

**ESTABILIDAD FENOTÍPICA DE 10 GENOTIPOS DE TRIGO
(*Triticum aestivum* L.) EN LOS DEPARTAMENTOS DE NARIÑO,
BOYACA Y CUNDINAMARCA**

JESÚS EDUARDO MURIEL FIGUEROA

**UNIVERSIDAD DE NARIÑO
FACULTAD DE CIENCIAS AGRÍCOLAS
CENTRO DE INVESTIGACIÓN EN CIENCIAS AGRARIAS
SAN JUAN DE PASTO
2013**

**ESTABILIDAD FENOTÍPICA DE 10 GENOTIPOS DE TRIGO
(*Triticum aestivum* L.) EN LOS DEPARTAMENTOS DE NARIÑO,
BOYACA Y CUNDINAMARCA**

JESÚS EDUARDO MURIEL FIGUEROA

**Tesis para optar al título de: Maestría en Ciencias Agrarias con énfasis en
producción de cultivos Magister Scientiae**

**Director de Tesis:
OSCAR EDUARDO CHECA CORAL M.Sc, Ph.D**

**UNIVERSIDAD DE NARIÑO
FACULTAD DE CIENCIAS AGRÍCOLAS
CENTRO DE INVESTIGACIÓN EN CIENCIAS AGRARIAS
SAN JUAN DE PASTO
2013**

NOTA DE RESPONSABILIDAD

“Las ideas y conclusiones aportadas en la tesis de grado son responsabilidad exclusiva de los autores”

Artículo 1º del Acuerdo N° 324 de octubre 11 de 1966 emanado del Honorable Consejo Directivo de Universidad de Nariño.

NOTA DE ACEPTACIÓN

TULIO CESAR LAGOS I.A. M.Sc. Ph.D.
Jurado

ANTONIO BOLAÑOS ALOMIA I.A. M.Sc.
Jurado

NESTOR ANGULO I.A. M.Sc.
Jurado

OSCAR EDUARDO CHECA CORAL I.A. M.Sc. Ph.D.
Presidente

San Juan de Pasto, Diciembre de 2013

AGRADECIMIENTOS

Expresó mis más sinceros agradecimientos a:

A Jehová Dios, por darme fortaleza espiritual e iluminación en las alegrías y tristezas de mi vida

A la Federación Nacional de Cultivadores de Cereales y Leguminosas FENALCE por proporcionar el presupuesto para mis estudios de posgrado y trabajo de investigación

A Henry Vanegas Angarita Gerente General FENALCE por su apoyo incondicional en el campo laboral y en mi formación como investigador.

A mi Director Oscar Eduardo Checa Coral I.A. Ph.D. por su valiosa colaboración, orientación y enseñanzas.

A mi Codirector Rodrigo Britto Molina I.A. Ph.D. por sus sugerencias y recomendaciones.

A Benjamín Sañudo Sotelo I.A. por su apoyo incondicional y gran experiencia, fruto los numerosos trabajos de investigación realizados en el cultivo de trigo.

A Carmen Julio Duarte I.A. y Diana Ríos I.A. en las regionales de FENALCE localizadas en Cundinamarca y Boyacá, por su colaboración en trabajos de campo y registró de información.

A todos los profesores de Centro de Estudios de Posgrado de la Universidad de Nariño, por proporcionarme sus conocimientos y experiencias durante esta etapa de crecimiento profesional.

Dedico el logro de este trabajo a:

A la memoria de mi Padre, a mi Madre, a mis hermanos, familiares y docentes por el afecto, las enseñanzas, la dedicación y el apoyo durante todos los años y etapas que han transcurrido de mi vida.

"La sabiduría es hija de la experiencia"
- *Leonardo Da Vinci (1452-1519)*

RESUMEN

Con el fin de mejorar la competitividad del cultivo del trigo desde el punto de vista técnico en Colombia, se evaluaron ocho líneas avanzadas (F8) de trigo (*Triticum aestivum* L) y los testigos ICA Tenza y Facianar promesa de mayor aceptación comercial, en ocho ambientes de los altiplanos de Nariño y Cundiboyasense, dentro de esta evaluación se tuvo en cuenta la resistencia a Roya amarilla (*Puccinia striiformis*) tanto en hoja como en espiga, el rendimiento de grano (t.ha⁻¹), los componentes de rendimiento: número de espigas efectivas por planta (NME), número de granos por espiga (NGE) y peso de mil granos (P 1000), además de los parámetros de calidad industrial peso hectolítrico, porcentaje de proteína (%), índice de dureza (%) y volumen del pan (cm³). Se utilizó un diseño de bloques al azar con diez tratamientos y cuatro repeticiones. En el proceso de selección por rendimiento de grano, se utilizó el modelo de estabilidad fenotípica de Eberhart y Russell (1966). Las líneas L7 UPTC, L15 N y L24 N presentaron una reacción resistente a roya amarilla en hoja y espiga. El número de granos por espiga y el peso de 1000 granos presentaron una correlación positiva y significativa con el rendimiento de grano seco. En el análisis de Eberhart y Russell se destacaron las líneas: L11N, L2 UPTC, L13 UPTC y L29N como genotipos estables y predecibles; ICA TENZA, L6 UPTC y L24 N por su respuesta en todos los ambientes pero no predecibles, la línea L7 UPTC respondió mejor a ambientes favorables y es predecible, caso contrario con el testigo Promesa. La línea L15 N se destacó por su rendimiento, mejor respuesta en ambientes desfavorables y por ser predecible. En calidad industrial L24N presentó diferencias respecto a los parámetros índice de dureza y volumen del pan.

Palabras claves: trigo, ambiente, adaptabilidad, estabilidad

ABSTRACT

In order to improve the competitiveness of wheat cultivation from the technical point of view Colombia eight advanced lines (F8), wheat (*Triticum aestivum* L) from CIMMYT and Fenalce, and witnesses ICA Tenza and were evaluated Facianar promise greater commercial acceptance in eight highland environments and Cundiboyasense Nariño, the variables were: incidence and severity of yellow rust (*Puccinia striiformis*) in both leaf and spike yield components effective number of spikes per plant (NME) (P1000), number of grains per spike (NGE) thousand kernel weight (P 1000 grains), yield (tha ⁻¹), the parameters of industrial quality test weight, protein percentage (%), hardness index (%) and loaf volume (cm³), evaluated under a randomized block design with four replications, the process of selection for yield (tha ⁻¹) grain was strengthened with the model of phenotypic stability of Eberhart and Russell (1966). Evaluations of the L15N yellow rust, L7UPTC, L11N, L24N and L6UPTC lines showed better response to pathogen damage. The L24N, L15N and L11N, lines stood by differences in the NME in Guaitarrilla Túquerres and Imués, just as in the NGE in Tocancipá and Tibaitata, however in recent environments L24N was superior in performance and P1000 (Tha ⁻¹). The strongest correlations were between NGE and PGE yield. In the analysis of the Eberthart and Russell L11N, L2 UPTC, L13 UPTC and L29N genotypes as stable and predictable lines are highlighted; ICA TENZA, L6 UPTC and L24N for your response in all environments but not predictable, the L7 UPTC line responded better enabling environments and is predictable, otherwise the witness Promise, L15N was noted for his performance, better response in unfavorable environments and predictable. L24N introduced in industrial quality index differences in hardness and bread volume.

Keywords: Wheat, environment, yield, industrial quality , performance, adaptability.

CONTENIDO

	Pág.
INTRODUCCIÓN	14
2. MARCO TEÓRICO	15
2.1 ORIGEN Y EXPANSIÓN DEL TRIGO	15
2.2 LA IMPORTANCIA DEL TRIGO EN EL MUNDO.....	16
2.3 EL CULTIVO DE TRIGO EN COLOMBIA	17
2.4 TIPOS DE TRIGO	17
2.5 CALIDAD DEL GRANO DE TRIGO	18
2.5.1 Peso hectolítrico	19
2.5.2 Dureza del grano	19
2.5.3 Proteína de grano	19
2.5.4 Volumen del pan	20
2.6 COMPONENTES DE RENDIMIENTO.....	20
2.7 LAS ROYAS DEL TRIGO	22
2.7.1 Evaluación de daños por royas.....	23
2.8 FITOMEJORAMIENTO DEL TRIGO EN COLOMBIA.....	24
2.9 ESTABILIDAD FENOTÍPICA	25
2.10 IMPLICACIONES DE LA IGA EN EL FITOMEJORAMIENTO	26
2.11 MODELOS PARA MEDIR LA ESTABILIDAD FENOTÍPICA (EF).....	28
2.12 ESTUDIOS DE ESTABILIDAD FENOTÍPICA EN TRIGO.....	33
3. MATERIALES Y MÉTODOS.....	35
3.1 LOCALIZACIÓN.....	35
3.2 MATERIAL GENÉTICO	36
3.3 DISEÑO EXPERIMENTAL.....	37
3.4 VARIABLES EVALUADAS.....	38
3.4.1 Reacción a Roya amarilla (<i>Puccinia striiformis</i> f. sp. <i>tritici</i>).....	38
3.4.2 Macollas efectivas por planta (NME)	38

3.4.3 Número de granos por espiga (NGE)	38
3.4.4 Peso de mil granos (P1000 granos).....	39
3.4.5 Rendimiento de grano (kg ha^{-1})	39
3.5 ANÁLISIS DE CALIDAD	39
3.6 ANÁLISIS ESTADÍSTICO	40
4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	42
4.1 REACCIÓN A ROYA AMARILLA (<i>Puccinia striiformis</i> f.sp. <i>tritici</i>).....	42
4.1.1 Roya amarilla en hoja	42
4.1.2 Roya amarilla en espiga.....	43
4.2 RENDIMIENTO Y COMPONENTES DE RENDIMIENTO.....	44
4.3 COMPARACION DE PROMEDIOS DE RENDIMIENTO Y COMPONENTES DE RENDIMIENTO.....	45
4.3.1 Número de macollos efectivos por planta (NME).....	45
4.3.2 Número de granos por espiga (NGE)	47
4.3.3 Peso de 1000 granos (P1000)	49
4.3.4 Rendimiento de grano (t. ha^{-1})	51
4.4 ANÁLISIS DE CALIDAD DE LOS GENOTIPOS EVALUADOS	60
CONCLUSIONES	64
RECOMENDACIONES.....	65
BIBLIOGRAFÍA.....	66
ANEXOS.....	77

LISTA DE TABLAS

Pág

Tabla 1. Ubicación de las Pruebas de Eficiencia Agronómicas (PEAs) establecidas en el año 2012	35
Tabla 2. Descripción de las principales características climáticas y edáficas de los sitios de evaluación.....	36
Tabla 3. Genealogía y características de los cultivares de trigo utilizados en el estudio.	37
Tabla 4. Criterios de Eberhart y Russell (1966), para clasificar los genotipos por su adaptabilidad y estabilidad fenotípica.	41
Tabla 5. Lecturas máximas de severidad (%) y reacción a roya amarilla en hoja (<i>Puccinia striiformis</i> f.sp. <i>tritici</i>) en 10 genotipos de trigo evaluados en las regiones de Nariño, Cundinamarca y Boyacá durante el 2012.....	42
Tabla 6. Lecturas máximas de severidad (%) de roya amarilla en espiga (<i>Puccinia striiformis</i> f.sp. <i>tritici</i>) en 10 genotipos de trigo, evaluados en las regiones de Nariño, Cundinamarca y Boyacá durante el 2012.....	44
Tabla 7. Análisis de varianza combinado para las variedades rendimiento de grano, número de plantas, número de macollas, número de granos, peso de 1000 granos y peso hectolítrico de diez genotipos de trigo evaluados en las regiones de Nariño, Cundinamarca y Boyaca.	45
Tabla 8. Comparaciones múltiples mediante Tukey para la variable número de macollos efectivos por planta (NME) en diez genotipos de trigo evaluados en las regiones de Nariño, Cundinamarca y Boyacá durante el 2012.....	46
Tabla 9. Comparaciones de promedios Tukey para la variable número de granos por espiga (NGE) en diez genotipos de trigo probados en las regiones de Nariño, Cundinamarca y Boyacá durante el 2012.	48

Tabla 10. Comparaciones de promedios Tukey para la variable peso (g) de 1000 granos (P1000) en diez genotipos de trigo probados en las regiones de Nariño, Cundinamarca y Boyacá durante el 2012	50
Tabla 11. Comparaciones múltiples de medias mediante la prueba de Tukey para rendimiento de grano ($t.ha^{-1}$) en diez genotipos de trigo probados en las regiones de Nariño, Cundinamarca y Boyacá durante el 2012.....	52
Tabla 12. Correlaciones entre el rendimiento de grano con las variables número de granos por espiga, número macollos, peso de 1000 granos y peso hectolítrico....	54
Tabla 13. Parámetros de adaptabilidad y estabilidad de Eberhart y Russell para rendimiento de grano ($t.ha^{-1}$), de 10 genotipos de trigo probados en las regiones de Nariño, Cundinamarca y Boyacá durante el 2012.....	56
Tabla 14. Comparaciones de promedios Tukey para la variable Peso hectolítrico ($Kg.Hl^{-1}$) en diez genotipos de trigo probados en las regiones de Nariño, Cundinamarca y Boyacá durante el 2012.	60
Tabla 15. Comparaciones de medias de Tukey para las variables extracción de harina, índice de dureza, porcentaje de proteína y volumen para diez genotipos de trigo ubicados en las regiones de Nariño, Cundinamarca y Boyacá durante el 2012.....	62

LISTA DE FIGURAS

Pág.

Figura 1. Adaptabilidad y estabilidad de ocho líneas promisorias de trigo y los testigos ICA Tenza y Promesa, en ocho ambientes contrastantes en los departamentos de Nariño, Boyacá y Cundinamarca, 2012.....	59
--	----

INTRODUCCIÓN

En Colombia el trigo se viene cultivando tradicionalmente en los departamentos de Nariño, Boyacá y Cundinamarca como una opción de seguridad alimentaria y económica de las familias campesinas, sin embargo su rentabilidad es baja, debido al empleo de variedades tradicionales de baja calidad industrial, con rendimientos menores a las 2,0 t.ha⁻¹ por debajo del promedio mundial que es de 2,8 t.ha⁻¹, destacándose países como Francia, Dinamarca, Alemania e Inglaterra con rendimientos entre 6 a 8 t.ha⁻¹(FAO, 2010).

En el país debido a la escasa oferta de genotipos superiores de amplia adaptación y estabilidad, el sector triguero presenta un escenario desfavorable respecto a países exportadores como Estados Unidos, Canadá y Argentina, de donde proceden los mayores volúmenes de exportación a nuestro país (FENALCE, 2010).

Por lo anterior, la evaluación y obtención de genotipos superiores es una solución tecnológica viable, desde los puntos de vista económico y ambiental que permiten que contribuir al mejoramiento de la eficiencia y la competitividad del trigo nacional frente al trigo importado, razón por la cual la Federación Nacional de Cultivadores de Cereales y Leguminosas FENALCE viene trabajando en la evaluación de líneas avanzadas y promisorias por su capacidad productiva, contando para ello con germoplasma propio y accesiones procedente del CIMMYT, fruto de ello ha sido la identificación de 8 genotipos experimentales de trigo (*Triticum aestivum* L), utilizados el presente estudio realizado en 8 ambientes en la zona triguera de Colombia.

La presente investigación se realizó con el objeto evaluar los componentes de rendimiento de ocho genotipos promisorios de trigo (*Triticum aestivum*) De igual manera, se buscó establecer la adaptabilidad y estabilidad fenotípica para rendimiento de grano. Adicionalmente, se buscó determinar la reacción de las líneas a Roya amarilla (*Puccinia striiformis*) Por otra parte, se estableció algunas característica de calidad industrial de los genotipos evaluados.

2. MARCO TEÓRICO

2.1 ORIGEN Y EXPANSIÓN DEL TRIGO

El trigo correspondiente al genero *Triticum*, comenzó a cultivarse hace 10.000 años antes de Cristo, los primeros registros como fuente de alimento se remontan a Mesopotamia, de donde posteriormente se distribuyó a lo largo de toda la cuenca hasta llegar a Italia y España alrededor del año 7.000 AC (Ryan,1979). Este género comprende alrededor de 30 tipos de trigo, con suficientes diferencias para considerar las especies distintas o sub especies (Mac Key, 2005).

Las especies de genero *Triticum* puede agruparse en tres secciones naturales distinguibles por su número básico de cromosomas (7, 14, 21), teniendo todas las especies un origen probablemente diploide ($2n=14$) (Mac Key, 2005). Los trigos comerciales actuales pertenecen a las especies:

a) *Triticum turgidum* var. *durum* (tetraploide, $4n = 28$) y genoma (AABB), conocido como trigo durum o trigo semolero cuyo uso principal es la pasta y sus derivados.

b) *Triticum aestivum* que evoluciono hace unos 2000 años como una especie hexaploide, $6n = 42$ y genoma (AABBDD), que corresponde al trigo panadero trigo harinero o trigo blando que se originó en campos cultivados por cruzamiento natural del trigo *diccoides*, var *durum* con otra especie diploide silvestre (*Aegilops tauschii*) (Mac Key, 2005).

En Colombia el cultivo del trigo fue introducido por los conquistadores españoles en el segundo viaje de Cristóbal Colón. Desde esa época se comenzó a sembrar en los altiplanos fríos y en las pendientes aledañas, convirtiéndose desde entonces en un ingrediente básico de la dieta diaria de muchos pobladores (Perez, 2002).

En los Departamentos de Nariño y Boyacá este cereal se sembró por primera vez entre los años 1538 y 1540. Se reportandose que en las vecindades de Tunja fue sembrado hacia 1540 por el Capitán Jerónimo de Aguayo por orden del Capitán Alonso de Lugo quien trajo las primeras semillas junto con las de cebada y garbanzo. De igual forma Pedro Cieza de León describió que en sus recorridos por el Departamento de Nariño, en el año 1539 encontró cultivos de trigo y molinos en

funcionamiento; durante esta época se reportó el cultivo de la variedad “Tremex” o “Tremesín” traída de España, la cual fue reemplazada en el siglo XVIII por las variedades “Candeal”, “Rubio” y “Barbilla” y luego en el siglo XIX por “Chamarro” y “Barba Negra” (Perez, 2002).

2.2 LA IMPORTANCIA DEL TRIGO EN EL MUNDO

Entre los principales cereales consumidos por la humanidad se encuentran trigo, arroz, maíz, avena, cebada y centeno, los tres primeros se consideran los más importantes en la alimentación humana, debido a que contribuyen entre el 45 y 50% de la dieta mundial en calorías y proteínas (Ortíz, 2009).

El trigo ocupa el segundo lugar en volumen de producción en el mundo, ya que provee más del 20% del total de proteínas y calorías de una dieta diaria, después del maíz es la mayor fuente de alimentación (FAO, 2010). De acuerdo con la información sobre consumo, alrededor del 75% se consume de manera directa, como pan, harina y pastas alimenticias; un 15% de forma indirecta a través de productos para animales y el 10% restante se emplea como semilla (CIMMYT, 2010).

La FAO (2012), reporta que el área de siembra en ese año fue de 232 millones de hectáreas, que produjeron 650 millones de toneladas de grano. El principal productor es la Unión Europea con 132 millones de toneladas al año, seguido por China, India y Estados Unidos con 118, 94 y 62 millones de toneladas al año, respectivamente. En América del Sur los principales productores son Argentina y Brasil con 11 y 5 millones de toneladas.

En los mercados internacionales los países de Estados Unidos, Canadá, Australia y Argentina exhiben una clara ventaja competitiva con superávit cercanos al 100%, porque estos países poseen altos niveles de especialización y vocación exportadora. Estados Unidos presenta la mayor capacidad de exportación con la variedad Hard Red Winter (HRW) producido en los estados de Texas, Kansas, Colorado y California, con un contenido proteínico de 9,5%, rico en gluten y especialmente utilizado para producir pan con levadura de alta calidad y panecillos, seguido por Canadá y Francia que en conjunto aportan el 54% del trigo que se comercializa en el mercado internacional (FAO, 2012).

El promedio mundial de rendimiento es de 2,8 t.ha⁻¹ con una alta variabilidad entre países y regiones. Los rendimientos más altos se obtienen en Inglaterra (8,0 t.ha⁻¹), Alemania (7,2 t.ha⁻¹), Dinamarca (6,6 t.ha⁻¹) y Francia (6,2 t.ha⁻¹), en contraste los más bajos (menos de 1,0 t.ha⁻¹) se encuentran en varios países asiáticos y del Norte de África (FAO, 2012).

2.3 EL CULTIVO DE TRIGO EN COLOMBIA

El trigo en Colombia se localiza en las zonas frías (2400 a 3000 msnm) de los departamentos de Nariño y Boyacá, con aproximadamente el 98% del área cultivada en el país, el resto se cultiva en el Norte de Cundinamarca. El 80% de las explotaciones trigueras son de tipo tradicional minifundista o microfundista con menos de 5,0 hectáreas (FENALCE, 2010).

Durante los años sesenta se sembraron 160 mil hectáreas y la producción tenía una participación del 62% en el consumo nacional. Sin embargo, la política de ayuda alimentaria internacional hacia Latinoamérica incluía un plan de exportación para los excedentes de trigo extranjeros, lo cual afectó negativamente la producción en los países andinos, que rápidamente empezaron a depender de las importaciones. En 1970 el área se redujo a 45 mil hectáreas y en la década de los noventa con la apertura económica el área de siembra fue de 22 mil hectáreas (FENALCE, 2010).

En el año 2012 se sembraron 10.348 hectáreas con una producción de 19.986 toneladas y un rendimiento promedio de $2,03 \text{ t.ha}^{-1}$. El 80% de la producción se concentró en Nariño, un 19% en Boyacá y el 1% en Cundinamarca. La participación del trigo Colombiano en el consumo nacional es de aproximadamente el 2% (Agronet, 2013).

El consumo aparente de trigo en Colombia durante la última década ha presentado un crecimiento de 958.859 toneladas en 1994 a 1.400.000 toneladas en 2012. Este crecimiento se explica por el aumento en el volumen de las importaciones de trigo subsidiado que pasó de 851.206 toneladas en 1994 a 1.380.872 toneladas en 2012 (Agronet, 2010). Según cálculos de la DIAN y FENALCE, el consumo de trigo per cápita es de 96 kg/año en Chile, en Argentina de 30, en Perú de 28 y en Colombia de 24, lo cual se debe al bajo consumo de pan respecto a otros países latinoamericanos (FAO, 2010).

2.4 TIPOS DE TRIGO

Según Ortiz (2009) el trigo se clasifica por la textura del endospermo (almidón) y su fraccionamiento en la molienda. De esta forma, se pueden mencionar los tipos de trigo más utilizados:

Duro (*Triticum turgidum var durum*). Es un trigo con alto valor nutritivo, posee un alto contenido de gluten y contiene de 12 a 14% de proteína. Crece en climas

muy cálidos y secos donde absorbe más agua que otros trigos, en su comercialización tiene menos humedad. Es una especie muy resistente a la sequía y a las enfermedades. Es utilizado principalmente en la elaboración de macarrones, espagueti y otras pastas.

Suaves o blandos (*Triticum aestivum*): Posee bajo valor nutritivo ya que tiene un bajo contenido de gluten y presentan entre 7 y 10% de proteína, razón por la cual se emplea principalmente en galletas. Los trigos suaves crecen en climas templados donde hay presencia de más agua, aunque la absorben en menos cantidades. El trigo que se produce en Colombia pertenece al tipo "blando", propio para la elaboración de galletería pues presenta bajo contenido proteínico y un bajo nivel de extracción de harinas para panificación lo que lo hace poco atractivo para el uso de la industria productora de pan y de pastas. Sin embargo, el trigo nacional es de tipo intermedio primaveral o suave de invierno, apto para la elaboración de pan tipo europeo, o pan pesado con alto contenido de grasa y fibra (Herrera, 1985).

2.5 CALIDAD DEL GRANO DE TRIGO

La calidad de los productos del trigo depende del tipo de grano, pero también del ambiente (clima y nutrición) y de manejo del cultivo. Las principales características que definen el valor nutricional y la calidad industrial son el contenido de proteínas del grano y su composición en aminoácidos (Troccoli *et al.* 2000).

Las proteínas del trigo presentan baja cantidad de algunos aminoácidos considerados como esenciales para el hombre, como Lisina (el aminoácido más deficiente) y Treonina (el segundo aminoácido más escaso), pero son abundantes en Glutamina y Prolina los cuales son útiles en la formación de la masa muscular (Bénétrix y Autran, 2001).

El contenido de proteínas y la composición de aminoácidos en el grano varían ampliamente entre genotipos, considerándose una característica genética altamente dependiente de la disponibilidad de agua, la temperatura, el período de maduración y fertilización nitrogenada (Bénétrix y Autran, 2001). La síntesis y acumulación de proteínas y de aminoácidos varía durante el desarrollo del grano, especialmente bajo condiciones que limiten la tasa y duración del llenado del grano, como ocurre en la mayor parte de los ambientes (García del Moral *et al.*, 2007).

Recientemente, se ha establecido que el contenido de Glutamina, Fenilalanina y Prolina se incrementan a medida que disminuye la duración del llenado del grano, mientras que el resto de aminoácidos se disminuye presumiblemente porque la sequía y elevadas temperaturas durante la maduración, que favorecen la acumulación de Gliadinas (abundantes en glutamina y prolina) en detrimento de la Albúmina y la Globulina (proteínas ricas en Treonina, Lisina, Metionina, Valina e Histidina) (Spiertz *et al.*, 2006).

Los parámetros más importantes asociados con la calidad física, molinera y de grano son: peso hectolítrico (Kg/Hl), dureza del grano y proteína en harina (%), (López-Bellido *et al.*, 1998) cuyas características son:

2.5.1 Peso hectolítrico. Es un parámetro indicador de la calidad física del grano. Se define como el peso en kilos de un volumen de 100 litros de grano. Este parámetro es importante porque cuanto más sano sea (menor cantidad de impurezas, granos dañados o quebrados, chuzos, picados, fusariosos o con presencia de cualquier enfermedad), mayor será la proporción de almidón en el grano y mejor será la separación del endospermo del resto del grano. Por lo tanto, a mayor sanidad en el grano mayor extracción de harina. A su vez, es una medida de la homogeneidad en la partida de trigo, clave en el proceso industrial. Por consiguiente es una buena estimación tanto de la calidad física del grano, como de la calidad molinera que además refleja el rendimiento harinero (Rharrabti *et al.*, 2001).

2.5.2 Dureza del grano. Nos permite calcular el agua que se agregará al grano antes de la molienda (Ortiz, 2009). La dureza “física” de los granos es la resistencia al aplastamiento, fragmentación o reducción. La cantidad de gluten presente también determina la dureza de la harina. La blanda se destina a la elaboración de pan y se selecciona por su capacidad de absorber el agua, mientras que la más dura se utiliza sobre todo para la elaboración de productos de pastelería o caseros, absorbe menos agua, la cantidad de gluten presente se relaciona inversamente con la dureza de la harina.

El índice de dureza se expresa en porcentaje, que indica la proporción de grano duro y grano blanco, si es mayor al 50% indica que la harina es apta para la panificación (Ferrerías, 2009).

2.5.3 Proteína de grano. La proteína se determina mediante diversos métodos, como el de análisis húmedo (nitrógeno Kjeldhal x 5,70) que cuantifica el nitrógeno de la muestra, cuyo valor se multiplica por el factor de transformación 5,7

obteniéndose así el contenido total de proteína, aceptándose el rango entre 12 y 14% para trigos de buena calidad harinera. Además este factor mide indirectamente el contenido del gluten del grano que es un compuesto de naturaleza proteica que hace que los gases de la fermentación se queden en el interior de la masa, haciendo que estos suban. Después de la cocción el gluten se coagula haciendo que el pan no se deshinfle. Se determina mediante espectrometría en infrarrojo (NIRS), y normalmente se expresa en porcentaje base de 13,5 de humedad (Ferrerías, 2009).

2.5.4 Volumen del pan. Se lo determina mediante la prueba de panificación con el método 10 - 10B, se lo determina después de la fermentación, el valor se expresa en porcentaje recomendado superior a 500 cc (AACC, 1995).

2.6 COMPONENTES DE RENDIMIENTO

Paccapelo *et al.*, (2004) define a los componentes de rendimiento como aquellas características morfológicas y reproductivas cuya interacción permite el rendimiento final. Aunque es imposible hacer una medición exacta de rendimiento teórico potencial, este puede ser estimado a partir de los componentes individuales de rendimiento.

La búsqueda de mayor rendimiento en trigo se enfoca al estudio de sus componentes, para esto, se requiere una mejor comprensión de sus procesos de desarrollo y de los factores que influyen en este, como un alto número de espigas, de espiguillas por espiga, elevada fertilidad y grano de buen peso. La variedad responde como una unidad y su rendimiento potencial se logra cuando no existen factores ambientales que limitan la máxima expresión de los componentes. (Hewstone, 2003).

Los cálculos basados en datos reales de campo indican que el potencial de rendimiento de grano del trigo está por encima de 20 t.ha⁻¹, sin embargo, en la práctica los rendimientos encontrados no sobrepasan las 12 t.ha⁻¹ (Hobbs y Sayre, 2001). No obstante el incremento en uno de ellos comúnmente se compensa por una disminución en alguno o varios de los otros.

El CIMMYT (1989) desarrolló una metodología con instrucciones para el tamaño de la muestra y el estado de desarrollo de la planta de trigo, a fin de determinar correctamente los componentes del rendimiento que a continuación se detallan:

a. Tallos por unidad de área. Se definen en la fase reproductiva mediante la diferenciación de espiguillas, se considera un componente de rendimiento principal debido a que el número de tallos expresan el número de plantas que quedaron establecidos después de la emergencia, las cuales sobrevivieron en los procesos de desarrollo vegetativo Evans *et al.*, (1983).

b. Macollamiento. Se inicia cuando la planta tiene de 2 a 4 hojas y termina cuando aparece la espiguilla terminal, que visiblemente coincide con el engrosamiento o hinchazón del primer nudo en el tallo principal un poco arriba del suelo cuando comienza el encañamiento (CIMMYT, 1989b).

En las yemas axilares de las hojas verdaderas se desarrollan los macollos primarios, estos pueden producir macollos secundarios. El macollo de la primera hoja coincide con la aparición de la punta de la cuarta hoja. Después de comenzado el macollamiento, el ápice vegetativo se transforma en ápice reproductivo. Este proceso se va produciendo sucesivamente. La formación de hojas, tallos y granos a ser llenados depende en gran medida del macollamiento y la supervivencia de ellos, debido a la competencia por recursos como luz, agua y nutrientes. (Slafer *et al.*, 1996).

c. Espigas efectivas por unidad de área. Con la aparición de la espiguilla terminal queda definido el número potencial de espiguillas por espiga. Cerca del estado de espiguilla terminal, los macollos empiezan a morir en orden inverso al de su emergencia. Antes de la floración termina la muerte de macollos y se define el número de espigas/m². La muerte de macollos puede determinar hasta en un 60% el total de los tallos producidos cuando inicia el encañamiento a su vez el final de esta etapa coincide con la definición de la población de espigas. Los macollos no fértiles comienzan a movilizar nutrientes hacia los tallos efectivos con espigas (Solis *et al.*, 2004).

d. Número de granos por espiga. El rendimiento del trigo depende del número de granos que se forman en las espigas y del peso medio de los granos. El primer componente se define durante el encañado y espigado del trigo, el segundo durante el llenado del grano. Así el rendimiento en granos es el resultado final del ciclo de un cultivo y de la interacción genotipo x ambiente x manejo. El rendimiento será generado en las distintas fases fenológicas, teniendo en cuenta los factores ambientales que modifican la duración de cada fase y del ciclo total (Slafer *et al.*, 1996).

e. Peso de 1000 granos. Componente que se relaciona directamente con la temperatura puesto que induce cambios fisiológicos que influyen en la acumulación de reservas en el grano. La temperatura óptima que se requiere para obtener un elevado peso de grano y peso hectolitrico debe estar alrededor de los 16 C° principalmente en las etapas de anthesis y madurez fisiológica (Fonseca et al., 1968).

Para Hewstone (2003) cada uno de los componentes está asociado al desarrollo vegetativo, la reproducción y al llenado del grano. Mejorar un componente producirá un aumento del rendimiento si no se alteran los restantes componentes. Los mejoradores han puesto énfasis en alguno o en varios de ellos en sus procesos de selección con resultados efectivos. Los nuevos cultivares tienen significativos incrementos en las variables peso de granos, granos por espiga, rendimiento por espiga y longitud de espiga, lo cual produjo superiores tasas de llenado de grano que en cultivares antiguos, indicando que estos componentes están altamente relacionados con el incremento de rendimiento de los nuevos cultivares (Wang *et al.*, 2011).

2.7 LAS ROYAS DEL TRIGO

El principal factor biótico que limita la producción de trigo son las royas, algunas de las razas más virulentas están en Norte de África, Centro de Europa y Países Andinos, determinándose en la mayoría de los casos que las razas de roya son muy específicas para un determinado ambiente (Roelfs *et al.*, 1992).

Las royas se constituyen en un problema para la producción de trigo desde hace unos 8.000 años. Las epidemias varían en tamaño y frecuencia dependiendo del genotipo huésped, el medio ambiente y el tiempo. Se ha logrado control parcial con variedades resistentes pero la resistencia decrece con la uniformidad genética del huésped (McIntosh, 2009). Sin embargo el uso de variedades con resistencia además de ser un control eficiente también ambientalmente es más seguro y ecológicamente más sano (Singh, 1997).

Si una variedad basa su resistencia en un gene de efectos mayores que condiciona la hipersensibilidad a una raza específica, su durabilidad promedio es de tres años. Una variedad con varios genes de resistencia de desarrollo lento de la roya tiene un promedio de vida más largo en siembras comerciales; este tipo de resistencia no promoverá la aparición de nuevas razas del hongo. Una de las formas de controlar esta enfermedad en trigos es mediante el uso de variedades con desarrollo lento de la roya o resistencia durable (Campuzano, 1999).

Las royas que afectan el trigo se clasifican en:

a. Roya amarilla (*Puccinia striiformis*). Ataca hojas y espigas, en América se la conoce desde principios del siglo pasado, cuando sucedieron epidemias en Colombia, Ecuador, Perú, Chile y Argentina donde se encontraron nuevas razas fisiológicas (Hacke y Ramírez, 1982).

Puccinia striiformis afecta trigo, cebada y triticale, causando pérdidas importantes en el rendimiento debido a que el hongo tiene capacidad de cambiar (Roelfs *et al.*, 1992) menciona pérdida de rendimiento por granos y macollos dañados del 50% y en situaciones extremas hasta de un 100%; en cultivares colombianos altamente susceptible con una severidad total las pérdidas de rendimiento llegan al 96% (Campuzano, 1999). Necesita temperaturas bajas para desarrollarse. Las temperaturas mínima óptima y máximas para la infección son 0,11 y 23 °C respectivamente (Roelfs *et al.*, 1992).

b. Roya de la hoja (*Puccinia recondita*). La designación binomial de *P. recondita f.sp.tritici* es más usado por casi todos los investigadores de la roya de la hoja. La virulencia y el desarrollo de la enfermedad muestran la necesidad de efectuar un estudio taxonómico de esta compleja enfermedad (Roelfs *et al.*, 1992).

c. Roya del tallo (*Puccinia graminis*). Para Roelfs *et al.*, (1992) esta se desarrolla principalmente en climas tropicales húmedos, para su desarrollo necesitan temperaturas mínimas de 15 °C, óptima de 24°C y máxima de 30°C (Jin *et al.*, 2009).

2.7.1 Evaluación de daños por royas. Para la evaluación de daños visuales por royas, existen sistemas basados en la incidencia de plantas afectadas (%) y en la reacción a la infección. Las escalas de evaluación de Gassner y Straib y la modificada por Cobb, son las más usadas, porque describen detalladamente las respuestas del huésped y las reacciones a la infección de roya amarilla, roya de la hoja y roya del tallo del trigo. Para evaluar la resistencia en planta adulta, se combinan dos tipos de evaluación: la escala modificada de Cobb mide el porcentaje de tejido afectado y la reacción del hospedante a la infección (Leyva, 2003).

2.8 FITOMEJORAMIENTO DEL TRIGO EN COLOMBIA

Los principales hechos históricos relacionados con el mejoramiento del trigo en el país, inician en el año 1935 en la Estación Experimental "La Picota" de Bogotá y luego en la década 1940-1950 se trabajó en la búsqueda de variedades de trigo criollo, aclimatación y selección de variedades importadas. En 1948 se contaba con una colección de 800 variedades, que luego bajo el proceso de selección en 1949 dio como resultado la identificación de diecinueve genotipos promisorios. A partir de 1950, con el convenio entre la Fundación Rockefeller y el Ministerio de Agricultura, se intensificó la investigación en los departamentos de Boyacá, Cundinamarca y Nariño, lo cual permitió que en 1952 se entregara la primera variedad mejorada de trigo, denominada Menquemén, luego la variedad Bonza (1955) y posteriormente DIACOL Nariño (1959) (FENALCE, 2010).

Del año 1953 al año 1957, la Caja Agraria distribuyó semillas mejoradas de trigo Menquemén y Bonza, aumentando el rendimiento promedio a 1500 Kg ha^{-1} , rendimientos que no se lograban con semillas comunes como Bola Picota y 150. Para los años 60 con la creación del Instituto Colombiano Agropecuario ICA, el Programa Nacional de Trigo, intensificó la investigación tanto para el clima frío como para el cálido en los Centros de Investigación de Tibaitatá (Cundinamarca), Surbatá (Boyacá), Obonuco (Nariño), Palmira (Valle del Cauca), Nataima (Tolima), La Selva (Antioquia) y La Libertad (Meta) y en los últimos once años esta responsabilidad estuvo a cargo de CORPOICA.

Entre los años 1952 a 2011 entidades como ICA, CORPOICA, FENALCE y la Universidad de Nariño, entregaron en Nariño, Boyacá y Cundinamarca 33 variedades de trigo harinero. Durante este proceso, se ha trabajado en las distintas disciplinas de agronomía tales como: fitomejoramiento, fitopatología, fisiología vegetal, suelos, maquinaria agrícola, entomología y farinología, tratando de alcanzar objetivos como: obtención de variedades mejoradas, altos rendimientos, amplia adaptación, resistencia a las principales enfermedades y granos con buena calidad. (FENALCE, 2012).

Actualmente en Colombia, FENALCE durante los últimos quince años ha intervenido directa o indirectamente en el mejoramiento y transferencia de tecnología del trigo en Colombia, fruto de ello, en la actualidad, Nariño cuenta con cincuenta líneas avanzadas, como resultado de los cruzamientos entre selecciones sobresalientes obtenidas de las variedades Bonza, Crespo, Bola, Tiba, Sureño, Gualmatán, ICA Yacuanquer, ICA Sequía 96 y Yuriya y posteriores selecciones realizadas mediante el método de Pedigree, las cuales cuentan con características como tolerancia a royas o pudrición de espigas, maduración

uniforme, producción mayor a 50 granos por espiga y comportamiento estable en distintos ambientes.

De la misma forma, en el Altiplano Cundiboyacense la cooperación del ICA, CORPOICA, CRECED, Universidad Nacional y FENALCE, permitió el desarrollo de nuevas variedades y tecnologías apropiadas para el cultivo de trigo, fruto de ello son las variedades mejoradas Menquemen, Bonza, Toca, Tota, Crespo, Tiba, Sugamuxi, Zipa, Samacá, Icatá, Engativá, Susatá, Tenza, Bochica y Hunza (FENALCE, 2010).

Las pruebas regionales de trigo en Nariño durante los años 1985 a 1998, en ocho variedades de trigo colombianas y cinco variedades foráneas, mostraron que el peso hectolítrico osciló entre 76,22 a 83,10 kg/Hl para el trigo importado HRW (Hard Red Winter) y Obonuco Sequia 96. El rendimiento de harina osciló entre 67,00 a 75,50 kg por cada 100 lg de grano, para COJITAMBO (Ecuador) y Obonuco Sequia 96. La proteína en harina osciló entre 11,27 a 13,50% para ICA Gualmatan 91 e ICA Yacuanquer 90. El volumen del pan osciló entre 428,1 a 742,2 cc, para Chimborazo 83 (Ecuador) e ICA Yacuanquer 90. Cuando se liberó la variedad ICA Yacuanquer 90, era la única que igualaba en calidad en trigo importado HRW. El trigo nacional es solicitado para la elaboración de galletas, las variedades ICA Yacuanquer 90, Obonuco sequia 96, Tota 63, Bonza 63 e ICA Gualmantan 91, presentan buena a excelente calidad galletera (CORPOICA, 1999).

2.9 ESTABILIDAD FENOTÍPICA

Se define como la capacidad de los genotipos de mostrar un comportamiento previsible en función de las condiciones ambientales (Cruz y Carneiro, 2003). Desde el punto de vista estadístico de acuerdo con Lin *et al.*, (1986) existen tres conceptos para considerar a un genotipo estable: 1) cuando la interacción con el ambiente es pequeña, 2) cuando la respuesta al ambiente es paralela a todos los genotipos sometidos a la investigación y 3) si los desvíos de la regresión son pequeños.

La adaptabilidad es definida como la capacidad de un cultivo o planta de responder positivamente a los cambios de las condiciones ambientales; es el resultado de la interacción genotipo * ambiente, pero controlada genéticamente por genes mayores y menores, lo que permite aprovechar mejor la oferta ambiental tanto natural como tecnológica (Chloupek y Hrstkova, 2005). Dos tipos de adaptaciones son reconocidas *general* y *específica*. En la adaptación general, las variedades responden incrementando su rendimiento bajo diversas

condiciones climáticas, en contraste cuando es específica dependerá de la capacidad que tenga la planta para adaptarse a condiciones favorables o adversas como déficit de agua, salinidad, sequía, frío y nubosidad (Shahidullah *et al.*, 2009). Los estudios sobre adaptabilidad y estabilidad fenotípica, sirven para caracterizar un grupo de cultivares respecto a la respuesta de las variables ambientales, además la estabilidad fenotípica permite estratificar la población de ambientes en sub regiones. Donde la Interacción Genotipo Ambiente (IGA) no es significativo y permite recomendaciones regionalizadas, identificar los genotipos que menos contribuyan a la IGA y que puedan recomendarse para todos los ambientes con rendimiento promedio elevado, permite una mejor interpretación y explotación de la IGA por eso el interés se concentra en conocer las causas de la interacción y hacer una predicción precisa del comportamiento del genotipo en varios ambientes (Cruz y Carneiro, 2003).

Por su importancia, el trigo se siembra en varias condiciones edafoclimáticas, lo cual caracteriza su alta interacción genotipo-ambiente, propiciando el comportamiento diferencial de los genotipos en las diversas zonas de producción y también dificultad en los procesos de selección, limitando la recomendación y la disponibilidad de los cultivares en una amplia gama de ambientes (Barriga, 1980). Cuando existe una IGA significativa, el interés se concentra en conocer las causas de la interacción y se puede hacer una predicción precisa del comportamiento del genotipo en varios ambientes (Yan y Kang, 2003). Al evaluar un alto número de genotipos y ambientes, los modelos multivariados y de ordenación pueden ser utilizados para establecer la naturaleza de la IGA, al poner de manifiesto las asociaciones existentes entre genotipos y ambientes y, por la caracterización de los ambientes. Según Allard (1975) los efectos fenotípicos no están normal y directamente relacionados con los genes; resultan de la sucesión de relaciones físico-químicas e interacciones de ciertos genes, modificadas por un sistema de reacciones controladas o modificadas por otros genes y por el ambiente, que determinan el fenotipo final.

2.10 IMPLICACIONES DE LA IGA EN EL FITOMEJORAMIENTO

La IGA es importante porque reduce la correlación entre genotipo y fenotipo y contribuye a la estabilidad de los genotipos en varios ambientes. La IGA puede ayudar a determinar si es necesario el desarrollo de cultivares para todos los ambientes o para ambientes específicos (Allard y Bradshaw, 1964). La IGA es el factor que más influye en la identificación de genotipos específicos para ambientes específicos (Snedecor y Cochran, 1980). En cuanto a las alternativas para reducir la IGA, la variabilidad genotípica puede influir en el número de ambientes (Eberhart, 1970). Por lo anterior, Sprague y Eberhart (1977) recomiendan aumentar el número de localidades, si la IGA se debe a factores ambientales impredecibles.

La IGA es un parámetro a tener en cuenta en fitomejoramiento, porque la estabilidad de rendimiento de un genotipo depende de su respuesta a diversos factores adversos en etapas críticas del desarrollo. La IGA nace cuando una variación ambiental tiene distinto efecto sobre genotipos diferentes, es la respuesta diferencial de los genotipos a la variación ambiental o un genotipo presenta una respuesta diferencial a las variaciones del ambiente (Crossa *et al.*, 1988). Las investigaciones de la IGA son esenciales para la eficiencia de selección, porque la mayoría de los caracteres importantes en mejoramiento son medibles, presentan distribución continua, poseen herencia poligénica y son muy influenciados por las variaciones del ambiente (Allard, 1975).

Las investigaciones de la IGA son esenciales para la eficiencia de selección porque la mayoría de los caracteres importantes en el mejoramiento son medibles, presentan distribución continua, poseen herencia poligénica y son muy influenciados por las variaciones del ambiente. La IGA debe mirarse como un fenómeno biológico, con aplicaciones en el mejoramiento de plantas y no un efecto estadístico (Chaves, 2001).

Algunos ejemplos de este tipo de estudios en el mundo son:

En México, el INIFAP estudió la estabilidad fenotípica del rendimiento de grano de siete variedades de *Triticum aestivum* en siembras de secano, aplicando diez metodologías de análisis a la información experimental generada en 50 pruebas de campo, entre el periodo de 1988 a 1996. Las variedades recientes, Batán F96 y Romaga F96, mostraron mayor estabilidad en el rendimiento, con una respuesta lineal y bajos índices de variabilidad. Las variedades antiguas Zacatecas VT74, Pavón F96 y Gálvez M87, mostraron menor estabilidad fenotípica, que puede estar asociada con la susceptibilidad a royas (*Puccinia triticina* y *P. striiformis*) y a que los caracteres deseables en los genotipos progenitores son limitantes (Rodríguez *et al.*, 2009).

Domitruk *et al.* (2000) en Canadá estudiaron la IGA con labranza cero en trigo de invierno. Akcura y Kaya (2008) en Turquía utilizaron modelos no paramétricos para estudiar la IGA de trigos harineros. Fernández (2008) evaluó la estabilidad del rendimiento de trigo candeal (*Triticum durum* desf.) en las planicies de Argentina. De la O Olán *et al.* (2010) en México, estudiaron cuatro parámetros de estabilidad y propiedades reológicas para trigo harinero a través de varios ambientes.

Un trabajo abordó el estudio de la interacción genotipo x ambiente de un conjunto de cultivares foráneos de trigo, así como la estabilidad del rendimiento en nueve localidades. Se evaluaron nueve accesiones del germoplasma introducido, con dos testigos cubanos, que fueron evaluados en nueve combinaciones ambientales, ajustándose diferentes modelos de análisis de la estabilidad. Los cultivares de introducción evaluados presentaron diferentes modelos de respuesta frente a los cambios ambientales, siendo 'Zenit' la más estable de acuerdo a los criterios de Eberhart y Russell y de Wricke respectivamente, presentando un mejor ajuste al modelo cuadrático de respuesta. Se recomienda desarrollar el esquema de reproducción de semilla del cultivar 'Zenit', para lograr su extensión y generalización en las áreas productoras de trigo del país, de manera de ampliar la base genética del cultivo en producción (Perez *et al.*, 2010).

2.11 MODELOS PARA MEDIR LA ESTABILIDAD FENOTÍPICA (EF)

Se han propuesto muchos modelos estadísticos para estimar la estabilidad fenotípica (EF) y la Interacción Genotipo x Ambiente (IGA). Algunos permiten estratificar la población de ambientes en sub-regiones, donde la IGA no se presente significativa y permite recomendaciones regionalizadas. Otros modelos identifican los genotipos que menos contribuyan a la IGA y pueden recomendarse para todos los ambientes con rendimiento promedio elevado. La detección de la IGA en ensayos de campo y el deseo del fitomejorador de manejar estas interacciones apropiadamente, ha llevado al desarrollo de modelos de análisis de estabilidad (Yan y Kang, 2003).

Métodos que utilizan la regresión

Ha sido una de las técnicas más utilizadas para analizar la IGA en el rendimiento de numerosas especies y abordar los problemas de la estabilidad (Crossa, 1996; Zobel *et al.* 1988).

El modelo general de análisis de varianza regresión conjunta es el siguiente:

$$Y_{ij} = \mu + \alpha_i + \beta_j + \phi_i\beta_j + \theta_j + \epsilon_{ij}$$

Donde:

Y_{ij} = resultado del genotipo i en el ambiente j .

μ = media general.

α = desviación media genotípica.

β = desviación media ambiental.

ϕ_i = coeficiente de regresión genotípica.

θ_{ij} = residual de la IGA.

ϵ_{ij} = error.

La forma más frecuente de caracterizar la estabilidad fenotípica a través de los ambientes es mediante el coeficiente de regresión de cada genotipo sobre la media ambiental ($b_i = \phi_i$). Yates y Cochran (1938) utilizaron la media total de todos los genotipos en un ambiente determinado como Índice ambiental, es decir, como media del ambiente. Estos autores estudiaban el comportamiento de un genotipo o grupo de genotipos por medio de la regresión lineal de las medias del genotipo en cada ambiente en función de dichos Índices o valores ambientales.

Finlay y Wilkinson (1963) relacionaron el coeficiente de regresión lineal de la productividad de cada genotipo sobre la media general de los genotipos en cada ambiente, con los conceptos de adaptabilidad y estabilidad fenotípica. Así, coeficientes de regresión próximos a 1,0 indica estabilidad media. Cuando este coeficiente es asociado a alto rendimiento caracteriza a un genotipo con adaptabilidad general y si asociado a bajo rendimiento el genotipo presenta baja adaptación a todos los ambientes. Genotipos con valores significativamente mayores que 1,0 son específicamente adaptados a ambientes favorables y son poco estables; sin embargo, genotipos con valores significativamente menores que 1,0 son más estables y se adaptan a ambientes desfavorables.

Modelo de Eberhart y Russell

Eberhart y Russell (1966) Propusieron un modelo de regresión lineal para el estudio de la adaptabilidad fenotípica de cultivares ampliamente utilizado, en este tipo de estudios, en todo el mundo. En este modelo, además del promedio general y del coeficiente de regresión lineal de cada genotipo, fue también considerado como parámetro de estabilidad la varianza de los desvíos de la regresión de cada genotipo. Este tipo de análisis fue clasificado por Becker (1981) como de estabilidad en el sentido agronómico. Los parámetros para el estudio de la estabilidad son definidos por el modelo:

$$Y_{ij} = \mu_i + \beta_i l_j + \delta_{ij} + \epsilon_{ij}$$

Donde:

Y_{ij} = promedio del genotipo i en el ambiente j .

μ_i = media del genotipo i en todos los ambientes.

β_i = coeficiente de regresión que mide la respuesta del genotipo i a la variación ambiental.

l_j = índice ambiental.

δ_{ij} = desvío de la regresión del genotipo i en el ambiente j .

ϵ_{ij} = desviación de la regresión de la variedad y el ambiente.

El índice ambiental, en cada ambiente, es calculado por el desvío del promedio de todos los genotipos en ese ambiente, en relación con el promedio general: $l_j = Y_{.j} - Y_{..}$.

De acuerdo con los autores, un genotipo estable es aquel para el cual se obtiene un coeficiente de regresión igual a la unidad ($b_i = 1$) y una mínima desviación de la línea de regresión ($S^2_{di}=0$). Valores del coeficiente b_i mayores que la unidad, indican que el correspondiente genotipo responde bien a ambientes favorables, pero su comportamiento es pobre en ambientes desfavorables. Por el contrario, si el valor de b_i es menor que la unidad, indica que tal genotipo se comporta bien en ambientes desfavorables.

Los parámetros b_i y S^2_{di} por lo tanto, pueden servir para caracterizar la adaptabilidad de las variedades aún con las limitantes que hemos mencionado. El coeficiente de regresión de la variedad i se estima como:

$$B_i = (\sum Y_{ij} l_j / \sum l_j^2)$$

Y el segundo parámetro de estabilidad que tiene que ver con las desviaciones se estima de la siguiente manera:

$$S^2_{di} = [\sum \delta_{ij}^2 / (n-2)] - s^2_e / r$$

Donde:

δ = desviación de la i t/ha variedad en el j t/ha ambiente de regresión y es dado como: $\delta_{ij} = y_{ij} - y_{ij}$, donde; y_{ij} = valor esperado de i t/ha variedad en el j t/ha ambiente

Con todo, este método posee limitaciones que han sido ampliamente discutidas en la literatura. Crossa (1990) argumenta que el análisis de regresión lineal no es informativo si la linealidad falla, es altamente dependiente del grupo de genotipos y ambientes incluidos y tiende a simplificar modelos de respuesta, explicando la variación debida a la interacción en una sola dimensión, cuando en la realidad ella puede ser bastante compleja. Sugiere, entonces, que la aplicación de métodos multivariados pueda ser útil para explorar mejor las informaciones contenidas en los datos. Recomienda técnicas como el análisis de componentes principales (ACP), el análisis de agrupamiento y el procedimiento AMMI (Additive Main Effects and Multiplicative Interaction Analysis) que vienen ganando gran aplicabilidad en los últimos años.

Zobel *et al.* (1988) refuerzan la tesis de que los procedimientos univariados como el análisis de variancia (ANOVA) tiene limitaciones en detectar interacción de factores, mismo en los casos de magnitud elevada en términos de la suma de cuadrados (SQ). Ejemplifican casos en que la SQGxE representa de 20 a 50% de la SQTotal (de tratamientos) y, mismo así, el cuadrado medio para GxE no presenta

Métodos multiparamétricos

Los métodos multiparamétricos o multivariados son apropiados para analizar matrices de dos dimensiones, como las que contienen datos de genotipos y ambientes. Existen dos grupos de técnicas multiparamétricas: las técnicas de ordenación, tales como el análisis de componentes principales y el análisis factorial; y las técnicas de clasificación como el análisis de grupos y el análisis discriminante (Cubero y Flores, 1994).

El análisis de componentes principales (ACP) es una de los métodos multivariados más utilizados y de los más antiguos. En esencia el método trata de simplificar la estructura de los datos para poder explicar en pocos componentes la mayor parte de la información que contienen las variables. Es útil tanto para la caracterización de condiciones ambientales como para la clasificación de variedades por estabilidad de rendimiento. La principal dificultad del estudio de la IGA atribuida a este método está en la interpretación de los componentes principales extraídos ya que puede ocurrir que estos no muestren ninguna relación directa con las condiciones ambientales.

Un modelo para analizar la interacción GxA es el modelo de interacción multiplicativa y de efectos principales aditivos AMMI (Additive Main Effects and Multiplicative Interaction Analysis. Crossa, *et al.* 1988). Este modelo es un caso particular del ACP (Gauch, 1988). El modelo AMMI integra algunos modelos estadísticos comúnmente aplicados a series de ensayos de rendimiento donde los efectos principales correspondientes a la parte aditiva son analizados mediante un análisis de varianza simple (ANDEVA). La parte no aditiva residual (interacción) corresponde a la parte multiplicativa del modelo, y es analizada con el análisis de componentes principales (PCA) (Zobel, *et al.* 1988).

En síntesis el modelo AMMI combina análisis de variancia y análisis de componentes principales (ACP) en un único modelo, aditivo para los efectos principales de genotipos y ambientes y multiplicativo para los efectos de interacción GA. El modelo AMMI está representado por la ecuación (Crossa, *et al.* 1988):

$$Y_{ger} = \mu + \alpha_g + \beta_e + \sum_n \lambda \gamma_{Bgn} \delta_{en} + p_{ge} + \epsilon_{ger}$$

Donde:

Y_{ger} = rendimiento del i ésimo genotipo “g” en el j ésimo ambiente “a” y para la repetición r.

Los parámetros aditivos son:

μ = gran media.

α_g = desviación del genotipo **g** de la gran media.

β_e = desviación del ambiente **a**.

Los parámetros multiplicativos son:

λ_{Bn} = valor singular para el eje n del componente principal de interacción (CPI).

γ_{Bgn} = eigenvector del genotipo **g** para el eje **n**.

δ_{en} = eigenvector del ambiente **e** para el eje **n**.

P_{ge} = Somatoría de los ejes que no están explicado por los vectores (residuo de IGA).

ϵ_{ger} = desviación del genotipo **g** en ambiente **e** la repetición r.

P_{ge} es interacción que no es explicado por el análisis de componentes principales.

Para el modelo AMMI, los datos son divididos en dos subgrupos, el modelo y los datos de validación. Para cada combinación de genotipos y localidades, se escogen dos repeticiones al azar para ser usadas en la estimación de parámetros del modelo AMMI y la otra es usada para validar el modelo (Crossa, *et al.* 1991; Romagosa y Fox, 1993; Crossa, *et al.* 1990; Crossa; 1988; Crossa, *et al.* 1988).

El modelo AMMI puede ayudar desde la identificación de genotipos de alta productividad y amplia adaptación hasta en la realización de llamado zoneamiento agronómico, con la selección de localidades claves (Gauch y Zobel, 1996); además, permite hacer un estudio más detallado tanto de las variedades como de las localidades y su interacción.

El modelo AMMI ha sido empleado en trabajos de interacción genotipo-ambiente en distintos cultivos (Crossa *et al.* 1990). Este modelo multivariante ha resultado ser de suma utilidad en la explicación de la suma de cuadrados de la interacción en estudios que involucran una amplia diversidad ambiental ó ante un elevado número de ambientes (Nachit *et al.* 1992).

2.12 ESTUDIOS DE ESTABILIDAD FENOTÍPICA EN TRIGO

Con el propósito de analizar el rendimiento de grano de trigo candeal (*Triticum durum* desf.) y su estabilidad en la región de las planicies con tosca de La Pampa.

Se utilizaron cinco genotipos de trigo candeal y dos controles (un trigo pan y un triticale) durante cinco estaciones de crecimiento. La variabilidad del rendimiento de grano fue aportada en proporciones semejantes entre el ambiente, el genotipo y la interacción del genotipo por el ambiente. Las variaciones del rendimiento de algunos genotipos se pudieron explicar con las lluvias de Octubre, sin embargo, para otros fueron más importantes las heladas inverno-primaverales.

La variedad Eronga 83 mostró un mayor rendimiento a través de todas las condiciones ambientales. Los trigos candeales Buck Cristal y Bonaerense INTA Cumenay mostraron una mayor estabilidad con un rendimiento medio, mientras que el trigo pan Buck Guaraní mostró la mayor inestabilidad. Eronga 83 fue el único que mostró un componente de rendimiento preponderante: el número de granos por espiga. Los resultados mostraron que los rendimientos más altos y la estabilidad son mutuamente excluyentes. Se concluye que existen genotipos no tradicionales de cereales invernales para la planicie con tosca que permitirían aumentar la producción, la estabilidad y la diversidad (Fernandez, 2008).

Con el fin de estudiar la estabilidad fenotípica del rendimiento de grano de siete variedades de trigo (*Triticum aestivum* L.) recomendadas para siembras de temporal o seco (por el programa de trigo del Campo Experimental Valle de México del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales y Agropecuarias), se aplicaron diez metodologías de análisis a la información experimental generada en 50 evaluaciones de campo bajo condiciones de temporal de tales variedades en el periodo de 1988 a 1996. Las variedades de reciente liberación, Batán F96 y Romoga F96 mostraron en términos generales mayor estabilidad, apegándose a una respuesta lineal y bajos índices de variabilidad.

Las variedades Zacatecas VT74, Pavón F96 y Galvez M87 mostraron menor estabilidad fenotípica, lo cual puede estar asociado, entre otros factores, a la susceptibilidad a royas (*Puccinia triticina* y *P. striiformis*). Temporalera M87 tuvo un comportamiento contrastante al obtener altos rendimientos a pesar de ser susceptible a royas, y presentó alta variación, entre y dentro de ambientes. El empleo de dos métodos multivariados permitió la agrupación de genotipos con estabilidad similar. Es indispensable estudiar la estabilidad fenotípica con diferentes métodos, ya que permite una

selección más adecuada para las condiciones de producción (Rodríguez et al., 2002).

En Colombia se evaluaron cuatro genotipos de trigo en las pruebas regionales del altiplano Cundiboyacense, en el primer semestre durante los años 1966 a 1977 a excepción de 1972, fueron usados para determinar la estabilidad fenotípica a través de 21 ambientes (localidad por semestre), con cinco características de calidad por medio de cinco metodologías, para precisar cual o cuales de ellas guardaban mayor relación con el procedimiento empleado por el programa de trigo del ICA. Los cinco métodos para los factores peso hectolítrico y extracción de harina, y los métodos de la ecovalencia, de Finlay y Wilkinson y de Eberhart y Russell para la característica de volumen del pan, siempre incluyeron a Samacá 66 como uno de los genotipos deseados por su estabilidad.

Los métodos de Finlay y Wilkinson y de Eberhart y Russell también clasificaron a la variedad Samacá 68 como de adaptabilidad general para las variables extracción de harina y volumen del pan. La selección de Samacá 68 por su estabilidad y adaptabilidad fue, entonces bastante concordante con lo realizado por el Programa de Trigo del ICA ya que esta variedad fue por mucho tiempo el testigo nacional de calidad (Britto, 1993).

3. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 LOCALIZACIÓN

La investigación se realizó en ocho pruebas de eficiencia agronómica (PEAs) establecidas en el semestre A del 2012, distribuidas de la siguiente forma: cuatro en el departamento de Nariño y cuatro en el altiplano Cundiboyasense, ubicados en altitudes superiores a los 2.500 msnm. En la Tabla 1 se presentan los municipios seleccionados, los cuales son representativos por su área de siembra y producción de trigo.

Tabla 1. Ubicación de las Pruebas de Eficiencia Agronómicas (PEAs) establecidas en el año 2012

Región	Municipio	Lugar/vereda	Altitud (msnm)	Coordenadas
Nariño	Yacuanquer	Mohechiza	2690	N 01° 07' 59" W 77° 24' 08"
	Imúes	Alisal	2620	N 01° 30' 38" W 77° 30' 23"
	Guaitarilla	Girardot	2550	N 01° 07' 08" W 77° 33' 03"
	Túquerres	La Laguna	2810	N 01° 8' 38" W 77° 39' 16"
Boyacá	Toca	Tuaneca	2735	N 05° 34' 03" W 73° 12' 02"
	Duitama	Surbata	2517	N 05° 47' 36" W 73° 04' 19"
Cundinamarca	Mosquera	Tibaitata	2600	N 04° 42' 23" W 74° 12' 00"
	Tocancipa	Tibito	2562	N 05° 54' 36" W 74° 16' 00"

En la Tabla 2 se presentan las variables climáticas y las características edáficas más relevantes para los suelos donde fueron sembrados los ensayos. Los registros de las variables climáticas corresponden al promedio obtenido durante los años 2009 a 2012, tomados de las estaciones meteorológicas en el caso de Nariño, del Cebadal, Consaca y Túquerres cercanas a los sitios donde se sembraron las pruebas, en Boyacá la estación de la UPTC, en Cundinamarca Corpoica Tibaitata.

Tabla 2. Descripción de las principales características climáticas y edáficas de los sitios de evaluación.

Localidad	Temperatura (°C)	Precipitación			PH	MO (%)	P. Bray II (mg/kg)	K (cmol/kg)	Ca (cmol/kg)	Mg (cmol/kg)	Textura	Densidad (g/cc)
		Brillo solar (horas/año)	ón (mm)									
Yacuanquer	12,1		999	1468	5,6	6,5	51,0	0,8	8,2	3,3	AA	0,90
Mohechiza												
Imues Alisal	13,0		957	1443	4,9	6,0	56,0	0,8	7,7	3,2	FA	1,00
Guaitarilla												
Girardot	13,1		1017	1668	5,3	7,8	70,0	0,9	8,7	3,1	AA	0,90
Túquerres												
La Laguna	11,4		985	1283	5,5	10,1	61,0	0,4	9,3	2,1	FAA	0,75
Toca												
Tuaneca	13,0		1211	1720	4,7	7,3	52,0	0,8	8,3	2,1	FA	0,83
Duitama surbata	15,0		1180	1680	5,0	8,4	68,0	0,7	8,1	3,2	AA	0,80
Mosquera												
Tibaitata	13,0		1290	1567	5,5	8,7	40,0	1,3	10,6	5,3	FAL	0,95
Tocancipa												
Tibito	13,5		1168	1690	4,7	9,3	36,0	0,9	8,6	4,0	FAA	0,85

Fuente: IDEAM 2012. Laboratorio de suelos de la Universidad de Nariño.

3.2 MATERIAL GENÉTICO

Para el presente estudio se utilizaron ocho líneas avanzadas (F8) de trigo (*Triticum aestivum* L.), dos líneas proceden del banco de germoplasma del CIMMYT y las seis líneas restantes son genotipos seleccionados en el programa de Mejoramiento de Cereales Menores de FENALCE en Boyacá y Nariño, desarrollados desde el año 2003 hasta 2008, cuando se realizó la selección definitiva. Además, se incluyeron los testigos comerciales Facianar Promesa liberada por la Universidad de Nariño en el año de 2006 e ICA Tenza variedad obtenida por el instituto agropecuario ICA en el año de 1989, para un total de diez genotipos (Tabla 3). Una descripción detallada de las características agronómicas de los genotipos de trigo evaluados se pueden observar en la Tabla Anexo A.

Tabla 3. Genealogía y características de los cultivares de trigo utilizados en el estudio.

Genotipo	Procedencia	Genealogía	Altura planta (m)	Días espigamiento	Días cosecha	Resistencia tallo	Espiga	Color grano
Tenza	ICA - Colombia	Testigo	108	73	170	Susceptible	Con barba	Rojo
L-2	CIMMYT - México	KABY/BAV92/3/CROC-1/AE.SQ (224)//OPATA CMSS97 MO2975T-040Y-020Y-030M-040SY-020M-19Y-OM-OSY	99	73	170	Tolerante	Con barba	Rojo
L-6	ICA - Colombia	YAC/MILAN II64956-9N-3N.1N.ON	100	73	170	Tolerante	Con barba	Rojo Crema
L-7	ICA - Colombia	K.342//H1669/TOR"S-HD832(2)TOB/TOR"S-HD832(2) II64904-3N-1N-1N-ON	101	73	170	Tolerante	Con barba	Rojo
L-13	CIMMYT - México	ORL9127/PASTOR//CBRDC MSS99 MO2337T-040Y-040M-020Y-030M-015Y-2M-3Y-2M-OY	97	73	170	Susceptible	Con barba	Rojo Crema
L-11	FENALCE - Colombia	L-9/SUREÑO//CHIMBORAZO	98	73	165	Tolerante	Sin barba	Crema
L-15	FENALCE - Colombia	BONZA63/SUREÑO	103	75	163	Tolerante	Sin barba	Blanco
L-24	FENALCE - Colombia	PROMESA/L-24	102	73	170	Tolerante	Con barba	Rojo
L-29	FENALCE - Colombia	SUREÑO/L-9	98	73	163	Tolerante	sin barba	Rojo Crema
Facianar Promesa	Universidad de Nariño - Colombia	Testigo	96	70	160	Tolerante	Con barba	Rojo Crema

3.3 DISEÑO EXPERIMENTAL

Las ocho Pruebas de Evaluación Agronómica se sembraron bajo un Diseño de Bloques Completos al Azar (BCA) con diez tratamientos y cuatro repeticiones. La parcela o unidad experimental consistió de seis surcos de cinco metros de largo separados a 30 cm, de tal forma, que el área de la unidad experimental fue de 9 m². Estas unidades se sembraron contiguamente en cada bloque, los cuales estuvieron separados a un metro, la parcela útil tuvo un área de 2,4 m² y correspondió a los dos surcos centrales descartando las plantas extremas, donde se realizaron los muestreos según la resolución ICA No. 00148 de 2005. El área de cada uno de las pruebas fue de 360 m². Las semillas se sembraron a una densidad de 150 kgha⁻¹ y se fertilizó con 100 kgha⁻¹ de la fórmula 13-26-6 aplicados al momento de la siembra; una dosis adicional de nitrógeno, se aplicó en etapa de macollamiento utilizando como fuente urea a una dosis de 100 kgha⁻¹; las malezas se controlaron con deshierbes manuales para evitar el efecto negativo de herbicidas en el cultivo.

3.4 VARIABLES EVALUADAS

3.4.1 Reacción a Roya amarilla (*Puccinia striiformis* f.sp. *tritici*). La severidad de las royas en las hojas y espigas, se expreso con base en la escala de Cobb, la cual mide en la hoja el porcentaje de afección en la planta (%) y la reacción como (O) = No se observa infección, (R) = Resistente, (MR) = Moderadamente Resistente, (MS) = Moderadamente Suscptible y (S) = Susceptible. La roya amarilla en espiga se expreso en porcentaje (%).

Las evaluaciones en hoja se realizaron en las etapas de espigamiento, y las de grano en estado lechoso, teniendo en cuenta los porcentajes de severidad que otorga valores de trazas u O cuando visualmente no se aprecia un 5% de daño; luego porcentajes de 5, 10 y 20 a partir del cual los valores se incrementan en decenas (30, 40.... 100%), teniendo en cuenta el área invadida por pustulas. El tipo de infección - reacción de la planta se la midio de acuerdo a las siguientes características:

(O) = No se observa infección

(R) = Resistente: pequeñas áreas cloróticas o necróticas con pustulas incipientes o ausencia de pustulas.

(MR) = Moderadamente resistentes: pustulas muy pequeñas rodeadas por áreas cloróticas o necróticas.

(MS) = Moderadamente susceptible: pustulas de tamaño mediano rodeadas por áreas debilmente cloróticas.

(S) = Susceptible: pustulas grandes con ausencia de áreas cloróticas circundantes, poca o ausencia total de áreas necróticas.

3.4.2 Macollas efectivas por planta (NME). Se midió en fase de grano lleno, en diez plantas al azar de los dos surcos centrales de cada unidad experimental, se contó el número de espigas con grano, luego se obtuvo el promedio del número de tallos por planta.

3.4.3 Número de granos por espiga (NGE). En la cosecha se tomaron al azar 20 espigas llenas, las cuales se desgranaron y limpiaron. Los granos, se contabilizaron y el resultado se dividió entre 20, para obtener el número promedio de granos por espiga.

3.4.4 Peso de mil granos (P1000 granos). Los granos de las 20 espigas contabilizadas se secaron hasta el 14% de humedad determinada mediante el medidor DICKEY-JOHN y se pesaron, ajustando a 1000 granos mediante la siguiente fórmula (CIMMYT, 2007):

P1000 granos = (Peso granos de 20 espigas / No. granos de 20 espigas) X 1000.
Se corrige el peso de 1000 granos por humedad, mediante la siguiente fórmula:

Peso 1000 granos (g) = Peso 1.000 granos actual en g. x (100 – Humedad actual %) / 100 - Humedad deseada %)

3.4.5 Rendimiento de grano (kg/ha⁻¹). Se cosecharon dos surcos centrales en cada parcela, realizando las labores de trilla, limpieza y secado, para obtener el rendimiento de la parcela útil por área de 2,4 m². La humedad y el rendimiento se ajustaron al 14% de humedad, mediante la siguiente fórmula (CIMMYT, 2007):

Rendimiento grano (kg/ha⁻¹) = $\frac{\text{Peso parcela(kg)} \times 10.000 \times (100 - \text{Humedad actual}\%)}{\text{.rea parcela (m}^2) \times (100 - \text{Humedad deseada}\%)}$.

3.5 ANÁLISIS DE CALIDAD

Con el grano de las cuatro repeticiones en cada uno de los ensayos por localidad, se hizo una mezcla homogénea de la cual se tomó una muestra de un kilogramo, para luego limpiarla con una trilladora sopladora convencional estándar para trigo, posteriormente se las envió al laboratorio de análisis de calidad ENZIPAN en la ciudad de Bogotá D.C, donde se determinó los factores más importantes de calidad que corresponden peso hectolítrico, índice de dureza, extracción de harina, porcentaje de proteína y volumen de pan.

Los costos de análisis de calidad son bastante altos y por esto únicamente se determinó datos a una muestra por genotipo y por localidad, que permitió establecer diferencias estadísticas mediante la prueba de comparación de Tukey de los resultados encontrados.

La determinación del peso hectolítrico, se la realizó en una balanza Shopper, de un cuarto de Litro, modelo M.I.D. 100, de acuerdo con el método 55-10 de la American Association of Cereal Chemists (AACC, 1995). Expresando una proporción del peso de grano que caben en un volumen de 100 litros. Este factor

se relaciona directamente con el rendimiento de harina, aceptándose la variación entre 72 y 85 kg/hl o puntos.

La dureza del grano, se determinó con una perladora, en la cual el grano se sometió a pulido por un determinado tiempo. La pérdida del grano durante el pulido indicó la dureza; a mayor pérdida, menos dureza (Ortiz, 2009).

El contenido de proteína en harina, se lo determina mediante el método Kjeldhal, que cuantifica el nitrógeno de la muestra, cuyo valor se multiplicó por un factor de transformación (5,7) obteniendo así el contenido total de proteína.

El volumen del pan, se determina mediante la prueba de panificación la cual se realiza con el método 10-10B (AACC, 1995). Se utilizan 30 g de harina (14 % b. h.), 0,7 g de levadura, 0,53 g de sal, 2,1 g de azúcar y 1,05 g de manteca vegetal.

3.6 ANÁLISIS ESTADÍSTICO

Mediante el software SAS 8.2 (Statistical Analysis System, 2001), los datos obtenidos para las diferentes variables evaluadas se sometieron a un análisis de varianza combinado utilizando un modelo mixto donde los genotipos fueron efectos fijos y los ambientes efectos aleatorios. La comparación de medias se realizó con la prueba de Tukey al 95% de significancia. Además, se determinó el coeficiente de correlación de Pearson para medir el grado de asociación lineal entre la variable rendimiento con los componentes número de macollos efectivos por planta, número de granos por espiga y peso de mil granos.

Para la variable rendimiento de grano, se determinó la adaptabilidad y la estabilidad fenotípica de los genotipos evaluados mediante el modelo Eberhart y Russell (1966), que incluye los siguientes criterios.

Para los parámetros de calidad evaluados se realizó la comparación de medias mediante la prueba de Tukey.

Tabla 4. Criterios de Eberhart y Russell (1966), para clasificar los genotipos por su adaptabilidad y estabilidad fenotípica.

Coefficiente de regresión (β_1)	Cuadrado medio desviación de regresión (S_i^2)	Significado
= 1	= 0	Genotipo estable y predecible.
= 1	> 0	Buena respuesta en todos los ambientes, pero no predecible.
< 1	= 0	Mejor respuesta en ambientes desfavorables y es predecible.
< 1	> 0	Mejor respuesta en ambientes desfavorables, pero poco predecible.
> 1	= 0	Mejor respuesta en ambientes favorables y es predecible.
> 1	> 0	Mejor respuesta en ambientes favorables, pero poco predecible.

El análisis de datos se realizó mediante la metodología propuesta para este modelo en el programa GENES (Cruz, 2003)

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 REACCIÓN A ROYA AMARILLA (*Puccinia striiformis* f.sp. *tritici*)

4.1.1 Roya amarilla en hoja. En la Tabla 5 se presentan los registros de severidad a roya amarilla en hoja y reacción de los diez genotipos en ocho localidades.

Tabla 5. Lecturas máximas de severidad (%) y reacción a roya amarilla en hoja (*Puccinia striiformis* f.sp. *tritici*) en 10 genotipos de trigo evaluados en las regiones de Nariño, Cundinamarca y Boyacá durante el 2012.

Genotipos	Toca 2735 *		Tibito 2562		Mosquera 2600		Yacuanquer 2690		Duitama 2517		Guaitarilla 2550		Túquerres 2810		Imues 2620		Máximo por genotipo	
	% SEV		% I/R		% SEV		% I/R		% SEV		% I/R		% SEV		% I/R		% SEV	
	SEV	I/R	SEV	I/R	SEV	I/R	SEV	I/R	SEV	I/R	SEV	I/R	SEV	I/R	SEV	I/R	SEV	I/R
L13 UPTC	t	R	0	0	t	R	0	0	0	0	0	0	30	S	0	0	30	S
L15 N	5	MS	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	10	MR	0	0	5	MS
L7 UPTC	t	R	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	10	MS	0	0	10	MS
L29 N	0	0	0	0	0	0	0	0	5	MS	0	0	10	MR	0	0	5	MS
L6 UPTC	10	MS	0	0	t	R	0	0	0	0	0	0	10	MS	0	0	10	MS
L11 N	10	MS	0	0	t	R	10	MS	0	0	0	0	10	MS	0	0	10	MS
L24 N	0	0	0	0	0	0	0	0	5	MR	0	0	10	MS	0	0	10	MS
L2 UPTC	20	MS	0	0	t	R	5	MS	0	0	t	R	30	S	0	0	30	S
F.Promesa	50	S	5	MS	5	MS	10	MS	10	MS	0	0	40	S	0	0	50	S
ICA Tenza	70	S	10	MS	20	MS	10	S	40	S	0	0	60	S	0	0	70	S
Máximo por localidad	70	S	10	MS	20	MS	10	S	40	S	T	TR	60	S	0	0		

(*) Altitud (msnm). Abreviaturas: (0) No infección; (tR) Trazas; (R) Resistente; (MR) Moderadamente Resistente; (MS) Moderadamente Susceptible; (S) Susceptible.

Se observa que los registros más altos de infección y de vulnerabilidad genética se dieron en los ambientes de mayor altura sobre el nivel del mar como es el caso de de Túquerres (Nariño) y Toca (Boyacá), ubicados a más de 2700 msnm, en donde los testigos comerciales Facianar promesa e ICA Tenza expresaron comportamiento susceptible debido a la severidad mayor del 40%.

Caso contrario se determino en las regiones con alturas de menores a los 2600 msnm como en Tibito, Guaitarilla e Imues donde la severidad fue baja, y en las variedades comerciales se da una reacción de moderada susceptibilidad con infecciones menores al 10%. En los ambientes de Toca y Túquerres de prevalencia de la enfermedad hubieron variaciones en la severidad y reacción, pero como hecho interesante, y tomando como referencia la localidad de Túquerres se pudo observar que todos los genotipos evaluados fueron afectados por el patógeno, sin embargo se destaca que L15N y L29N fueron moderadamente resistente con severidad del 10%.

En las localidades de Toca y Túquerres se presentaron los mayores grados de afectación debido a las condiciones favorables para el desarrollo del patógeno porque se presentan temperaturas menores a los 13°C, que predisponen los mayores niveles de infección y susceptibilidad (Villaseñor et al.,1985). Además el alto contenido de materia orgánica mayor 10.1% que presentan los suelos en este caso de la región de Túquerres y los del altiplano Cundiboyasense favorece el contenido de nitrógeno elemento que aumenta y prolonga la succulencia de tejidos, retarda su lignificación favoreciendo la severidad de la infección (Ryan, 1979).

La influencia de la latitud sobre la epidemiología de la enfermedad en Nariño, también fue determinada por Benavides y Paredes (2001) quienes reportaron que la mayor severidad se dan en alturas superiores a los 2.700 msnm como los municipios de Ospina e Iles.

La presencia de roya amarilla en los genotipos evaluados, pueden permanecer en niveles bajos o incrementarse a través del tiempo, dependiendo de la carga genética que actúa frente al proceso patogenico. Si se da el primer caso, hay la eventualidad que varios genes de resistencia con efecto aditivo actúan en el proceso, lo contrario la presencia de pocos de resistencia y de efecto no aditivo hace que la vulnerabilidad se incremente en el paso de los años como ha sucedido con las variedades ICA Tenza y Facianar Promesa. Esta es la razón de que muchas de las variables de alto rendimiento y calidad panadera se han dejado de cultivar.

En México se determinó que las variedades Juchi F2000 y Tlaxcala F2000 tienen una vida comercial prolongada, debido a varios genes resistencia y a su efecto aditivo, concluyendo así que al incrementarse el número de genes también se incrementan los niveles de resistencia, a su vez estos son más estables a través de ambientes donde la roya de la hoja es endémica (Campuzano, 1999).

4.1.2 Roya amarilla en espiga. En la Tabla 6 se presentan los registros máximos a roya amarilla para diez genotipos en ocho localidades, determinándose que el ambiente influye en la severidad de la roya en espiga, la baja humedad presentada durante el primer semestre agrícola del año, no permitió el incremento de la infección, aunque analizando los ambientes de Toca y Túquerres para el caso de las líneas L2 UPTC y L29 N se registraron las lecturas máximas de porcentaje de afectación que correspondieron al 30 y 20% respectivamente, sin embargo en estos ambientes, las líneas L6 UPTC, L7 UPTC, L24N , L13 UPTC, L15N y L11N la lectura máxima fue del 10%, determinándose por lo tanto que no se constituyen en fuentes seguras de resistencia en el tiempo sobre todo si hay

presencia de razas virulentas (Rodriguez et al.,2009). Sin embargo no se justifica aplicación de fungicidas para el control de esta enfermedad según lo mencionado por Roelfs et al., (1992).

En las misma condiciones los testigos Facianar promesa con 40% e ICA Tenza con 60% presentaron los valores más altos de afectación de la espiga que influyo en los bajos rendimientos.

Tabla 6. Lecturas máximas de severidad (%) de roya amarilla en espiga (*Puccinia striiformis* f.sp. *tritici*) en 10 genotipos de trigo, evaluados en las regiones de Nariño, Cundinamarca y Boyacá durante el 2012.

Genotipo	Toca 2735 *	Tibito 2562	Mosquera 2600	Yacuanquer 2690	Duitama 2517	Guaitarilla 2550	Túquerres 2810	Imues 2620	Máximo por genotipo
L2 UPTC	0	0	0	0	0	0	30	0	30
L6 UPTC	0	0	0	0	0	0	10	0	10
L7 UPTC	0	0	0	0	0	0	10	0	10
L24 N	0	0	0	0	0	0	10	0	10
L13 UPTC	5	0	0	0	0	0	10	0	10
L15 N	5	0	0	0	0	0	10	0	10
L11 N	10	0	0	0	0	0	10	0	10
L29 N	20	0	0	0	0	0	10	0	20
Promesa	40	0	0	0	0	0	40	0	40
ICA Tenza	60	30	0	0	0	0	60	0	60
Máximo por loc.	60	30	0	0	0	0	60	0	

4.2 RENDIMIENTO Y COMPONENTES DE RENDIMIENTO

En la Tabla 7 se presenta el Análisis de Varianza Combinado para las variables rendimiento de grano, número de macollas efectivas, número de granos, peso de 1000 granos y peso hectolítrico. Las fuentes de variación Localidad y Genotipo así como la interacción Localidad*Genotipo presentaron diferencias significativas para todas las variables evaluadas. La significancia de la interacción implica que la respuesta de los genotipos fue diferencial a través de las localidades evaluadas. Los coeficientes de variación oscilaron 2,66 y 8,40, calificándose como muy buenos para la precisión del experimento (Calzada, 1981).

Estos resultados concuerdan con los obtenido por Acreche *et al.* (2006), que evaluarán el comportamiento de veinte genotipos de trigo en cuanto a rendimiento de grano y componentes de rendimiento en cuatro ambientes del valle de México, logrando determinar diferencias para los efectos de genotipos y ambientes así como su interacción.

Tabla 7. Análisis de varianza combinado para las variedades rendimiento de grano, número de plantas, número de macollas, número de granos, peso de 1000 granos y peso hectolítrico de diez genotipos de trigo evaluados en las regiones de Nariño, Cundinamarca y Boyaca.

Fuentes de Variación	Grados de Libertad	Rendimiento grano(t/ha)	Número macollas efectivas/planta	Número de granos por espiga	Peso 1000 granos (g)	Peso hectolítrico (Kg/Hl)
Localidad	7	14329.12 *	2.85 *	535.59 *	178.57 *	114.47 *
Genotipo	9	19191.70 *	0.50 *	287.68 *	143.21 *	125.41 *
Localidad*Genotipo	63	423.01 *	0.13 *	20.75 *	31.06 *	23.34 *
Error	216	117,40	0,05	4453,00	1681,00	1,56
Promedio general		4,26	3,37	46,00	48,75	75,51
Coef. variación (%)		8,04	6,91	4,59	2,66	1,65

(*) = Diferencias estadísticas significativas al 95% ($Pr > F = < 0.05$).

4.3 COMPARACION DE PROMEDIOS DE RENDIMIENTO Y COMPONENTES DE RENDIMIENTO

4.3.1 Número de macollos efectivos por planta (NME). En la localidad de Yacuanquer, Tibaitatá, Tibitó, Toca, Túquerres y Guaitarilla ninguna de las líneas evaluadas supero a los Testigos Promesa e ICA Tenza. En Duitama, L15 N y L2 UPTC con 3,87 y 3,43 macollas efectivas/planta mostraron promedios superiores a los demás genotipos evaluados excepto a L11N que alcanzaron promedios entre 3,32 y 2,28 macollas efectivas/planta. Se incluye dentro de este grupo los testigos Facianar Promesa e ICA Tenza. En Imués L29N con 4,10 macollas efectivas/planta supero a los testigos Promesa (3,53 macollas efectivas/planta) e ICA Tenza (3,23 macollos efectivas/planta). No se observaron otras diferencias de interés para esta variable (Tabla 8).

Tabla 8. Comparaciones múltiples mediante Tukey para la variable número de macollos efectivos por planta (NME) en diez genotipos de trigo evaluados en las regiones de Nariño, Cundinamarca y Boyacá durante el 2012.

Genotipos	Yacuanquer	Mosquera	Tibito	Duitama	Toca	Túquerres	Imués	Guaitarilla	Promedio genotipo
L24 N	3,30 a	3,40 a	3,52 a	3,22 bc	3,47 a	3,90 ab	3,83 ab	3,89 a	3,57 a
L15 N	3,08 ab	3,28 a	3,39 ab	3,87 a	3,17 a	3,88 ab	3,71 abc	3,99 a	3,54 a
L11 N	3,18 ab	3,35 a	3,34 ab	3,37 abc	3,53 a	3,68 abc	3,59 abc	3,96 a	3,50 a
Promesa	3,25 ab	3,04 a	3,10 ab	3,15 bc	3,36 a	4,05 a	3,53 bc	3,75 ab	3,40 ab
L29 N	2,75 b	3,14 a	3,22 ab	3,21 bc	3,23 a	3,35 c	4,10 a	3,84 a	3,35 b
L13 UPTC	2,97 ab	3,18 a	3,18 ab	3,32 bc	3,09 a	3,45 bc	3,84 ab	3,66 ab	3,34 b
ICA Tenza	3,13 ab	3,05 a	3,20 ab	3,05 bc	3,32 a	3,53 abc	3,23 c	3,73 ab	3,28 b
L6 UPTC	2,79 ab	3,07 a	3,29 ab	3,20 bc	3,32 a	3,55 abc	3,63 abc	3,31 b	3,27 b
L7 UPTC	3,06 ab	2,90 a	3,23 ab	2,85 c	3,20 a	3,50 bc	3,76 ab	3,50 ab	3,25 b
L2 UPTC	2,85 ab	2,89 a	2,96 b	3,43 a	3,01 a	3,35 c	3,59 abc	3,74 ab	3,23 b
Promedio Localidad	3,04 c	3,13 bc	3,24 b	3,27 b	3,27 b	3,62 a	3,68 a	3,74 a	

Tukey 0,05: Localidades = 0,16; Genotipos = 0,18; Localidades x genotipos = 0,52.

En las localidades de Guaitarilla, Imues y Túquerres, se presentaron los mayores número de macollas que correspondieron a 3,74, 3,68, y 3,62 respectivamente con diferencias significativas respecto a las otras localidades, debido a que en estas regiones hubo influencia positiva en la cantidad de horas luz que fue de 1668, 1443 y 1668 horas/año, a pesar que en el altiplano Cundiboyasence, la luminosidad es mayor que en la región triger del departamento de Nariño, ninguno de los genotipos presentaron más de 4 macollas por planta, significa que tanto las líneas que swe consideran como los genotipos modernos como los testigos genotipos antiguos, fueron eficientes en la captación de luz, contrario a resultados encontrados donde se afirma que los genotipos modernos son más eficientes en la capatación que los antiguos (Fisher, 2007)

En general el número de macollas por planta que presentó cada genotipo fue bueno puesto que un genotipo es pobre si la planta produce entre 1 y 2 macollas y tiene un mayor número de hojas, es bueno cuando el número de macollos esta entre 3 y 4, pero más de cinco macollos no es aconsejable porque generalmente la mayor parte mueren antes de llegar a la etapa reproductiva, además son comunes los problemas por volcamiento y enfermedades fungosas (Evans *et al.*, 1983).

Además, el buen macollamiento, puede atribuirse también a las bajas temperaturas en estados iniciales, al respecto Un estudio realizado en la Universidad de Concepción (Chile), Slafer *et al.*, (1996) reporta asociación entre las bajas temperaturas y la radiación acumulada durante la siembra y el inicio de la fase reproductiva que favorece la producción de macollos efectivos por planta que finalmente representarán en el número de espigas por unidad de superficie. Para Allard y Bradshaw, 1964, las bajas temperaturas retardan el crecimiento de las hojas en la planta favorecen el macollamiento al regular el número de tallos por

planta. Lo contrario sucede en ambientes cálidos, donde las altas temperaturas estimulan la formación de primordios foliares en el ápice del tallo principal, lo cual reduce en gran medida el número de tallos hijos (macollos), debido al aumento en la demanda de fotoasimilados para el tallo principal (Rodríguez et al., 2005).

Las localidades de Túquerres, Imués y Guaitarilla con 3,62, 3,68 y 3,74 macollos/planta respectivamente, fueron estadísticamente superiores al presentar más de tres macollos por planta, en contraste a Yacuanquer, Mosquera, Tocancipá, Duitama y Toca con 3,04, 3,13, 3,24, 3,27 y 3,27 macollos/planta, respectivamente. En Túquerres, Imués y Guaitarilla el macollamiento fue favorecido por la cantidad de horas luz: 1720, 1443 y 1668 horas luz/año respectivamente y las bajas temperaturas (Tabla 10).

En lo referente a las bajas temperaturas, al retardar el crecimiento de las hojas en la planta favorecen el macollamiento ya que limitan la competencia entre macollos (Allard y Bradshaw, 1964). Lo contrario sucede en ambientes cálidos, donde las altas temperaturas estimulan la formación de primordios foliares en el ápice del tallo principal, lo cual reduce en gran medida el número de tallos hijos (macollos), debido al aumento en la demanda de fotoasimilados para el tallo principal (Rodríguez, *et al.* 2005).

Yacuanquer debido al anegamiento fue la localidad con bajo número de macollos. Al respecto, Un estudio realizado en la Universidad de Concepción (Chile) encontró buena asociación entre las bajas temperaturas y la radiación acumulada durante la siembra y el inicio de la fase reproductiva que favoreció el número de macollos por planta y de macollos efectivos que finalmente estuvo representado en el número de espigas por unidad de superficie (Slafer *et al.* 1996).

4.3.2 Número de granos por espiga (NGE). Según la Tabla 9 en Duitama se destacaron las líneas L24 N y L11 N por presentar promedios entre 49,25 y 47,50 granos por espiga que mostraron diferencias significativas con ICA Tenza y Promesa con medias de 40,25 y 38 granos por espiga. En la localidad de Imués L24N, L15N, L11N, L7 UPTC con promedios entre 45,75 y 41,25 granos por espiga, fueron estadísticamente superiores a los testigos ICA Tenza y Facianar promesa con medias entre 39,75 y 35 granos por espiga.

En Toca sobresalen las líneas L24N, L15N, L11N, L29N y L7 UPTC con promedios entre 50 y 42,25 granos por espiga, mostraron diferencias significativas respecto al testigo Promesa con 38,25 granos por espiga, pero ninguna línea supero a ICA Tenza que obtuvo 46,00 granos por espiga. En la localidad de

Túquerres las líneas L24 N, L15 N, L11 N y L29N con promedios entre 51,75 y 49,25 granos por espiga, fueron superiores a Promesa e ICA Tenza con 41 y 44 granos por espiga. De la misma forma en Guaitarilla las líneas L24 N, L15 N, L11 N y L29N con medias entre 53,75 y 49,50 granos por espiga, mantuvieron esta misma tendencia al superar significativamente a los testigos ICA Tenza y Promesa.

En Yacuanquer L24 N, L15 N y L11 N con promedios entre 52,25 y 50,5 granos por espiga mostraron diferencias respecto a los testigos ICA Tenza y Promesa con 42,75 y 44,5 granos por espiga respectivamente. En Tibaitatá no se observaron diferencias entre los genotipos evaluados mientras que en Tibitó la línea L24 N fue la única que supero al testigo ICA Tenza, pero ninguno de los genotipos superaron al testigo Promesa.

En general, se destacaron por el alto número de granos por espiga las líneas L24 N y L11N por presentar diferencias con los testigos ICA Tenza y Facianar Promesa en cinco de los ocho ambientes evaluados y L24 en cuatro de los ocho ambientes (Tabla 9)

Tabla 9. Comparaciones de promedios Tukey para la variable número de granos por espiga (NGE) en diez genotipos de trigo probados en las regiones de Nariño, Cundinamarca y Boyacá durante el 2012.

Genotipos	Duitama	Imués	Toca	Túquerres	Yacuanquer	Guaitarilla	Mosquera	Tibito	Promedio Genotipos
L24 N	49,25 a	45,75 ab	50,00 a	51,75 a	52,25 a	49,50 ab	54,25	54,25 a	50,88 a
L15 N	41,75 cd	49,50 a	45,50 ab	51,00 a	51,00 ab	53,75 a	53,75	51,50 ab	49,72 ab
L11 N	47,50 ab	44,00 b	47,50 a	48,75 ab	50,50 abc	51,00 ab	52,75	51,00 ab	49,13 b
L29 N	40,00 cd	45,00 abc	42,00 b	49,25 ab	46,75 bcd	50,50 ab	51,75	51,75 ab	47,13 c
L7 UPTC	43,75 bc	41,25 bc	42,25 b	48,25 abc	43,00 d	45,75 cd	48,25	48,50 b	45,13 d
L6 UPTC	38,50 d	39,00 d	41,50 bc	45,75 bc	44,50 d	48,75 bc	49,75	50,25 ab	44,75 d
ICA Tenza	40,25 cd	39,75 d	46,00 ab	41,00 d	42,75 d	44,50 cd	49,25	49,50 b	44,13 de
Promesa	38,00 d	35,00 d	38,25 c	44,00 cd	44,50 d	47,00 bd	50,50	50,50 ab	43,47 de
L13 UPTC	39,50 c	37,75 d	37,75 c	43,00 d	47,50 b	44,50 cd	47,75	48,25 b	43,25 e
L2 UPTC	32,75 e	41,00 c	37,00 c	46,25 bc	47,00 bd	43,75 d	44,75	47,25 b	42,47 e
Promedio Localidad	41,13 d	41,80 cd	42,78 c	46,90 b	46,98 b	47,90 b	50,28 a	50,28 a	

Tukey 0,05: Localidades = 1,43; Genotipos = 1,67; Localidades x genotipos = 4,72.

Respecto a las localidades, el número de granos por espiga vario entre 41,13 y 50,28, encontrándose los mayores y similares valores en Tibaitata y Tibito con 50,28 granos por espiga, presentando difrencias significativas con las otras localidades.

La cantidad mayor a 40 granos por espiga que presentaron todos los genotipos mejorados permite suponer que es una característica estable en distintos ambientes, sin embargo se determina que el suelo puede influir en una menor o mayor manifestación de granos por espiga, especialmente el contenido de nitrógeno, elemento que incrementa el número de granos por espiga debido al favorecimiento de la actividad fotosintética durante la formación de espigas, espiguillas y flores que mejora la actividad de transporte de los asimilados fotosintéticos hacia la espiga y los granos en crecimiento (Sibony y Pinthus, 1988; Reilly, 1990). Esta afirmación permite comprender el buen comportamiento del trigo para este componente en los ambientes de Tibaitata, Tibitó y Túquerres cuyos suelos presentan mayor cantidad de materia orgánica.

Al comparar los promedios de los genotipos, se determinan los mayores valores en L15N y L24N con 49,72 y 50,8 granos por espiga, observándose los menores números de granos en las líneas L2UPTC, L13UPTC con 42,47 y 43,25 granos por espiga respectivamente, los testigos ICA Tenza y Facianar Promesa tuvieron el mismo comportamiento presentando 43,47 y 44,13 granos por espiga, lo que determina que las mayores afectaciones de roya amarilla, influye en la disminución del número de granos.

La densidad de semilla utilizada en cada uno de los genotipos evaluados fue adecuada puesto que la población puede influir en el número de granos por espiga, por ejemplo si la cantidad de semilla es alta, habrá más plantas por unidad de superficie pero no aumentará la cosecha debido a la mayor competencia entre plantas, lo que dará lugar a que haya menos granos por espiga y que estos tengan menos peso (Cáceres, 2010).

Al respecto en los diferentes estudios realizados se ha encontrado que la retirada de un cierto número de macollos conduce a un aumento en el número de granos en la espiga del tallo principal, debido a que la reducción en la competencia por los recursos disponibles permite que se inicien más espiguillas y que las flores sobrevivan en mayor proporción. (Sánchez, 2008).

4.3.3 Peso de 1000 granos (P1000). En Túquerres las líneas L24 N, L11 N, L15 N, L6 UPTC, L29 N y L13 UPTC con promedios entre 51,75 y 49,75 gr mostraron diferencias respecto a los testigos Promesa 42,25 e ICA Tenza 28,50 gr. En Imués y Duitama las líneas L24 N y L11 N con promedios de 51.50 y 49.50 gr, respectivamente para Imués y de 53,25 y 51,93 gr para Duitama, lograron promedios superiores a los Testigos Promesa e ICA Tenza cuyos pesos fueron inferiores a los 47,8 g.

En la localidad de Toca las líneas L24 N, L11 N, L15 N y L6 UPTC con valores entre 52,24 y 50,23 mostraron diferencias significativas con el testigo Promesa (45,09 gr) pero no con el testigo ICA Tenza (51.13 gr). Para Guaitarilla L24 N y L6 UPTC con 50,25 y 50,50 superaron a los testigos Promesa e ICA Tenza (47,25 y 47,75 gr). En Yacuanquer, con la excepción de L2 UPTC todos los genotipos con promedios entre 51,25 y 49,50 g superaron al testigo ICA Tenza (43,75 g), mientras que en Tibaitatá L24 N con una media de 54,50 gr fue estadísticamente superior a ICA Tenza con 50,30 gr. Finalmente ninguna de las líneas supero a los testigos en la localidad de Tibitó. En general, para esta variable se destacó la línea L24 N al superar a los dos testigos en los ocho ambientes evaluados (Tabla 10).

Tabla 10. Comparaciones de promedios Tukey para la variable peso (g) de 1000 granos (P1000) en diez genotipos de trigo probados en las regiones de Nariño, Cundinamarca y Boyacá durante el 2012

Genotipos	Túquerres	Imués	Toca	Guaitarilla	Duitama	Yacuanquer	Mosquera	Tibitó	Promedio genotipo
L24 N	51,75 a	51,50 a	52,24 a	52,25 a	53,25 a	51,25 a	54,50 a	54,03 a	52,60 a
L11 N	50,75 a	49,50 ab	52,11 a	48,50 bcd	51,93 ab	49,00 a	50,75 bc	52,35 ab	50,61 b
L15 N	49,75 a	46,25 c	51,50 a	49,25 bc	49,65 b	51,25 a	51,68 ab	53,48 ab	50,35 b
L6 UPTC	46,50 b	47,25 bc	50,23 a	50,50 ab	49,85 b	50,50 a	51,73 ab	51,10 b	49,71 b
L29 N	50,00 a	46,00 c	46,17 b	47,50 cd	46,20 c	50,50 a	50,83 bc	51,53 ab	48,59 c
L13 UPTC	49,75 a	48,25 bc	45,84 b	46,75 cd	45,85 c	49,50 a	50,25 bc	51,73 ab	48,49 c
L7 UPTC	46,00 bc	45,25 d	46,25 b	47,25 cd	46,28 c	49,50 a	48,48 c	52,40 ab	47,68 c
Promesa	42,25 d	46,75 bc	45,09 b	47,25 cd	45,08 c	51,00 a	50,88 bc	52,55 ab	47,61 c
L2 UPTC	43,50 cd	44,25 d	40,86 c	46,25 d	45,68 c	46,00 b	48,73 c	52,40 ab	45,96 d
ICA Tenza	28,50 e	42,75 d	51,13 a	47,75 bd	49,70 b	43,75 b	50,30 bc	53,23 ab	45,89 d
Promedio Localidad	45,88 f	46,78 e	48,14 d	48,33 d	48,35 cd	49,23 c	50,81 b	52,48 a	

Tukey 0,05: Localidades = 0,88; Genotipos = 1,02; Localidades x genotipos = 2,90.

Respecto a las localidades, el peso de mil granos oscilo entre 45,88 gr y 52,48 gr y para genotipos entre 45,89 gr y 52 gr, observándose que la región de Tibitó presento el mayor peso con diferencias significativas respecto a las demás localidades, dentro de las cuales Túquerres presento el menor promedio, debido a la mayor severidad de roya amarilla la cual afecto a este componente.

Al analizar los promedios generales de los genotipos se determino que L24N con 52,60 gr presento diferencias significativas respecto a los demás genotipos cuyo peso estuvo comprendido entre 45,89 y 50,61 gr, ademas se destacan las líneas LL11N, L15N y L6UPTC cuyos pesos fueron de 50,61, 50,35 y 49,71gr respectivamente presentando diferencias significativas respecto a los materiales genéticos restantes .

Se considera que en los genotipos mencionados esta característica debe explorarse con el fin de utilizarlos como progenitores en cruzamientos con variedades comerciales de mayor aceptación, al considerarse que este carácter está más relacionado con mayor extracción de harina (Sanchez, 2008).

Teniendo en cuenta el porcentaje de severidad de roya amarilla en hoja, los genotipos más susceptibles fueron L2UPTC, L13UPTC, Facinar Promesa e ICA Tenza, esto lleva a considerar que este carácter influyó en el menor peso del grano, tal como mostraron estos genotipos cuyos pesos oscilaron entre 42,47 y 44,13 gr, probablemente se afectó el proceso normal de la fotosíntesis después de la emergencia de la espiga debido a que durante el crecimiento aproximadamente la mitad de los fotoasimilados que se acumulan en el grano y determinan su peso, proceden de la fotosíntesis del limbo y vaina de la hoja bandera, (Gebbing *et al.*, 1999).

En general, el peso de grano en los ocho ambientes se vio favorecido por las condiciones ambientales, porque no se presentaron heladas además la temperatura entre los 13 y 15 °C están relacionadas con el peso final de granos, porque en condiciones ambientales normales durante el crecimiento, Este criterio también se relaciona con la sanidad de la planta principalmente con el ataque de roya amarilla en hoja, al respecto las líneas L15, L7, L29, L6, L11, y L24 presentaron infecciones menores al 10% característica que favoreció el proceso fotosintético caso contrario sucedió con los genotipos L2, L13 Facinar Promesa e ICA Tenza cuya afectación de tejido afectado en la hoja fue mayor al 30% que de acuerdo a lo anterior influyó en el peso del grano, muy posiblemente porque la fotosíntesis después de la emergencia de la espiga se encuentra muy limitada (Gebbing *et al.*, 1999).

Dentro de los anteriores genotipos sobresalen L24N que presentó diferencias significativas respecto a los demás. Se considera que esta característica debe explorarse al fin de utilizarlo como progenitor en cruzamiento con las variedades comerciales de mayor cultivo, al considerar que el carácter está relacionado con la mayor extracción de harina (Sanchez, 2008)

4.3.4 Rendimiento de grano ($t \cdot ha^{-1}$). De acuerdo con la comparación de promedios para la variable rendimiento de grano (Tabla 11), en Imués las líneas L24N y L15N con 4,75 y 4,67 $t \cdot ha^{-1}$ superaron al testigo ICA Tenza y Promesa. De igual forma las líneas L11N y L29N superaron a Tenza. En Yacuanquer L24N y L15N con 4,55 y 4,06 $t \cdot ha^{-1}$ mostraron promedios significativamente más altos que el testigo ICA Tenza (3,21 $t \cdot ha^{-1}$), además L24N también superó al testigo Promesa (3,28 $T \cdot ha^{-1}$). En Túquerres L24N y L15 N con 5,95 y 5,45 $t \cdot ha^{-1}$

presentaron promedios significativamente mejores a los demás genotipos evaluados incluyendo a los testigos Promesa e ICA Tenza, cuyos promedios estuvieron por debajo de 4.2 t.ha⁻¹, también se destacaron las líneas L11N y L29N con 4,02 y 4,49 t.ha⁻¹ los cuales superaron a los testigos. En la localidad de Toca L24N con promedio de 5,83 t.ha⁻¹ mostró diferencias significativas respecto a los demás genotipos incluyendo a los testigos ICA Tenza y Facianar Promesa cuyos rendimientos no superarán las 3 t.ha⁻¹, Duitama la línea L24N con 5,54 t.ha⁻¹ supero estadísticamente a 7 de los 10 genotipos evaluados, cuyos promedios fueron inferiores a 4,5 t.ha⁻¹, sin embargo esta no presentó diferencias estadísticas respecto a L15N y L11N con promedios de 4,85 y 4,76 t.ha⁻¹.

Tabla 11. Comparaciones múltiples de medias mediante la prueba de Tukey para rendimiento de grano (t.ha⁻¹) en diez genotipos de trigo probados en las regiones de Nariño, Cundinamarca y Boyacá durante el 2012.

Genotipos	Imués	Yacuanquer	Túquerres	Toca	Duitama	Guaitarilla	Tibaitatá	Tibito	Promedio genotipo
L24 N	4,75 a	4,59 a	5,95 a	5,83 a	5,54 a	5,42 a	6,35 a	6,72 a	5,64 a
L15 N	4,62 a	4,06 ab	5,45 a	4,82 b	4,85 ab	5,39 a	5,84 ab	5,91 ab	5,12 b
L11 N	3,72 b	3,87 abc	4,02 bc	4,42 bc	4,76 ab	4,76 ab	5,71 ab	5,23 bc	4,56 c
L29 N	3,27 bc	3,67 bc	4,49 b	4,13 bcd	4,15 bc	4,42 b	5,38 bc	5,31 bc	4,36 cd
L6 UPTC	3,00 bcd	3,73 bc	3,67 cd	4,55 bc	4,01 cd	4,10 b	4,88 cd	4,78 c	4,09 de
L7 UPTC	2,69 cd	3,45 bc	3,40 cd	3,84 cd	4,45 bc	4,21 b	4,70 cde	5,35 bc	4,01 e
L13 UPTC	3,23 bcd	3,61 bc	3,91 bcd	3,40 de	4,21 bc	3,72 c	4,53 de	5,07 c	3,96 ef
Promesa	3,27 bc	3,28 bc	3,88 bcd	3,00 e	3,54 d	4,08 b	4,32 de	4,64 c	3,75 f
L2 UPTC	2,43 d	3,48 bc	3,10 d	2,87 e	3,24 d	3,54 c	4,31 de	4,61 c	3,45 g
Tenza	2,43 d	3,21 c	1,85 e	3,05 e	3,94 cd	3,09 c	3,93 e	4,56 c	3,26 g
Promedio Localidad	3,34 e	3,70 d	3,97 c	3,99 c	4,27 b	4,27 b	5,00 a	5,22 a	
Indice ambiental	-0,92	-0,21	-0,29	-0,27	0,00	0,00	0,73	0,95	

Media General 4,26 Letras iguales, indican que no existen diferencias estadísticas significativas. Tukey 0,05: Localidades = 0,246; Genotipos = 0,287; Localidades x genotipos = 0,81.

Para Guaitarilla las líneas L24N, L15N y L11N con rendimientos comprendidos entre 4,76 y 5,42 no presentaron diferencias estadísticas significativas entre sí, pero las dos primeras fueron estadísticamente superiores al resto genotipos que presentaron rendimientos entre 3,09 y 4,42 t.ha⁻¹, los más bajos correspondieron a las líneas L13UPTC y L2UPTC con 3,72 t.ha⁻¹ y 3,54 t.ha⁻¹ y el testigo ICA Tenza 3,09 t.ha⁻¹ siendo estadísticamente inferiores al testigo Facianar promesa que obtuvo 4,08, siendo estadísticamente igual a las líneas L29N, L6UPTC y L7UPTC cuyos rendimientos superaron las 4 t.ha⁻¹. En Tibaitatá L24N, L15N, L1 N y L2 N con rendimientos entre 6,35 y 5,38 t.ha⁻¹ fueron significativamente más altos respecto a L13 UPTC, Promesa, L2 UPTC e ICA Tenza que alcanzaron rendimientos no mayores a 4,9 t.ha⁻¹. Finalmente en Tibitó únicamente las líneas L24N y L15N con 6,72 y 5,91 t.ha⁻¹ mostraron rendimientos superiores a los testigos Promesa con rendimientos de 4,64 t.ha⁻¹ e ICA Tenza 4,56 t.ha⁻¹.

Teniendo en cuenta el promedio por localidad , según la tabla 11 en general los rendimientos de grano seco en las ocho localidades estuvieron comprendidos entre 3,3 y 5,2 t.ha⁻¹. En las localidades de Tibitó, Tibaitata, Guaitarilla y Duitama, se presentaron los rendimientos más altos , los cuales oscilaron entre 4,26 y 5,22 t.ha⁻¹ considerados como ambientes favorables de acuerdo al índice ambiental positivo expresado en la tabla 11 debido a la intensidad de luz que sobrepasan las 1500 horas año, porcentaje de materia orgánica superior a 7%, la textura que hace que el suelo presente buen drenaje, caso contrario sucedió con los ambientes de Yacuanquer, Toca Túquerres e Imues cuyo indicador ambiental fue negativo debido a las limitantes del suelo teniendo en cuenta el bajo porcentaje de materia orgánica menor del 7% en el caso de Yacuanquer e Imues, de igual manera menor luminosidad

Dentro de estas localidades, los mayores rendimientos se registrarán en Tibito y Tibaitata con 5,2 y 5,0 t.ha⁻¹, con diferencias significativas respecto a las demás localidades, también se determinó que el menor rendimiento promedio se obtuvo en la localidad de Imues 3,3 t.ha⁻¹, siendo estadísticamente menor respecto a las demás localidades.

La mayor producción obtenida en las dos localidades, desde el punto de vista ambiental se debe a las condiciones de luminosidad registrando 1567 y 1690 horas luz año que favoreció los procesos fisiológicos relacionados con el rendimiento principalmente en la etapa de llenado de grano. Además las características físicas de los suelos de las dos localidades de Cundinamarca, determinan que la densidad aparente menor a 1 g/cc, indica baja compactación, caso contrario sucede en Imues, donde hay evidencias reales de compactación, presentándose además una luminosidad menor a las 1500 horas luz/año.

En la evaluación de genotipos, las líneas L24N y L15N con 5,76 y 5,22 t.ha⁻¹ con diferencias significativas entre sí, mostraron también diferencias significativas con los materiales genéticos restantes; determinándose además que los genotipos Facianar Promesa, L2UPTC e ICA Tenza fueron los menos productivos con menos de 4 t.ha⁻¹ debido en gran parte a los ataques de roya amarilla que se presentó desde antes del espigamiento, afectando los procesos fisiológicos normales.

De otra parte, en la tabla 12 se puede observar que el carácter de altos rendimientos se correlacionó con el número de granos por espiga y peso de 1000 granos, coincidiendo con las afirmaciones de Abbate *et al.* (1998) y de Fisher, (1985) que al menos el 20% del aumento en el rendimiento puede lograrse con un aumento del número y peso de granos.

Al respecto, las correlaciones realizadas en este estudio entre la producción en $t\cdot ha^{-1}$ y los componentes de rendimiento número de macollas, número de granos y peso de 1000 granos incluido el peso hectolitrico de acuerdo con la tabla 12, se determinó que el número de granos por espiga como el peso de 1000 granos fueron las variables más relacionadas con el rendimiento al presentar altos coeficientes de correlacion positivos con valores de 0,71 y 0,70 respectivamente, concordando con los resultados de Parodi *et al.* (1991) quienes encontraron correlaciones de 0,70 y 0,72 respectivamente. Además Rossi *et al.* (1986) determinan que los dos componentes pueden contribuir a la identificación de líneas con mayor rendimiento.

Tabla 12. Correlaciones entre el rendimiento de grano con las variables número de granos por espiga, número macollos, peso de 1000 granos y peso hectolítrico.

Variable	Con la variable	Coef. Correlación (R)	(LC) inferior al 95%	(LC) superior al 95%	p valor (H0:Rho=0)
Rendimiento grano(t/ha)	Número de granos (granos/ espiga)	0.71	0.66	0.76	< 0.0001
	Número macollos (#/planta)	0.04	-0.07	0.14	0.5246
	Peso 1000 granos (g)	0.70	0.64	0.75	< 0.0001
	Peso hectolitrico (Kg/Hl)	0.35	0.25	0.45	< 0.0001

(LC): Limites de confianza

El rendimiento de grano es producto del comportamiento que hayan tenido los componentes de rendimiento durante el desarrollo del cultivo, (CIMMYT, 1989; Rodríguez *et al.*, 2005; Rodríguez *et al.*, 2011), en este sentido, los genotipos evaluados a pesar de las altas precipitaciones presentadas principalmente en el altiplano Cundiboyacense, los componentes peso y número de granos de mayor asociación con los rendimientos no presentaron afectaciones, es decir que los genotipos pudieron expresar genéticamente estos caracteres.

Las variables peso hectolitrico y número de macollas por planta mostraron baja correlacion, siendo de 035 y 004 respectivamente. La primera característica en el sentido practico se considera como variable de calidad para extracción de harina, pero también se correlaciona con el peso de grano y de allí el valor del coeficiente. La baja correlación de la variable número de macollos por planta, y rendimiento 004 se debio a que todos los genotipos tuvieron entre 3 y 4 macollas, sin encontrarse casos de variación hacia menos de 2 macollas o más de 5

macollas. Estos datos concuerdan con Bolaños y Britto (1991) quienes encontraron un valor de 0,22 en la correlación que incluye el número de macollos por planta por eso, los mismos autores manifiestan que el macollamiento es influenciado en mayor parte por las condiciones edafoclimáticas. También no se pueden encontrar variaciones en aumento o disminución en el rendimiento porque los genotipos evaluados presentaron número idéntico en macolla por planta.

Las líneas L24N y L15N mostrarán los máximos rendimientos debido en gran parte al proceso de mejoramiento teniendo en cuenta que estos genotipos provienen de progenitores de alto rendimiento, en el caso de la línea L24N genealógicamente proviene de la variedad Facianar promesa que se ha caracterizado por sus buenos rendimientos, principalmente en ambientes desfavorables; L15N proviene de Sureño y Bonza 63 la primera variedad de alto potencial de rendimiento y adaptación a condiciones favorables y la segunda se la considera como una variedad estable de resistencia duradera a las enfermedades importantes y tolerante a vaneamiento (Bolaños, 2004). Además, la longitud de la espiga de L24 y L15 están entre 12 y 14 cm que en condiciones favorables producen mayor número de granos características que presentó correlación positiva respecto al rendimiento $r = 65$ de acuerdo al trabajo realizado por (Becker, 1981).

Los criterios de identificación y selección se reforzarán con los parámetros de estabilidad y adaptabilidad β_1 y S^2_{di} para cada cultivar expuestos por Eberhart y Rusell cuyos resultados se exponen en la tabla 13 así mismo en la figura 1 en los esquemas A y B se presenta el comportamiento del rendimiento de cada genotipo a través de los ambientes.

Los genotipos L11 N, L29 N, L13 UPTC y L2 UPTC presentaron rendimientos de grano de 4,64; 4,40; 4,03 y 3,43 $t \cdot ha^{-1}$ respectivamente, siendo los dos primeros mayores al promedio general (4,22 $t \cdot ha^{-1}$) y a los testigos Facianar Promesa e ICA Tenza, mientras que los dos últimos L13 UPTC y L2 UPTC a pesar que el rendimiento fue inferior al promedio general su comportamiento, al igual que los genotipos ya mencionados se comportaron como líneas estables y predecibles, al obtener un coeficiente β , con valores que oscilaron entre 0,90; y 1,18, lo cual los hace estadísticamente iguales a 1, y los desvíos de la regresión estadísticamente iguales a cero ($S^2_d=0$), con valores que oscilaron entre 0,04 y -0,007.

Tabla 13. Parámetros de adaptabilidad y estabilidad de Eberhart y Russell para rendimiento de grano (t.ha⁻¹), de 10 genotipos de trigo probados en las regiones de Nariño, Cundinamarca y Boyacá durante el 2012.

Clasificación por adaptabilidad y estabilidad	Genotipos	Media (B ₀)	Parámetros Adaptabilidad				Parámetros Estabilidad		R ²
			B ₁	T(B ₁ =1)	Probabilidad	S ² d	Probabilidad		
Genotipos estables y predecibles	L11 N	4,64	0,98NS	-0,13	88,94	0,03NS	4,69	72,37	
	L29 N	4,40	1,11NS	1,06	28,73	0,02NS	11,15	76,86	
	L13 UPTC	4,03	0,90NS	-0,85	60,32	0,04NS	1,74	86,40	
	L2 UPTC	3,43	1,18NS	1,70	8,56	0,00NS	100,00	84,74	
Genotipos con buena respuesta en todos los ambientes, pero no predecibles.	L24 N	5,76	0,90NS	-0,91	63,31	0,05**	0,86	68,67	
	L6 UPTC	4,11	0,90NS	-0,86	60,59	0,07**	0,17	76,80	
	ICA Tenza	3,25	1,19NS	1,77	7,43	0,27**	0,006	60,59	
Mejor respuesta en ambientes favorables y es predecible.	L7 UPTC	4,03	1,32**	2,99	0,31	0,04NS	2,97	91,81	
Mejor respuesta en ambientes desfavorables, pero poco predecible.	Promesa	3,78	0,77*	-2,05	3,84	0,07**	0,17	91,69	
Mejor respuesta en ambientes Desfavorables y es predecible	L15N	5,22	0,70**	-2,71	0,70	0,04NS	0,86	87,67	
Promedio General:						4,22	1,00		
0,0000									

Un segundo grupo clasificado como genotipos con buena respuesta en todos los ambientes, pero no predecibles está conformado por L24N, con un promedio de 5,76 t.ha⁻¹ superior en 26% al promedio general, dentro de este grupo también se incluyen los genotipos L6UPTC e ICA Tenza, que presentaron coeficientes β con valores de 0,90; 0,90 y 1,19 respectivamente, los cuales fueron estadísticamente iguales a uno ($\beta = 1$) y con rendimientos de grano 4,11 y 3,25 t.ha⁻¹. Sin embargo, estos genotipos presentan los desvíos de la regresión $S^2d > 0$, lo cual indica que son inestables o no predecibles. Lo anterior limita las posibilidades de selección para estos genotipos debido a que no existe la seguridad en su comportamiento futuro y por lo tanto, sería conveniente aumentar el número de pruebas de evaluación para estos genotipos buscando mayor precisión en su respuesta.

Al respecto Sprague y Eberhart (1977) sugieren aumentar el número de localidades para los ensayos, si la IGA se debe a factores ambientales impredecibles. Otra posibilidad es limitar los ensayos por regiones, en el caso de Colombia, por departamentos buscando genotipos de mejor respuesta para cada zona productiva.

El genotipo L7 UPTC, se clasificó con *Mejor respuesta en ambientes favorables y es predecible*, con rendimiento promedio de 4,03 t.ha⁻¹ y un coeficiente $\beta_1 > 1$ con 1,3243 y con una varianza $S^2_{d=0}$ de 0,04, lo cual lo hace adecuado para suelos y clima favorables. Esta respuesta indica que este genotipo es más apropiado para las localidades de Cundinamarca que presentaron los mejores índices ambientales.

El genotipo L15N presentó un β significativamente inferior a 1 que indica que esta línea mostró mejor respuesta a ambientes desfavorables. Además esta línea presenta una $S^2_{d=0}$ que señala un comportamiento predecible, también se destaca su rendimiento promedio de 5.22 t.ha⁻¹ que superó a la media general que corresponde a 4.22 t.ha⁻¹. En consecuencia esta línea puede recomendarse para las regiones de Imúes, Túquerres, Toca y Yacuanquer, en donde la oferta ambiental es más limitada para el cultivo. Este genotipo resultó de mayor utilidad práctica para Nariño dado que tres de las cuatro localidades en donde logró su mejor comportamiento agronómico pertenecen a este departamento.

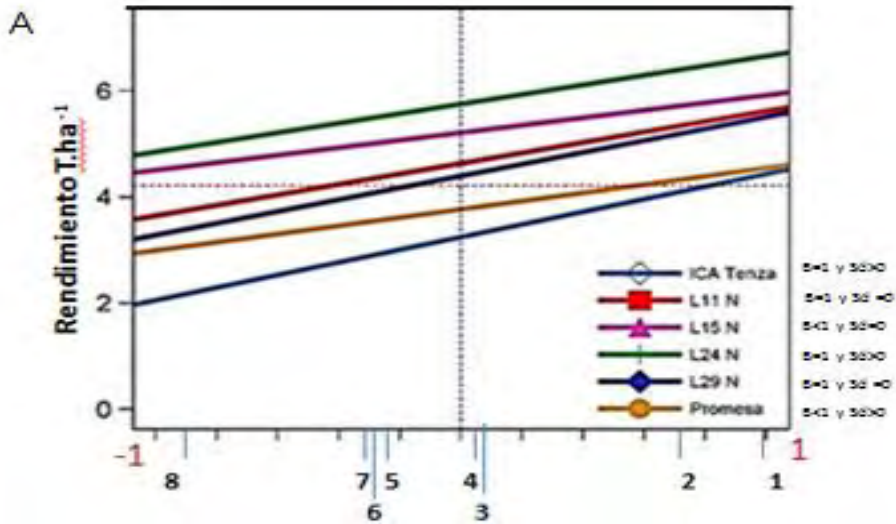
La variedad Promesa mostró mejor respuesta en ambientes desfavorables, pero *poco predecible*. Esta variedad presentó un rendimiento promedio de 3,78 t.ha⁻¹ inferior al promedio general, con un coeficiente β de 0,77, sugiriendo mejor comportamiento en condiciones ambientales desfavorables. Las observaciones hechas sobre la variedad Promesa indican que la misma tiende a mostrar una estabilidad más de tipo biológico que agronómico, al presentar poca respuesta al mejoramiento de las condiciones ambientales y de manejo. Por otra parte sus desviaciones de la regresión fueron mayores que cero ($S^2_{d>0}$), indicando un comportamiento no predecible. Es importante tener en cuenta que la variedad Promesa ha mostrado buen desempeño en las condiciones del departamento de Nariño para el cual fue lanzada y su condición de impredecible solo aparece cuando en el grupo de ambientes se involucra las localidades de Cundinamarca y Boyacá.

En el esquema A de la figura 1, los genotipos L11N y L29N, y en el B de la misma figura, L2UPTC y L13UPTC, demuestran un comportamiento promedio, tanto en ambientes poco productivos que corresponden a las localidades de Imues, Túquerres, Toca, Yacuanquer, Duitama, cuyo índice ambiental fue menor a

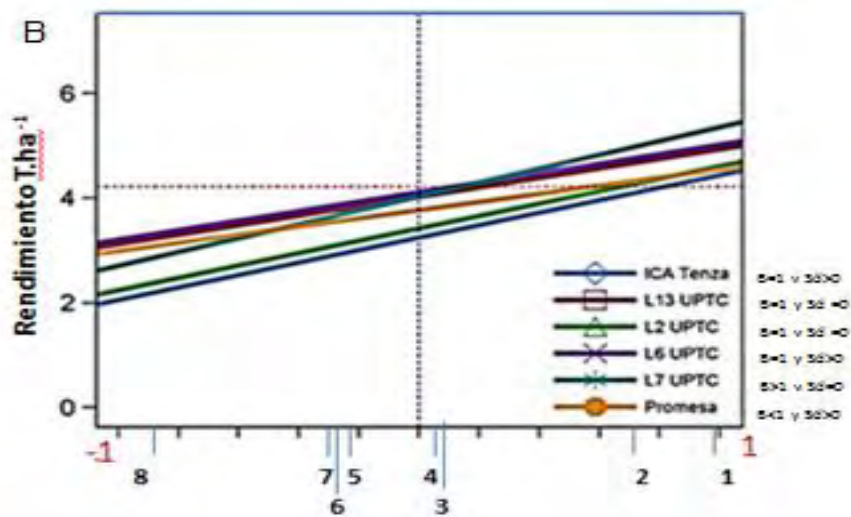
0 ($IA < 0,0$), como en aquellos ambientes altamente productivos como son Tibito, Tibaitata y Guaitarilla, cuyo índice ambiental es mayor a 0 ($IA > 0,0$).

De acuerdo al esquema A, Teniendo en cuenta la adaptabilidad $\beta = 1$, L24N fue la línea que supero tanto en ambientes poco productivos y de alta productividad a los demás genotipos evaluados, debido a que su rendimiento supero a la media general en $1,5 \text{ t.ha}^{-1}$. También se destaca L15N a pesar de que fue superada por L24N, demuestra tener buena adaptación a ambientes limitantes de la producción y también responde positivamente a las mejores condiciones de aquellas localidades donde IA es positivo.

En el esquema B, La línea L7 UPTC tuvo buen comportamiento en ambientes altamente productivos, pero muy pobre en los de baja productividad, contrario respecto al testigo Facianar Promesa considerada como una variedad tradicional a pesar de que su comportamiento es aceptable en ambientes poco productivos, responde poco a condiciones más favorables ni a fertilizaciones adecuadas, por lo tanto esta variedad generalmente tiene un coeficiente de regresión menor a 1.



1=Tibitó; 2=Tibaitatá; 3=Guaitarilla; 4=Duitama;
5=Yacuanquer; 6=Toca; 7=Túquerres; 8=Imues



1=Tibitó; 2=Tibaitatá; 3=Guaitarilla; 4=Duitama;
5=Yacuanquer; 6=Toca; 7=Túquerres; 8=Imues

Figura 1. Adaptabilidad y estabilidad de ocho líneas promisorias de trigo y los testigos ICA Tenza y Promesa, en ocho ambientes contrastantes en los departamentos de Nariño, Boyacá y Cundinamarca, 2012.

Por lo anterior, desde el punto de vista de mejoramiento, claramente, se desea producir variedades con alto rendimiento promedio y buena estabilidad ($b = 1,0$), y buscar el buen comportamiento en los ambientes altamente productivos y menos productivos.

4.4 ANÁLISIS DE CALIDAD DE LOS GENOTIPOS EVALUADOS

Respecto a peso hectolítrico, en Túquerres L6 UPTC, L24 N, L7 UPTC y L11 N con promedios entre 76,65 a 74,65 Kg.Hl⁻¹ mostraron diferencias con ICA Tenza que alcanzó 73,25 Kg.Hl⁻¹, pero ningún genotipo superó a Promesa. En Toca y Duitama todas las líneas evaluadas con promedios entre 79,13 a 73,90 Kg.Hl⁻¹ superaron ICA Tenza y Promesa con promedios de 67,40 y 67,25 Kg.Hl⁻¹ respectivamente. En Yacuanquer no se observó diferencias significativas entre los genotipos evaluados. En la localidad de Tibaitatá sobresalen las líneas L6 UPTC, L24 N y L11 N con promedios entre 78,43 a 77,23 Kg.Hl⁻¹ mostrando diferencias significativas con ICA Tenza y Promesa que presentaron 74,38 y 71,93 Kg.Hl⁻¹, respectivamente.

Tabla 14. Comparaciones de promedios Tukey para la variable Peso hectolítrico (Kg.Hl⁻¹) en diez genotipos de trigo probados en las regiones de Nariño, Cundinamarca y Boyacá durante el 2012.

Genotipos	Túquerres	Toca	Duitama	Yacuanquer	Tibaitatá	Guaitarilla	Imués	Tibito	Promedio genotipo
L6 UPTC	75,65 a	79,13 a	78,43 ab	75,65 a	78,43 a	77,89 a	77,98 a	79,43 a	77,82 a
L24 N	75,25 a	78,45 ab	79,10 a	76,30 a	78,20 a	77,50 a	77,66 a	79,60 a	77,76 a
L7 UPTC	74,85 a	77,03 ab	77,00 abc	75,60 a	76,63 ab	75,85 ab	76,85 ab	78,88 ab	76,58 b
L11 N	74,65 a	73,78 c	76,73 abc	75,80 a	77,23 a	78,03 a	76,26 b	78,55 ab	76,38 b
L29 N	73,85 ab	73,60 c	76,73 abc	76,45 a	76,30 ab	74,63 b	76,41 b	77,08 ab	75,64 b
L15 N	73,05 ab	75,58 c	76,98 abc	75,85 a	76,28 ab	75,40 b	74,55 b	77,10 ab	75,60 bc
L2 UPTC	71,65 b	76,23 bc	75,83 bc	76,40 a	75,05 b	75,86 ab	77,31 ab	76,33 b	75,58 c
L13 UPTC	71,40 b	73,90 c	74,25 c	75,05 a	75,73 ab	75,40 b	76,15 b	76,70 b	74,82 cd
Promesa	73,25 ab	67,40 d	66,13 d	76,15 a	74,38 bc	78,23 a	78,49 a	76,63 b	73,83 d
ICA Tenza	62,40 c	65,23 d	63,25 e	75,70 a	71,93 c	75,76 ab	76,95 ab	77,40 ab	71,08 e
Promedio Localidad	72,60 e	74,03 d	74,44 d	75,90 c	76,02 bc	76,46 b	76,86 ab	77,77 a	

Tukey 0,05: Localidades = 0,85; Genotipos = 0,99; Localidades x genotipos = 2,79.

Por otra parte en Tibaitatá existe las líneas L7 N, L29 N, L15 N, L2 UPTC y L13 UPTC con valores entre 76,75 a 75,73 Kg.Hl⁻¹ los cuales fueron superiores al testigo ICA Tenza. En Guaitarilla e Imués, no se observó diferencias entre las líneas y los testigos. En Tocancipá, las líneas L6 UPTC y L24 N con promedios de 79,43 y 79,60 Kg.Hl⁻¹ mostraron diferencia significativas con el testigo Promesa que alcanzó a 76,63 Kg.Hl⁻¹ y las líneas L2 UPTC y L13 UPTC cuyos promedios fueron de 76,33 y 76,70 Kg.Hl⁻¹. En cuatro de los ocho ambientes todas las líneas superaron al testigo ICA Tenza y en dos localidades a Promesa (Tabla 14).

Tibaitatá, Guaitarilla, Imués y Tibito presentaron valores medios por localidad de 76,02, 76,46, 76,86 y 77,77 Kg.Hl⁻¹, respectivamente con el mayor peso hectolítrico. En contraste, en Túquerres, Toca, Duitama y Yacuanquer con valores entre 72,60 a 75,90 Kg.Hl⁻¹ se encontró menos peso hectolítrico.

El Peso hectolítrico depende de los componentes genético, ambiental que juegan un papel importante en la expresión de la calidad física; de igual manera el efecto negativo de las enfermedades (Allard y Bradshaw, 1964; Slafer *et al.* 1996; Rodríguez *et al.* 2011); fue por eso que, en el presente estudio la interacción Genotipo*ambiente en el análisis combinado fue significativo; estos mismos resultados concuerdan con los obtenidos por Benavides y Paredes (2001), quienes evaluaron 20 líneas avanzadas de trigo en cuatro ambientes de la zona triguera de Nariño y también, coinciden con los de Zepeda *et al.* (2009) logrando detectar diferencias significativas en la IGA.

En general todos los genotipos presentaron peso hectolitrico inferior a 80 Kg Hl⁻¹ debido a que las líneas evaluadas tienen tipo de grano blando cuyo endospermo tiene la capacidad de absorber mayor cantidad de agua, especialmente cuando la temperatura está por abajo de 16°C (Herrera, 1985). En este sentido los genotipos L7 N, L11 N, L29 N y L15 N presentaron promedios similares, lo que significa que tienen la capacidad de absorber igual cantidad de agua para el llenado de grano.

En el caso de L6 UPTC y L24 N, el mayor peso hectolitrico posiblemente está relacionado con la pérdida eficiente del agua, y el aumento del peso del grano; al respecto, Yang *et al.* (2001) encontraron un alto grado de asociación entre el peso de 1.000 granos y peso hectolitrico, también observaron que el endospermo aumenta conforme aumenta el peso hectolitrico, estos mismos autores encontraron que la disminución también se presenta a temperaturas máximas de 30 grados centígrados repercutiendo en el tamaño y peso de las semillas, una condición climática que en las zonas trigueras de Colombia no se da.

Los testigos Facianar promesa e ICA Tenza presentaron los pesos hectolitricos más bajos, con 73,83 y 71,08 Kg.Hl⁻¹ respectivamente, debido al alto grado de afectación por roya amarilla que causó el mal llenado del grano y que en definitiva afectó también el rendimiento. Con valores de severidad mayores del 30% en hoja o en espiga, las pérdidas en el peso hectolitrico pueden llegar hasta 7%, debido a que el patógeno tiene la habilidad de utilizar metabolitos de las hojas enfermas que debían ser translocados y utilizados en el llenado del grano (Barriga *et.al.*, 1980).

Para concluir, los resultados de peso hectolitrico observados en este estudio, concuerdan con los observados en pruebas regionales realizadas durante los años 1985 a 1998, que oscilaron entre 75,22 a 80,10 Kg.Hl⁻¹ (CORPOICA, 1999), característica propia de los trigos de endospermo blando (Ferrerias, 2.009).

De acuerdo a los resultados correspondientes a extracción de harina (%), índice de dureza (%), proteína (%) y volumen de pan (cm³), se analizan a continuación los resultados (Tabla 15).

En extracción de harina solo la variedad Facianar Promesa con 80.5% mostro superioridad estadística respecto al resto de genotipos evaluados, que estuvieron entre 77,9 a 76,7%, algo similar se observó para línea L24 N con la variable índice de dureza la cual alcanzó un porcentaje de dureza de 68,7% con diferencias con el resto de genotipos que presentan valores entre 60,9 a 57,2% (Tabla 15).

Tabla 15. Comparaciones de medias de Tukey para las variables extracción de harina, índice de dureza, porcentaje de proteína y volumen para diez genotipos de trigo ubicados en las regiones de Nariño, Cundinamarca y Boyacá durante el 2012.

Genotipos	Extracción de harina (%)	Índice de dureza (%)	Proteína (%)	Volúmen de pan (cc)
L11 N	77,3 B	58,8 B	9,0 A	422,6 B
L13 UPTC	76,8 B	58,5 B	9,5 A	429,4 AB
L15 N	77,8 B	60,9 B	9,4 A	449,6 AB
L2 UPTC	76,7 B	58,6 B	9,2 A	424,1 B
L24 N	77,9 B	68,7 A	9,6 A	482,2 A
L29 N	77,0 B	58,0 B	9,0 A	420,6 B
L6 UPTC	76,9 B	58,4 B	9,7 A	420,9 B
L7 UPTC	77,2 B	58,7 B	8,6 A	435,1 AB
Facianar Promesa	80,5 A	60,4 B	9,1 A	460,4 AB
ICA Tenza	76,9 B	57,2 B	8,6 A	428,7 AB
Promedio:	77,5	59,8	9,2	437,4

Tukey 0,05: Letras iguales indican que no existen diferencias estadísticas significativas.

En la variable contenido de proteína (%) no se observó diferencias importantes entre los genotipos evaluados, de acuerdo a estos resultados, los genotipos evaluados se clasifican como trigos blandos debido a su bajo valor nutritivo,

porque presentan entre 7 y 10% de proteína, por esta razón se emplean principalmente para la elaboración de galletas (Ortiz, 2009).

En volumen de pan, solo la línea L24 N con 482 cm³ fue superior a las líneas L11 N, L2 UPTC, L29 N, L6 UPTC y L7 UPTC, cuyos promedios estuvieron por abajo de 425 cm³; todas las líneas evaluadas presentaron volumen de pan similar a los testigos Facianar promesa e ICA Tenza.

Los resultados de la evaluación de calidad sugieren que hay poca variación entre genotipos evaluados y la alta uniformidad observada no permite hacer mayor inferencia, en especial si se tratara de identificar individuos superiores a los testigos, en consecuencia los componentes de calidad no constituyeron un criterio de selección importantes para las líneas evaluadas; no obstante, con excepción de extracción de harina (%) en el cual el testigo Promesa supero a todas las líneas. En las otras variables de calidad, índice de dureza (%) y volumen del pan (%) todas las líneas tuvieron resultados similares a los testigos y por lo tanto, son de aceptación para la industria panadera.

De acuerdo a los componentes de rendimiento las mejores líneas fueron L24N y L15N, aunque no difieren significativamente de las otras respecto a la calidad física e industrial, pero tienen el peso hectolítrico similar al de las mejores variedades comerciales de Colombia y un grano tipo duro, tienen entre otras características un alto contenido de gluten y la harina es de tipo multiusos, para la elaboración de panes compactos, galletas y repostería (Vásquez *et al.* 2009).

CONCLUSIONES

En los ambientes de Túquerres y Toca favorables para la presencia de roya amarilla (*Puccinia striiformis f.sp. tritici*), los genotipos que presentaron menor afectación tanto en hojas como en espiga fueron L15N, L7UPTC, L6UPTC, L11N y L24N con respuestas de MS, caso contrario sucedió con los testigos ICA Tenza y Facianar Promesa que mostraron alto porcentaje de afectación 40,60% y respuesta de susceptibilidad.

En los diferentes ambientes, entre las líneas que sobresalieron, se destaca a la línea L24N por presentar mayor número de macollas efectivas, número de granos por espiga, pero de mil granos y rendimiento, de igual manera en los parámetros de calidad peso hectolitrico, índice de dureza y volumen de pan.

Dentro de las líneas evaluadas se observaron comportamientos diferenciales, algunos respondieron a las mejoras de las condiciones ambientales, mientras otras no lo hicieron, sin embargo, se destacan las líneas L24N y L15N que mostraron buena adaptación tanto en ambientes favorables como desfavorables.

RECOMENDACIONES

Realizar estudios de adaptabilidad y estabilidad para los componentes de rendimiento: macollos por planta, número de granos por espiga, peso de 1000 granos y peso hectolítrico, considerando la condiciones edafoclimáticas de cada región.

Identificar las razas de royas prevalentes en las zonas de este estudio y los limitantes de los rendimientos y calidad del trigo harinero. Al mismo tiempo identificar en las variedades cultivadas actualmente, los genes que confieren resistencia a las razas identificadas.

La estabilidad se debería estudiar por otros métodos disponibles para determinar si los mismos genotipos conservan sus características de adaptabilidad y estabilidad en los diferentes ambientes evaluados.

BIBLIOGRAFÍA

Abbate, P., Lazaro, F., Andrade, H. 1998. Es posible incrementar el número de granos por unidad de superficie explorando altos rendimientos de trigo. M M Koolí, D Martino (eds). La Estanzuela, Uruguay. CIMMYT 71-89 pp

AACC, 1995. Approved Methods of the Association of Cereal Chemists. 9th Ed. The Association, St. Paul, MN.

Acreche, M. y Slafer, G. 2006. Grain weight response to increases in number of grains in wheat in a Mediterranean area. *Field Crops Res.* 98: 52-59.

Akcura, M. y Kaya, Y. 2008. Nonparametric stability methods for interpreting genotype by environment interaction of bread wheat genotypes (*Triticum aestivum* L.). Bahri Dagdas International Agricultural Research Institute, Konya, Turkey. *Genetics and Molecular Biology*, 4: 906-913.

Allard, R. y Bradshaw, A. 1964. Implications of genotype-environmental interactions in applied plant breeding. *Crop Science*, 4: 503-508.

Allard, R. 1975. Principios de la mejora genética de plantas. Trad. José Luis Montoya. Omega, Barcelona, España. 497 p.

Barr y Goodnight, 2001. SAS User's Guide: Statistics Program. Cary, NC (USA): SAS Institute Inc.

Barnabé, G. Oliveira, C. Penteadó, A. Pettinelli Jr, A. Dulcinéia, E. de Lopes, C. y Azevedo, J. 2009. Adaptabilidade e estabilidade de linhagens diaplóides de trigo. Instituto Agronômico de Campinas Brasil. *Bragantia: revista de ciencias agronômicas*. 68, 1: 63-74.

Barriga, R. 1980. Caracterização de cultivares de mandioca (*Manihot esculenta* Crantz) com relação a produção e estabilidade. Master's Thesis, Universidade de São Paulo, Piracicaba. 180 p.

Barriga, P. y Philan, S. 1980. Análisis fotosintéticas en su contribución en el rendimiento en trigo de primavera. *Agrosur* 8:66-73

Benavides, C. y Paredes, R. 2001. Evaluación de líneas promisorias de trigo (*Triticum aestivum* L) en la zona cerealista de Nariño. Tesis de grado (I. Agrónomo). Universidad de Nariño. Facultad de Ciencias Agrícolas. Pasto-Colombia. 76p.

Becker, H. 1981. Correlations among some statistical measures of phenotypic stability. *Euphytica*, 30: 835-840.

Bénétrix, F. y Autran, J. 2001. Protein synthesis in grains and seeds. En: Nitrogen Assimilation by Plants. Physiological, Biochemical and Molecular Aspects, J.F. Morot-Gaudry. (Ed). Science Publishers Inc. Enfield, NH. p 343-360.

Bolaños, A. 2004. Importancia del trigo en Nariño y aporte institucional en su desarrollo. FENALCE departamento de Nariño. San Juan de Pasto. 5p

Bolaños, A. y Britto, R. 1991. Heredabilidad del índice de cosecha en trigo (*Triticum aestivum* L) y su relación con tres componentes de rendimiento. *Agronomía Colombiana* 8(2): 268-279.

Briito, R. 1993. Algunos parámetros de estabilidad fenotípica en la evaluación por calidad en trigo panadero. *Revista ICA*. 28: 117-127.

Cáceres, M. 2010. Adaptación y rendimiento de tres líneas seleccionadas (CIMMYT- México) de trigo harinero (*Triticum aestivum* L.), con siembras escalonadas en la E.E.A El Mantaro. Tesis de Pregrado. Universidad Nacional del Centro del Perú. p 64.

Calderini, D. Savin, R. Abeledo, R. Reynolds, M. y Slafer, G. 2001. The importance of the period immediately preceding anthesis for grain weight determination in wheat. *Euphytica* 119: 199-204.

Calzada, J. 1981. Métodos Estadísticos para la Investigación. Universidad Nacional Agraria La Molina. Cuarta Edición. Lima.

Campuzano, L. 1999. Número de genes involucrados con el desarrollo lento de la roya de la hoja (*Puccinia recóndita* f.sp. *tritici*) en trigo. En Revista Corpoica, Colombia. 3 (1): 25-30

Chaves, L. 2001. Interacão de genotipos com ambientes. En Recursos genéticos e melhoramento plantas. Ed. Lourenço, *et al.* Fundação MT. p. 673-713.

Chloupek, O. y Hrstkova, P. 2005. Adaptación of crops to environment. Theoretical and Applied Genetic 111 (7): 1316- 1321

CIMMYT, 1989. La planta de trigo; Diagnóstico de factores que limitan la productividad del trigo. Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo. Programa de Capacitación en Producción/Agronomía de Trigo. México, D.F. p 90.
CIMMYT, 1989b. Reseña de investigación. Informe Anual. Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo, México D.F. 78 p.

CIMMYT, 2007. Los agricultores recuperan su rendimiento y mucho más. CIMMYT E-Boletín. 4 (3). Consultado en: < <http://intranet.cimmyt.org/es/boletin/63-2007/200-farmers-get-their-yield-back-and-more> >.

CORPOICA, 1999. Informe anual del programa de cereales menores. C.I. Obonuco, Pasto, Colombia. 152 p.

Crossa, J. Wesscott, B. y Gonzales, C. 1988. Analysing yield stability of maize genotypes using a spatial model. Theoretical and Applied Genetics, 75: 863-868.
CROSSA J., *et al.* 1990. Additive main effects and multiplicative interaction análisis of two international maize cultivar trials. Crop Sci. 30: 493-500.

Crossa J., P. N. Fox, W. H. Pfeiffer, S. Rajaram y H. G. Gauch, JR. 1991. AMMI adjustment for statistical analysis of an international wheat yield trial. Theor. Appl Genet 81:27-37.

Cruz, C. y Carneiro, P. 2003 Modelos biometricos aplicados al mejoramiento genetico viciosa UFV. v.2 , 585 p

Cubero, J.I.; F. Flores. 1994. Métodos estadísticos. Para el estudio de la estabilidad varietal en ensayos agrícolas. Junta de Andalucía, Consejería de Agricultura y Pesca. Sevilla, España. 176 p.

Domitruk, D. Duggan, B. y Fowler, D. 2000. Genotype–environment interaction of no-till winter Wheat in Western Canada. Crop Development Centre, University of Saskatchewan, Canada. Canadian Journal of Plant Science. Downloaded from pubs.aic.ca. p. 7-16.

Duarte, J y Oliveira, M. 1992. Comparison of three methods used for the study of adaptation and phenotypic stability in the common bean (*Phaseolus vulgaris* L.). Rev. Brasil. Genet. 15, 1: 125-136.

DuPont, F. Hurkman, W. Vensel, W. Chan, R. Lopez, R. Tanaka, C. y Altenbach, S. 2006. Differential accumulation of sulphur-rich and sulphur-poor wheat flour proteins is affected by temperature and mineral nutrition during grain development. J. Cereal Sci. 44: 101-112.

Eberhart, S. 1970. Factors effecting efficiencies of breeding methods. African Soils, 15: 655-667.

Eberhart, S. y Russell, W. 1966. Stability parameters for comparing varieties. Crop Sciences. 6: 36-40 p.

Evans, L. Wardlaw, I. y Fischer, R. 1983. Fisiología de los cultivos. Capítulo 5. Editorial Hemisferio Sur, S.A.; Edición de 1983. p. 113-164.

FAO 2010. Organización de las naciones unidas para la alimentación y la agricultura, página de internet consultada en noviembre del 2.010. URL: <<http://faostat.fao.org/default.aspx>>.

FAO, 2012. Organización de las naciones unidas para la alimentación y la agricultura, página de internet consultada en noviembre del 2.012. URL: <<http://faostat.fao.org/default.aspx>>.

FENALCE, 2010. Historia de la Investigación y aportes de FENALCE en el desarrollo del trigo en Colombia. Federación Nacional de Cultivadores de Cereales y Leguminosas. Bogotá D.C.; Colombia. El Cerealista, Mayo – Junio. p. 26 – 29. URL: <http://www.fenalce.org/arch_public/trigo93.pdf>.

FENALCE, 2012. Coyuntura cerealista y de leguminosas No 39. Federación Nacional de Cultivadores de Cereales y Leguminosas. Bogotá D.C.; Colombia. El Cerealista, agosto – diciembre. p. 46 – 49. URL: <http://www.fenalce.org/arch_public/trigo93.pdf>.

Fernández, M. 2008. La estabilidad del rendimiento de trigo candeal (*Triticum durum* Desf.) en la región de las planicies con tosca de la provincia de La Pampa. Revista Facultad Agronomía, UNL. 19, 52: 41-62.

Ferreras, R. 2009. Análisis reológico de las diferentes fracciones de harina obtenidas en la molienda del grano de trigo. Escuela Politécnica Superior de Zamora. Universidad de Salamanca, España. 180 p.

Finlay, K. y Wilkinson, G. 1963. The analysis of adaptation in a plant breeding programme. Australian Journal of Agriculture Research, 14, 6: 742-754.

Fisher R. 1985 Number of kemals in wheat crops and influence of solar radiation and temperature. Journal of applied Ecology, 12, 563 – 583

Fischer, R. 2007. Understanding the Physiological basic of yield potential in wheat. J. Agric Sci. 145: 99 – 113

Fonseca, S. y Patterson, F. 1968. Yield component heritability's and interrelationships in winter wheat (*Triticum aestivum* L.). Crop. Sci. 8: 614-617.

García del Moral, L. Rharrabti, Y. Martos, V. y Royo, C. 2007. Environmentally induced changes in amino acid composition in the grain of durum wheat grown under different water and temperature regimes in a Mediterranean environment. J. Agric. Food Chem. 55: 8144–8151.

Gauch, H. R. Zobel. 1988. Predictive and postdictive success of statistical analysis of yield trials. *Theor. Appl. Genet.* 79: 753-761.

Gauch, H. R. Zobel. 1996. AMMI analysis of yield trials. In: M. S. Kang y H. G. Gauch (eds) *Genotype-by-environment interaction*. CRC Press, Boca Raton, pp. 85-122.

Gebbing, T. Schnyder, H. y Kuhbauch W. 1999. The utilization of pre-anthesis reserves in grain filling of wheat. Assessment by steady-state (CO₂)-C-13/(CO₂)-C-12 labelling. *Plant Cell and Envirom.* 22: 851-858.

Hacke, E. y Ramírez, I. 1982. Epifitias del polvillo o roya amarilla del trigo y la cebada observadas en Chile en la temporada 1981 / 1982. *Agricultura Técnica (Chile)*. 43 3: 273-277.

Hanson, W. 1970. Genotypic stability. *theor. appl. genet.* 40: 226-231.

Heinrich, G. Francis, M. y Eastin, J. 1983. Stability of grain sorghum yield components across diverse enviroments. *Crop Science*. 23: 209-212.

Herrera, J. 1985. Conferencias sobre trigo, cebada y avena. FACIA. Universidad Nacional de Colombia. Palmira. p. 13-16.

Hewstone, C. 2003. Rediseño de componentes de rendimiento y su interacción con el manejo. En seminario internacional estrategias y metodologías utilizadas en el mejoramiento de trigo. Ed. Kohli, *et al.* CIMMYT-INIA. E.E. La Estanzuela, Uruguay. p. 25-36.

Hobbs, P. y Sayre, K. 2001. Managing Experimental Breeding Trial. In *Application of Physiology in Wheat Breeding*. Editors Reynolds, M.; Ortiz-Monasterio, J. and McNab, A. p 53-58. URL: <<http://www.cimmyt.org>>

[http://www.Agronet.gov.co/fuentes.htm/consulta:miercoles, 30 de octubre de 2013](http://www.Agronet.gov.co/fuentes.htm/consulta:miercoles,30deoctubrede2013)
IDEAM, Instituto de hidrología, meteorología y estudios ambientales. 2012. Consolidado agroclimatico en Colombia. 105 p.

Jin, Y. Szabo, J. Fetch, T. Pretorius, Z. Wanyera, R. y Njau, P. 2009. Detection of Virulence to Resistance Gene *Sr36* Within the TTKS Race Lineage of *Puccinia graminis* f.sp. *Tritici*. Plant Disease. 93, 4: 367-370.

Leyva, S. 2003. Efecto de la roya de la hoja (*Puccinia triticina* Ericks.) sobre el rendimiento de trigo (*Triticum aestivum* L.) de temporal. Revista Mexicana de Fitopatología, 21 (1): 40-45

León, H. y Becker, C. 1988. Repeatability of Some Statistical Measures of Phenotypic Stability - Correlations between Single Year Results and Multi Years Results. Plant Breeding. 100, 2: 137-142.

Lin, C. Binns, M. Levkovitch, L. 1986. Stability analysis: Where do we stand. Crop Science. 26, 5: 894-900.

López-Bellido, L. Fuentes, M. Castillo, J. y López-Garrido, F. 1998. Effects of tillage, crop rotation and nitrogen fertilization on wheat-grain quality grown under rainfed Mediterranean conditions. Field Crops Res. 57: 265-276.

Mac Key, J. 2005. Wheat: Its concept, evolution, and taxonomy. En: Durum Wheat Breeding: Current Approaches and Future Strategies, C. Royo, M.M. Nachit, N. DiFonzo, J.L. Araus, W.H. Pfeiffer, G.A. Slafer (eds.), vol. 1, The Haworth Press, Inc. New York. p 3-61.

McIntosh, R. 2009. History and status of the wheat rusts. University of Sydney Plant Breeding Institute Cobbitty. Borlaug Global Rust Initiative. Technical Workshop BGRI, p. 1-16.

Monyo, E. Mgonja, M. Chandra, S. y Chinhema, E. 2003. Relative stability of selected pearl millet varieties from southern Africa. African Crop Science Conference Proceedings. 6: 90-92.

Nachit, M.N.; Nachit, G.; Ketata, H.; Gauch Junior, H.G.; Zobel, R.W. 1992. Use of AMMI and regression models to analyse genotype-environment interaction in durum wheat. Theoretical and Applied Genetics, v.83, p.597-601,

Olán de, M. Espitia, E. Molina, J. y Villaseñor, H. 2010. Estabilidad a través de ambientes de las propiedades reológicas de trigos harineros en función de sus gluteninas de alto peso molecular. *Revista Fitotecnia Mexicana*. 33, 2: 125–131.

Ortiz, R. 2009. Programa de investigación en calidad de trigo en el instituto de ciencias agrícolas. Sagarpa, México, 5 p.

Osorio, G. 2000. Glosario de estadística y diseños experimentales. Facultad de Agronomía. UNCP. Huancayo.

Paccapelo, H. Funaro, T. Mac Cormick, D. y Melis, O. 2004. Rendimiento de grano y sus componentes en cereales sintéticos (tricepiros y triticales). *Rev. Fac. Agronomía – UNL. Pam.* 15(1/2): 8 p.

Parodi, P. y Romero, M. 1991. Producción de trigo primaveral en el Perú. Organización de la Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación, FAO. Proyecto TCP/PER/0051. Lima. 9-64.

Perez, H. 2010. Historia del trigo en Colombia y la crisis con el TLC. *Rev. El Cerealista FENALCE*. Bogotá, Colombia. 18 (5): 7 p.

Reilly, M. 1990. Nitrate assimilation and grain yield. En: *Nitrogen in higher plants*. Y.P. Abrol (ed.). Wiley & Sons, Gran Bretaña. p 335-366.

Rharrabti, Y. Villegas, D. García del Moral, L. Aparicio, N. Elhani, S. y Royo, C. 2001. Environmental and genetic determination of protein content and grain yield in durum wheat under Mediterranean conditions. *Plant Breed.* 120: 381-388.

Rodríguez, M. Huerta, J. Villaseñor, H. y Solís, E. 2009. Virulencia de la roya amarilla del trigo en las principales zonas productoras de riego en México. *Agricultura Técnica en México*. 35, 2: 179-187.

Rodríguez, J. Sahagún, J. Villaseñor, H. Molina, J. y Martínez, A. 2005. La Interacción Genotipo x Ambiente en la caracterización de áreas temporales de producción de trigo. *Agrociencia*. 39, 1: 51-64.

Rodriguez, J. Sahagún, J. Villaseñor, H. Molina J. Martinez, A. 2002. Estabilidad de siete variedades comerciales de trigo (*Triticum aestivum* L.) de temporal. Mexico. Vol. 25. Fitotecnia. 143-151.

Rodríguez, R. Ponce, J. Rueda, E. Avendaño, L. Paz, J. Santillano, J. y Cruz, M. 2011. Interacción genotipo - ambiente para la estabilidad de rendimiento en trigo en la región de Mexicali, B.C., México. Tropical and Subtropical Agroecosystems, 14: 543- 558.

Roelfs, A. Singh, R. y Saari, E. 1992. Las royas del trigo: Conceptos y métodos para el manejo de esas enfermedades. Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo, México, D.F., CIMMYT. 81 p.

Romagosa I., P. N. Fox.1993. Genotype x environment interaction and adaptation. Plant Breeding: Principles and Prospects. Ed. M. D. Hayward, N.D. HBoemark. I. Romagosa. Chapman y Hall. Espana.

Rossi, D. Gimballi y Komorovki, M.1986. Ectos directos e indirectos de los componentes de rendimiento en trigo. I congreso nacional de trigo. 1: 313-221. Pergamino, 6-10 octubre

Rueda, J. y Cortés, J. 2009. Evaluación de dos métodos de estabilidad fenotípica a través de validación cruzada. Revista Facultad Nacional de Agronomía. Medellín, Colombia. 62, 2: 5111-5123.

Ryan, G. 1979. Una aplicación citogenética al mejoramiento del trigo. INTA, colección científica tomo XVI, buenos Aires, Argentina. Sp.

Sánchez, J. 2008. Análisis ecofisiológico y molecular del impacto de la mejora genética del trigo duro en ambiente mediterráneo sobre la formación del rendimiento y la acumulación de aminoácidos y proteínas. Tesis Doctoral. Universidad de Granada. p 255.

Shahidullah, S. Hanafi, M. Ashrafuzzaman, M. y Salam, M. 2009. of aromatic rices in diverse environments. CR. Biologies 332 (10) : 909- 916

Sibony, M. y Pinthus, M. 1988. Floret initiation and development in spring wheat (*Triticum aestivum* L.). Ann. Bot. 61: 473-479.

Singh, R. y Rajaram, S. 1997. Breeding for disease resistance in wheat. FAO Corporate Document Repository. Agriculture and Consumer Protection. 20 p.

Singh, R. Huerta, J. y William, M. 2001. Resistencia durable a roya de la hoja y roya amarilla del trigo: genética y mejoramiento en el CIMMYT. Estrategias y metodologías utilizadas en el mejoramiento de trigo. Editores Man Mohan Kohli, Martha Díaz de Ackermann, Marina Castro. INIA La Estanzuela, Uruguay. p. 108-118.

Slafer, G. Calderini, D. y Miralles, D. 1996. Generation of yield components and compensation in wheat. opportunities for further increasing yield potential. En: Increasing yield potential in wheat: Breaking the barriers, M.P. Reynolds, S. Rajaram, S., A. McNab (eds.). CIMMYT, México, 101-133.

Snedecor, G. y Cochran, W. 1980. Statistical methods. 7a edition Iowa, State University Press. Ames, I.A.

Solís, E. y Diaz, J. 2001. Efecto de los factores controlables de la producción sobre el rendimiento del grano de trigo duro. Terra latinoamericana 19(4):375-383
Solís, E. Hernández, M. Borodanenko, A. Aguilar, J. y Grajeda, Ò. 2004. Duración de la etapa reproductiva y el rendimiento de trigo. Revista Fitotecnia Mexicana, 27 (4): 323-332.

Spiertz, J. Hamer, R. Xu, H. Primo-Martin, C. Don, C. y Van der Putten, P. 2006. Heat stress in wheat (*Triticum aestivum* L.): Effects on grain growth and quality traits. Eur. J. Agron. 25: 89-95.

Sprague y Eberhart, 1977. Corn breeding. Corn and corn improvement (ed. Sprague, G.F.) Madison (WI, USA): American Society Agronomy Inc. Publ. p. 305-362.

Trocconi, A. Borrelli, G. De Vita, P. Fares, C. y Di Fonzo, N. 2000. Durum wheat quality: A multidisciplinary concept. J. Cereal Sci. 32: 99-113.

Vásquez, G. y Calderón, P. 2009. Cultivo de trigo y cebada en la sierra peruana. Instituto Nacional de Investigación y Promoción Agropecuaria (INIPA), Sector Agrario. Boletín Técnico. Lima. 5-20.

Villaseñor, Ó. Huerta, J. Leyva, S. Villaseñor, H. Singh, R. Sandoval, J. y Espitia, E. 1985. Genética de la resistencia a roya amarilla en plantas adultas de trigo harinero. En Revista Fitotecnia Mexicana. 32 (3): 217-223.

Wang, H. McCaig, T. DePauw, R. Clarke, F. y Clarke, J. 2011. Physiological characteristics of recent Canada Western Red Spring wheat cultivars: Yield components and dry matter production. Canadian Journal of Plant Science. Downloaded from pubs.aic. p. 299-306.

Wricke, G. 1962. Cinc mehtodo Zer Ertussog der Okojogischen Streobrelte in Felder. Versochen Z. Oflanzenzucht. 47: 92-96.

Yan, W. y Kang, M. 2003. GGE biplot analysis: a graphical tool for breeders, geneticists and agronomists. Printed in EEUU. CRC press. p. 1-19.

Yang, J. Zhang, J. Wang, Z. y Zhu, Q. 2001. Water deficit-induced senescence and its relationship to the remobilization of pre-stored carbon in wheat during grain filling. Agron. J. 93: 196-206.

Yates, F., Cochram, W.C. 1938. The analysis of groups of experiments. Journal of Agricultural science. v. 28: 556-580.

Zepeda, B. Carballo, C. y Hernandez, A. 2009 Interacción genotipo por ambiente en la estructura y calidad del grano de trigo blando . Agrociencia . 43 (7): 124-128
Zobel, R. Madison, J. y Gauch Jr, H. 1988. Statistical analysis of a yield trial. Agronomy Journal. 80: 388-393.

Zobel, R. W., J. W. Madison y H. G. Gauch, JR. 1996. Statistical analysis of a yield trial. Agronomy j. 80: 388-393.

ANEXOS

Anexo A. Características agronómicas de los genotipos experimentales y testigos comerciales evaluados en ocho Pruebas de Evaluación Agronómica (PEA), en Nariño y el Altiplano Cundiboyasense 2012.

Características	L11	L29	L2	L6	L7	L13	TENZA	L15	L24	PROMESA
Habito de crecimiento	primario	primario	primario	primario	primario	primario	primario	primario	primario	primario
Número de hojas por tallo	5	5	5	4	5	5	4	5	5	4
Color de la hoja	verde	verde	verde	verde	verde	verde	verde	verde	verde	verde
Pubescencia de hoja	ausente	ausente	ausente	escasa	escasa	ausente	escasa	ligera	ausente	ausente
Reacción a desgrane	suceptible	suceptible	tolerante	tolerante	tolerante	tolerante	suceptible	mod suceptible	tolerante	tolerante
Reaccion a volcamiento (%)	tolerante	tolerante	tolerante	lig. suceptible	tolerante	susceptible	susceptible	susceptible	tolerante	tolerante
Longitud hoja bandera (cm)	26	25.3	24.7	26.2	27	24,5	27.6	27	27.3	27
Ancho hoja bandera (cm)	2	2.3	2.2	20	2,4	1,9	2,0	2,3	2,0	1.7
Vigor (1-9)	7	7	7	7	8	7	5	7	8	7
Vaneamiento (%)	5,3	4,2	4,8	5,3	3,9	4,6	6,3	4,6	5,2	6.6
Longitud de espiga	9	9.5	9,8	10,2	10,9	10,3	9,2	11.6	12	7,2
Forma de espiga	fusiforme laxa	fusiforme laxa	fusiforme laxa	fusiforme laxa	fusiforme laxa	laxa	fusiforme laxa	fusiforme laxa	fusiforme laxa	fusiforme laxa
Color del tallo	verde azulado	verde azulado	verde	verde	Verde	verde azulado	verde azulado	verde	verde	verde
Presencia de raspa	ausencia	ausencia	presencia	presencia	presencia	presencia	presencia	ausencia	ausencia	presencia