiento mostró correlación significativa ( $p=0.05$ ) y altamente significativa ( $p=0.01$ ), con las variables de: biomasa aérea planta<sup>-1</sup> ( $r=-0.81$ ), altura de planta ( $r=-0.83$ ), longitud de espiga ( $r=0.79$ ), número de granos por espiga ( $r=0.55$ ), peso

de granos por espiga ( $r=0.91$ ), peso de mil granos ( $r=0.83$ ), índice de cosecha ( $r=0.66$ ), número de días transcurridos al 50% de emergencia de espigas ( $r=-0.66$ ), número de días transcurridos al 50% de madurez de granos ( $r=-0.64$ ), contenido relativo de agua ( $r=0.73$ ), ajuste osmótico ( $r=0.48$ ), contenido de prolina libre ( $r=0.67$ ) y la actividad de la enzima nitrato reductasa ( $r=0.87$ ).

La relación del REN y las características morfológicas y agronómicas (LE, NGE, PGE, PMG e IC) en el tratamiento sequía fue positiva y significativa, por lo cual se puede inferir que los genotipos con mayor REN en condiciones de sequía también presentaron mayor LE, NGE, PGE, PMG e IC. Por otra parte el REN también presentó una relación negativa y significativa con las variables de BAP, AF, AP, NDE y NDM, en función de estos resultados se puede indicar que la reducción de la BAP, AF, AP, NDE y NDM favoreció a la ganancia del REN de los genotipos de trigo en condiciones de sequía.

**Tabla 24.** Coeficientes de correlación entre el rendimiento y las características morfológicas, agronómicas, fisiológicas, bioquímicas y de la raíz de 6 genotipos de trigo (*Triticum aestivum* s sp *aestivum*), en los tratamientos control y sequía, en el ambiente de La Molina, campaña 2013-2014.

Variables	La Molina	
	Sequía	Control
	r	r
Biomasa aérea planta <sup>-1</sup>	-0.809*	0.562
Área foliar	-0.472	0.546*
Altura de planta	-0.832**	-0.210
Longitud de espiga	0.791*	-0.228
Número de espigas m <sup>-2</sup>	0.436	0.065
Número de granos por espiga	0.549*	-0.421
Peso de granos por espiga	0.914**	0.191
Peso de mil granos	0.830**	0.665*
Índice de cosecha	0.659*	0.072
Número de días transcurridos al 50% de emergencia de espigas	-0.663*	0.462
Número de días transcurridos al 50% de madurez de granos	-0.644*	0.551*
Contenido de clorofila SPAD	-0.200	0.725*
Contenido relativo de agua	0.730*	0.084
Potencial osmótico	0.115	-0.031
Ajuste osmótico	0.483*	--
Contenido de prolina libre	0.669*	0.052
Actividad de la enzima nitrato reductasa	0.874**	0.189
Longitud de raíz	-0.085	-0.831**
Peso seco de raíz	0.210	-0.227

(\*,\*\*) Significancia al nivel de probabilidad del 0.05, 0.01; respectivamente.

La correlación del REN y las características fisiológicas y bioquímicas (CRA, AO, CPL y AENR) fue positiva y significativa, por lo cual se puede inferir que los genotipos con

mayor CRA, AO, CPL y AENR fueron los que mayor ganancia del rendimiento obtuvieron en condiciones de sequía.

## **Discusión**

La discusión de los resultados del presente estudio se basa principalmente en la relación del rendimiento y las diferentes características morfológicas, agronómicas, fisiológicas o bioquímicas evaluadas en las dos fases de estudio. Los resultados que se discuten en forma comparativa son las obtenidas en el estudio de los seis genotipos seleccionados en la primera fase por presentar diferentes grados de tolerancia a la sequía como son: G-11 y G-15 como “**tolerantes a la sequía**”, G-14 y G-16 como “**tolerantes intermedios a la sequía**”, G-4 y G-18 como “**susceptibles a la sequía**”.

### **Relación del rendimiento y las características morfológicas**

En el análisis de las correlaciones observadas en las FASES 1 y 2, presentado en las Tablas 12 y 24, se presenta la relación del rendimiento y las características morfológicas de los genotipos de trigo, en el tratamiento sequía y control. Se aprecia que hay correlación significativa entre el REN y las características morfológicas (BAP, AF, AP y LE), en la FASE 1 o en la FASE 2 o en ambas fases.

La relación del REN y BAP en el tratamiento sequía es negativa en las dos fases del estudio y significativa en la FASE 2, lo cual puede indicar que los genotipos de trigo tolerantes a la sequía disminuyeron la producción de biomasa para evitar la pérdida de agua por transpiración. En la Tabla 25; Figuras 12 y 46, se puede ver que el G-11 presentó BAP por debajo de la media general en condiciones de sequía en las dos fases del estudio, la BAP del genotipo G-15 también estuvo por debajo de la media general pero solo en la FASE 1, los genotipos G-14 y G-16 presentaron BAP cercanos a la media en las dos fases de estudio y el genotipo G-18 fue el que mayor BAP presentó en las dos fases del experimento.

La relación del REN y el AF de la hoja bandera también muestran una asociación negativa en las dos fases del estudio y significativa en la FASE 1, al parecer esta relación negativa indica que los genotipos de trigo con características de tolerancia a la sequía reducen el desarrollo de la hoja en superficie para mantener por más tiempo el agua en las hojas. En las Figuras 13 y 47, se puede ver que la mayoría de los genotipos expuestos a condiciones de sequía redujeron el área foliar a comparación con el tratamiento control al cual se suministró riego adecuado durante todo el ciclo del cultivo. En la Tabla 25; Figuras 14 y

47, se puede apreciar que los genotipos G-11 y G-15 desarrollaron menor área foliar al promedio general en condiciones de sequía en las dos fases de estudio, los G-14 y G-16 presentaron valores del AF cercanos a la media general, el genotipo G-18 fue el único que presentó mayor AF en las dos fases del estudio y G-4 también presentó mayor AF pero solo en la FASE 2. Sobre el tema Rizza *et al.*, 2004 observaron que la madurez temprana, el tamaño pequeño de la planta y el área foliar reducida pueden estar relacionados con la tolerancia a la sequía. La extensión de la hoja también puede ser limitada bajo condiciones de sequía con el fin de obtener un equilibrio entre el agua absorbida por las raíces y el estado del agua de los tejidos de la planta. Según el estudio de Rucker *et al.*, 1995, la sequía puede reducir el área foliar y en consecuencia, disminuir la fotosíntesis. Además, el número de hojas por planta, el tamaño de las hojas y la longevidad de las hojas pueden ser reducidas por la sequía (Shao *et al.*, 2008).

**Tabla 25.** Media de las variables, Biomasa aérea planta<sup>-1</sup> (BAP), Área foliar (AF), Altura de planta (AP) y Longitud de espiga (LE) de seis genotipos de trigo (*Triticum aestivum s sp aestivum*) seleccionados en la FASE 1, en el tratamiento sequía en los ambientes de, La Molina y Junín-Jauja (2012-2013) y La Molina (2013-2014).

Genotipos	Localidad y Año	VARIABLES			
		BAP	AF	AP	LE
11	LM, 13-14	3.92	11.52	80.33	93.23
	LM, 12-13	2.66	8.50	72.33	85.76
	JUJ, 12-13	5.33	23.58	88.33	109.91
15	LM, 13-14	4.07	17.61	78.67	107.59
	LM, 12-13	3.19	8.48	73.00	97.71
	JUJ, 12-13	5.81	34.08	86.67	115.79
14	LM, 13-14	3.84	19.97	72.67	115.18
	LM, 12-13	3.12	10.48	73.00	96.74
	JUJ, 12-13	6.02	29.27	86.67	115.23
16	LM, 13-14	4.33	17.19	79.33	100.99
	LM, 12-13	3.09	7.32	75.00	93.30
	JUJ, 12-13	6.07	23.02	88.33	110.84
4	LM, 13-14	3.58	22.48	80.67	102.95
	LM, 12-13	3.07	12.15	68.00	93.92
	JUJ, 12-13	5.76	21.76	78.00	104.74
18	LM, 13-14	5.03	24.02	88.00	88.25
	LM, 12-13	3.30	9.67	74.67	85.46
	JUJ, 12-13	6.05	37.38	99.00	90.59

LM, 13-14: La Molina (2013-2014). LM, 12-13: La Molina (2012-2013). JUJ, 12-13: Junín-Jauja (2012-2013). BAP (g planta<sup>-1</sup>), AF (cm<sup>2</sup>), AP (cm) y LE (mm)

Mirbahar *et al.* (2009) informaron que en un estudio realizado con 25 cultivares de trigo y en 5 tratamientos de estrés por sequía, los resultados fueron la reducción significativamente de la altura de planta, la longitud de la espiga, el número de granos por espiga y el peso de 1000 granos. La mayor reducción en todos los parámetros se observó



en condiciones de sequía terminal. En el análisis de resultado se pudo evidenciar que la AP de los genotipos estudiados en las FASES 1 y 2 fueron afectados por la sequía disminuyendo el desarrollo de esta característica morfológicas, además el REN estaría relacionado con la AP, ya que el rendimiento de los genotipos preseleccionados como tolerantes G-11 y G-15 presentaron valores de la AP cercanos a la media general y el genotipo G-18 que fue seleccionado como susceptible es uno de los genotipos con mayor altura de planta en condiciones de sequía (Tabla 25; Figuras 16 y 48).

Según Evans *et al.*, 1980; Gebbing y Schnyder, 1999; Araus *et al.*, 1993; el llenado de los granos de cereales como el trigo y la cebada se produce a partir de tres fuentes principales de asimilados: (1) fotosintatos de la hoja bandera y de la hojas inferiores (en menor medida); (2) translocación de asimilados almacenados en el tallo y (3) productos de la fotosíntesis de la propia espiga. La contribución relativa de cada una de estas fuentes varía según las condiciones y posiblemente, según la variedad o cultivar. En las Figuras 17 y 49, se puede apreciar que los genotipos sometidos a sequía presentaron longitudes de espigas mayores al del tratamiento control en el ambiente de La Molina en las FASES 1 y 2. En el análisis de correlación se pudo ver que hay una correlación positiva y significativa entre el REN y la LE de los genotipos en condiciones de sequía. En la Tabla 25; Figuras 18 y 49, se puede observar que el genotipo G-15 presenta mayor LE en condiciones de sequía en las dos fases del estudio, el genotipo G-11 también presenta mayor LE en la FASE 2 y en un solo ambiente de la FASE 1, los genotipos G-14 y G-16 son los que desarrollaron LE cercanos a la media y el genotipo G-18 fue el que menor longitud de espiga presentó en la FASE 1 al igual que G-4 en la FASE 2. Según Tambussi *et al.* (2005) la tasa fotosintética de la espiga se reduce en menor medida que la hoja bandera en situación de sequía en el cultivo de trigo. Aunque esta aparente tolerancia no es completamente comprendida, parece estar asociada a la mayor habilidad para mantener un mayor contenido relativo de agua en las diferentes partes de la espiga.

### **Relación del rendimiento y las características agronómicas**

En las Tablas 12 y 24, se puede ver la correlación entre el REN y las características agronómicas en el tratamiento sequía y control en las FASES 1 y 2. Como se puede ver en estas tablas el REN de los genotipos de trigo está relacionado con los componentes de rendimientos (NEM, NGE, PGE, PMG e IC) ya sea en la FASE 1 o en la FASE 2 o en ambas fases.

Ghazal (2013) indicó que en condiciones de sequía el rendimiento y los componentes de rendimiento de los cultivares de trigo disminuyen significativamente, en la mayoría de los casos la reducción aumenta con el aumento del estrés por sequía, reduciendo el rendimiento biológico, número de plantas y el aumento del índice de cosecha. En este estudio se ha podido evidenciar la reducción del rendimiento y los componentes de rendimiento tal y como algunos investigadores habían indicado, sin embargo también se evidenció que la reducción del rendimiento y los componentes de rendimiento no fue uniforme para todos los genotipos.

En las Figuras 19 y 50, se puede ver que hubo una reducción del REN en todos los genotipos por efecto de la sequía aplicada en las dos fases del estudio. En la Tabla 26; Figuras 20 y 50, se puede ver que G-11 y G-15 presentan valores del rendimiento por encima de la media en condiciones de sequía en las FASES 1 y 2. Los genotipos G-14 y G-16 muestran rendimientos cercanos a la media en las FASES 1 y 2. Los genotipos G-4 y G-18 fueron seleccionados como susceptibles a condiciones de sequía, ya que presentaron rendimientos por debajo de la media general de los genotipos estudiados en la FASE 1, sin embargo en la FASE 2 el genotipo G-18 fue el único que presentó menor rendimiento. Tanto el genotipo 14 y el genotipo G-4 mostraron comportamientos diferentes a los esperados a la clasificación preliminar, debido probablemente a que los valores de rendimiento obtenidos en la Fase 1 pudieron haber sido más influenciados por otros factores adicionales no considerados en el estudio.

En las Figuras 21 y 51, se puede ver que el número de espigas  $m^2$  de los genotipos de trigo disminuyeron por efecto de la sequía aplicada con relación al tratamiento control en las FASES 1 y 2, además se puede ver en la Tabla 26, que el NEM de cada genotipo no varió significativamente entre los ensayos de La Molina de las FASES 1 y 2. En las Figuras 22 y 51, se puede ver que G-11 y G-15 presentan NEM superiores a la media general, el NEM de G-16 se encuentra por encima y próximo a la media general, el NEM de G-14 se encuentra por debajo y próximo a la media general y G-18 fue el que menor NEM obtuvo en el tratamiento sequía en las FASES 1 y 2.

En las Figuras 23 y 52, se puede ver que hubo una reducción del NGE de los genotipos de trigo estudiados bajo condiciones de sequía con respecto al tratamiento control en las FASES 1 y 2. El genotipo que presentó mayor NGE en condiciones de sequía fue G-15, los genotipos con NGE cercanos a la media fueron G-14, G-16 y G-4 en las dos fases del estudio (Tabla 26; Figuras 24 y 52).

El efecto de la sequía en los genotipos de trigo estudiados, se evidencio en la reducción de los valores de PGE en comparación a los del tratamiento control en las FASES 1 y 2 (Figuras 25 y 53). El genotipo con mayor PGE en condiciones de sequía fue G-15, los genotipos G-14 y G-16 presentaron valores del PGE próximos a la media general en las FASES 1 y 2. El genotipo G-18 fue el que menor PGE presentó en la FASE 2 y en el ambiente de Junín-Jauja de la FASE 1 (Tabla 26; Figuras 26 y 53).

Los genotipos de trigo también experimentaron una reducción en el PMG por efecto de la sequía aplicada con relación a su tratamiento control en las FASES 1 y 2 (Figuras 27 y 54). El genotipo G-15 fue el que mayor PMG presentó en condiciones de sequía en las FASES 1 y 2. Los genotipos G-14 y G-16 presentaron valores del PMG cercanos a la media general y el genotipos G-18 presentó menor cantidad en el PMG en condiciones de sequía en la FASE 2 (Tabla 26; Figuras 28 y 54). Según Iqbal *et al.* (1999) la disminución en el peso de 1000 granos puede deberse a la deficiencia en la absorción de nutrientes y a la translocación del producto fotosintético de la planta y por lo tanto reflejarse en la producción de granos arrugados y debido a la madurez acelerada. También debido a la escasez de humedad que obliga a la planta a completar su formación de grano en un tiempo relativamente menor (Riaz y Chowdhry, 2003).

**Tabla 26.** Media de las variables, Rendimiento (REN), Número de espigas m<sup>2</sup> (NEM), Número de graos por espiga (NGE), Peso de granos por espiga (PGE), Peso de mil granos (PMG) e Índice de cosecha (IC) de seis genotipos de trigo (*Triticum aestivum s sp aestivum*) seleccionados en la FASE 1, en el tratamiento sequía en los ambientes de, La Molina y Junín-Jauja (2012-2013) y La Molina (2013-2014).

Genotipos	Localidad y Año	VARIABLES					
		REN	NEM	NGE	PGE	PMG	IC
11	LM, 13-14	2428.75	375	41	1.45	27.61	16.60
	LM, 12-13	2588.89	367	44	1.32	29.20	26.48
	JUJ,12-13	5772.79	476	64	2.40	35.47	23.08
15	LM, 13-14	2669.31	313	53	1.80	31.59	21.14
	LM, 12-13	2387.50	357	46	1.60	31.87	21.11
	JUJ,12-13	5904.18	471	69	2.69	35.60	21.70
14	LM, 13-14	2550.81	281	43	1.75	31.34	25.08
	LM, 12-13	2021.67	287	49	1.46	30.47	22.87
	JUJ,12-13	5522.56	383	68	2.71	34.47	24.88
16	LM, 13-14	2329.42	346	41	1.36	27.46	15.53
	LM, 12-13	2320.56	357	40	1.45	36.93	21.08
	JUJ,12-13	4684.53	434	61	2.69	34.47	17.92
4	LM, 13-14	2417.81	299	48	1.50	30.83	23.12
	LM, 12-13	1805.00	289	46	1.52	30.70	20.47
	JUJ,12-13	3131.63	351	64	2.22	33.73	15.59
18	LM, 13-14	1902.81	249	49	1.33	26.18	15.20
	LM, 12-13	1481.11	262	50	1.45	32.13	16.93
	JUJ, 12-13	3284.60	354	68	2.16	32.87	15.24

LM, 13-14: La Molina (2013-2014). LM, 12-13: La Molina (2012-2013). JUJ, 12-13: Junín-Jauja (2012-2013). REN (Kg ha<sup>-1</sup>), PGE (g), PMG (g) e IC (%)

El índice de cosecha se incrementó por efecto de la sequía en la mayoría de los genotipos estudiados, como se puede ver en las Figuras 29 y 55. El genotipo G-11 fue el que mayor IC presentó en condiciones de sequía en la FASE 1. Los genotipos G-15, G-14 y G-16 fueron los que presentaron IC cercanos a la media general y G-18 fue el que menor IC presentó en el tratamiento sequía en las FASES 1 y 2 (Tabla 26; Figuras 30 y 55). Como se puede ver los genotipos G-11 y G-15 seleccionados como tolerantes a la sequía lograron IC superiores o próximos a la media de los genotipos estudiados y el genotipo G-18 considerado susceptible a la sequía presentó menor IC en la dos fases del estudio, a esto podemos acotar lo indicado por, Austin (1994) que una variedad de trigo prometedora para la agricultura de tierras secas debe tener un alto índice de cosecha bajo condiciones de sequía.

De los componentes de rendimiento estudiados se eligió dos variables como indicadores principales en la selección de genotipos tolerantes a la sequía, estas variables son el NEM y el IC, debido a que hay una correlación muy marcada entre el REN y estas variables. El PGE y el PMG también son considerados para la selección de genotipos tolerantes a la sequía, sin embargo estas variables no presentan una estrecha relación con el REN. Leilah y Al-Khateeb (2005) estudiaron la relación entre el rendimiento de grano de trigo y sus componentes en condiciones de sequía en Arabia Saudí mediante el uso de métodos estadísticos, los resultados revelaron que el número de espigas  $m^{-2}$ , el peso de 1000 granos, el peso de granos por espiga y el rendimiento biológico fueron las variables más efectivas que influyeron en el rendimiento de grano.

Los genotipos de trigo estudiados en las FASES 1 y 2, no experimentaron una reducción significativa del NDE en el tratamiento sequía con relación al tratamiento control, esto debido a que el tratamiento sequía se aplicó en la fase de bota o inicio de espigado del cultivo de trigo (Figuras 31 y 56). Por otra parte en el análisis de correlación entre el REN y el NDE de los genotipos estudiados en el tratamiento sequía se puede ver que hay una relación negativa en las FASES 1 y 2, sin embargo esta relación es significativa solo en la FASE 2 (Tablas 12 y 24). En la Tabla 27; Figuras 32 y 56, se puede ver que el NDE del genotipo G-11 fue menor al promedio general en condiciones de sequía en las dos fases del estudio y el NDE de G-15 también fue menor al promedio pero solo en la FASE 2. Los genotipos G-14 y G-16 presentaron NDE próximos a la media de los genotipos en estudio y el genotipo G-18 fue el que mayor NDE presentó en condiciones de sequía en las FASES 1 y 2.

En las Figuras 33 y 57, se puede ver que el NDM de los genotipos de trigo disminuyó por efecto de la sequía aplicada con relación al tratamiento control en las FASES 1 y 2. En la Tabla 27; Figuras 34 y 57, se puede ver que G-11 y G-15 presentan NDM menores a la media general, el NDM de los genotipos G-16 y G-14 se encuentran próximos a la media general y el NDM de G-18 fue mayor al promedio general en condiciones de sequía en las FASES 1 y 2. Estos resultados indican que los genotipos precoces como G-11 y G-15 fueron favorecidos por esta característica en la ganancia del rendimiento bajo condiciones de sequía. El análisis de los datos obtenidos, para los 6 genotipos de trigo estudiados en el tratamiento sequía, pone en manifiesto que los genotipos más precoces con un periodo largo de llenado de grano, tienen mayor ganancia de rendimiento. Acevedo *et al.* (1988) indican que en ensayos con trigo se ha comprobado una mejor adaptación a condiciones de estrés de los genotipos con madurez temprana, lo que indujo a los mejoradores a seleccionar genotipos con floración precoz.

### **Relación del rendimiento con características fisiológicas y bioquímicas**

La correlación entre el rendimiento y las características fisiológicas y bioquímicas, en el tratamiento sequía y control en las FASES 1 y 2, se presenta en las Tablas 12 y 24. En estas tablas se puede ver que hay una relación significativa entre el REN y las características fisiológicas y bioquímicas (CRA, AO, CPL y AENR) ya sea en la FASE 1 o en la FASE 2 o en ambas fases.

La relación entre el REN y el AO fue positiva y significativa en la FASE 2. En la Tabla 27, se puede ver que los genotipos G-11, G-15 y G-16, muestran valores del AO por encima de la media general, el genotipo G-14 presenta un valor del AO cercano a la media y los genotipos seleccionados como susceptibles (G-18 y G-4) presentan valores del AO por debajo de la media. Con los resultados obtenidos en la FASE 2, se puede indicar que los genotipos con mayor REN en condiciones de sequía, también desarrollaron mayor AO. Según Aroca (2012) el ajuste osmótico es la llave de la adaptación de las plantas a nivel celular minimizando los efectos del daño inducido por la sequía en los cultivos de plantas y ayuda a la planta bajo sequía de dos maneras: permite mantener la turgencia celular y mejorar la conductancia estomatal para una toma eficiente de CO<sub>2</sub> y promueve la habilidad de las raíces para tomar más agua y Bowne *et al.* (2012) indican que el AO promueve la síntesis de varios compuestos, incluyendo a la prolina, los polioles (manitol e inositol) y compuestos de amonio cuaternario como la glicina betaina. Por otro lado el AO ayuda a mantener un alto contenido relativo de agua a un bajo potencial hídrico de la hoja, es

evidente que el ajuste osmótico ayuda a mantener el crecimiento mientras la planta presenta transpiración, reduciendo el potencial hídrico de hoja (Blum, 2005).

Los genotipos de trigo disminuyeron el contenido relativo de agua de las hojas debido a la sequía aplicada con relación al tratamiento control en las dos fases del estudio (Figuras 37 y 59). El contenido relativo de agua del genotipo G-15 fue mayor a la media general en condiciones de sequía en las FASES 1 y 2, el CRA de G-11 también fue mayor al promedio general pero solo en la FASE 1, el CRA del genotipo G-16 estuvo próximo a la media general en las dos fases del estudio y el CRA de los genotipos G-4 y G-18 fue menor al promedio general en las FASES 1 y 2 (Tabla 27; Figuras 38 y 59). Por lo cual se puede inferir que un buen CRA de los genotipos de trigo, bajo sequía, favorece al llenado de grano. Almeselmani *et al.* (2011) indicaron que el contenido relativo de agua de las hojas de trigo se reduce con el aumento del estrés hídrico y que la reducción afecta negativamente al crecimiento y rendimiento de la planta.

**Tabla 27.** Media de las variables, Número de días transcurridos al 50% de emergencia de espigas (NDE), Número de días transcurridos al 50% de madurez de granos (NDM), Contenido de clorofila SPAD (CC), Contenido relativo de agua (CRA), Potencial osmótico ( $\Psi_o$ ), Ajuste osmótico (AO), Contenido de prolina libre (CPL) y Actividad de la enzima nitrato reductasa (AENR) de seis genotipos de trigo (*Triticum aestivum s sp aestivum*) seleccionados en la FASE 1, en el tratamiento sequía en los ambientes de, La Molina y Junín-Jauja (2012-2013) y La Molina (2013-2014).

Genotipos	Localidad y Año	VARIABLES							
		NDE	NDM	CC	CRA	$\Psi_o$	AO	CPL	AENR
11	LM, 13-14	40	76	45.63	62.51	-5.22	1.00	65.09	0.310
	LM, 12-13	41	72	40.25	61.66	-5.52	0.16	63.17	0.239
	JUJ,12-13+-	64	115	56.94	75.15	-5.27	1.27	69.90	1.024
15	LM, 13-14	46	81	48.07	71.34	-4.25	0.83	64.85	0.337
	LM, 12-13	46	74	42.70	70.89	-6.32	2.02	74.23	0.153
	JUJ,12-13	70	116	56.43	75.36	-3.64	-0.32	72.60	0.564
14	LM, 13-14	49	81	51.57	74.59	-3.72	0.47	71.18	0.377
	LM, 12-13	46	74	48.90	71.07	-4.61	0.39	69.18	0.080
	JUJ,12-13	67	121	58.05	70.76	-6.70	0.79	79.64	0.303
16	LM, 13-14	50	84	51.40	64.70	-4.89	0.93	49.28	0.203
	LM, 12-13	46	82	49.40	66.98	-8.22	3.89	65.15	0.176
	JUJ,12-13	68	121	56.45	61.64	-5.74	0.43	61.79	0.206
4	LM, 13-14	48	83	47.07	58.22	-4.64	0.44	65.40	0.240
	LM, 12-13	46	76	41.98	47.22	-8.77	3.62	49.37	0.065
	JUJ,12-13	65	116	54.12	65.88	-6.81	3.97	40.27	0.115
18	LM, 13-14	55	86	49.93	57.31	-4.28	0.29	53.64	0.149
	LM, 12-13	49	85	48.47	58.73	-7.29	1.93	52.57	0.127
	JUJ,12-13	73	129	55.00	64.35	-7.22	2.91	44.84	0.145

LM, 13-14: La Molina (2013-2014). LM, 12-13: La Molina (2012-2013). JUJ, 12-13: Junín-Jauja (2012-2013). CC (SPAD), CRA (%),  $\Psi_o$  (Mpa), AO (Mpa), CPL ( $\mu$ moles Prolina  $g^{-1}$  de PFM) y AENR (número de micromoles de  $NO_2$   $hora^{-1} g^{-1}$  PF)

El REN y el CPL de los genotipos seleccionados muestran una correlación positiva y significativa en condiciones de sequía en las FASES 1 y 2. En las Figuras 42 y 61, se puede ver que los genotipos de trigo acumularon mayor CPL en el tratamiento sequía con relación al tratamiento control. En la Tabla 27; Figuras 43 y 61, se puede apreciar que el CPL en las hojas de los genotipos G-11 y G-15 fueron mayores al promedio general, G-4 y G-18 presentaron CPL menores al promedio general en condiciones de sequía en las FASES 1 y 2. Por otro lado la acumulación del CPL del genotipo G-16 estuvo próximo a la media general en la FASE 1, este mismo genotipo en la FASE 2 acumuló un CPL por encima y próximo a la media general. La acumulación del CPL de G-14 fue por encima de la media general en la FASE 1 y en la FASE 2 este genotipo presentó valores del CPL cercano a la media general. En este ensayo se pudo evidenciar que el CPL de los genotipos de trigo estudiados está relacionados con la ganancia del rendimiento en condiciones de sequía. Varios científicos han indicado que la prolina podría estar implicada en la tolerancia a la sequía de las plantas, el estudio realizado por Ghazal (2013) confirma estas aseveraciones, ya que en los resultados pudo observar que cultivares de trigo tolerantes a la sequía acumularon más prolina que los cultivares sensibles a la sequía. Se cree que la prolina juega un papel importante en el mantenimiento de la estabilidad de la membrana y por lo tanto disminuye la pérdida de nutrientes y la pérdida de agua de la célula de las plantas cultivadas bajo condiciones de sequía.

La correlación del REN y la AENR de los genotipos de trigo es positiva y significativa en el tratamiento sequía en las FASES 1 y 2. En las Figuras 44 y 62, se puede ver que la mayoría de los genotipos de trigo presentan mayor AENR en condiciones de sequía que en el tratamiento control. En la Tabla 27; Figuras 45 y 62, se puede apreciar que los genotipos G-11 y G-15 fueron los que mayor AENR desarrollaron en las plantas sometidas a sequía, los genotipos G-16 y G-14 presentan valores de la AENR próximos a la media general y la AENR de los genotipos G-4 y G-18 fue menor al promedio general en condiciones de sequía en las dos fases del estudio. Lam *et al.*, 1996 indicaron que el NR, GS y GDH son enzimas clave en el metabolismo del nitrógeno. Además, estarían involucrados en la fotosíntesis y el metabolismo de carbohidratos (Evans, 1983; Solomonson y Barber, 1990; Sibout y Guerrier, 1998; Llorens *et al.*, 2003; Hirel *et al.*, 2005). Así, una gran proporción del nitrógeno en la planta está localizado en las hojas a lo largo de todo su desarrollo, invirtiéndose gran parte en el aparato fotosintético (Makino y Osmond, 1991). Esta ampliamente aceptado que la sequía tiene un efecto negativo sobre la

concentración de N (Sinclair *et al.*, 2000) y sobre el contenido en aminoácidos y proteínas solubles. Además, se ha constatado que la sequía produce un descenso de la actividad NR en cultivares susceptibles, como se ha observado en trigo (Xu y Yu, 2006), patata (Ghosh *et al.*, 2000) y maíz (Foyer *et al.*, 1998), descenso que se correlaciona estrechamente con la reducción de la asimilación de CO<sub>2</sub> lo que indica una estrecha co-regulación del metabolismo del carbono y del nitrógeno en plantas superiores.



## V. CONCLUSIONES

En el presente estudio se llegó a las siguientes conclusiones:

### OBJETIVO 1:

Se identificó dos características morfológicas muy relacionadas con el rendimiento de los genotipos de trigos tolerantes a sequía: biomasa aérea planta<sup>-1</sup> y el área foliar. La biomasa aérea planta<sup>-1</sup>, el área foliar y la altura de planta de los genotipos de trigo tolerantes a la sequía, mostraron reducción para evitar la pérdida de agua de la planta y hacer un uso eficiente del agua en el llenado de grano.

- El desarrollo de la longitud de espiga de algunos genotipos tolerantes a la sequía fue mayor, en el cultivo de trigo la espiga al parecer aporta en el llenado de grano.
- La longitud de raíz y peso seco de raíz, no presentó correlación significativa con el rendimiento de los genotipos de trigo, sin embargo en los resultados se pudo evidenciar que tanto la longitud y peso seco de raíz de los genotipos G-11 y G-15 presentaron valores por encima de la media para estas características.
- Los genotipos con mayor número de espigas m<sup>-2</sup> e índice de cosecha en condiciones de sequía lograron mayor rendimiento. La evaluación de los componentes de rendimiento y su grado de correlación con el rendimiento, en el presente estudio, permitió identificar a las variables número de espigas m<sup>-2</sup> y al índice de cosecha, como buenos indicadores para la selección de genotipos de trigo con diferentes grados de tolerancia a la sequía.
- Los genotipos de trigo con menor número de días transcurridos al 50% de emergencia de espigas y número de días transcurridos al 50% de madurez de granos, en el tratamiento sequía fueron los que mayor peso de grano obtuvieron.

### OBJETIVO 2:

- El contenido de prolina libre y la actividad de la enzima nitrato reductasa, estuvieron estrechamente relacionados con el rendimiento de los genotipos de trigo tolerantes a la sequía. Las evaluaciones realizadas llevan a la conclusión de que un genotipo con una

buena capacidad de acumular prolina y nitrato reductasa, tiene la capacidad de ser más tolerante a condiciones de sequía.

- Las características, contenido de clorofila SPAD y potencial osmótico no mostraron relación significativa con el rendimiento de los genotipos tolerantes.

- OBJETIVO 3:

Se identificó a los genotipos G-11 y G-15 como “**tolerantes a la sequía**”, G-16 como “**tolerante intermedio a la sequía**” y G-18 como “**susceptible a la sequía**”; en base a la evaluación de características morfológicas, agronómicas, fisiológicas y bioquímicas observadas en diferentes localidades bajo condiciones de estrés en el estado de bota y disponibilidad de agua en forma permanente en el ciclo de vida.

## **VI. RECOMENDACIONES**

Se recomienda a los programas de mejoramiento la utilización de los genotipos G-11 y G-15 para el desarrollo de cultivares tolerantes a la sequía.

Es necesario desarrollar otras evaluaciones de las características fisiológicas, bioquímicas y morfológicas de los genotipos seleccionados para poder identificar con mayor certeza el grado de tolerancia de cada uno de estos genotipos. Además se debe validar estos genotipos en zonas secas.

Se debe estandarizar la metodología de las evaluaciones de las características fisiológicas, bioquímicas y morfológicas para la identificación de cultivares potenciales en condiciones de sequía.

## VII. BIBLIOGRAFÍA

- Acevedo, E; Pérez, MP; Van Oosterom, E. 1988. Physiology of yield of wheat and barley in stressed rainfed Mediterranean environments. Proceedings of the International Congress of Plant Physiology. New Delhi, India. p. 117-126.
- Acevedo, E; Silva, H; Silva, P. 1998. Growth and wheat physiology, development. University of Chile. Boletín técnico estación experimental agronómica. v. 49. p. 1-28.
- Ali Dib, T; Monneveux, P; Araus, JL. 1990. Breeding durum wheat for drought tolerance. Analytical, synthetical approaches, and their connections. In 'Symposium on Wheat breeding. Prospects and future approaches'. Varna, Bulgaria. p. 1-33.
- Almeselmani, M; Abdullah, F; Hareri, F; Naesan, M; Ammar, MA; ZuherKanbar, O. 2011. Effect of drought on different physiological characters and yield components in different varieties of Syrian durum wheat. Journal of Agricultural Science 3: 127-133.
- Alpert, P; Oliver, JM. 2002. Drying without dying. In: Desiccation and survival in plants. Drying without dying. M. Black and H.W. CABI Publishing, Wallingford, Oxon. Pritchard. p. 3-43.
- Al-Sulaiti, A; Blackwell, R; Lea, P; Davies, W. 1990. Capacity for proline accumulation during water deficit and its relation with growth of barley photorespiratory mutants. J. Exp. Bot. 41:4-14.
- Álvarez, J. 2000. Uso de especies y cultivos infrautilizados en la mejora de la calidad en cereales. En: A De Ron; M. Santalla, Actas de Mejora Genética Vegetal. Córdoba: Gráficos SOGAL-Pontevedra. 85 p.
- Andrews, M. 1986. The partitioning of nitrate assimilation between root and shoot of higher plants. Plant, Cell and Environment 9: 511-519.
- Andrews, M. Morton, JD; Liefering, M; Bisset, L. 1992. The partitioning of nitrate assimilation between root and shoot of a range of temperate cereals and pasture grasses. Annals of Botany 70:271-276.

- Aquino, MP; Peña, R; Ortiz, I. 2009. México y el CIMMYT: Mejoramiento genético de trigo. Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo. México. p. 25-26.
- Araus, JL; Brown, HR; Febrero, A; Bort, J; Serret, MD. 1993. Ear photosynthesis, carbon isotope discrimination and the contribution of respiratory CO<sub>2</sub> to differences in grain mass in durum wheat. *Plant Cell and Environment* 16: 383-392.
- Araus, JL; Slafer, G; Reynolds, MP; Royo, C. 2002. Plant breeding and drought in C<sub>3</sub> cereals. What should we bread for? *Ann. Bot.* 89: 925-940.
- Aroca, R. 2012. Plant responses to drought stress: from morphological to molecular features. Springer, Alemania. p. 12-13.
- Austin, RB. 1994. Plant breeding opportunities. In: *Physiology and determination of crop yield*. Madison, USA: *Am. Soc. Agron.* p. 567-586.
- Autoridad Nacional del Agua. 2013. Las condiciones de sequía y estrategias de gestión en el Perú. Informe Nacional del Perú. Lima-Perú. 11 p.
- Baker, C; Gallagher, J. 1983. The development of winter wheat in the field. The control of primordium initiation rate by temperature and photoperiod. *Journal Agriculture Science* 101: 337-344.
- Barnett, N; Naylor, A. 1996. Amino acid and protein metabolism in bermuda grass during water stress. *Plant Physiol* 11:1222-1230.
- Bartels, D; Nelson, D. 1994. Approaches to improve stress tolerance using molecular genetics. *Plant, Cell and Environment* 17: 659-667.
- Bates, LS. 1973. Rapid determination of free proline for water-stress studies. *Plant and Soil* 39: 205-207.
- Bell, MA; Fischer, RA. 1994. Guide to plant and crop sampling: measurements and observations for agronomic and physiological research in small grain cereals. Wheat special report N° 32. CIMMYT, Mexico DF. 66 p
- Bennett, JM; Sinclair, TR; Muchow, RC; Costello, SR. 1987. Dependence of stomatal conductance on leaf water potential, turgor potential, and relative water content in field-grown soybean and maize. *Crop Sci.* 27(5): 984-990.

- Berteli, F; Corrales, E; Guerrero, C; Ariza, M; Pliego, F; Valpuesta, V. 1995. Salt stress increases ferredoxin-dependent glutamate synthase activity and protein level in the leaves of tomato. *Physiol. Plant* 93:259-264.
- Blum, A. 1996. Yield potential and drought resistance: are they mutually exclusive? In *Yield potential in wheat: breaking the barriers* (Reynolds, MP; Rajaram, S; McNab A eds.), CIMMYT, México DF. p. 90-101.
- Blum, A. 2002. Drought tolerance is it a complex trait? En: Saxena, N.P. y J.C. O'Toole (eds.). *Field screening for drought tolerance in crop plants with emphasis on rice*. Proc. International Workshop on Field Screening for Drought Tolerance in Rice, 11-14 Dic. 2000. ICRISAT, Patancheru y Rockefeller Foundation, New York, NY. p. 17-22.
- Blum, A. 2005. Drought resistance, water-use efficiency, and yield potential-are they compatible, dissonant, or mutually exclusive? *Australian Journal of Agricultural Research* 56:1159-1168.
- Blum, A. 2009. Effective use of water (EUW) and not water-use efficiency (WUE) is the target of crop yield improvement under drought stress. *Field Crops Research* 112: 119-123.
- Bogale, A; Tesfaye, K; Geleto, T. 2011. Morphological and physiological attributes associated to drought tolerance of Ethiopian durum wheat genotypes under water deficit condition. *Journal of Biodiversity and Environmental Sciences (JBES)* 1(2): 22-36.
- Bohnert, HJ; Jensen, RG. 1996. Strategies for engineering water-stress tolerance in plants. *Trends in Biotechnology* 14 (3): 89-97.
- Borsani, O; Díaz, P; Monza, J. 1999. Proline is involved in water stress responses of *Lotus corniculatus* nitrogen fixing and nitrate fed plants. *J. Plant Physiol* 155:269-273.
- Bowne, J; Erwin, T; Juttner, J; Schnurbusch, T; Langridge, P; Bacic, A; Roessner, U. 2012. Drought responses of leaf tissue from wheat cultivars of differing drought tolerance at the metabolite level. *Molecular Plant* 5:418-429.
- Bray, E. 1993. Molecular responses to water deficit. *Plant Physiol* 103:1035-1040.
- Bray, E. 1997. Plant responses to water deficit. *Trends in Plant Science* 2 (2): 48-54.

- Bray, E. 2002. Classification of genes differentially expressed during water-deficit stress in *Arabidopsis thaliana*: an analysis using microarray and differential expression data. *Annals of Botany* 89: 803-811.
- Buckley, TN. 2005. The control of stomata by water balance. *New Phytologist* 168 (2): 275-92.
- Campbell, GS; Norman, MJ. 1998. Environmental biophysics. Springer-Verlag. New York, second edition, ISBN 0-387-94937-2: 41 y 224-225.
- Carrera. 2005. Prontuario de agricultura cultivos agrícolas. Madrid: Editorial Mundi-Prensa.
- Chandrasekar, V; Sairam, RK; Srivastava, GC. 2000. Physiological and biochemical responses of hexaploid and tetraploid wheat to drought stress. *J. Agronomy and Crop Science* 185: 219-227.
- Chaves, MM; Pereira, SJ; Maroco, PJ; Rodrigues, LM; Ricardo, PC; Osório, LM; Carvalho, I; Faria, T; Pinheiro, C. 2002. How plants cope with water stress in the field? Photosynthesis and Growth. *Annals of Botany* 89(7): 907-916.
- CIMMYT (Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo, ME). 2006. Características morfológicas de los cereales. México. 10 p.
- CIMMYT. 2008. Metodología sobre las enfermedades de los cereales. México. 32 p.
- CIMMYT. 2011. Análisis de riesgos para el trigo genéticamente modificado (en línea). Consultado 20 oct. 2014. Disponible en: <http://start.implicit.com/StartWeb/3082/homepage/#q=clasificacion%20trigos%20CIMMYT&p=3>
- Cosentino, SL; Patanè, C; Sanzone, E; Copani, V; Foti, S. 2007. Effects of soil water content and nitrogen supply on the productivity of *Miscanthus × giganteus* Greef et Deu. in a Mediterranean environment. *Industrial Crops and Products* 25(1): 75-88.
- Cushman, JC; Bohnert, HJ. 2000. Genomic approaches to plant stress tolerance. *Current Opinion in Plant Biology* 3: 117-124.
- Demmig, AB; Adams, WW. 2006. Photoprotection in an ecological context: the remarkable complexity of thermal energy dissipation. *New Phytologist* 172(1): 11-21.

- Denčić, S; Kastori, R; Kobiljski, B; Duggan, B. 2000. Evaluation of grain yield and its components in wheat cultivars and landraces under near optimal and drought conditions. *Euphytica* 113(1): 43-52.
- Deng, MD; Lamaze, T; Morot-Gaudry, JF. 1989. A new experimental approach involving the simultaneous use of tungstate and ammonium for studying the physiological effects of the absence of nitrate reduction. *Plant Physiology and Biochemistry* 27: 689-696.
- Departamento de Recursos Hídricos de la Facultad de Ingeniería Agrícola, Universidad de Concepción, 2012. Necesidades de agua de los cultivos. Boletín Técnico N°1. Chile. 29 p.
- Erdei, L; Tari, I; Csiszár, J; Pécsváradi, A; Horváth, F; Szabó, M; Ördög, M; Cseuz, L; Zhiponova, M; Szilák, L. 2002. Osmotic stress responses of wheat species and cultivars differing in drought tolerance: some interesting genes (advices for gene hunting). *Acta Biol Szeged* 46: 63-65.
- Esquinas, J. 2006. Diversidad Biológica. Sistema global de la FAO sobre recursos fitogenéticos de la FAO. 15 p.
- Evans, JR. 1983. Nitrogen and photosynthesis in the flag leaf of wheat (*Triticum aestivum* L.). *Plant Physiology* 72: 297-302.
- Evans, LT; Wardlaw, IF; Fischer, RA. 1980. Wheat. In '*Crop Physiology; some case histories*' (ed Evans LT). Cambridge University Press, Cambridge. p. 101-149.
- FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura). 2006. Recuperar la diversidad del trigo. 23 p.
- FAO. 2010. Foro de expertos de alto nivel. Desafíos en relación con la alimentación y la agricultura planteados por el cambio climático y la bioenergía. Roma 12-13 de octubre 2009 (en línea). Consultado 15 de oct. 2014. Disponible en: [http://www.fao.org/fileadmin/templates/wfs/docs/Issues\\_papers/Issues\\_papers\\_S/cambio\\_clim%C3%A1tico\\_y\\_la\\_bioenerg%C3%ADa.pdf](http://www.fao.org/fileadmin/templates/wfs/docs/Issues_papers/Issues_papers_S/cambio_clim%C3%A1tico_y_la_bioenerg%C3%ADa.pdf) agosto de 2010.
- FAO. 2013. Panorama de la seguridad alimentaria nutricional en América Latina y el Caribe: Panorama internacional de la producción de alimentos (en línea). Consultado 15 de may. 2014. Disponible en <http://www.fao.org/publications/card/es/c/f4f84d48-818b-5255-8753-3d1ecc76e56e/>



- Finley, KW; Wilkinson, GN. 1963. The analysis of adaptation in a plant-breeding programme. *Australian Journal of Agricultural Research* 14: 342-354.
- Fischer, R. 2007. Understanding the physiological basis of yield potential in wheat. *J. Agric. Sci.* 145: 99-113.
- Fotovat, R; Valizadeh, M; Toorchi, M. 2007. Association between water-use efficiency components and total chlorophyll content (SPAD) in wheat (*Triticum aestivum* L.) under well-watered and drought stress conditions. *J Food Agric Environ* 5: 225-227.
- Foyer, CH; Valadier, MH; Migge, A; Becker, TW. 1998. Drought-induced effects on nitrate reductase activity and mRNA and on the coordination of nitrogen and carbon metabolism in maize leaves. *Plant Physiology* 117: 283-292.
- Gáborčík, N. 2003. Relationship between contents of chlorophyll (a+b) (SPAD values) and nitrogen of some temperate grasses. *Photosynthetica* 41(2): 285-287.
- Gallagher, J; Biscoe, P. 1978. A physiological analysis of cereal yield. II. Partitioning of dry matter. *Agricultural Progress* 53: 51-70.
- García, F. 2004. Avances en el manejo nutricional de los cultivos de trigo. Federación de Centros y Entidades Gremiales de Acopiadores de Cereales. Buenos Aires, Argentina. 9 p.
- Gebbing, T; Schnyder, H. 1999. Pre-anthesis reserve utilization for protein and carbohydrate synthesis in grains of wheat. *Plant Physiology* 121: 871-878.
- Ghazal, HN. 2013. Screening of bread wheat (*Triticum aestivum* L.) genotypes for drought tolerance under field conditions. Thesis Master of Science in Biology. University of Baghdad, Iraq. 62p.
- Ghosh, SC; Asanuma, K; Kusutani K; Toyota, M. 2000. Effects of moisture stress at different growth stages on the amount of total non-structural carbohydrate, nitrate reductase activity and yield of potato. *Japanese Journal of Tropical Agriculture* 44: 158-166.
- GIPB. 2009. Tackling climate change through plant breeding and better use of plant genetic resources. Global Partnership Initiative for Plant Breeding Capacity Building.
- Giunta, F; Motzo, R; Deidda, M. 2002. SPAD readings and associated leaf traits in durum wheat, barley and triticale cultivars. *Euphytica* 125:197-205.

- Givan, CV; Joy, KW; Kleczkowski, LA. 1988. A decade of photorespiratory, nitrogen cycling. *Trends in Biochemical Science* 13: 433-437.
- Gollan, T; Schurr, U; Schulze, DE. 1992. Stomatal response to drying soil in relation to changes in the xylem sap composition of *Helianthus annuus*. I. The concentration of cations, anions, amino acids in, and pH of, the xylem sap. *Plant, Cell y Environment* 15(5): 551-559.
- Gramene Triticum. 2010. Triticum taxonomy (en línea). Consultado 15 de may. 2014. Disponible en: [http://www.gramene.org/species/triticum/wheat\\_taxonomy.html](http://www.gramene.org/species/triticum/wheat_taxonomy.html)
- Guerrero, A. 1999. Cultivos herbáceos extensivos. España: Grupo Mandí Prensa.
- Gummuluru, S; Hobbs, SLA; Jana, S. 1989. Physiological responses of drought tolerant and drought susceptible durum wheat genotypes. *Photosynthetica* 23: 479-485.
- Hare, P; Cress, W; Van Staden, J. 1998. Dissecting the roles of osmolyte accumulation during stress. *Plant Cell Environment* 21:535-553.
- Harper, JE; Hageman, RH. 1972. Canopy and seasonal profiles of nitrate reductase in soybeans (*Glycine max* L. Merr.). *Plant Physiology* 49: 146-154.
- Hirel, B; Andrieu, B; Valadier, MH; Renard, S; Quillere, I; Chelle, M; Pommel, B; Fournier, C; Drouet, JL. 2005. Physiology of maize. II: Identification of physiological markers representative of the nitrogen status of maize (*Zea mays*) leaves during grain filling. *Physiologia Plantarum* 124: 178-188.
- Ho, MD; Rosas, CJ; Brown, MK; Lynch, PJ. 2005. Root architecture tradeoffs for water and phosphorus acquisition. *Funct. Plant Biol.* 32: 737-748.
- Hossain, A; Da Silva, JA. 2012. Phenology, growth and yield of three wheat (*Triticum aestivum* L.) varieties as affected by high temperature stress. *Notulae Scientia Biologicae* 4: 97-109.
- Hsiao, TC; Heng, L; Steduto, P; Rojas-Lara, B; Raes, D; Fereres, E. 2009. Aqua Crop-The FAO Crop Model to Simulate Yield Response to Water: III. Parameterization and Testing for Maize. *Agronomy Journal* 101(3): 448-459.
- Huang, B; Gao, H. 2000. Root physiological characteristics associated with drought resistance in tall fescue cultivars. *Crop Sci.* 40: 196-203.

- INFOAGRO. 2000. Infoagro Systems S.L. Toda la agricultura en internet, El cultivo de trigo 1ª parte (en línea). Consultado 20 de may. 2014. Disponible en: <http://www.infoagro.com/herbaceos/cereales/trigo.htm>
- INIAP. 2000. Revista informativa No. 4. Quito-Ecuador. 12 p.
- Instituto Geofísico del Perú. 2012. Eventos meteorológicos extremos (sequías, heladas y lluvias intensas) en el valle del Mantaro. Lima, Perú. 172 p.
- Inzunza, MA; Catalán, EA; Sánchez, CI; Villa, CM; Román, LA. 2010. Modelo de producción de trigo bajo déficit hídrico en dos períodos de crecimiento. Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo, A.C. Chapingo, México. 28: 335-344.
- IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change). 2007. Climate Change 2007: Impacts, adaptation and vulnerability. Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). M.L. Parry, O.F. Canziani, J.P. Palutikof, P.J. van der Linden and C.E. Hanson (eds.). Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA (en línea). Consultado 20 de may. 2014. Disponible en: <http://www.ipcc.ch>
- Iqbal, M; Ahmed, K; Ahmed, I; Sadiq, M; Ashraf, M. 1999. Yield and yield components of durum wheat as influenced by water stress at various growth stages. Pakistan Journal of Biological Sciences 2: 11-14.
- Iyer, S; Caplan, A. 1998. Products of proline catabolism can induce osmotically regulated genes in rice. Plant Physiol 116: 203-211.
- Ji, X; Shiran, B; Wan, J; Lewis, DC; Jenkins, CL; Condon, AG; Richards, RA; Dolferus, R. 2010. Importance of pre-anthesis anther sink strength for maintenance of grain number during reproductive stage water stress in wheat. Plant, Cell and Environment 33(6): 926-942.
- Johnson, RC; Nguyen, HT; Croy, LI. 1984. Osmotic adjustment and solute accumulation in two wheat genotypes differing in drought resistance. Crop Sci. 24: 957-962.
- Karthikeyan, B; Jaleel, CA; Gopi, R; Deiveekasundaram, M. 2007. Alterations in seedling vigour and antioxidant enzyme activities in *Catharanthus roseus* under seed priming with native diazotrophs. Journal of Zhejiang University Science B 8(7): 453-457.

- Keys, AJ; Bird, IF; CorneliuS, MJ; Lea, PJ; WallsgrovE, RM; Miflin, BJ. 1978. Photorespiratory nitrogen cycle. *Nature* 275: 741-743.
- Kirby, E. 1974. Ear development in spring wheat. *Journal of Agricultural Science* 82: 437-447.
- Kirigwi, FM; Van Ginkel, M; Trethowan, R; Seaves, RG; Rajaran, S; Paulsen, GM. 2004. Evaluation of selection strategies for wheat adaptation across water regimes. *Euphytica* 135: 361-371.
- Krüger, H; Venanzi, S. 2009. El agua y el rendimiento del trigo. Estación Experimental Agropecuaria INTA Bordenave. Bahía Blanca. INTA. p. 7-8.
- Kuroiwa, J. 2012. Diagnóstico del agua en las Américas. Recursos hídricos en el Perú. Foro Consultivo Científico y Tecnológico, AC. México. p. 405-419.
- Lam, HM; Coschigano, KT; Oliviera, IC; Melo-Oliviera, R; Coruzzi, GM. 1996. The molecular genetics of nitrogen assimilation into amino acids in higher plants. *Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology* 47: 569-593.
- Lawlor, DW; Cornic, G. 2002. Photosynthetic carbon assimilation and associated metabolism in relation to water deficits in higher plants. *Plant, Cell and Environment* 25(2): 275-294.
- Lea, PJ; Joy, KW; Ramos, JL; Guerrero, MG. 1984. The action of 2-amino-4-(methylphosphinyl)-butanoic acid (phosphinothricin) and its 2-oxoderivative on the metabolism of cyanobacteria and higher plants. *Phytochemistry* 23: 1-6.
- Leilah, AA; Al-Khateeb, SA. 2005. Statistical analysis of wheat yield under drought conditions. *Journal of Arid Environments* 61: 483-496.
- Levitt, J. 1980. Responses of plants to environmental stresses. Water, Radiation, Salt and Other Stresses. Academic Press, New York 2: 1-607.
- Lichtenthaler, HK. 2003. El estrés y la medida del estrés en las plantas. La ecofisiología vegetal. Una ciencia de síntesis. M.J. Reigosa, N. Pedrol, y A. Sánchez (Eds.). España. p 59-113.
- Llorens, L; Peñuelas, J; Estiarte, M. 2003. Ecophysiological responses of two Mediterranean shrubs, *Erica multiflora* and *Globularia alypum*, to experimentally drier and warmer conditions. *Physiologia Plantarum* 119: 231- 243.

- Lo Gullo, MA; Castro, NL; Salleo, S; Nardini, A. 2004. Hydraulic architecture of plants of *Helianthus annuus* L. cv. Margot: evidence for plant segmentation in herbs. *Journal of Experimental Botany* 55(402): 1549 -1556.
- López L. 1990. Morfología, fisiología y ecología de los cereales; Cebada. *Cultivos Herbáceos: Cereales*. Mundi-Prensa. Madrid, España. p 80-125, 195-196.
- López, RJ; Sheperd, CE; Barraclough, PB. 2004. Predicting post-anthesis N requirements of bread wheat with a Minolta SPAD meter. *Eur J Agron* 20: 313-320.
- Loyola, VM; Sanchez, E. 1984. Differential role of glutamate dehydrogenase in nitrogen metabolism of maize tissues. *Plant Physiology* 76: 536-540.
- Maathuis, FJM; Filatov, V; Herzyk, P. 2003. Transcriptome analysis of root transporters reveals participation of multiple gene families in the response to cation stress. *Plant Journal* 35(6): 675-692.
- Makino, A; Osmond, B. 1991. Effects of nitrogen nutrition on pea and wheat. *Plant Physiology* 96: 355-362.
- Mann, AF; Fenmtem, PA; Stewart, GR. 1979. Identification of two forms of glutamine syntetase in barley (*Hordeum vulgare* L.). *Biochemical and Biophysical Research Communications* 88: 515-521.
- Manual Agropecuario. 2002. *Tecnologías orgánicas de la granja integral autosuficiente*. Limerin S.A. Guayaquil, Ecuador. 927 p.
- Mardeh, ASS; Ahmadi, A; Poustini, K; Mohammadi, V. 2006. Evaluation of drought resistance indices under varióus environmental conditions. *Field Crops Research* 98: 222-229.
- Mark, T; Antony, B. 2005. Abiotic stress tolerance in grasses from model plants to crop plants. *Plant Physiol* 137: 79 1-793.
- Martin, F; Winspear, MJ; Mcfarlane, JD; Oaks, A. 1983. Effect of methioninesulphoximine on the accumulation of ammonia in C<sub>3</sub> and C<sub>4</sub> leaves. *Plant Physiology* 71: 177-181.
- Martínez, DE; Guiamet, JJ. 2004. Distortion of the SPAD 502 chlorophyll meter readings by changes in irradiance and leaf water status. *Agronomie* 24: 41-46.

- Maseda, PH; Fernández, JR. 2006. Stay wet or else: three ways in which plants can adjust hydraulically to their environment. *Journal of Experimental Botany* 57(15): 3963 - 3977.
- Mattana, M; Biazzi, E; Consonni, R; Locatelli, F; Vannini, C; Provera, S; Coraggio, I. 2005. Overexpression of *Osmyb4* enhances compatible solute accumulation and increases stress tolerance of *Arabidopsis thaliana*. *Physiologia Plantarum* 125: 212-223.
- McNally, S; Hirel, B; Stewart, GR. 1983. Nitrogen metabolism in halophytes V. The occurrence of multiple forms of glutamine synthetase in leaf tissue. *New Phytologist* 94: 47-56.
- Medrano, H; Flexas, J. 2003. Respuesta de las plantas al estrés hídrico. En: “La ecofisiología vegetal. Una ciencia de síntesis”. M.J. Reigosa, N. Pedrol, y A. Sánchez (eds.). Thompson. España. p. 253-285.
- Mifflin, B; Lea, P. 1976. The pathway of nitrogen assimilation in plants. *Phytochemistry* 15: 875-885.
- Mifflin, B; Lea, P. 1980. Changes in glutamate dehydrogenase activity of *Chlamydomonas reinhardtii* under different trophic and stress conditions. *Plant, Cell and Environment* 12: 173-182.
- Migge, A; Carroyol, E; Kunz, C; Hirel, B; Fock, H; Becker, T. 1997. The expression of the tobacco genes encoding plastidic glutamine synthetase or ferredoxin-dependent glutamate synthase does not depend on the rate of nitrate reduction, and is unaffected by suppression of photorespiration. *Journal of Experimental Botany* 48: 1175-1184.
- Ministerio de Agricultura. 2013. Trigo principales aspectos de la cadena agroproductiva. Lima, Perú. 28 p.
- Ministerio de Agricultura. 2017. Mapa interactivo del MINAGRI. Lima, Perú. 341 p.
- Mirbahar, AA; Markhand, GS; Mahar, AR. 2009. Effect of water stress on yield and yield components of wheat (*Triticum aestivum* L.) cultivars. *Pak. J. Botany* 41: 1303-1310.
- Monar, C. 2004. Informe anual de labores. UVTT/C.B INIAP. Guaranda, Ecuador. p. 47.
- Monar, C. 2007. Informe Anual de Labores. INIAP. Guaranda, Ecuador. p. 22.

- Morales, EA. 1997. Apuntes metodológicos para el estudio de raíces en plantaciones forestales y bosques naturales. Simposio internacional “posibilidades de manejo forestal sostenible en América tropical”. Bolivia.
- Morgan, JM. 1980. Osmotic adjustment in the spikelets and leaves of wheat. *Journal of Experimental Botany* 31: 655-665.
- Morgan, JM. 1992. Osmotic components and properties associated with genotypic differences in osmoregulation in wheat. *Aust. J. Plant Physiol* 19: 67-76.
- Muhammad, H; Sattar, A; Ali, A; Nadeem, M. 2012. Agro-physiological performance of wheat genotypes under normal moisture and drought conditions. *Iranian Journal of Plant Physiology* 2(2):361-369.
- Mundree, SG; Baker, B; Mowla, S; Peters, S; Marais, S; Vander, WC; Govender, K; Mareza, A; Muyanga, S; Farrant, MJ; Thomson, J. 2002. Minireview-Physiological and molecular insights into drought tolerance. *African Journal of Biotechnology* 1(2): 28-38.
- Muñoz, A. 2014. Respuestas morfológicas-bioquímicas y caracterización molecular de genotipos de trigo (*Triticum durum* L.) con tolerancia o susceptibilidad al estrés hídrico. Tesis Mag. Sc. Chapingo, México. 165p.
- Nanjo, T; Kobayashi, M; Yoshiba, Y; Sanada, Y; Wada, K; Tsukaya, H; Kakubari, Y; Yamaguchi-Shinozaki, K; Shinozaki, K. 1999. Biological functions of proline in morphogenesis and osmotolerance revealed in antisense transgenic *Arabidopsis thaliana*. *Plant Journal* 18:185-193.
- Natali, SM; Sanudo-Wilhelmy, A; Lerdau, MT. 2009. Effects of elevated carbon dioxide and nitrogen fertilization on nitrate reductase activity in sweetgum and loblolly pine trees in two temperate forests. *Plant Soil* 314: 197-210.
- Nigam, SN; Aruna, R. 2007. Stability of soil plant analytical development (SPAD) chlorophyll meter reading (SCMR) and specific leaf area (SLA) and their association across varying soil moisture stress conditions in groundnut (*Arachis hypogaea* L.). *Euphytica* 160: 111-117.
- Nilsen, ET; Orcutt, DM. 1996. *Physiology of plants under stress*. Ed. John Wiley and Sons, Inc, New York.

- Nisi, J; Bainotti, C; Frascina, J; Formica, B; Salines, J. 2002. Avances en la calidad del trigo Argentino. Programa de Mejoramiento de Trigo del INTA. Córdoba, Argentina. 5 p.
- O'Neal, D; Joy, KW. 1973. Glutamine synthetase of pea leaves. I. Purification, stabilization and pH optima. *Archives of Biochemistry and Biophysics* 159: 113-122.
- Ortega, J; Roche, D; Sengupta-Gopalan, C. 1999. Oxidative turnover of soybean soot glutamine synthetase. *In vitro* and *in vivo* studies. *Plant Physiol* 119:1483-1495.
- Osmond, CB; Austin, PM; Berry, AJ; Billings, DW; Boyer, SJ; Dacey H, WJ; Nobel, SP; Smith, DS; Winner, EW. 1987. Stress physiology and the distribution of plants. *Bio Science* 37(1): 38-48.
- Owen, PC. 1971. Responses of a semi-dwarf wheat to temperatures representing a tropical dry season. II. Extreme temperatures. *Experimental Agriculture* 7: 43-47.
- Pajuelo, P; Pajuelo, E; Márquez, A. 1995. Expresión durante el desarrollo de la ferredoxina - glutamato sintasa de cebada. En: Avances en el metabolismo del nitrógeno inorgánico. M. gracia Guerrero (Ed.) Secretariado de Publicaciones. Universidad de Sevilla. 44: 123-129.
- Pask, AJD; Pietragalla, J; Mullan, DM; Chávez-Dulanto, PN; Reynolds, MP. 2013. Fitomejoramiento Fisiológico II: Una Guía de Campo para la Caracterización Fenotípica de Trigo. México, D.F. 140 p.
- Pirayvatlou, AS. 2001. Relations among yield potential, drought tolerance and stability of yield in bread wheat cultivars under water deficit conditions. *Proceedings of the 10th Australian Agronomy Conference*. Hobart, January 29.
- PNUD (Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo), Dirección de Prevención de Crisis y de Recuperación. 2013. Gestión de riesgos climáticos para la agricultura en Perú: Enfoque en las regiones de Junín y Piura. Nueva York, NY: Dirección de Prevención de Crisis y de Recuperación del PNUD.
- Polanía, JA; Rao, MI; Beebe, S; García, R. 2009. Desarrollo y distribución de raíces bajo estrés por sequía en fríjol común (*Phaseolus vulgaris* L.) en un sistema de tubos con suelo. *Agronomía Colombiana* 27(1): 25-32.
- Rajaram, S. 2001. Prospects and promise of wheat breeding in the 21st century. *Euphytica*. 119: 3-15.



- Rajaram, S; Braun, HJ; Van Ginkel, M. 1996. CIMMYT's approach to breed for drought tolerance. *Euphytica* 92: 147-153.
- Rajaram, S; Van Ginkel, M. 2001. Mexico, 50 years of international wheat breeding. Bonjean, AP; Angus, WJ. (Eds.) *The world wheat book: A history of wheat breeding*. Lavoisier Publishing. Paris, France. p. 579-604.
- Rane, JM; Maheshwari, SN. 2001. Effect of pre-anthesis water stress on growth, photosynthesis and yield of six wheat cultivars differing in drought tolerance. *Indian Journal of Plant Physiology* 6: 53-60.
- Rawson, HM; Gómez, H. 2001. Trigo Regado: Manejo del Cultivo. Ed. FAO, Roma. 108 p.
- Reynolds, MP; Bonnett, D; Chapman, SC; Furbank, RT; Manes, Y; Mather, DE; Parry, MAJ. 2011. Raising yield potential of wheat. I. Overview of a consortium approach and breeding strategies. *Journal of Experimental Botany* 62(2): 439-452.
- Reynolds, MP; Foulkes, M; Slafer, G; Berry, P; Parry, M; Snape, J; Angus, W. 2009. Raising yield potential in wheat. *Journal of Experimental Botany, Oxford* 60(7): 1899-1918.
- Reynolds, MP; Pask, A; Mullan, D; Chávez, P. 2013. Fitomejoramiento Fisiológico I: Enfoques interdisciplinarios para mejorar la adaptación del cultivo. CIMMYT, México. 188 p.
- Riaz, R; Chowdhry, M. 2003. Genetic analysis of some economic traits of wheat under drought condition. *Asian Journal of Plant Sciences* 2: 790-796.
- Richards, RA; Condon, AG; Rebetzke. 2001. Traits to improve yield in dry environments. In '*Application of physiology in wheat breeding*' (Reynolds, MP; Ortiz-Monasterio JI; McNab A eds.), CIMMYT, México DF. p. 88-100.
- Ritchie, SW; Nguyen, HT; Holaday, AS. 1990. Leaf water content and gas exchange parameters of two wheat genotypes differing in drought resistance. *Crop Science* 30: 105-111.
- Rizza, F; Badeck, FW; Cattivelli, L; Lidestri, O; Di Fonzo, N; Stanca, AM. 2004. Use of a water stress index to identify barley genotypes adapted to rainfed and irrigated conditions. *Crop Science* 44(6): 2127-2137.

- Rojas, M. 2003. Módulo de Granos y Cereales. Guaranda, Ecuador. p. 21-23.
- Rucker, KS; Kevin, CK; Holbrook, CC; Hook, JE. 1995. Identification of peanut genotypes with improved drought avoidance traits. *Peanut Science* 22:14-18.
- Saini, HS; Aspinall, D. 1982. Abnormal sporogenesis in wheat (*Triticum aestivum* L.) induced by short periods of high temperature. *Annals Botany* 49: 835-846.
- Sairam, RK; Deshmukh, PS; Shukla, DS; Ram, S. 1990. Metabolic activity and grain yield under moisture stress in wheat genotypes. *Indian Journal of Plant Physiology* 33: 226-231.
- Salisbury, FB; Ross, C. 2000. Fisiología de las Plantas: células, agua, soluciones y superficies. Ed. Paraninfo Thomson Learning. Madrid. p. 5-275; 758.
- Samaras, Y; Bressan, R; Csonka, M; García-Ríos; Paino D'Urzo; Rhodes. 1995. Proline accumulation during drought and salinity En: *Environment and Plant Metabolism flexibility and acclimation*. W. J. Davies Bios Scientific Publisher UK. p. 161-186.
- Sanada, Y; Ueda, H; Kuribayashi, K; Andoh, T; Hayashi, F; Tamai, N; Wada, K. 1995. Novel light-dark change of proline levels in halophyte (*Mesembryanthemum crystallinum* L.) and glycophytes (*Hordeum vulgare* L. and *Triticum aestivum* L.) leaves and roots under salt stress. *Plant Cell Physiol* 36: 965-970.
- Sánchez, R. 1994. Producción de granos y forrajes. Ed. Noriega. 5 ed. Limusa, S. A. México. p. 207-222.
- Sankar, B; Abdul Jaleel, C; Manivannan, P; Kishorekumar, A; Somasundaram, R; Panneerselvam, R. 2008. Relative efficacy of water use in five varieties of *Abelmoschus esculentus* (L.) *Moench* under water-limited conditions. *Colloids and Surfaces B* 62(1): 125-129.
- Shao, HB; Chu, LY; Jaleel, CA; Zhao, CX. 2008. Water-deficit stress-induced anatomical changes in higher plants. *Comptes Rendus* 331(3): 215-225.
- Shi, JF; Mao, XG; Jing, RL; Pang, XB; Wang, YG; Chang, XP. 2010. Gene expression profiles of response to water stress at the jointing stage in wheat. *Agricultural Sciences in China* 9(3): 325-330.
- Sibout, R; Guerrier, G. 1998. Solute incompatibility with glutamine synthetase in water-stressed *Populus nigra*. *Environmental and Experimental Botany* 40: 173-178.

- Silva, P; Matus, I; Madariaga, R; Acevedo, E. 2011. Criterios Técnicos para el manejo de Trigo Candeal. Santiago, Chile. 56 p.
- Sinclair, TR; Pinter, PJ; Kimball, BA; Adamsen, FJ; Lamorte, RL; Wall, GW; Hunsaker, DJ; Adam, N; Brooks, TJ; García, RL; Thompson, T; Leavitt, S; Matthias, A. 2000. Leaf nitrogen concentration of wheat subjected to elevated [CO<sub>2</sub>] and either water or N deficits. *Agriculture, Ecosystems and Environment*. 79: 53-60.
- Slafer, GA; Satorre, EH; Andrade, FH. 1994. Increases in grain yield in bread wheat from breeding and associated physiological changes. In: *Genetic Improvement of Field Crops* (G.A. Slafer Ed). New York, Marcel Dekker, Inc.
- Solomonson, LP; Barber, MJ. 1990. Assimilatory nitrate reductase: functional properties and regulation. *Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology* 41: 225-253.
- Soto, F; Plana, R; Hernández, N. 2009. Influencia de la temperatura en la duración de las fases fenológicas del trigo harinero y triticale y su relación con el rendimiento. *Cultivos Tropicales*. v. 30. p. 32-36.
- Sponchiado, B; White, J; Castillo, J; Jones, P. 1989. Root growth of four common bean cultivars in relation to drought tolerance in environments with contrasting soil types. *Exp. Agric.* 25: 249-257.
- Srivastava, HS; Singh, RP. 1987. Role and regulation of L-glutamate deshydrogenase activity in higher plants. *Phytochemistry* 26: 597-610.
- Stapper, M. 2007. Crop monitoring and Zadoks growth stages for wheat. *Australian Journal of Agriculture Research* 41: 997-1019.
- Stewart, GR; Mann, AF; Fentem, PA. 1980. Enzymes of glutamate metabolism. In: Stumpf PK, Conn EE (eds.) "The biochemistry of Plants Amino acids and Derivates; pp. 271 - 327". Academic Press. New York.
- Stitt, M; Krapp, A. 1999. The interaction between elevated carbon dioxide and nitrogen nutrition: the physiological and molecular background. *Plant, Cell and Environment* 22: 583-621.
- Taiz, L; Zeiger, E. 1998. *Plant Physiology*. 2 ed. Sinauer, Sunderland, Massachussets.

- Tambussi, E; Nogués, S; Araus, JL. 2005. Ear of durum wheat under water stress: water relations and photosynthetic metabolism. *Planta* 221(3): 446-58.
- Torres, J; Gómez, A. 2008. Adaptación al cambio climático: de los fríos y los calores en los Andes. Lima, Perú. 154 p.
- Turner, NC. 1979. Drought resistance and adaptation to water deficits in crop plants. p. 343-372. En: Mussell, H. y R.C. Staples, (eds.). *Stress physiology in crop plants*. Wiley Interscience, New York, NY.
- Tyree, MT; Cochard, H; Cruiziat, P; Sinclair, B; Ameglio, T. 1993. Drought-induced leaf shedding in walnut: evidence for vulnerability segmentation. *Plant, Cell y Environment* 16(7): 879-882.
- Tyree, MT; Zimmermann, MH. 2002. *Xylem structure and the ascent of sap*. Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, New York. p. 105-113.
- USDA (United States Department of Agriculture). 2014. Foreign Agriculture Service. Production, supply and distribution. Washington, EU (en línea). Consultado 20 de may. 2014. Disponible en: <http://apps.fas.usda.gov/psdonline/psdHome.aspx>
- Valiente, Ó. 2001. Sequía: definiciones, tipología y métodos de cuantificación. *Investigación geográfica*, Instituto Universitario de Geografía, Universidad de Alicante. España. p. 59-80.
- Verslues, PE; Agarwal, M; Katiyar-Agarwal, S; Zhu, J; Zhu, J. 2006. Methods and concepts in quantifying resistance to drought, salt and freezing, abiotic stresses that affect plant water status. *The Plant Journal* 45 (4): 523-539.
- Vickers, CE; Gershenzon, J; Lerdau, MT; Loreto, F. 2009. A unified mechanism of action for volatile isoprenoids in plant abiotic stress. *Nature Chemical Biology* 5: 283-291.
- Wallsgrave, RM; Keys, AJ; Bird, IF; Cornelius, MJ; Lea, PJ; Miflin, BJ. 1980. The location of glutamine synthetase in leaf cells and its role in the reassimilation of ammonia released in photorespiration. *Journal of Experimental Botany* 31: 1005-1017.
- Wallsgrave, RM; Lea, PJ; Miflin, BJ. 1983. Intracellular localization of aspartate kinase and the enzymes of threonine and methionine biosynthesis in green leaves. *Plant Physiology* 71: 780-786.

- Walters, C; Farrant, MJ; Pammenter, WN; Berjak, P. 2002. Desiccation stress and damage. En: Desiccation and survival in plants: Drying without dying. M. Black y H.W. Pritchard (Eds.). CABI Publishing, Wallingford, Oxon. p. 263-292.
- Xu, ZZ; Yu, ZW. 2006. Nitrogen metabolism in flag leaf and grain of wheat in response to irrigation regimes. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science* 169: 118-126.
- Yu, J; Woo, KC. 1988. Glutamine transport and the role of glutamine translocator in chloroplasts. *Plant Physiology* 88: 1048-1054.
- Zaruma, A; Jarrin, A. 2011. Caracterización Morfoagronómica de 29 accesiones de trigo duro (*Triticum Turgidum* L (*Theil*) *durum*) en las localidades de Laguacoto II y San Miguel Provincias de Bolívar. Guaranda: Universidad estatal de Bolívar.
- Zerihun, A; Mckenzie, BA; Morton, JD. 1998. Photosynthate costs associated with the utilization of different nitrogen-forms: influence on the carbon balance of plants and shoot-root biomass partitioning. *New Phytologist* 138: 1-11.

## VIII. ANEXOS

**Anexo 1.** Condiciones climáticas del periodo diciembre de 2012 a marzo de 2013. En la estación experimental La Molina-Lima.

	Dic	Ene	Feb	Mar
Temperatura media (°C)	20.2	24.2	25.5	24.7
Temperatura máxima (°C)	24.3	28.4	29.9	28.7
Temperatura mínima (°C)	17.2	18.7	20.0	19.5
Precipitación (mm)	1.6	0.0	0.8	0.8

**Fuente:** Observatorio Meteorológico Alexander von Humboldt - Universidad Nacional Agraria La Molina (Latitud: 12°05' Sur; Longitud: 76°7' Oeste; Altitud: 243.7 msnm)

**Anexo 2.** Condiciones climáticas del periodo diciembre de 2012 a mayo de 2013. En la estación experimental Junín -Jauja.

	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr	May
Temperatura media (°C)	13.0	12.3	12.0	12.4	13.1	11.6
Temperatura máxima (°C)	17.5	18.3	17.2	17.9	21.4	19.5
Temperatura mínima (°C)	7.6	6.3	6.8	7.0	4.8	3.5
Precipitación total (mm)	119.0	121.40	104.60	119.0	30.2	17.2

**Fuente:** Observatorio Meteorológico JAUJA (Latitud: 11°47' Sur; Longitud: 75°29' Oeste; Altitud: 3378 msnm)

**Anexo 3.** Condiciones climáticas del periodo noviembre de 2013 a marzo de 2014. En la estación experimental La Molina-Lima.

	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar
Temperatura media (°C)	18.9	22.1	26.1	24.6	24.6
Temperatura máxima (°C)	22.2	25.7	27.9	28.5	28.7
Temperatura mínima (°C)	15.0	17.0	19.8	18.9	19.5
Precipitación (mm)	0.6	0.4	1.3	3.9	0.9

**Fuente:** Observatorio Meteorológico Alexander von Humboldt - Universidad Nacional Agraria La Molina (Latitud: 12°05' Sur; Longitud: 76°7' Oeste; Altitud: 243.7 msnm)

**Anexo 4.** Manual de operación del HR-33T

En primer lugar no se necesita hacer esta calibración con la cámara vacía.

- Colocar un disco de hoja en la cámara y cerrar, conectar al HR-33T (poner en la posición FUNCTION en SHORT, para conectar y desconectar el cable de la cámara C-52).
- Esperar unos 30 minutos para que la muestra se equilibre con la atmósfera de la cámara.
- Determinar la temperatura dentro de la cámara: botón °C/ $\mu$ V hacia la posición °C en el rango de 30, para temperaturas por encima de 30° colocar el rango en 100. La lectura de la temperatura se realiza cuando el botón de FUNCTION está en la posición READ.
- Corregir el coeficiente de enfriamiento de la cámara  $\pi v$  (un valor descrito para la cámara a 25°C), para la lectura obtenida en el paso 2. Emplear la fórmula del manual  $\pi v 1 = 0.7 (T1 - T0 [25^\circ\text{C}]) + \pi v 0$ , donde  $\pi v 0$  es un valor medio medido en la fábrica o escrito en la cámara.
- Ajustar el  $\pi v 1$  apretando el botón y ajustando el valor en el botón de  $\pi v$  SET (valor en la escala superior).

- Cuando el RANGE tiene un valor no previsto para la temperatura (de 30° hasta 100°) el botón de FUNCTION en READ, debe de ajustarse en cero con los dos botones de ZERO OFFSET (COARSE y FINE).
- Después de unos 30 minutos de equilibrio y con un ajuste de la temperatura de la cámara (paso 3), la corrección de  $\pi v$  (paso 4 y 5) y el ajuste hasta cero (paso 6), se puede hacer la lectura en la posición de FUNCTION en COOL por 15 segundos, en muestras húmedas o un poco deshidratadas y hasta 30 segundos en muestras muy secas (la aguja debe estar próxima al final de la escala). Usar el mismo tiempo en todas las muestras.
- Después de estos 15 o 30 segundos, girar el botón de FUNCTION en DEW POINT, la aguja va a descender hasta que se estabilice, que debe ser el mismo al repetir la operación. Este es el valor del  $\Psi_h$  en  $\mu$ -voltios, se divide por -0.75 y nos da el valor en bar.

**Anexo 5.** Datos de las características morfológicas y agronómicas (2012-2013)

GENOTIPO	Biomasa Aérea planta <sup>-1</sup> (BAP)							
	LA MOLINA				JUNÍN-JAUJA			
	Sequía		Control		Sequía		Control	
	$\bar{x}$	s	$\bar{x}$	s	$\bar{x}$	s	$\bar{x}$	s
G-1	2.82	0.09	3.18	0.44	5.41	0.53	8.64	1.50
G-2	3.13	0.05	3.65	0.21	6.28	0.40	9.82	0.87
G-3	3.22	0.26	3.77	0.29	5.46	0.97	9.14	0.82
G-4	3.07	0.15	3.54	0.23	5.76	0.86	8.38	0.91
G-5	3.21	0.17	3.52	0.41	6.56	0.27	9.84	0.21
G-6	3.02	0.17	3.45	0.21	5.65	0.92	7.88	0.24
G-7	3.26	0.24	3.96	0.23	5.71	0.24	9.27	0.82
G-8	3.59	0.35	4.22	0.45	6.26	0.45	7.89	0.99
G-9	2.63	0.20	3.17	0.10	6.11	0.73	7.01	0.75
G-10	3.03	0.16	3.56	0.38	6.93	0.35	9.56	0.22
G-11	2.66	0.11	3.12	0.37	5.33	0.68	9.26	0.70
G-12	3.36	0.35	3.76	0.29	6.82	0.71	8.88	0.98
G-13	2.89	0.21	3.39	0.32	5.37	0.25	8.27	0.45
G-14	3.12	0.19	3.32	0.21	6.02	0.73	9.73	0.92
G-15	3.19	0.05	3.48	0.31	5.81	0.23	9.42	1.34
G-16	3.09	0.02	3.43	0.45	6.07	0.50	9.14	2.08
G-17	2.40	0.17	3.10	0.15	5.71	0.44	8.17	1.50
G-18	3.30	0.17	3.99	0.31	6.05	0.40	9.29	1.91

BAP: g planta<sup>-1</sup>,  $\bar{x}$ : promedio, s: desviación estándar, n=3

GENOTIPO	Área foliar (AF)							
	LA MOLINA				JUNÍN-JAUJA			
	Sequía		Control		Sequía		Control	
	$\bar{x}$	s	$\bar{x}$	s	$\bar{x}$	s	$\bar{x}$	s
G-1	8.10	0.77	8.76	0.84	35.15	5.50	37.94	1.10
G-2	8.07	0.20	8.03	0.88	37.32	2.28	28.58	1.92
G-3	9.01	1.52	11.84	1.23	24.89	5.03	42.65	3.81
G-4	12.15	1.24	12.39	1.25	21.76	5.58	37.61	5.69
G-5	9.70	1.15	9.90	0.60	33.13	5.27	49.55	5.80
G-6	6.23	1.37	10.26	0.87	33.85	3.78	30.55	3.99
G-7	10.07	0.87	10.24	1.41	29.75	3.44	25.59	3.07
G-8	10.05	1.64	9.95	0.35	33.46	6.91	32.13	4.44
G-9	7.59	0.97	7.39	0.88	35.92	2.95	41.25	4.30
G-10	6.52	1.24	6.72	1.81	25.99	4.79	35.44	3.24
G-11	8.50	0.71	8.93	1.59	23.58	2.75	33.78	6.82
G-12	7.04	1.62	7.84	1.55	28.54	2.11	35.36	7.67
G-13	7.86	0.74	13.20	1.20	30.50	2.89	41.18	7.85
G-14	10.48	1.29	10.51	1.03	29.27	3.14	41.53	5.27
G-15	8.48	0.19	10.00	1.08	34.08	2.11	41.62	5.26
G-16	7.32	0.57	7.92	1.95	23.02	3.84	30.46	4.87
G-17	9.86	1.57	11.57	0.99	27.06	2.55	38.68	5.90
G-18	9.67	0.96	9.53	1.50	37.38	4.06	42.92	2.73

AF: cm<sup>2</sup>,  $\bar{x}$ : promedio, s: desviación estándar, n=3

GENOTIPO	Altura de planta (AP)							
	LA MOLINA				JUNÍN-JAUJA			
	Sequía		Control		Sequía		Control	
	$\bar{x}$	s	$\bar{x}$	s	$\bar{x}$	s	$\bar{x}$	s
G-1	63.00	1.00	69.33	1.15	81.67	5.77	101.67	5.77
G-2	71.67	5.13	76.67	0.58	85.67	5.13	99.33	6.03
G-3	73.67	4.93	83.00	4.36	81.67	2.89	97.33	4.04
G-4	68.00	1.73	77.33	1.53	78.00	5.29	98.33	5.77
G-5	70.67	8.62	77.33	0.58	86.00	5.29	99.33	1.15
G-6	71.67	3.79	68.67	2.31	82.00	3.61	99.67	8.96
G-7	73.33	4.93	77.00	1.00	87.67	2.52	96.00	3.61
G-8	73.33	3.06	76.67	2.89	86.00	5.29	98.67	3.06
G-9	66.00	4.58	77.00	0.00	96.67	5.77	109.33	1.15
G-10	77.67	4.04	85.00	3.00	89.33	1.15	103.00	6.08
G-11	72.33	3.79	73.00	2.65	88.33	2.89	106.67	5.77
G-12	74.00	3.61	80.33	4.04	87.33	4.04	100.00	5.00
G-13	73.00	3.46	75.00	6.24	88.67	3.79	101.00	5.29
G-14	73.00	1.73	77.67	0.58	86.67	5.77	97.33	4.04
G-15	73.00	1.73	77.67	3.79	86.67	0.58	100.67	1.15
G-16	75.00	1.00	81.33	1.15	88.33	3.51	101.00	6.93
G-17	69.33	2.89	73.33	5.69	88.33	4.16	102.67	6.81
G-18	74.67	3.21	89.33	2.31	99.00	4.36	106.67	7.57

AP: cm,  $\bar{x}$ : promedio, s: desviación estándar, n=3



GENOTIPO	Longitud de espiga (LE)							
	LA MOLINA				JUNÍN-JAUJA			
	Sequía		Control		Sequía		Control	
	$\bar{x}$	s	$\bar{x}$	s	$\bar{x}$	s	$\bar{x}$	s
G-1	90.57	6.10	84.77	8.94	103.80	1.55	110.00	2.72
G-2	83.88	3.28	84.23	3.12	100.28	3.75	104.25	5.57
G-3	93.75	4.50	91.11	10.11	109.23	7.40	113.35	5.26
G-4	93.92	3.22	90.17	1.81	104.74	2.49	111.13	6.86
G-5	98.14	4.60	92.41	1.94	112.27	3.87	118.59	0.93
G-6	93.54	5.00	89.31	1.78	106.30	6.22	105.81	2.30
G-7	84.79	3.67	83.89	3.03	106.22	3.49	102.98	1.71
G-8	91.42	7.81	89.05	3.50	113.83	1.91	112.57	4.16
G-9	90.29	2.33	93.01	1.32	111.44	3.70	112.83	4.93
G-10	94.08	3.79	95.73	2.62	115.74	5.37	124.62	5.25
G-11	85.76	4.77	84.86	6.53	109.91	1.70	119.56	5.93
G-12	91.61	3.62	86.42	2.47	112.32	2.60	118.07	2.18
G-13	77.73	1.04	76.60	10.63	91.52	2.31	94.76	4.28
G-14	96.74	3.01	93.30	4.28	115.23	2.33	119.50	6.84
G-15	97.71	2.39	89.24	3.43	115.79	3.88	115.90	7.04
G-16	93.30	3.65	92.06	0.88	110.84	1.89	114.42	2.13
G-17	104.49	2.59	101.41	0.94	120.25	3.31	120.26	8.07
G-18	85.46	1.61	82.24	2.32	90.59	7.12	98.36	8.29

LE: mm,  $\bar{x}$ : promedio, s: desviación estándar, n=3

GENOTIPO	Rendimiento (REN)							
	LA MOLINA				JUNÍN-JAUJA			
	Sequía		Control		Sequía		Control	
	$\bar{x}$	s	$\bar{x}$	s	$\bar{x}$	s	$\bar{x}$	s
G-1	1870.00	316.35	2480.56	560.16	5642.50	477.79	9145.88	958.13
G-2	1955.56	404.46	2845.00	363.61	5537.34	513.37	5881.22	1447.43
G-3	2056.11	218.69	3216.11	629.84	4502.72	489.48	9551.36	917.81
G-4	1805.00	276.60	3515.56	486.39	3131.63	340.27	7049.22	1099.63
G-5	2052.78	265.21	3367.22	461.70	2926.67	404.04	8073.68	577.19
G-6	2599.44	273.58	2910.56	462.92	4643.97	415.19	9691.83	726.27
G-7	2179.44	387.28	3354.44	237.71	4501.34	469.44	5692.04	1110.90
G-8	1991.68	171.34	2982.78	380.43	4014.96	405.15	5837.80	1221.99
G-9	2051.11	363.81	3197.22	309.37	5150.99	418.83	6640.28	481.36
G-10	2143.33	350.03	3760.56	374.50	4637.96	488.16	8443.33	433.79
G-11	2588.89	345.22	3147.78	549.24	5772.79	370.27	6551.62	532.67
G-12	2593.33	384.62	3806.11	797.17	3254.91	634.67	6674.14	646.53
G-13	2073.90	251.01	3876.11	551.73	3941.89	452.09	5711.79	938.39
G-14	2021.67	175.34	2914.44	342.76	5522.56	367.59	8003.06	362.43
G-15	2387.50	166.67	3307.22	331.61	5904.18	388.12	6284.69	1324.43
G-16	2320.56	275.81	4134.44	448.86	4684.53	404.13	5940.75	1388.95
G-17	1896.67	180.49	3047.22	162.49	5920.01	540.55	7916.60	1629.08
G-18	1481.11	457.81	3832.22	79.41	3284.60	1074.95	3732.59	1372.81

REN: Kg ha<sup>-1</sup>,  $\bar{x}$ : promedio, s: desviación estándar, n=3

GENOTIPO	Número de espigas m <sup>-2</sup> (NEM)							
	LA MOLINA				JUNÍN-JAUJA			
	Sequía		Control		Sequía		Control	
	$\bar{x}$	s	$\bar{x}$	s	$\bar{x}$	s	$\bar{x}$	s
G-1	341	52	348	15	497	28	528	44
G-2	316	37	339	49	422	12	423	64
G-3	314	18	352	34	395	40	526	54
G-4	289	52	384	29	351	10	488	80
G-5	331	45	417	44	291	32	546	75
G-6	310	2	312	25	427	24	514	84
G-7	328	33	409	61	389	9	391	27
G-8	261	29	262	17	361	63	374	48
G-9	371	7	378	65	498	11	518	37
G-10	369	40	392	31	460	46	548	82
G-11	367	15	410	17	476	79	601	68
G-12	342	42	404	60	329	29	414	69
G-13	369	23	434	27	449	71	418	65
G-14	287	48	354	67	383	52	404	130
G-15	357	25	374	58	471	31	473	21
G-16	357	16	463	31	434	67	464	34
G-17	346	16	349	33	429	47	591	96
G-18	262	39	394	43	354	4	419	63

NEM: espigas m<sup>-2</sup>,  $\bar{x}$ : promedio, s: desviación estándar, n=3

GENOTIPO	Número de granos por espiga (NGE)							
	LA MOLINA				JUNÍN-JAUJA			
	Sequía		Control		Sequía		Control	
	$\bar{x}$	s	$\bar{x}$	s	$\bar{x}$	s	$\bar{x}$	s
G-1	41	1	39	2	66	6	75	2
G-2	44	2	45	2	64	7	72	4
G-3	51	3	50	5	68	5	87	2
G-4	46	2	45	3	64	9	81	4
G-5	45	3	43	5	70	3	86	2
G-6	42	4	40	3	62	6	68	2
G-7	45	3	44	4	65	2	69	5
G-8	46	3	45	4	67	4	71	2
G-9	44	1	46	1	68	6	72	5
G-10	48	3	51	4	77	5	89	5
G-11	44	2	42	5	64	7	75	7
G-12	42	3	38	2	68	5	68	8
G-13	38	5	39	2	62	2	75	3
G-14	49	3	47	3	68	6	82	5
G-15	46	4	44	5	69	4	84	8
G-16	40	3	41	1	61	4	68	6
G-17	35	3	35	1	65	2	66	2
G-18	50	2	53	4	68	4	89	3

NGE: granos espiga<sup>-1</sup>,  $\bar{x}$ : promedio, s: desviación estándar, n=3

GENOTIPO	Peso de granos por espiga (PGE)							
	LA MOLINA				JUNÍN-JAUJA			
	Sequía		Control		Sequía		Control	
	$\bar{x}$	s	$\bar{x}$	s	$\bar{x}$	s	$\bar{x}$	s
G-1	1.23	0.11	1.53	0.16	2.57	0.32	3.33	0.10
G-2	1.35	0.17	1.71	0.24	2.80	0.15	3.38	0.11
G-3	1.59	0.18	2.01	0.12	2.09	0.23	3.66	0.35
G-4	1.52	0.11	1.84	0.17	2.22	0.33	3.42	0.25
G-5	1.60	0.12	1.62	0.12	3.00	0.19	3.76	0.29
G-6	1.34	0.21	1.74	0.05	2.47	0.42	3.03	0.26
G-7	1.45	0.17	1.82	0.18	2.48	0.18	2.83	0.13
G-8	1.74	0.19	2.24	0.25	2.88	0.18	3.66	0.38
G-9	1.10	0.09	1.76	0.16	2.57	0.20	2.80	0.27
G-10	1.29	0.05	1.73	0.10	2.91	0.23	3.15	0.14
G-11	1.32	0.16	1.66	0.15	2.40	0.34	2.90	0.29
G-12	1.60	0.17	1.86	0.06	2.99	0.16	3.26	0.32
G-13	1.18	0.12	1.75	0.17	2.38	0.18	3.62	0.10
G-14	1.46	0.15	1.79	0.17	2.71	0.34	3.70	0.06
G-15	1.60	0.13	1.70	0.14	2.69	0.43	3.77	0.14
G-16	1.45	0.10	1.79	0.25	2.69	0.44	3.75	0.40
G-17	1.03	0.15	1.63	0.09	2.69	0.28	3.33	0.31
G-18	1.45	0.05	2.02	0.11	2.16	0.07	2.91	0.20

PGE: g,  $\bar{x}$ : promedio, s: desviación estándar, n=3

GENOTIPO	Peso de 1000 granos (PMG)							
	LA MOLINA				JUNÍN-JAUJA			
	Sequía		Control		Sequía		Control	
	$\bar{x}$	s	$\bar{x}$	s	$\bar{x}$	s	$\bar{x}$	s
G-1	31.20	0.20	38.00	1.40	32.93	1.80	43.13	1.03
G-2	30.90	1.30	38.57	2.40	38.13	0.95	44.40	1.83
G-3	31.47	4.80	36.20	1.74	31.80	3.56	41.60	1.91
G-4	30.70	0.44	40.00	1.93	33.73	2.34	44.87	6.10
G-5	33.20	0.92	38.07	1.21	38.60	2.55	41.73	1.27
G-6	31.67	1.22	42.07	1.86	35.93	3.21	40.20	2.43
G-7	33.27	2.00	40.87	1.47	34.00	0.92	40.67	1.72
G-8	35.53	1.51	48.67	1.51	38.53	1.22	47.33	3.79
G-9	27.67	0.58	33.67	1.79	33.73	3.06	38.00	4.85
G-10	27.40	1.11	32.80	1.80	32.53	0.90	39.00	2.62
G-11	29.20	1.22	39.60	3.70	35.47	1.01	40.13	7.91
G-12	35.20	1.39	48.83	6.48	36.43	1.24	46.07	2.10
G-13	30.80	0.53	40.80	2.03	33.40	3.02	45.87	2.40
G-14	30.47	2.32	35.47	1.89	34.47	2.00	44.33	0.12
G-15	31.87	1.89	39.83	2.55	35.60	2.31	46.33	3.24
G-16	36.93	1.94	42.67	5.61	34.47	3.45	51.00	6.69
G-17	31.00	2.31	44.60	1.59	38.47	1.17	46.40	3.62
G-18	32.13	0.50	35.57	0.35	32.87	0.58	38.00	14.56

PMG: g,  $\bar{x}$ : promedio, s: desviación estándar, n=3

GENOTIPO	Índice de cosecha (IC)							
	LA MOLINA				JUNÍN-JAUJA			
	Sequía		Control		Sequía		Control	
	$\bar{x}$	s	$\bar{x}$	s	$\bar{x}$	s	$\bar{x}$	s
G-1	19.45	1.44	22.34	2.28	21.16	2.91	20.53	4.47
G-2	20.12	5.68	23.09	2.06	21.01	2.82	14.15	2.18
G-3	20.42	2.31	24.45	5.43	21.16	1.85	19.94	1.15
G-4	20.47	2.32	25.92	3.86	15.59	1.18	17.53	3.25
G-5	19.45	2.05	23.35	4.92	15.36	1.24	15.29	2.94
G-6	27.81	2.73	27.29	5.44	19.80	4.58	24.33	4.10
G-7	20.37	2.47	20.91	2.09	20.25	2.02	15.61	1.25
G-8	21.66	3.87	27.02	1.84	18.04	2.27	19.70	0.87
G-9	20.87	1.83	26.97	2.90	16.97	0.67	18.44	2.17
G-10	19.10	0.94	27.07	0.84	14.55	0.40	16.31	1.98
G-11	26.48	2.81	24.54	1.65	23.08	0.25	11.86	1.22
G-12	22.66	1.84	25.08	3.79	14.79	4.17	18.40	1.94
G-13	19.40	0.60	26.63	5.30	16.45	1.22	16.62	1.82
G-14	22.87	2.55	25.01	0.50	24.88	6.86	22.45	9.42
G-15	21.11	2.80	25.79	4.01	21.70	2.72	14.25	3.46
G-16	21.08	2.32	26.34	4.74	17.92	0.48	14.07	1.88
G-17	22.98	3.39	28.33	2.00	24.44	3.99	16.62	2.36
G-18	16.93	3.34	24.56	1.94	15.24	4.50	10.13	5.27

IC: %,  $\bar{x}$ : promedio, s: desviación estándar, n=3

GENOTIPO	Número de días transcurridos al 50% de emergencia de espigas (NDE)							
	LA MOLINA				JUNÍN-JAUJA			
	Sequía		Control		Sequía		Control	
	$\bar{x}$	s	$\bar{x}$	s	$\bar{x}$	s	$\bar{x}$	s
G-1	46	0	45	2	66	4	69	4
G-2	46	0	46	1	70	0	71	2
G-3	41	3	40	3	65	1	61	2
G-4	46	0	46	0	65	3	66	2
G-5	46	0	45	2	72	2	71	1
G-6	38	0	40	3	66	4	64	3
G-7	46	0	46	0	65	1	65	2
G-8	38	0	42	2	61	1	62	2
G-9	47	2	47	2	73	1	73	1
G-10	46	3	47	2	69	1	73	1
G-11	41	3	44	2	64	0	65	3
G-12	46	0	46	0	71	1	71	2
G-13	43	0	44	2	69	1	70	2
G-14	46	0	46	0	67	1	67	1
G-15	46	0	46	0	70	0	67	3
G-16	46	0	46	0	68	2	69	1
G-17	41	3	44	2	65	1	65	1
G-18	49	0	49	0	73	1	75	1

NDE: días,  $\bar{x}$ : promedio, s: desviación estándar, n=3

GENOTIPO	Número de días transcurridos al 50% de madurez de granos (NDM)							
	LA MOLINA				JUNÍN-JAUJA			
	Sequía		Control		Sequía		Control	
	$\bar{x}$	s	$\bar{x}$	s	$\bar{x}$	s	$\bar{x}$	s
G-1	74	0	79	2	122	4	129	3
G-2	77	3	83	3	122	4	136	0
G-3	75	2	83	3	121	2	129	0
G-4	76	3	79	2	116	2	123	2
G-5	74	0	83	5	121	2	129	0
G-6	71	0	74	0	128	2	127	4
G-7	74	0	83	5	121	2	122	0
G-8	71	0	74	0	115	0	123	2
G-9	75	2	83	3	128	2	130	2
G-10	83	3	86	5	128	2	130	2
G-11	72	2	74	0	115	0	122	0
G-12	74	0	80	7	128	2	130	2
G-13	73	2	74	0	122	4	129	3
G-14	74	0	85	5	121	2	130	2
G-15	74	0	82	6	116	2	135	2
G-16	82	3	89	1	121	2	129	3
G-17	71	0	74	0	121	2	128	2
G-18	85	0	90	0	129	0	136	0

NDM: días,  $\bar{x}$ : promedio, s: desviación estándar, n=3

**Anexo 6.** Datos de las características fisiológicas y bioquímicas (2012-2013)

GENOTIPO	Contenido de clorofila SPAD (CC)							
	LA MOLINA				JUNÍN-JAUJA			
	Sequía		Control		Sequía		Control	
	$\bar{x}$	s	$\bar{x}$	s	$\bar{x}$	s	$\bar{x}$	s
G-1	41.23	2.10	42.60	2.46	56.90	1.78	54.52	0.20
G-2	47.50	0.82	48.60	1.04	53.58	1.76	53.77	1.14
G-3	46.50	2.66	51.97	2.05	54.30	1.86	57.35	2.97
G-4	41.98	2.45	46.28	0.60	54.12	1.86	55.35	0.91
G-5	43.72	1.69	47.78	0.87	55.68	1.78	53.85	2.21
G-6	28.18	1.28	37.73	1.68	54.72	1.79	54.13	0.48
G-7	43.93	0.91	47.13	0.20	53.70	1.87	53.37	1.28
G-8	27.22	2.40	39.20	5.16	56.84	1.72	56.42	1.68
G-9	41.77	2.41	44.38	1.96	51.65	1.87	51.17	0.70
G-10	46.22	1.33	46.87	1.53	53.08	1.83	51.47	1.09
G-11	40.25	1.59	42.10	4.63	56.94	1.72	53.17	0.90
G-12	45.55	1.13	47.80	3.63	55.55	1.75	54.82	0.53
G-13	31.83	2.36	40.85	0.83	51.93	1.68	54.72	4.11
G-14	48.90	2.10	49.05	0.05	58.05	1.80	56.52	0.68
G-15	42.70	0.98	47.13	0.28	56.43	1.60	56.42	3.18
G-16	49.40	1.27	51.62	1.05	56.45	1.69	56.00	1.43
G-17	29.25	0.44	40.37	6.39	51.80	1.85	55.58	1.59
G-18	48.47	3.00	51.28	1.08	55.00	1.78	55.08	4.31

CC: SPAD,  $\bar{x}$ : promedio, s: desviación estándar, n=3

GENOTIPO	Contenido relativo de agua (CRA)							
	LA MOLINA				JUNÍN-JAUJA			
	Sequía		Control		Sequía		Control	
	$\bar{x}$	s	$\bar{x}$	s	$\bar{x}$	s	$\bar{x}$	s
G-1	49.13	10.39	78.97	1.29	65.94	5.17	86.58	2.64
G-2	64.02	8.15	84.42	10.63	76.67	5.99	88.35	5.75
G-3	66.57	4.87	89.92	9.24	64.85	4.02	85.96	2.64
G-4	47.22	14.97	88.81	11.78	65.88	5.13	80.23	7.85
G-5	48.22	8.48	93.23	3.85	78.25	5.14	86.11	3.87
G-6	65.95	13.04	80.71	11.43	61.05	5.57	85.25	5.48
G-7	58.73	11.54	73.71	18.15	70.17	5.84	88.33	2.57
G-8	33.68	9.55	90.01	10.74	69.40	5.28	87.49	3.05
G-9	52.60	3.80	86.41	11.18	66.47	4.28	83.87	5.22
G-10	59.51	10.10	82.83	12.79	76.95	4.52	89.38	5.79
G-11	61.66	4.40	82.34	10.04	75.15	5.86	82.22	6.27
G-12	51.30	10.27	85.03	5.82	63.47	5.60	90.16	2.35
G-13	67.61	3.80	98.61	11.96	67.53	5.29	86.89	5.59
G-14	71.07	2.50	79.10	17.79	70.76	4.65	88.09	5.77
G-15	70.89	7.25	71.42	22.52	75.36	5.77	83.46	2.64
G-16	66.98	8.13	92.75	8.50	61.64	4.73	86.82	5.68
G-17	48.12	3.07	94.33	18.17	71.39	5.59	85.94	5.02
G-18	58.73	3.43	81.90	10.53	64.35	5.98	82.02	5.32

CRA: %,  $\bar{x}$ : promedio, s: desviación estándar, n=3

GENOTIPO	Potencial osmótico ( $\Psi_o$ )							
	LA MOLINA				JUNÍN-JAUJA			
	Sequía		Control		Sequía		Control	
	$\bar{x}$	s	$\bar{x}$	s	$\bar{x}$	s	$\bar{x}$	s
G-1	-6.93	1.73	-5.51	0.95	-4.52	0.25	-3.64	0.41
G-2	-7.39	0.54	-6.20	0.23	-7.60	1.09	-4.23	0.72
G-3	-7.60	0.71	-5.76	1.48	-6.13	0.74	-4.18	0.31
G-4	-8.77	0.72	-5.15	0.48	-6.81	1.08	-2.84	0.43
G-5	-6.73	1.03	-5.89	0.49	-4.09	1.17	-4.08	0.72
G-6	-8.67	0.53	-5.58	1.06	-6.18	0.28	-4.40	0.74
G-7	-7.18	0.47	-6.08	0.43	-6.40	0.45	-6.98	0.48
G-8	-5.76	1.01	-5.47	0.98	-5.82	0.76	-3.67	0.57
G-9	-6.90	1.48	-4.21	0.35	-5.79	0.68	-4.44	0.94
G-10	-5.51	0.66	-5.00	0.90	-5.51	0.73	-3.92	0.17
G-11	-5.52	0.74	-5.36	0.93	-5.27	0.27	-4.00	0.52
G-12	-7.96	1.11	-5.34	0.72	-4.62	0.36	-4.44	0.23
G-13	-6.99	0.63	-4.47	0.64	-5.25	0.23	-4.70	0.49
G-14	-4.61	0.63	-4.22	0.40	-6.70	1.34	-5.91	0.84
G-15	-6.32	0.45	-4.30	0.39	-3.64	0.31	-3.96	0.08
G-16	-8.22	1.34	-4.33	0.61	-5.74	0.77	-5.31	0.91
G-17	-8.36	1.24	-5.93	0.81	-3.81	1.25	-3.87	0.38
G-18	-7.29	1.00	-5.36	0.43	-7.22	1.29	-4.31	0.89

$\Psi_o$ : Mpa,  $\bar{x}$ : promedio, s: desviación estándar, n=3

GENOTIPO	Contenido de prolina libre (CPL)							
	LA MOLINA				JUNÍN-JAUJA			
	Sequía		Control		Sequía		Control	
	$\bar{x}$	s	$\bar{x}$	s	$\bar{x}$	s	$\bar{x}$	s
G-1	54.43	8.22	40.97	11.68	61.16	0.58	47.70	6.39
G-2	56.06	10.70	51.33	8.90	64.79	4.75	59.42	7.45
G-3	64.81	9.33	41.25	10.82	47.98	14.70	41.25	5.09
G-4	49.37	8.92	30.17	3.78	40.27	12.29	30.17	7.97
G-5	49.01	8.86	47.61	10.78	61.75	5.42	38.19	8.19
G-6	56.22	8.27	39.39	3.91	62.95	10.57	49.49	6.93
G-7	61.81	8.86	51.71	8.36	55.08	5.03	51.71	5.86
G-8	61.92	8.89	39.03	9.88	58.21	4.55	58.21	6.41
G-9	74.44	8.49	47.24	10.91	74.17	5.82	59.74	8.28
G-10	61.56	8.58	48.10	4.09	68.29	6.83	31.90	6.83
G-11	63.17	5.52	39.61	3.57	69.90	5.05	42.98	7.51
G-12	76.14	8.32	60.05	1.40	70.14	18.39	59.41	5.86
G-13	44.30	8.07	32.37	10.11	62.66	5.31	58.39	6.67
G-14	69.18	10.57	59.45	6.22	79.64	6.22	58.45	6.13
G-15	74.23	5.68	52.41	6.11	72.60	6.11	52.41	6.23
G-16	65.15	10.53	65.15	10.57	61.79	10.85	51.87	8.08
G-17	51.10	8.66	47.37	5.12	74.29	11.01	47.70	7.34
G-18	52.57	7.77	31.38	4.46	44.84	9.58	40.84	6.22

CPL:  $\mu\text{moles Prolina g}^{-1}$  de PFM,  $\bar{x}$ : promedio, s: desviación estándar, n=3

GENOTIPO	Actividad de la enzima nitrato reductasa (AENR)							
	LA MOLINA				JUNÍN-JAUJA			
	Sequía		Control		Sequía		Control	
	$\bar{x}$	s	$\bar{x}$	s	$\bar{x}$	s	$\bar{x}$	s
G-1	0.06	0.01	0.04	0.01	0.52	0.06	0.31	0.05
G-2	0.10	0.02	0.08	0.01	0.55	0.07	0.27	0.04
G-3	0.17	0.01	0.08	0.01	0.19	0.06	0.12	0.01
G-4	0.07	0.02	0.04	0.01	0.12	0.03	0.11	0.01
G-5	0.15	0.02	0.13	0.02	0.99	0.12	0.47	0.04
G-6	0.25	0.02	0.20	0.02	0.84	0.12	0.19	0.04
G-7	0.12	0.02	0.04	0.01	0.18	0.07	0.16	0.03
G-8	0.08	0.01	0.05	0.02	0.26	0.06	0.21	0.03
G-9	0.08	0.03	0.08	0.01	0.55	0.07	0.19	0.04
G-10	0.25	0.03	0.16	0.02	0.14	0.03	0.12	0.02
G-11	0.24	0.03	0.13	0.01	1.02	0.03	0.30	0.03
G-12	0.25	0.02	0.08	0.01	0.21	0.06	0.16	0.02
G-13	0.12	0.03	0.10	0.02	0.33	0.07	0.16	0.04
G-14	0.08	0.01	0.07	0.02	0.30	0.06	0.27	0.04
G-15	0.15	0.01	0.05	0.01	0.56	0.08	0.48	0.04
G-16	0.18	0.01	0.07	0.03	0.21	0.06	0.19	0.04
G-17	0.16	0.02	0.10	0.01	0.83	0.09	0.48	0.05
G-18	0.13	0.02	0.07	0.01	0.15	0.02	0.12	0.01

AENR: número de micromoles de  $\text{NO}_2$  hora<sup>-1</sup> g<sup>-1</sup> PF,  $\bar{x}$ : promedio, s: desviación estándar, n=3