



UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA

**EVALUACIÓN DE LA INTERACCION GENOTIPO POR AMBIENTE PARA
VARIEDADES TRANSGENICAS DE ALGODÓN *Gossypium hirsutum* L.**

Julián Roberto Mejía Salazar

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA
POSGRADOS FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS
PALMIRA
2014**

**EVALUACIÓN DE LA INTERACCION GENOTIPO POR AMBIENTE PARA
VARIEDADES TRANSGENICAS DE ALGODÓN *Gossypium hirsutum* L.**

Julián Roberto Mejía Salazar

Tesis presentada como requisito parcial para optar al título de:
Magister en Ciencias Agrarias énfasis Fitomejoramiento

Director:

Franco Alirio Vallejo Cabrera I.A. PhD.

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA
POSGRADOS FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS
PALMIRA
2014**

Dedicatoria

Dedico este logro tan especial:

A Dios por ser mi guía y principal artífice de conocimientos

A mis Padres por su apoyo incondicional y por sembrar en mí la semilla de la perseverancia

A María Camila que es el nuevo motor de mi Vida

Agradecimientos

A la Universidad Nacional De Colombia y al Doctor Franco Alirio Vallejo mi director de Tesis por su Gran conocimiento y entrega incondicional de este

Al Doctor Cesar Ruiz Gómez y a SEMILAS VALLE por la oportunidad y confianza depositada en mi y por su ayuda para que este proyecto se llevara a cabo.

Resumen

En el presente estudio se evaluaron nueve materiales de algodón transgénico en diez localidades. Las variables de interés fueron rendimiento (R) y calidad de la fibra: porcentaje de fibra (F%), finura (F), uniformidad (U), resistencia (RS) y longitud (LF). Se utilizaron los modelos AMMI y regresión por sitio SREG, para determinar la interacción genotipo por ambiente (IGA). Los resultados mostraron una respuesta diferencial entre las localidades con diferencias altamente significativas ($p < 0.01$). Para la fuente de variación genotipos se observaron diferencias significativas ($p < 0.05$) para todas las variables con excepción de (%F) y (U) las cuales no presentaron diferencias significativas. No se presentó interacción genotipo por ambiente para (%F) y (LF). Para la variable rendimiento (R) se destacaron las siguientes variedades de algodón transgénico: FM 1740B2F (4,9 ton/ha de algodón semilla), seguida por FM 2484B2F y FM 9162B2F con 4,6 ton/ha cada una. La variedad ST 5288B2F presentó estabilidad para el (R) en todas las localidades evaluadas. La zona agroecológica del Valle del Cauca, presentó el mejor potencial ambiental para estas variedades. Los resultados de AMMI fueron correspondientes con los resultados SREG y permitieron identificar agrupamientos ambientales similares que facilitaron la diferenciación de materiales adaptados para rendimiento y calidad fibra.

Palabras clave: *Ambientes, AMMI, calidad de fibra, interacción, SREG, Variedades transgénicas.*

Abstract

In this study nine materials of GM cotton in ten locations were evaluated. The variables of interest were (Y) yield and fiber quality: percentage of fiber (%F), fine (F), uniformity (U), resistance (RS) and length (LF). AMMI models and regression were used by SREG site, to determine the interaction genotype by environment (IGE). The results showed a differential response between the towns with highly significant differences ($p < 0.01$). To the source of variation genotypes, significant differences were observed ($p < 0.05$) for all the variable with the exception of (%F) and (L) which did not show significant differences. Not presented interaction genotype by environment (%F) and (RS). For the variable yield (R) highlighted the following varieties of genetically modified cotton: FM 1740B2F (4.9 ton/has cotton seed), followed by 2484B2F FM and 9162B2F FM with 4.6 ton/has, each one. The ST 5288B2F variety had stability for the (R) in all areas assessed. The agro-ecological zone of the Valle del Cauca, presented the best environmental potential for these varieties. The results of AMMI were corresponding with the SREG results and identified similar environmental groupings that facilitated the differentiation of materials adapted for yield and fiber quality.

Keywords: *AMMI, environments, fiber quality, interaction, SREG, transgenic varieties.*

Tabla de Contenido

	Pág.
1. Introducción.....	11
1.2 Hipótesis	14
1.3 Objetivo	14
1.3.1 Objetivos específicos	14
2. Marco Teórico	15
2.1 Importancia del cultivo del algodón	15
2.2 Estudios de la Interacción Genotipo por Ambiente en Algodón	18
2.3 Importancia del Algodón transgénico.....	22
2.4 Análisis multivariado AMMI y Modelo SREG	25
2.5 Factores ambientales que afectan el cultivo de algodón.....	28
3. Materiales y Métodos	31
3.1 Localización.....	31
3.2 Variedades transgénicas	36
3.4 Caracteres evaluados.....	39
3.5 Análisis estadístico	40
• Modelo AMMI	41
• Modelo Regresión por sitio SREG.....	41
4. Resultados y Discusión	43
4.1 Análisis de varianza para los caracteres evaluados.....	43
4.2 Componentes Principales ACP -AMMI y SREG.....	46
4.3 Comportamiento de las variables: Evaluación modelo AMMI	47
4.3.1 Rendimiento (R)	47
4.3.2 Porcentaje de Fibra (F %).....	51
4.3.3 Finura de la Fibra (F).....	54
4.3.4 Longitud de la fibra (LF)	57
4.3.5 Resistencia de la fibra (RF)	60
4.3.6 Uniformidad de la fibra (UF)	63
4.4 Análisis del modelo de regresión SREG.....	65
4.4.1 Rendimiento (R)	65
4.4.2 Porcentaje de fibra (F%).....	67
4.4.3 Finura (F)	68

4.4.4 Longitud de la fibra (LF)	69
4.4.5 Resistencia (RF).....	70
4.4.6 Uniformidad de la Fibra (UF)	71
4.5 Discusión de resultados: AMMI y SREG.....	73
4.5.1 Análisis del rendimiento.....	73
4.5.2 Análisis del porcentaje de fibra (F%)	75
4.5.3 Variables relacionadas con la calidad de la fibra	75
5. Conclusiones.....	79
6. Bibliografía	81

Lista de figuras

	Pág.
Figura 1. Principales países productores de algodón en el mundo. FAO, 2013.....	16
Figura 2. Evolución de la oferta y demanda de algodón Fibra en Colombia. Fuente:	17
Figura 3. Municipios evaluados la zona del Valle geográfico del río Magdalena.....	34
Figura 4. Municipios evaluados en Valle geográfico del río Cauca.	35
Figura 5. Biplot para la descomposición de la interacción en la variable Rendimiento...	49
Figura 6. Biplot para la descomposición de la interacción en la variable fibra.....	53
Figura 7. Biplot para la descomposición de la interacción en la variable finura.....	56
Figura 8. Biplot para la descomposición de la interacción en la variable longitud.	59
Figura 9. Biplot para la descomposición de la interacción en la Uniformidad	64
Figura 10. Biplot para el modelo SREG en la variable rendimiento.....	66
Figura 11. Biplot para el modelo SREG en la variable fibra.	67
Figura 12. Biplot para el modelo SREG en la variable finura.	68
Figura 13. Biplot para el modelo SREG en la variable longitud.....	70
Figura 14. Biplot para el modelo SREG en la variable resistencia.	71
Figura 15. Biplot para el modelo SREG en la variable uniformidad.....	72

Lista de tablas

	Pág.
Tabla 1. Características climáticas y edafológicas de las localidades del Valle Geográfico del Rio Magdalena, 2012-A.	32
Tabla 2. Características climáticas y edafológicas de las localidades del Valle Geográfico del Rio Cauca, 2012-A.	33
Tabla 3. Variedades transgénicas de algodón evaluadas en el estudio.	36
Tabla 4. Tecnología para control de malezas.	37
Tabla 5. Tecnología para control de plagas.	38
Tabla 6. Control de Enfermedades (Ramularia, Mirotocio, Antracnosis entre otras)	38
Tabla 7. Análisis de varianza y proporción de la variación (G+A+GA), explicada por genotipo (G), ambiente (A) y la interacción (GA) para varios caracteres.	44
Tabla 8. Resultados del análisis de componentes principales del modelo AMMI. Se observan los factores que cubren valores de variación $\geq 80\%$ para todas las variables. .	46
Tabla 9. Resultados del análisis de componentes principales del modelo SREG Se observan los factores que cubren valores de variación $\geq 80\%$ para todas las variables. .	46
Tabla 10. Resultados del Modelo AMMI para la variable Rendimiento (%) en todas las localidades.	48
Tabla 11. Resultados del Modelo AMMI para la variable fibra (%) en todas las localidades.	52
Tabla 12. Escala de medición para finura de fibra de algodón (Hilos/in ²).	54
Tabla 13. Resultados del Modelo AMMI para la variable Finura en todas las localidades.	55
Tabla 14. Tabla guía para el análisis del carácter longitud de la fibra del algodón (Conalgodón, 2010).	57
Tabla 15. Resultados del Modelo AMMI para la variable Longitud todas las localidades.	58
Tabla 16. Resultados del Modelo AMMI para la variable Resistencia todas las localidades.	60
Tabla 17. Parámetros para la resistencia de la fibra (RS) de algodón (Diagonal, 2013).	61
Tabla 18. Resultados del Modelo AMMI para la variable Uniformidad en todas las localidades.	63

1. Introducción

El algodón (*Gossypium hirsutum* L.) es un cultivo de importancia económica y comercial que representa aproximadamente el 3% del área total cultivada en el mundo. El rendimiento, en una tonelada de algodón semilla, es aproximadamente del 37% en fibra y del 57% de semilla (Conalgodón, 2013). En Colombia para el año 2011, se sembraron alrededor de 48.888 hectáreas, distribuidas en diez departamentos. Su producción es bianual y comprende la región de la Costa Caribe con el 78% de su participación, durante el primer semestre del año, mientras, en el segundo semestre, la región interior compuesta por los departamentos de Tolima (11.090 Has), Huila (2.154 Has), Valle (748 Has) y Cundinamarca (371 Has), participan con el 22% restante de la producción (Minagricultura, 2012)¹.

Las variedades colombianas de algodón, se caracterizan por producir fibra larga, de alta resistencia y homogeneidad. La demanda, en promedio, ha permanecido relativamente constante con 80 mil t/año durante los últimos cincuenta años (Agronet, 2012). El cultivo en general, presenta altos costos de producción, ocasionado en gran parte por el control de plagas y algunas limitantes tecnológicas que disminuyen el rendimiento. Por otro lado, la degradación de los suelos, la carencia en investigación y la respuesta diferencial de las variedades a las condiciones ambientales de las zonas de

¹ <http://algodon.minagricultura.gov.co/>

interés, ha puesto en desventaja la producción de algodón colombiano (Agronet, 2012).

A través del fitomejoramiento se ha reducido el impacto ambiental y se han seleccionado materiales adaptados a las zonas de interés. No obstante, la biotecnología agrícola, también ha sido la herramienta de mayor utilidad, con la producción de variedades de algodón transgénico (Monciardini, 2005).¹⁵ Colombia se han liberado comercialmente diferentes variedades transgénicas de algodón con resistencia a insectos lepidópteros, debido a la expresión de genes *cry* derivado de *Bt* con tolerancia al herbicida glifosato resultado de la expresión del gene *cp4 epsps* derivado de *A. tumefaciens* y con los dos genes anteriores (Chaparro, 2011).

Debido a la presencia de la interacción genotipo por ambiente (IGA), es necesario, medir el grado de adaptabilidad de las nuevas variedades transgénicas a través de diferentes ambientes (Vertel *et. al.*, 1999). Los estudios de la IGA, han utilizado metodologías basadas en modelos de análisis de varianza, modelos de regresión sobre medias ambientales, propuestos por algunos autores como Yates & Cochran (1938), Finlay y Wilkinson, (1963); y Eberhart y Russel (1966).

En los últimos años las metodologías más utilizadas se han basado en el modelo de efectos principales aditivos e interacción multiplicativa (AMMI) propuesto por Gauch y Zobel (1996), el cual combina las técnicas de análisis de varianza y análisis de componentes principales con el fin de explicar la interacción asociado al análisis bifactorial.

El modelo AMMI ha mostrado ser efectivo en el análisis de ensayos multi regionales, debido a que su estructura permite capturar una gran cantidad de la suma de cuadrados que genera la interacción. Su aplicación ha revelado en diversos estudios no sólo en producción como variable principal, si no también,

relaciones morfológicas y fenológicas que afectan la interacción de los genotipos con el ambiente (Lozano *et. al.*, 2009).

El uso del de regresión por sitio (SREG), por su parte, establece una relación de ambientes similares, los mejores genotipos adaptados para esos ambientes, la estabilidad que presentan y la diferenciación de mega ambientes (Crossa *et al.*, 2002). Mediante la representación grafica es posible determinar el efecto principal de la IGA y cada genotipo evaluado, por lo tanto se utiliza cuando los ambientes contribuyen de manera significativa a la variación en relación con las contribuciones de los genotipos y la interacción IGA con respecto a la variabilidad total (Balzarini *et al.*, 2005).

El presente trabajo se desarrolló con el objetivo de estimar la adaptabilidad de nueve genotipos de algodón transgénico en localidades del Valle geográfico del Rio Cauca y el Valle geográfico del Rio Magdalena mediante la comparación de los modelos AMMI y SREG en un estudio multi ambiental en la etapa previa de liberación del cultivares.

1.2 Hipótesis

Las variedades transgénicas de algodón presentan interacción genotipo por ambiente.

1.3 Objetivo

Evaluar la interacción genotipo por ambiente de variedades de algodón transgénico en diez localidades diferentes.

1.3.1 Objetivos específicos

- Determinar el potencial ambiental de cada una de las localidades evaluadas, a través del análisis AMMI y SREG.
- Evaluar el comportamiento individual de cada una de las variedades transgénicas en las diferentes localidades.

2. Marco Teórico

2.1 Importancia del cultivo del algodón

El algodón es una planta es originaria Centro América. *Gossypium hirsutum* L., es la especie comercial, y corresponde a plantas anuales, de crecimiento determinado que que producen algodón semilla en menores tiempos de cosecha (Cadena, 2000).

El algodón es la especie más importante para la producción de fibra en todo el mundo, utilizada en la fabricación de tejidos, textiles y confesiones. Además de la fibra, la pos-cosecha de algodón genera como subproducto, la semilla, de alto contenido de aceite comestible y la torta de semilla, la cual se utiliza para en la fabricación de alimentos concentrados para animales y algunos usos alimenticios en el procesamiento de alimentos (García, 2010).

El algodón se cultiva en más de cien países del mundo, sin embargo, sólo en un pequeño grupo se concentra la mayor porción de la producción mundial. Los principales países productores de algodón semilla son: China, India y Estados Unidos. En la figura 1 se observa la producción en millones de tonelada hasta el año 2013. (Faostat, 2013; ICAC, 2012).

Las variedades tradicionales en algunos países se han desplazado debido a la utilización de semillas modificadas genéticamente, y a la Implementación de sistemas más eficientes para la gestión integrada de plagas y enfermedades (Rodríguez, 2000). En los países desarrollados, la mecanización de la agricultura para la sustitución de la mano de obra y la implementación de modelos de buenas prácticas agrícolas han superado las limitantes del cultivo y mejorado su producción.

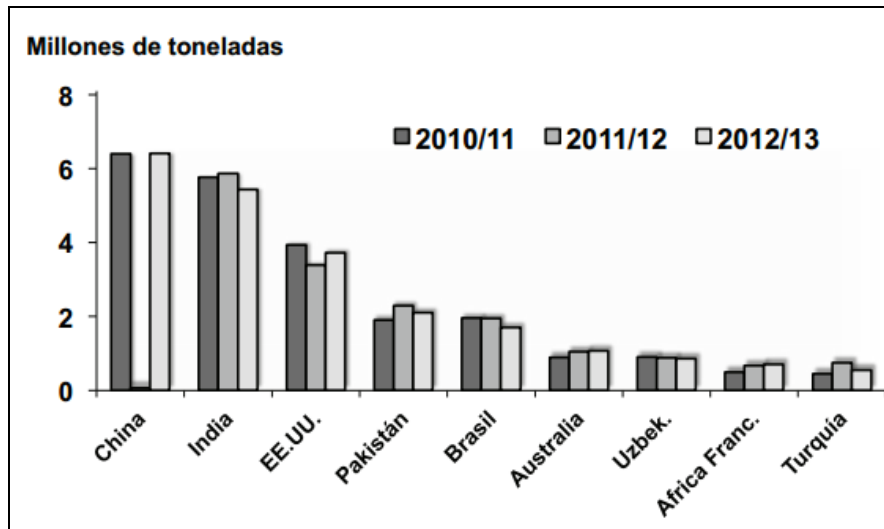


Figura 1. Principales países productores de algodón en el mundo. FAO, 2013

Las exportaciones de textiles y confecciones han sido uno de los rubros donde se ha hecho más patente el éxito de la demanda de algodón, sin embargo, América Latina contribuye con el 15% de la producción total en el mundo. En Colombia el macro sector algodón, fibras, textil y confección que fue declarado de talla mundial por el Gobierno Nacional desde el año 2009, ha enfrentado grandes dificultades como resultado de la competitividad de varios países asiáticos y el cierre de mercados estratégicos como Venezuela (Conabio, 2010).

La fibra de algodón colombiana, se utiliza principalmente en la hilatura de anillas con la que se obtienen hilos finos, fuertes y suaves. En el año 2006 la industria nacional consumía alrededor de 64 mil toneladas, en el 2012 se reportó una caída del 45% en su consumo (Figura 2). A pesar de ello, Colombia ocupa el lugar No. 31 en producción de algodón entre los 64 países a nivel mundial y consume actualmente 76 mil toneladas de algodón fibra al año ubicándose en el lugar No. 23, supliendo la demanda a través de las importaciones (ICAC, 2012).

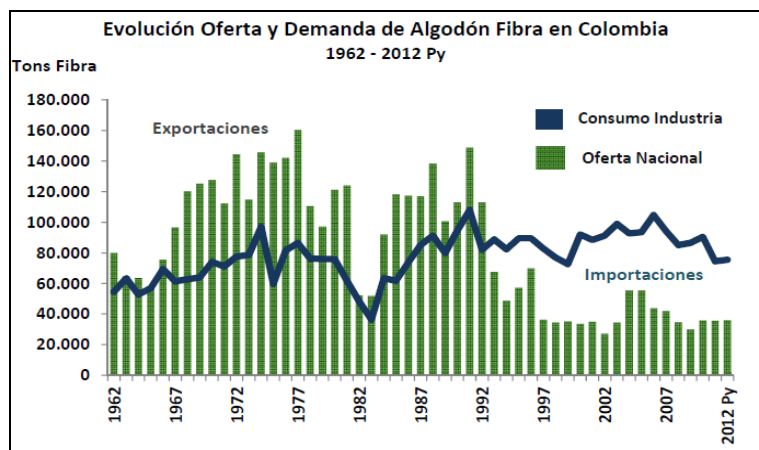


Figura 2. Evolución de la oferta y demanda de algodón Fibra en Colombia. Fuente: CONALGODON, 2012

El consumo industrial del algodón es impulsado tanto por el consumo interno, como por el comercio de los textiles. En los países desarrollados estaría disminuyendo 0,3% anual en el decenio actual, y el aumento de la demanda de textiles de algodón en estos países, es cubierta por medio de importaciones, donde Colombia participa de manera importante, ya que con lo plantea el Centro de Investigación y Desarrollo Tecnológico Textil Confecciones –, Tailandia y China, son los mercados asiáticos más atractivos ya que continúan aumentando su demanda mientras el resto del mundo la disminuye (CIDETEXCO, 2012).

En general, la situación actual del mercado de algodón no es satisfactorio para los países pequeños productores, ante la situación algunos expertos sugieren enfocarse en el mercado de confecciones, hilados y textiles, y establecer mecanismos de regulación internacional de los mercados para aumentar su competitividad.

2.2 Estudios de la Interacción Genotipo por Ambiente en Algodón

La interacción genotipo por ambiente, es frecuentemente descrita como la inconsistencia del comportamiento entre genotipos desde un ambiente a otro, demostrándose que una gran interacción genotipo por ambiente reduce el progreso genético durante la selección (Yang y Becker, 1991; Magari y Kang 1993).

En general los estudios del cultivo de algodón, han revelado un comportamiento de moderado impacto, donde los principales problemas radican en el uso de los suelos y los plaguicidas (Lievano, 2004), es por ello que la definición de las estrategias de selección dependen principalmente de esa caracterización ambiental (Crossa, 1990). Por otro lado, el mejoramiento genético del cultivo utiliza métodos que incorporen cruzamientos entre padres con diferentes potencialidades de rendimiento y contrastantes en características de calidad de fibra, debido a la correlación negativa entre estas dos características.

Las investigaciones históricas sobre la adaptabilidad y estabilidad fenotípica, en algodón, han incluido los análisis de regresión lineal (Yates y Cocheras, 1938), la combinación de rendimiento de algodón semilla y la adaptabilidad por genotipo, evaluados a través de metodologías tradicionales como la de Eberhart y Russel (1996). Los trabajos iniciales realizados por Espitia *et. al.*, (1993) en algodón, concluyeron que al combinar el comportamiento promedio del rendimiento con la estabilidad, representado en un solo índice es de gran ayuda en el momento de la liberación de cultivares.

La comparación de varios índices que estimen estabilidad permite aumentar la oferta de las herramientas estadísticas en la selección, Vertel *et. al.*, (1999) presenta una evaluación que comprara ocho índices para determinar estabilidad fenotípica, sin encontrar diferencias significativas entre sus resultados, no

obstante, logró ampliar identificar el mejor comportamiento para las características evaluadas.

El análisis de las variables como el rendimiento de fibra en algodón, está determinado por el número de cápsulas por unidad de superficie, semillas por cápsula y fibras por semilla (Worley *et. al.*, 1976), estas variables son prácticas para el fitomejorador, sin embargo, son caracteres complejos que dependen de un gran número de factores y de sus interacciones. Espitia *et. al.*, (2008) realizaron a partir de las correlaciones genéticas, fenotípicas y/o ambientales, como estudio adicional el análisis de sendero, este, en esencia, un estudio que permite evaluar si una relación entre dos variables es de causa efecto, o es determinada por la influencia de otra u otras variables.

Los modelos lineales también son de gran utilidad en el cultivo de algodón, en la etapa final de selección de cultivares, Piepho y Móhring (2006) consideraron algunos ensayos establecidos en diferentes ambientes, demostrando que la estimación de la máxima verosimilitud restringida (MVR) corresponde a la valoración de los componentes de varianza más importantes, así el conocimiento de la dimensión de la IGA, ha permitido evaluar la estabilidad de los cultivares en un rango de ambientes deseables de siembra, sus potenciales productivos y las limitaciones de éstos en cada localidad (Contreras y Krarup, 2000)

Mora *et. al.*, (2007) estudiaron el efecto del genotipo con un análisis de interacción genotipo ambiente en cultivares de algodón, y a través de este, se logró evidenciar los cambios significativos en la respuesta del cultivar en el ambiente determinado, utilizando los coeficientes de Spearman y la correlación de Pearson, permitieron determinar el grado o magnitud de tal interacción, respectivamente.

Los métodos estadísticos más utilizados en los últimos años han sido el análisis de patrones de Delacy *et. al.*, 1996 y el modelo de Gauchs y Zobel (1996) Modelo de Efectos Principales Aditivos e Interacción Multiplicativa AMMI. Este facilita el análisis debido a que incorpora componentes aditivas y multiplicativas en la tabla de dos vías, lo que permite tener en cuenta una interacción profunda de forma eficiente, los métodos estadísticos permiten tener un mejor reflejo del comportamiento de un materiales, el método de AMMI puede multiplicar la eficiencia de los experimentos hasta tres veces (Crossa, 1998).

El modelo multiplicativo (AMMI), es favorable cuando los efectos de la interacción pueden ser reemplazados por unos pocos términos multiplicativos y para describir convenientemente la interacción con un número reducido considerable de parámetros. Cruz y Hernández (1994) aplicaron el modelo AMMI y evaluaron el rendimiento de ocho líneas de algodón en nueve ambientes del norte de México, los resultados mostraron que para el primer componente principal que correspondía al 45% de la suma de cuadrados (SC) de la interacción, y los genotipos más estables correspondieron a los de ciclo tardíos, mientras los precoces con menos adaptabilidad presentaron un alto rendimiento potencial.

Gutiérrez *et al.* (1994) estudiaron mediante el método AMMI, 6 cultivares de algodón en un período de 2 años en 6 localidades. Sus resultados indicaron que los efectos de genotipo, ambiente e interacción fueron altamente significativos. El componente 1 (PCA1) del análisis de componente principal dio cuenta del 54,2% de la varianza correspondiente a la interacción IGA.

En otros cultivos se han aplicado en conjunto las metodologías de AMMI y SREG, Castillo *et. al.*, (2012), evaluó 13 variedades de trigo, los resultados fueron sometidos a análisis de regresión, análisis de efectos principales aditivos e interacción multiplicativa (AMMI) y modelo de regresión de sitios (SREG), estableciendo que el análisis SREG es el más eficiente ya que además de

analizar estabilidad, adaptabilidad y efecto IGA, permitió identificar cuál es la mejor variedad asociada a mayores rendimientos.

Rodríguez *et. al.*, (2005) lograron caracterizar áreas temporales para trigo, utilizando los dos modelos, y el análisis concluyó discriminando para rendimiento unitario por genotipo y posteriormente en análisis de la IGA mediante SREG, ya que existe una alta variabilidad asociada a los diferentes ciclos agrícolas.

2.3 Importancia del Algodón transgénico y Bioseguridad

El uso de transgénicos es una práctica que se ha extendido alrededor del mundo y específicamente para el sector agrícola representa la oportunidad de mejorar el rendimiento de los cultivos, racionalizar el uso de agroquímicos, aprovechar suelos poco fértiles (ICAC, 2001). En el mundo han aumentado de 1.7 millones de hectáreas en 1996 a más de 175 millones de hectáreas en el 2013, comprendiendo un periodo de 18 años en el que cantidad de suelos con cultivos comerciales transgénicos se ha centuplicado. Estados Unidos es el país que lidera el número de plantaciones transgénicas con 70.1 millones de hectáreas y esto representa el 40% producido en el mundo (Brévault *et. al.*, 2013).

A través del mejoramiento genético convencional, se han introducido características útiles en la plantas, por ejemplo se aumentado la productividad, se ha seleccionado por precocidad y se han evaluado híbridos con resistencia a insectos y enfermedades. Con la aplicación de la tecnología del ADN recombinante, se avanzó hacia la obtención de plantas genéticamente modificadas (GM) con características de resistencia y mejora en los caracteres de rendimiento y calidad (Larbouga *et. al.*, 2013).

El algodón está entre los primeros cultivos genéticamente modificados, se han desarrollado cultivares altamente productivos y se ha reducido el impacto ambiental disminuyendo el uso de insecticidas y herbicidas. Actualmente los cultivares transgénicos presentan mejor arquitectura de la planta, alta calidad de fibra, resistencia a insectos y de tolerancia a herbicidas o combinaciones de estas dos características en una mismo genotipo, con ello se han conseguido liberar nuevas y mejores variedades (Kumar *et. al.*, 2013).

El primer algodón transgénico con el gen *Bt* extraído de la bacteria del suelo *Bacillus thuringiensis*, fue desarrollado en el año de 1989. El algodón *Bt* se sembró inicialmente en los Estados Unidos y Australia. La tecnología transgénica ha permitido a los fitomejoradores reunir en una sola planta los genes útiles de una amplia gama de fuentes (FAO, 2011).

Para los años 2003 y 2004 se sembraron alrededor de 6.8 millones de hectáreas de algodón transgénico, lo cual representó el 21% de la superficie aldonera total del mundo, el 30% de la producción y el 34% del comercio internacional, para 2010 India, supero a Canadá, con un total de 11 millones de hectáreas de algodón transgénico con una adopción del 95% (Van L., 2013).

En Colombia, la adopción de materiales de algodón genéticamente modificado, empezó en 1996. Se calcula que ya en el año 2008 se sembraron alrededor de 15.5 millones de hectáreas en el mundo, representando un 12% del área en algodón (Conalgon, 2007).

Martínez *et. al.*, (2006) reportaron que en Colombia en el año 2003 se sembraron 700 Has. De algodón transgénico, la tecnología Cry1Ac (Monsanto) y en el año 2008 llegó a las 28 mil Has. El departamento de Tolima, el 81.2% del área aldonera se sembró algodón transgénico, reduciendo la aplicación de insecticidas en las variedades adoptadas.

Serrano, (2007) indica que los cultivos de algodón transgénico autorizados para uso comercial en Colombia es el *Algodón Bt* -Resistente a insectos lepidópteros-, *Algodón RR* -resistente al herbicida Roundup- Clavel Azul (plantas de clavel modificado genéticamente de flor azul). De igual manera está aprobado el uso de algodón y de maíz transgénico en torta para alimentación animal.

Los transgénicos fue reglamentado desde 1998, por el Instituto Colombiano Agropecuario- ICA iniciando un proceso de viabilización para la incorporación de las nuevas tecnologías en la producción agrícola. En el año 2003 se iniciaron las primeras siembras comerciales de algodón transgénico, luego de 5 años de evaluaciones de bioseguridad.

La liberación comercial de semillas transgénicas en el país presenta dos componentes: La evaluación de la tecnología de acuerdo a la ley 740 de 2002, Decreto 4525 de 2005 y resolución ICA 946 de 2006, y la evaluación agronómica de la variedad genotipo en las subregiones agroecológicas donde se desee comercializar (según la especie se producirá o importará semilla certificada o seleccionada, previa inscripción en el Registro Nacional de Cultivares del ICA, resolución 148 de 2005)².

Las variedades de algodón transgénico con diversas tecnologías, han sido sometidas a evaluaciones de bioseguridad, garantizando que el flujo de polen de algodón transgénico a otras variedades propias sea estadísticamente no significativo y que no exista un impacto de la tecnología.

Algunas evaluaciones semi-comerciales de la tecnología transgénica, se ha hecho en las zonas agro ecológicas del Caribe Húmedo, seco e interior del país, Tolima, Huila y Valle del Cauca, los resultados de estos estudios mostraron que el algodón con la tecnología conjunta *Bollgard +Roundup Ready* para los ambientes evaluados en el Alto Magdalena y Valle del Cauca, tuvieron un comportamiento similar, validan los encontrados en los estudios de bioseguridad (Orozco, 2001).

² ICA. Resolución 00046 del 17 abril de 2006. <http://www.ica.gov.co/getattachment/dab1a876-86af-4586-bcc3-4e5abf58e850/946.aspx>

Con el uso de cultivos genéticamente modificados, han surgido preocupaciones relacionadas con el cruzamiento, a través del flujo de polen (Pilson & Prendeville, 2004), y con ello, el ICA recomendó realizar evaluaciones de la tecnología adoptada en las principales zonas productoras. En cultivos como el algodón son menores los riesgos, por lo que la gran mayoría de estudios se han centrado en maíz, algunas evaluaciones realizadas por el (ICA, 2006), han encontrado que las variedades locales no correrían un riesgo significativo de ser polinizadas por otro tipo de maíces en su vecindad sean estos transgénicos o no.

2.4 Análisis multivariado AMMI y Modelo SREG

Modelo AMMI (Crossa *et al*, 1991).

El Modelo AMMI o de efectos aditivos principales e interacciones multiplicativas, fue propuesto por Mandel en 1971. Mediante este modelo se realiza un análisis de varianza, teniendo en cuenta varios factores a partir de una matriz de medias. Permite calcular los principales efectos aditivos de genotipo y ambiente, y posteriormente realiza un análisis de componentes principales (ACP) sobre los residuales del modelo aditivo, para estudiar los efectos no aditivos de la interacción genotipo por ambiente (IGA).

Los residuales que son obtenidos a partir de la matriz de medias, constituyen la matriz de interacciones, el término de la interacción multiplicativa es estimado por medio de la descomposición de un valor singular a partir de la matriz de interacción, la cual contiene los residuos del modelo aditivo. El análisis de componentes principales (ACP) se obtiene con el fin de identificar los principales componentes de la interacción, extraídos de la matriz de covarianzas, debido a que el ACP realizado de esta manera para los genotipos

y para los ambientes, permite obtener las coordenadas ambientales y genotípicas respectivamente.

El objetivo del modelo AMMI es estudiar la interacción entre los dos factores, es identificar comportamientos diferenciales de los niveles de un factor, por ejemplo: genotipo a través de los distintos niveles del ambiente. Con el análisis gráfico, el Biplot se observa el efecto de interacción entre un genotipo y un ambiente, dado por la proyección ortogonal del vector *genotipo* sobre la dirección determinada por el vector *ambiente*. Aquellos vectores de los *ambientes* que poseen la misma dirección que los vectores del *genotipo* tienen interacción positiva, y son favorables para esos genotipos; por el contrario los vectores en direcciones opuestas muestran interacción negativa, lo que corresponde a ambientes desfavorables (Gauch, 1992).

Crossa *et al.* (1999) sugiere que el modelo AMMI permite el análisis de la interacción con más de un procedimiento estadístico y disponer de estimados exactos del rendimiento, además, como técnica de análisis exploratorio, permite descubrir interrelaciones entre los datos y de acuerdo con los resultados, proponer los análisis estadísticos más apropiado, según sea el experimento, reducir la dimensionalidad de la matriz de datos y construir variables no observables (componentes) a partir de variables observables.

Modelo de Regresión de Sitios SREG (Cornelius *et al.*, 1996; Crossa y Cornelius, 1997 y 2002)

El modelo de regresión por sitio SREG, corresponde a un modelo lineal y bilineal que permiten remover el efecto de sitio, por lo tanto sólo expresan la respuesta en función de la interacción IGA. Son utilizados cuando los ambientes constituyen la fuente de variación más importante en relación a la contribución de los genotipos y la IGA sobre la variabilidad total.

El modelo SREG comparte similitudes con el Modelo AMMI, sin embargo, los términos lineales de genotipos no son considerados individualmente y se adicionan al término multiplicativo de la interacción genotipo por ambiente (IGA). En este método, lo que se busca es realizar una estandarización usando el error general de la media de cada genotipo dentro de ambientes (Cornelius y Crossa, 1997); además, permite la representación simultánea de la variabilidad de genotipos y ambientes, basada en el análisis de componentes principales (Yan *et al.*, 2000).

Con el modelo SREG, también se obtiene un análisis de componentes principales (ACP), no obstante, la matriz de interacciones difiere de la matriz utilizada en el modelo AMMI, ya que con la matriz para el modelo SREG podemos estimar los términos multiplicativos, y así generar un gráfico de dos dimensiones llamado GGE Biplot, donde se agrupan los ambientes similares y se destacan los mejores genotipos para esos ambientes. En este gráfico las componentes 1 y 2 son adimensionales y sirven para ubicar posiciones relativas entre genotipos y ambientes.

La gráfica del GGE Biplot permite:

1. Determinar el genotipo con mejor comportamiento en un ambiente específico.
2. La identificación del ambiente más apropiado para un genotipo específico.
3. La comparación de cualquier par de genotipos en un ambiente.
4. El mejor genotipo para cada ambiente y la diferenciación de mega-ambientes.

Yan *et al.* 2001, mostró que este gráfico permitía identificar además al genotipo ideal como aquel con alta puntuación en el primer eje del componente principal (CP1) que está asociada a altos rendimientos (si fuese la variable en estudio) y las puntuaciones cercanas a cero en el segundo eje del componente principal

(CP2), está relacionado con buena estabilidad del genotipo a través de los ambientes contrastantes. El mismo criterio se aplica para determinar el ambiente ideal.

El modelo SREG muestra la respuesta del genotipo a entornos específicos y es muy similar a AMMI, excepto por el hecho de que este modelo permite entornos de agrupamiento con un rendimiento similar y gráficamente la identificación que tiene el genotipo mayor potencial dentro de cada subgrupo de ambientes, es decir, los grupos de genotipos y ambientes sin cualquier interacción cruzada (Campos, 2004).

2.5 Factores ambientales que afectan el cultivo de algodón

El cultivo de algodón y su rendimiento, está afectado principalmente por factores ambientales. Las condiciones climáticas benefician o desfavorecen la expresión de las características de las variedades convencionales o variedades mejoradas genéticamente. En Colombia el rendimiento y la calidad son importantes en la economía del país, sobre todo para la industria textilera, y manufacturera.

Los factores ambientales más importantes incluyen la estimación de parámetros como la retención de humedad, la infiltración, el método de riego, que permiten establecer los estimativos de las necesidades mínimas de agua, la cantidad de luz solar/día, la humedad relativa etc. Teniendo en cuenta que los requerimientos de agua del cultivo del algodón se concentran en 15% en la fase de establecimiento; 65% en la reproductiva y 20% en la de maduración, todos estos parámetros contribuyen significativamente en la producción y la calidad de la fibra (Gómez *et.al.*, 2004).

En la fase reproductiva es determinante la influencia de la temperatura media, debido a al inicio de la etapa lineal de crecimiento y ganancia de peso que ocurre como consecuencia de la elongación del tallo y la formación del área foliar (Gutierrez, 1998), por lo tanto se espera maximizar la interceptación de irradiación para favorecer el proceso fotosintético, con el crecimiento del área foliar y asegurar una buena retención de los botones florales, las condiciones favorables pueden estar alrededor del 24°C y 25°C con una radiación de 145 cal cm⁻² día⁻¹.

El proceso de formación de la fibra se distribuye en cuatro etapas: La iniciación de la formación que puede ocurrir unos días antes de la apertura floral; la elongación (entre 15 y 27 días), alcanzando una longitud de 20 mm a los 14 días, el engrosamiento y la pérdida de humedad. A pesar de que la respuesta de este carácter está dada por la constitución genética de la variedad, el manejo integrado del cultivo y las condiciones agroecológicas de la zona enmarcar las particularidades finales.

Por lo anterior, la calidad de fibra presenta condiciones de ambientales, son altamente influyentes sobre la uniformidad, la longitud y la finura. Cuando las capsulas soportan lluvias excesivas (mayores al 50 mm), está es sujeta a roturas durante el procesado. La radiación y brillo solar (BS), está asociado a los climas secos, la exposición del los frutos por periodos largos de sol fuerte, reducen la resistencia de la fibra, no obstante, la humedad relativa también influye, mejorando la respuesta de un ambiente a otro (Montenegro *et. al.*, 2008).

La finura por ejemplo, es la variable asociada con el grado de engrosamiento y la calidad de las capas de celulosa depositadas en la fibra, el Centro de Investigación de Desarrollo Textil (INTI), señala que esta variable puede ser influenciada durante el periodo de crecimiento, debido principalmente a condiciones ambientales tales como humedad, temperatura, luz solar,

nutrientes de la planta y extremos en poblaciones de plantas o capullos de algodón. La finura de la fibra, tiene importancia ya que afecta el comportamiento del proceso y la calidad del producto final elaborado del Algodón. Los hilados confeccionados con fibras más finas, resultan en mayores cantidades de fibras por sección transversal, lo que a su vez produce mayor resistencia, retención y observancia de la tinta, estos parámetros de calidad varían con la madurez de la fibras proporcionalmente.

El uso de refugios con el uso de tecnología transgénica, también es necesario, a que regularmente para los refugios se siembran variedades convencionales o solamente con tecnologías de resistencia a herbicidas ya sea Glifosato o Glifosinato de amonio. Esto solamente para evitar la resistencia de la plaga objetivo, permitiendo el cruzamiento entre plaga resistente y susceptible. Para la entrega de la semilla transgénica el agricultor debe estar inscrito en una desmotadora conocida además de adjuntar la targeta profesional del Ingeniero agrónomo y llevar también la semilla para sembrar el refugio.

3. Materiales y Métodos

3.1 Localización

Las variedades transgénicas de algodón se evaluaron durante el semestre 2012-A en diez localidades diferentes: Ambalema, Espinal, Guamo, Palermo y Armero, ubicados en el Valle Geográfico del Río Magdalena. Y en los municipios de El Cerrito, Andalucía, Candelaria, Vijes y Palmira, ubicados en el Valle Geográfico del Río Cauca.

Las condiciones climáticas de la región del Valle Geográfico del río Magdalena (VGM) durante el primer semestre de 2012 fueron: Clima seco, con una temperatura promedio diaria de 23.2 °C, la temperatura máxima media fue entre 28 y 30°C y con temperatura mínima media de 19°C. Se clasifica como una zona de piso térmico cálido que comienza en el sur del Huila a una altura superior a los 800 m.s.n.m. y va descendiendo de forma tal que en Girardot está a 250 m.s.n.m. La humedad relativa promedio fue 75±5%, y una precipitación anual entre 1000 y 2150 milímetros. En la tabla 1 se presentan las características de la zona del Valle Geográfico del Río Magdalena para el semestre 2012-A.

Tabla 1. Características climáticas y edafológicas de las localidades del Valle Geográfico del Río Magdalena, 2012-A.

Localidad	Longitud	Altitud	T media (°C)	HR (%)	BS ^a	Precipitación	Suelo	
							Textura ^b	Fertilidad
A Armero	04°53'52.2"N	074°50'28.4"W	28.6	72.3	1338.8	856.1	Ff/A	Alta
B Ambalema	04°49'05.8" N	074°45'14.5" W	26.2	70	618.1	723.3	Ff/A	Media
C Espinal	04°22'1°.34" N	074°91'23.2" W	29.2	75	945.3	1083.2	Ff/A	Media
D Guamo	04°11'29.1" N	075°00'46.6" W	28.6	75.1	953.8	1005.6	Ff/A-Ar/A	Media
E Palermo	02°50'31.9" N	075°18'52.1" W	26.7	65	1951.4	1580.7	Ar/A	Media

a. BS: Brillo solar horas, representa el tiempo total durante el cual incide luz solar directa sobre alguna localidad, entre el alba y el atardecer.

b. Textura: T.Fina; Ff/A: Franca fina sobre arcillosa; Ff/frag: Franca fina sobre fragmentada; Ar/A: Arenosa sobre arcillosa. Corpoica, 2012.

La segunda zona evaluada paralelamente durante el semestre 2012-A fue el Valle geográfico del Río Cauca (VGC) departamento del Valle del Cauca. Las condiciones climáticas durante el primer semestre de 2012 fueron: clima cálido moderado seco, sobre todo para el área de la localidad de Andalucía. Una temperatura promedio para la zona de 24.5 °C, temperatura máxima de 31°C y mínima de 18°C. La Humedad relativa registrada fue del 81%.

Los suelos están relacionados con el clima y la naturaleza del material parental, ya que esta área presenta suelos con contenidos altos de bases de cambio (nutrientes para las plantas), alta saturación de bases, media a alta capacidad de intercambio catiónico, pH básico o cercano a la neutralidad y baja saturación de aluminio (elemento tóxico para las plantas), en general, pobres en fósforo (Cenicaña, 2008).

Tabla 2. Características climáticas y edafológicas de las localidades del Valle Geográfico del Río Cauca, 2012-A.

	Localidad	Latitud	Longitud	T(°C)	HR (%)	BS ^a	Precipitación (mm/año)	Suelos	
								Textura ^b	Fertilidad
A	Andalucía	04°10'03.1"N	076°11'07.02"W	23.5	72.3	1368.8	1365.5	T.Fina	Media
B	Candelaria	03°24'24.0" N	076°18'00.9" W	27.3	69	618.1	1080	Ff/A-Ff/frag.	Alta
C	El Cerrito	03°41'28.4" N	076°18'31.3" W	14.1	75	945.3	1021.8	T.fina	Media
D	Palmira	03°31'01.0" N	076°25'35.3" W	24.7	75.1	953.8	1008.6	Ff/A-Ff/frag	Media
E	Viges	02°50'31.9" N	075°18'52.1" W	24.7	65	1951.4	1288.1	A-A/arc.	Media

a. BS: Brillo solar horas, representa el tiempo total durante el cual incide luz solar directa sobre alguna localidad, entre el alba y el atardecer.

b. Textura: T.Fina; Ff/A: Franca fina sobre arcillosa; Ff/frag: Franca fina sobre fragmentada. Cenicaña, 2008

En las figuras 3 y 4 se señalan las diez localidades en estudio, correspondientes a las zonas del Valle Geográfico del Río Magdalena y el Valle Geográfico del río Cauca.

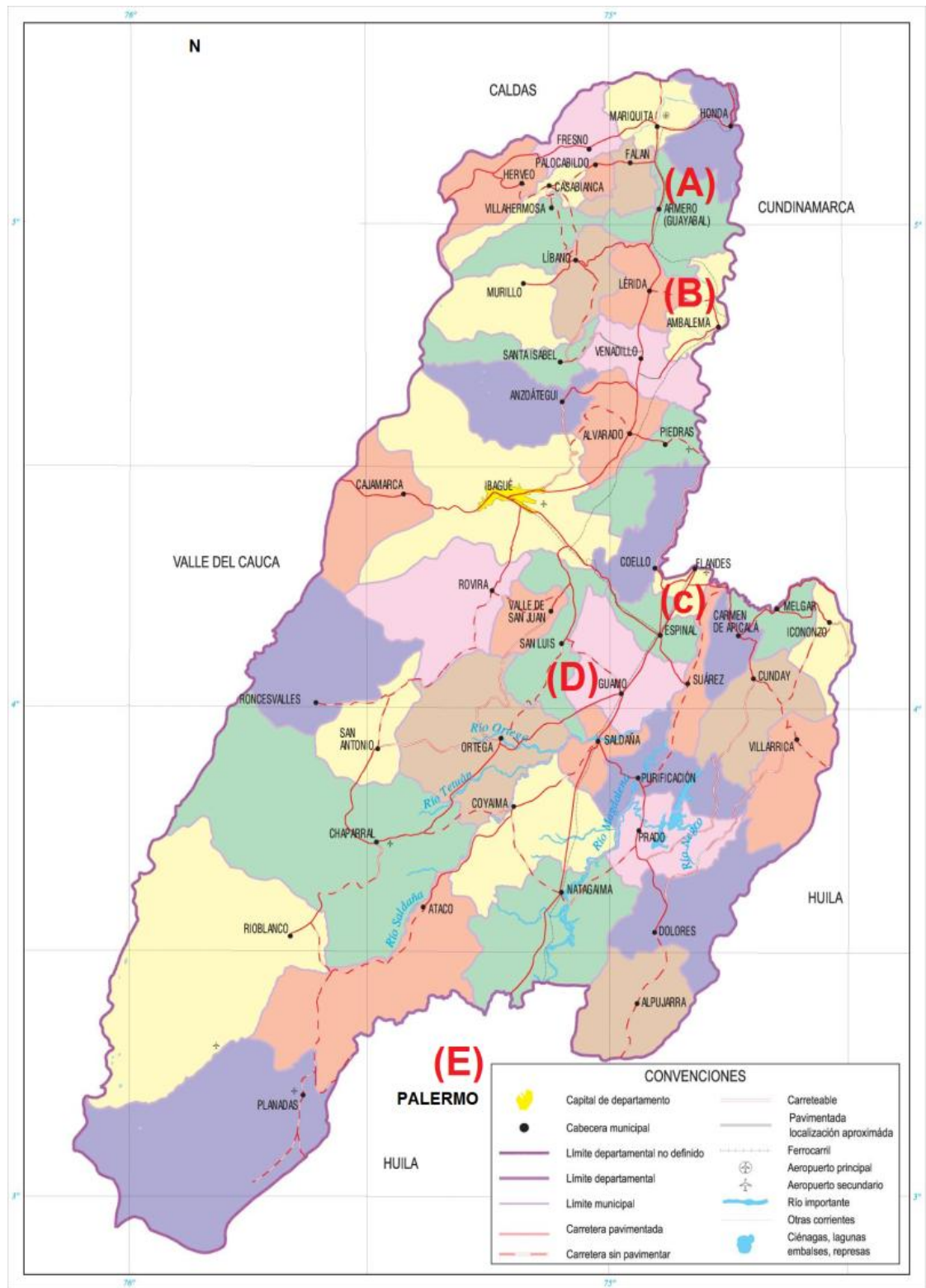


Figura 3. Municipios evaluados la zona del Valle geográfico del río Magdalena. Fuente: SIGAG, 2013.

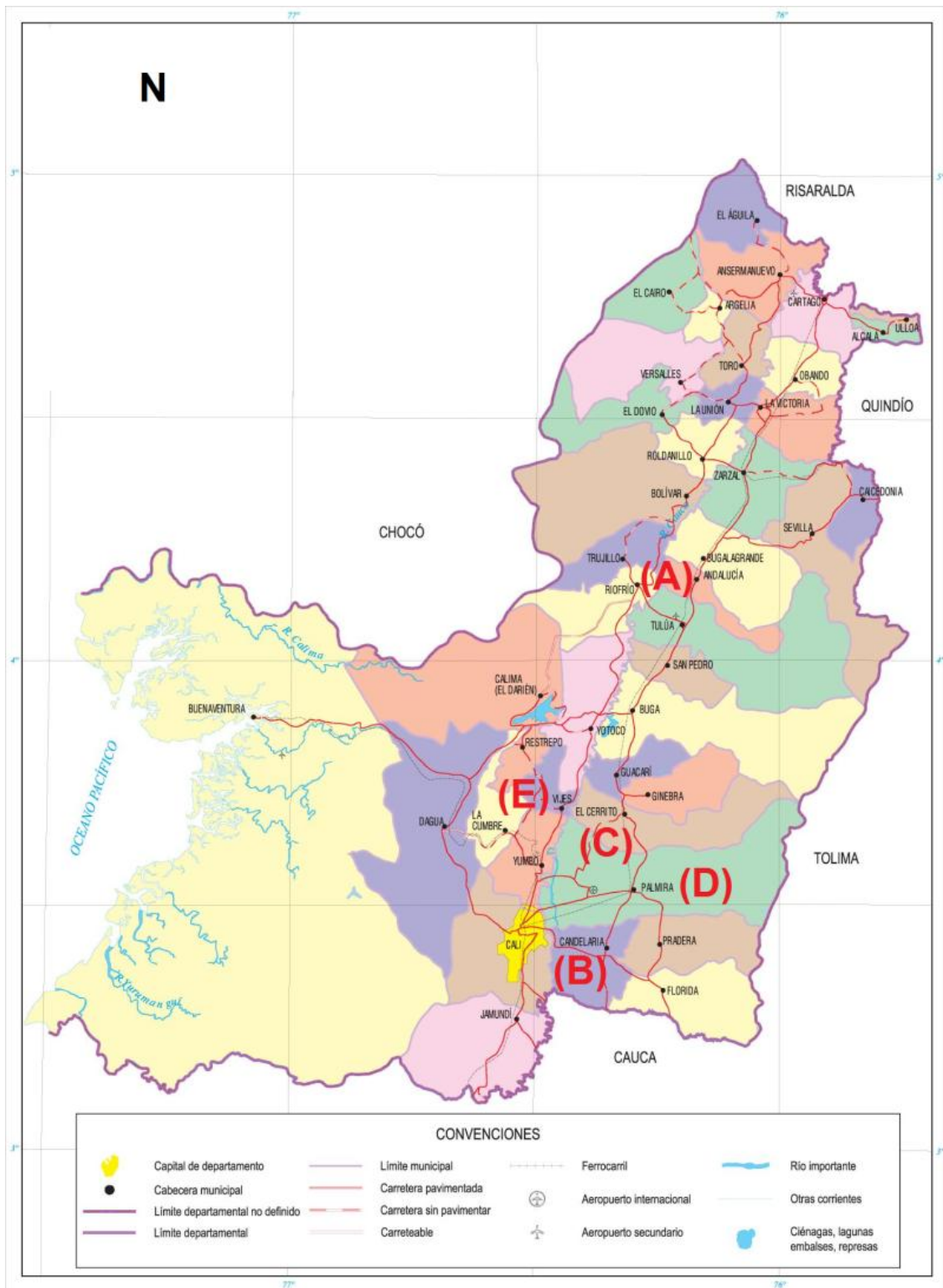


Figura 4. Municipios evaluados en la zona del Valle geográfico del río Cauca. Fuente: SIGAG, 2013.

3.2 Variedades transgénicas

Se utilizaron nueve variedades de algodón transgénico, que fueron obtenidas comercialmente y provenientes de Estados Unidos. Sus características se describen en la tabla 3.

Tabla 3. Variedades transgénicas de algodón evaluadas en el estudio³.

Variedad	Ciclo de cultivo (días)	Ramas Fructíferas	Fibra (%)	Característica diferencial	Procedencia
FM 9250GL	135-152	14-16.5	41.3	Tolerancia herbicidas glifosato y glufosinato.	USA
ST 5288B2F	135-155	18-20	43-43.5	Tolerancia a glifosato y control de principales lepidópteros	USA
FM 2484B2F	132-155	18.6	42.5	Tolerancia a glifosato y control de principales lepidópteros	USA
FM 1740B2F	130-150	17-19	41-43.5	Tolerancia a glifosato y control de principales lepidópteros	USA
FM 9162B2F	130-150	12-18	40-42.5	Tolerancia a glifosato y control de principales lepidópteros (Testigo).	USA
FM 966LL	145-155	17-19	38-41	Tolerante herbicida Glufosinato (Testigo).	USA
DP 174RFlex	145-150	12-14	45.5	Tolerancia a glifosato	USA
DP 1048B2F	145-155	14-15	47.0	Tolerancia a glifosato y control de principales lepidópteros	USA
DP 141B2F	140-150	12-14	44-45	Tolerancia a glifosato y control de principales lepidópteros	USA

³ Catálogo VGRM Ficha de registro Semillas Valle (2012).

3.3. Manejo agronómico y paquete tecnológico

El experimento se llevo a cabo teniendo en cuenta el manejo agronómico para el cultivo de algodón comercial, y bajo las condiciones del paquete tecnológico de las variedades de acuerdo con su característica diferencial.

Fertilizaciones

Las fertilizaciones se realizaron de acuerdo al análisis de suelos para cada prueba o localidad. Durante la Siembra se utilizó una proporción de Nitrógeno 20%, Fosforo 10%, potasio 20% y mas todos los elementos menores.

Durante el desarrollo foliar del cultivo se realizaron las siguientes aplicaciones:

- 12-15 días después de Germinado DDG: Nitrógeno 35% , Potasio 35%.
- 35.45 días después de Germinado DDG: Nitrógeno 35%, Potasio 35%

Y finalmente para el desarrollo de Capsula: una proporción de Nitrógeno 10% Restante, Potasio 10% Restante.

Para el control de malezas se utilizó: Roundup, Finale y Socar. Este control se realizó dependiendo del complejo, estado y desarrollo de arvenses. En la tabla 4 se relaciona la tecnología y la aplicación necesaria de control.

Tabla 4. Tecnología para control de malezas (Semivalle, 2012)

TEGNOLOGIA	MANEJO DE MALEZAS
B2F-RRF	Roundup activo hasta 9 litros en todo el Ciclo del cultivo Roundup Brio
GI	2 litros por aplicación /ha de Socar o Finale

El manejo de plagas según la tecnología (B2F), se realizó una aplicación según la necesidad para lepidópteros con insecticidas diferentes a *Bacillus Thuriengiensis*, para GL, las aplicaciones según umbrales de daño e infestación, manejo de Ramularia, Antracnosis, y Mirotocio. En la tabla 5 y 6 se observa el control aplicado para cada una de las tecnologías.

Tabla 5. Tecnología para control de plagas.

Tecnología	Manejo Lepidópteros	Manejo Picudo	Insectos Chupadores (M. Blanca, Chinchas, Pulgones)
GL-RRF	Insecticidas de contacto y sistémicos	Recolección estructuras, aplicación en focos, y Generalizadas	Monitoreo Semanal aplicación de insecticidas sistémicos.
B2F	Aplicación según umbral de daño		

Tabla 6. Control de Enfermedades (Ramularia, Mirotocio, Antracnosis entre otras)

TECNOLOGIA	CONTROL DE EMFERMEDADES
B2F-RRF-GL	Monitoreo Semanal y aplicaciones de fungicidas según el caso, y dependiendo de la preción.

Finalmente, se realizaron una serie de labores culturales, utilizando raleo según la densidad recomendada (6 – 8 plantas por metro lineal), una fertilización Manual-Mecánica, la colocación de trampas mata picudo (Según la necesidad), monitoreo constante del crecimiento de la planta utilizando reguladores de crecimiento. El numero de riegos, según la precipitación reportada.

En cuanto al manejo de variedades transgénicas, se puede hablar de dos esquemas: Una relación de 80/20 y de 96/4. Para el primer esquema de siembra del 100% del área sembrada es 80% de variedad con tecnología transgénica y 20% restante, llamado refugio para variedades sin resistencia a lepidópteros, con el cual el control, se realizó utilizando insecticidas diferentes a *Bacillus Turiegiensis*. En el segundo esquema 94/4, la siembra de 94% del área

con tecnología y el 4% restante como refugio, dificultándose el control de insectos lepidópteros.

3.4 Diseño experimental

Se utilizó el diseño experimental de bloques completos al azar, con cuatro (4) repeticiones. Las parcelas estuvieron formadas por ocho (8) surcos, con una distancia entre surco de 0.90 m por 10 m de longitud. Se realizó un raleo manual dejando una población final entre 6 y 7 plantas establecidas por metro lineal. No se realizó aplicación de herbicida antes de la siembra directa en campo.

3.4 Caracteres evaluados

Se midieron las siguientes variables: rendimiento (R), porcentaje de fibra (F%), longitud de la fibra (LF mm), uniformidad de la fibra (UF), resistencia g/tex (RS) y finura (F) ug/pul).

- **Rendimiento (R):** Medida como el peso total de campo, cosecha manual de 4 surcos centrales de 10 m (Kilogramos de algodón semilla por hectárea).
- **Porcentaje de Fibra (F%):** Relación entre la semilla desmotada y la cantidad de fibra obtenida. Corresponde a 50 motas colectadas por parcela de los surcos 2 y 7 (sobrantes) del tercio medio de la planta. La fibra es retirada mediante una desmotadora (Figura 4).

-
- **Finura (F)⁴**: (*hilos por pulgada cuadrada*) Se mide mediante pruebas de resistencia al paso del aire de compresión doble y un sistema de medición de fibras aisladas.
 - **Longitud de la fibra (LF)³**: Medida en milímetros.
 - **Resistencia (RS)³**: Respuesta a la tensión de una hilatura, viene determinada en unidades de gf/tex = número de 840 yardas de hilo pesando 1 libra (7000 granos) / peso en gramos de 1000 metros (1 kilómetro) de hilo.
 - **Uniformidad (U)³**: corresponde a la cantidad de hilaturas de la misma longitud.

3.5 Análisis estadístico

El modelo básico para el análisis de varianza fue el siguiente:

$$Y_{ijk} = \mu + G_i + E_j + B(E)_{k(j)} + GE_{(ij)} + e_{ijk} \quad \text{Ec. 1}$$

Y_{ijk} = observación K del genotipo i en el ambiente j

μ = media general

G_i = efecto principal del genotipo i (considerado fijo)

E_j = efecto principal del ambiente j (Considerado aleatorio)

$B(E)_{k(j)}$ = efecto del bloque K dentro del ambiente j

$GE_{(ij)}$ = efecto de la interacción del genotipo i y el ambiente j

e_{ijk} = error asociado con cada medición

⁴ Las variables de calidad fueron tomadas en el laboratorio de la Corporación Distribuidora de Algodón Nacional DIAGONAL, Medellín.

Para estimar la interacción genotipo ambiente se utilizó el modelo AMMI (ecuación 2) y el análisis de regresión por sitio SREG (ecuación 3) (Crossa *et. al.*, 1990).

- **Modelo AMMI**

$$Y_{ge} = \mu + \alpha_g + \beta_e + \sum_{n=1}^N \lambda_n Y_{gn} \delta_{en} + \rho_{ge}$$

Ec. 2

Donde:

Y_{ge} = Rendimiento promedio de un genotipo g en el ambiente e

μ = Media general

α_g = Desviaciones de las medias de los genotipos.

β_e = Desviaciones de las medias de ambientes.

n = Número de componentes principales retenidos en el ACP

λ_n = Valor propio para el n -ésimo componente principal

Y_{gn} = Vectores propios para cada genotipo

δ_{en} = Vectores propios para cada ambiente

ρ_{ge} = Residual

- **Modelo Regresión por sitio SREG.**

$$Y_{ij} - \bar{Y}_j = \lambda_1^{1/2} \varepsilon_{i1} \lambda_1^{1/2} n_{j1} + \lambda_2^{1/2} \varepsilon_{i2} \lambda_2^{1/2} n_{j2} + \varepsilon_{ij}$$

Ec.3

Donde:

Y_{ij} = es el rendimiento medio del genotipo i en el ambiente j , \bar{Y}_j es la media de los genotipos en el ambiente j

λ_1 y λ_2 = son los autovalores para la CP1 y CP2 respectivamente

ξ_{i1} y ξ_{i2} = son los scores del genotipo i en la CP1 y CP2 respectivamente,

η_{j1} y η_{j2} = son los scores del ambiente j en la CP1 y CP2 respectivamente

ε_{ij} = es el término residual asociado a la observación promedio del genotipo i en el ambiente j centrado por el efecto del ambiente j .

4. Resultados y Discusión

4.1 Análisis de varianza para los caracteres evaluados

En la tabla 4, se presenta el análisis de varianza para los caracteres estudiados y la contribución relativa de cada fuente de variación (G, A y GA) a la variación fenotípica total. Se observó que el ambiente (A), fue la fuente de variación más importante para todos los caracteres evaluados con una significancia a nivel de 0.1%. La fuente de variación genotipo (G) no fue significativa solamente para el carácter firmeza y uniformidad. La fuente de variación genotipo por ambiente (GA) también no fue significativa para los caracteres finura (F) y longitud de fibra (LF).

El rendimiento (R) tuvo una variación para ambientes, su aportación a la expresión fenotípica total se observó claramente que la mayor contribución a se presentó un 54.6%, entre tanto el genotipo aportó el 41% y la interacción un pequeña proporción del 4.4% que puede considerarse baja. También se observó diferencias estadísticas significativas al 1% entre genotipos y la interacción IGA, es decir que las variedades mostraron una respuesta relativamente diferente en algunos ambientes.

Tabla 7. Análisis de varianza y proporción de la variación (G+A+GA), explicada por genotipo (G), ambiente (A) y la interacción (GA) para varios caracteres.

Caracteres	Genotipo (G)		Ambiente (A)		GA	
	CM	Proporción G+A+GA	CM	Proporción G+A+GA	CM	Proporción G+A+GA
Rendimiento	21.90***	41.0%	29.20***	54.6%	2.35***	4.4%
Fibra (%)	1.23ns	9.1%	11.44***	84.90%	0.81ns	6.0%
Funura (F)	0.38***	5.9%	4.63***	90.40%	0.11**	2.1%
Longitud (L)	3.16***	13.90%	18.77***	82.40%	0.84ns	3.69%
Resistencia (RS)	34.10***	34.10%	27.94***	41.30%	5.68**	8.40%
Uniformidad (U)	5.08ns	11.30%	35.41***	79%	4.33*	9.70%

* Diferencia estadística significativa a nivel del 5%

** Diferencia estadística significativa a nivel del 1%

*** Diferencia estadística significativa a nivel del 0.1%

ns Diferencia estadística no significativa

La variable porcentaje de fibra (%F) solo presentó diferencias altamente significativas a nivel del 0.1%, entre ambientes evaluados, con un aporte porcentual del 84.9% para ambiente, del 9.1% para genotipo y del 6% para la interacción. De igual forma se observaron diferencias en todas las variables de calidad de fibra: Finura (F), Longitud (LF), Resistencia (RS) y Uniformidad (U). Y Efectos de Interacción genotipo por ambiente (IGA) sólo para dos de ellas; (F) y (RS).

No se observó un efecto significativo de interacción genotipo ambiente (IGA), igualmente para él %F y de acuerdo a lo anterior, se puede inferir que la variable el porcentaje de la fibra está mostrando una homogeneidad fenotípica entre las variedades transgénicas evaluadas. Se ha reportado además que la combinando un alto número de fibras y peso de fibra por área de semilla asociados al tamaño de semillas, son el criterio de selección mas importante para incrementar el rendimiento de fibra Bednarz et al. (2007).

Con una proporción del 41% del componente genético para el rendimiento, podría decirse que está relacionado con un el buen comportamiento agronómico que se llevó a cabo y las condiciones climáticas que favorecieron la

expresión del genotipo, como variedades mejorada. De acuerdo con lo explicado por Aramendiz *et. al*, (2010) durante la obtención de las variedades mejoradas de algodón, la selección convencional debe ser basada en producción y esto depende de la habilidad de manipular caracteres fenotípicos como el rendimiento de peso de cápsula, el porcentaje de fibra y el número de cápsulas por planta, destacando que el número de cápsulas por planta es el principal componente y las modificaciones en la estructura de la planta en cuanto al número de ramas fructíferas con la relación a las vegetativas, al igual que la precocidad en la emisión de ramas reproductivas.

En cuanto a los caracteres de calidad de fibra, fueron altamente afectados por las condiciones ambientales, siendo la finura de la fibra con el mayor porcentaje (91%), seguida de la longitud (82%) y finalmente la resistencia (41%), y esto era lo esperado ya que según Bradow *et al.* (2010), la influencia de factores ambientales y la interacción entre ellos, aumenten o disminuyan la longitud, madurez y resistencia que las obtenidas en condiciones controladas, independientemente de las variedades posiblemente a una mayor producción de biomasa vegetativa disponibilidad hídrica durante el desarrollo y crecimiento de las fibras.

En general se observó que el genotipo aporta la mayor proporción para las variables rendimiento (R) en ton/ha y resistencia de la fibra de algodón (RS) de manera significativa para todas las fuentes de variación. A su vez el ambiente mostró una alta proporción aportada en el comportamiento de las variedades. Por lo anterior se puede inferir que se presentan cambios diferenciales en el comportamiento a través de ambientes contrastantes en los cuales se siembren las variedades transgénicas de Algodón y esto ocurre para la parte aditiva de la interacción según al modelo AMMI.

Debido a que la interacción del genotipo por el ambiente, está relacionada con el efecto negativo sobre la heredabilidad de los caracteres, debido a que hay una respuesta diferencial a diversos ambientes (Valencia y Ligarreto, 2010).

4.2 Componentes Principales ACP -AMMI y SREG

En las tablas 4 y 5, se observan los valores para el porcentaje del ACP de los modelos AMMI y SREG respectivamente. La discusión realiza para el grafico correspondiente en el análisis de cada variable.

Tabla 8. Resultados del análisis de componentes principales del modelo AMMI. Se observan los factores que cubren valores de variación $\geq 80\%$ para todas las variables.

Variable	GL	SC	PORCENT	COMP. PPAL	F	P
Rendimiento	16	137.37	81.2142	81.214	30.5437	0
	14	14.606	8.6354	89.85	3.7116	0.00001
Fibra	16	23.268	39.8369	39.837	1.85204	0.02515
	14	14.816	25.3662	65.203	1.34776	0.17932
Longitud	16	22.661	37.3866	37.387	1.77442	0.03454
	14	16.757	27.6462	65.033	1.49958	0.11071
Uniformidad	16	142.46	45.7304	45.73	2.77715	0.00037
	14	79.913	25.6521	71.383	1.78037	0.04146
Resistencia	16	169.66	41.4887	41.489	2.8631	0.00025
	14	99.995	24.4535	65.942	1.92859	0.02377
Finura	16	3.2626	41.112	41.112	3.19986	0.00005
	14	2.2047	27.7818	68.894	2.47124	0.00265

Tabla 9. Resultados del análisis de componentes principales del modelo SREG Se observan los factores que cubren valores de variación $\geq 80\%$ para todas las variables.

Variable	SC	PORCENT	COMP. PPAL	GL	F	P
rendimiento	299.618	86.9218	86.922	16	66.6214	0
	22.377	6.4916	93.413	14	5.6863	0
fibra	25.4457	37.2606	37.261	16	2.02542	0.01206
	20.4217	29.9039	67.165	14	1.85774	0.03112
Longitud	36.4381	42.4319	42.432	16	2.8532	0.00026
	19.9941	23.283	65.715	14	1.78925	0.04012

uniformidad	142.894	40.58	40.58	16	2.78557	0.00036
	90.154	25.6026	66.183	14	2.00852	0.01745
Resistencia	389.081	57.073	57.073	16	6.56614	0
	116.107	17.0314	74.104	14	2.23935	0.00694
Finura	4.31411	39.1989	39.199	16	4.23121	0
	3.18917	28.9775	68.176	14	3.57473	0.00002

4.3 Comportamiento de las variables: Evaluación modelo AMMI

4.3.1 Rendimiento (R)

En la tabla 7, se observa una media general para rendimiento de de 3.9 t/ha en producción de algodón semilla, y concuerda con las características iniciales de las variedades, a pesar de la diversidad de ambientes evaluados. La relación significativa detectada entre ambientes confirmó las diferencias existentes entre las ambientes.

Se observó claramente el ambiente más favorable para la expresión de los diferentes genotipos en esta variable es Vijos dado que se dan producciones promedios de 5.2 ton/ha, en contraste con esto se observa que el ambiente Espinal se obtuvieron los menores valores de promedios de producción de 2.7 ton/ha para todos los Genotipos evaluados.

En el comportamiento individual de los genotipos pueden destacarse las variedades FM 1740B2F con una producción promedio de 4.9 t/ha, seguido de las variedades FM 2484B2F y FM 9162 B2F con 4.6 t/ha respectivamente. Por el contrario, se observo que el material DP 141B2F expresó un rendimiento por debajo de la media, posiblemente a que esta menos adaptado a las condiciones ambientales evaluadas, su producción promedio fue sólo 2.9 t/ha, pero con un buen comportamiento para el ambiente del Guamo.

El genotipo FM 1740B2F mostro el mejor comportamiento en los ambientes y se observa un clara asociación y preferencia a los Ambientes Candelaria en la cual obtuvo producciones muy superiores a la media general y al resto de los genotipos al igual que el El Cerrito, Viges y Palmira con producciones promedios de 6.8 ton/ha para todas las localidades a excepción de Palmira con 6.4 ton/ha y Andalucía con 4.2 ton/ha siendo la de menor respuesta para esta Variedad. Lo anterior ocurre de manera similar para la Variedad FM 2484B2F adaptada a estos ambientes del Valle del Cauca.

Puede destacarse el comportamiento entre las localidades de Andalucía y el Guamo, cada una de diferentes zonas, en las cuales la primera dentro del Valle Geográfico del Rio Cauca obtuvo un rendimiento de 3.2 t/ha, mientras que el Guamo fue la localidad con mejor potencial de rendimiento del el Valle Geográfico del Rio Magdalena con una producción de 4.5 t/ha. La localidad espinal corresponde al ambiente con más bajo potencial de rendimiento, con una media general de 2.7 t/ha. La variedad FM 9162 B2F fue capaz de responder positivamente a estos estímulos climáticos presentando menor variación para el rendimiento.

En general para los ambientes del Valle del Cauca se observaron diferencias en cuanto a los parámetros ambientales en comparación con los ambientes del Valle del Rio Magdalena. Diferencias en la fertilidad del suelo, con valores temperatura media 24.7 grados centígrados óptimos para el buen desarrollo del Algodón, en general mayor precipitación, Brillo Solar y Humedad Relativa. (IDEAM, 2012).

Tabla 10. Resultados del Modelo AMMI para la variable Rendimiento (%) en todas las localidades.

Ambiente	Genotipo									
	DP 1048B2F	DP 141B2F	DP 174RFlex	FM 1740B2F	FM 2484B2F	FM 9162B2F	FM 9250GL	FM 966LL	ST 5288B2F	Promedio
Ambalema	3.6	3.1	3.1	3.4	3.1	3.7	2.9	3.1	3.9	3.3
Andalucia	2.6	2.4	2.1	4.2	3.8	4.2	3.0	3.2	3.3	3.2
Armero	3.7	3.3	2.8	3.6	3.2	3.3	3.0	2.6	4.2	3.3

Candelaria	3.2	3.0	2.7	6.8	6.5	6.6	4.9	4.2	5.3	4.8
El Cerrito	3.2	3.1	2.6	6.8	6.3	6.5	4.8	4.5	5.3	4.8
Espinal	2.9	2.2	2.1	2.7	2.7	3.4	2.7	2.9	2.3	2.7
Guamo	5.0	2.9	4.4	5.1	4.5	4.5	4.1	4.2	5.3	4.5
Palermo	3.4	2.9	2.9	2.8	2.8	3.3	2.9	3.0	3.5	3.0
Palmira	3.3	3.4	2.6	6.4	6.3	5.6	4.7	4.3	5.5	4.7
Viges	3.1	3.3	3.1	6.8	6.4	5.5	5.4	6.3	5.5	5.1
Promedio	3.4	3.0	2.9	4.9	4.6	4.6	3.9	3.8	4.4	3.9

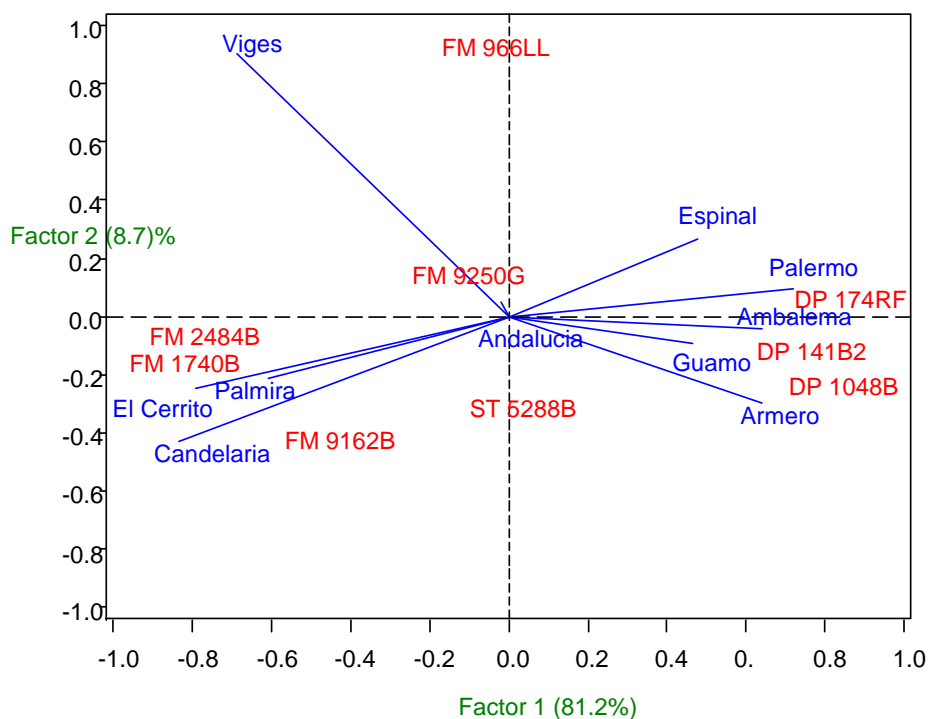


Figura 5. Biplot para la descomposición de la interacción genotipo ambiente en la variable Rendimiento.

El comportamiento diferencial y la estabilidad de los genotipos se observó en la figura 5. El rendimiento de algodón presentó para los dos primeros componentes una explicación de su variabilidad del 89.9%.

En la grafica de Componentes principales se observó que las variedades FM 9250GL y ST 5288 cercanas al origen mostraron la mayor estabilidad para la variable rendimiento por hectárea, con producciones promedios de 3.9 y 4.4 ton/ha respectivamente, lo que correspondió a producciones buenas. A pesar

de ello, no fueron las mejores en comparación con todas las variedades evaluadas, pero si las de mayor adaptación y menor respuesta a los cambios ambientales correspondientes a los ambientes evaluados.

Se observó una asociación entre los ambientes El Cerrito, Palmira y Candelaria con las Variedades FM 2484B2F, FM 1740B2F y FM 9162B2F, con una fuerte interacción IGA y buen potencial de rendimiento. Otro grupo de ambientes con fuerte interacción fueron las localidades Palermo, Ambalema, Guamo y Armero con los Genotipos DP 174RFlex, DP 141B2F y DP 1048B2F, pero a diferencia del grupo anterior con menor potencial productivo para los ambientes correlacionados.

Estos últimos ambientes correspondieron al departamento del Tolima, el cual se caracteriza por temperaturas promedios altas con diferencia de 5 grados por encima con el Valle del Cauca, además de menor Humedad Relativa (HR), menor Brilo solar (BS) y Precipitación, entre otras causas que imposibilitan la expresión del potencial productivo dando como resultado menores rendimientos.

Los ambientes Espinal y Andalucía no están determinando correlación alguna con las variedades transgénicas, por lo tanto es mucho menos significativa la influencia ambiental y carece de interacción con los materiales evaluados (observado en la tabla 7), con bajos promedios ambientales en la variable rendimiento (R) para estas localidades, de igual manera sucedió con la variedad FM 966LL, la cual no se asoció a los ambientes en estudio y presentó una producción de 3.8 ton/ha estando en el rango intermedio en comparación con la totalidad de los genotipos. A su vez la variedad FM 9250GL, que además de ser estable para esta variable, estuvo fuertemente asociado a la localidad Vijes en al Valle del Cauca, y presentó una producción de 5.4 ton/ha.

4.3.2 Porcentaje de Fibra (F %)

El promedio general para el porcentaje de fibra fue del 43.3 % (Tabla 8). Para las variedades evaluadas, se considera adecuado y es comparable con las características iniciales de cada material. Respecto de este estudio, el porcentaje de fibra en todas las localidades evaluadas, con valores por encima del 38% condiciona el potencial del material de forma comercial e industrial (Bechere, 2011).

En la tabla 8, se observó que las localidades de Andalucía, Palmira y Vijes, fueron la más favorable, mostrando un mayor porcentaje de fibra con un valor del 44% en promedio, por el contrario, las localidades Ambalema y Espinal presentaron un promedio del 42.5%, por lo tanto se consideraría, los menos adecuados en la expresión de esta variable.

Todas las variedades evaluadas presentaron igual desempeño en la expresión de esta variable (F%), sin embargo, el análisis de varianza no mostró para los efectos aditivos de la interacción IGA diferencias significativas entre ellos. La uniformidad de la variable en todos los materiales, obedece a una estructura genética fijada, con una respuesta favorable a la selección, que cumple con los estándares de calidad Internacional para contenido y producción de Fibra.

Tabla 11. Resultados del Modelo AMMI para la variable fibra (%) en todas las localidades.

Ambiente	Genotipos									Promedio
	DP 1048B2F	DP 141B2F	DP 174RFlex	FM 1740B2F	FM 2484B2F	FM 9162B2F	FM 9250GL	FM 966LL	ST 5288B2F	
Ambalema	42.5	43.2	42.3	41.8	43.2	42.5	42.0	42.3	43.3	42.5
Andalucía	44.3	43.9	44.1	43.7	44.2	43.9	43.8	44.0	43.9	44.0
Armero	43.8	43.2	43.3	42.3	43.3	42.5	43.5	43.3	43.0	43.1
Candelaria	43.2	44.0	43.3	43.7	43.3	43.7	44.0	43.3	44.0	43.6
El Cerrito	43.5	43.4	43.5	43.2	43.2	43.7	43.8	43.3	43.9	43.5
Espinal	43.0	43.1	43.3	43.0	42.0	40.8	41.8	42.3	43.0	42.5
Guamo	43.5	44.2	43.8	43.3	43.5	44.2	43.5	43.0	43.5	43.6
Palermo	42.8	44.2	42.3	42.1	42.8	42.8	42.8	43.0	43.3	42.9
Palmira	43.7	43.7	44.3	43.9	44.3	43.2	43.6	44.3	43.7	43.9
Viges	44.1	43.5	43.9	43.8	43.8	44.1	43.8	44.5	43.7	43.9
Promedio	43.4	43.6	43.4	43.1	43.3	43.1	43.2	43.3	43.5	43.3

De lo anterior puede decirse que estos tres ambientes representaron el mejor grupo, dado que expresaron el mayor potencial genético, asociado principalmente a la fertilidad de los suelos del Valle del Cauca y en el ambiente de Armero, debido principalmente a la derivación de suelos volcánicos producto de la erupción del Volcán Nevado del Ruiz (Malagón, 2005).

Puede destacarse otro grupo de ambientes conformado por Guamo, Palermo, Ambalema y Candelaria en donde no se observó asociación alguna con ningún Genotipo. Para el ambiente del Espinal se observó una correlación negativa con el Genotipo FM 9162GL, además de falta de asociación para el resto de las variedades en los ambientes en estudio. En el ambiente del Espinal, se observó una promedio del 40% en fibra, y se consideró el más bajo del experimento asociado a la Variedad FM 9162B2F.

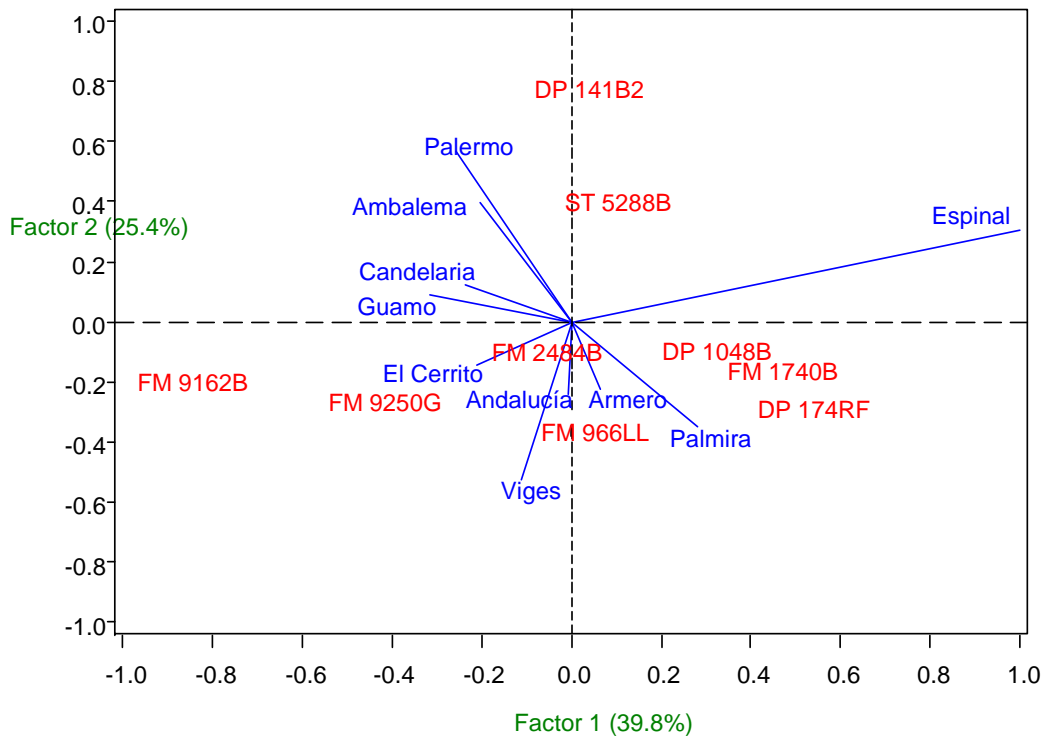


Figura 6. Biplot para la descomposición de la interacción genotipo ambiente en la variable fibra.

El modelo AMMI para la variable fibra explica en las primeras dos componentes el 65.2% de la variabilidad de esta variable. El análisis de varianza mostró que no hay interacción entre los genotipos y los ambientes, esto lo muestra el grafico, pues la mayor parte de los genotipos no están muy relacionados con los ambientes, en la localidad de El Cerrito se muestra una alta correlación con el genotipo FM 9250G.

En la figura 6, la interacción en componentes principales CP se puede apreciar claramente la gran estabilidad que presentó la variedad FM 2484B2F con un comportamiento diferencial en los 10 ambientes evaluados para esta variable, se observó además la interacción positiva existente entre los ambientes de Andalucía, Armero y Viges con la variedad FM 966LL, los cuales presentaron

valores de 44% de fibra en promedio. Para el ambiente de Vijes principalmente, las condiciones climáticas y la temperaturas promedio de 24.7 grados centígrados, fué optima para el desarrollo reproductivo, polinización y formación de la fibra.

Las localidades de Andalucía y Armero están asociadas a el genotipo FM 966LL. El genotipo FM2484B es el genotipo más estable en la característica fibra, ya que su posición indica que responde de la misma manera en todas las localidades. La localidad de Espinal tiene muy poca relación con los genotipos y el genotipo FM9165B, es quien presenta menos adaptación a dicha localidad.

4.3.3 Finura de la Fibra (F)

Los resultados mostrados en la tabla 10 para la variable finura, señalan que todos los materiales presentaron un nivel superior para finura de la fibra, de acuerdo con las mediciones previamente establecidas (Tabla 9) (INTI, 2001), por lo anterior, puede considerarse en un rango alto teniendo en cuenta que el óptimo se encuentra con valores entre 3.7 y 4.2, mientras el rango de base puede estar entre 3.5 y 3.6 por debajo y por encima de 4.3 y 4.9 en la escala de medición ().

Tabla 12. Escala de medición para finura de fibra de algodón (Hilos/in²).

MICRONAIRE	DESCRIPCION
< 3.0	Extra Fina
3.0 – 3.6	Fina
3.7 – 4.7	Promedio
4.8 – 5.4	Áspera
> 5.5	Muy Áspera

Respecto a los ambientes se observaron el desarrollo de fibras tipo promedio (3.7-4.7) para las localidades: Candelaria (4.5), El Cerrito (4.3), Palmira (4.3) y

Vijes (4.6), de igual forma las variedades FM 2484 B2F y FM 9250 GL se encontraron dentro de las fibras promedios, mientras las ásperas fueron las comunes para el resto de las variedades, debido a las condiciones ambientales extremas de altas y bajas temperaturas y pocas horas luz en promedio. En general el análisis de varianza no reveló diferencias significativas para la variable en la Interacción genotipo por ambiente.

Tabla 13. Resultados del Modelo AMMI para la variable Finura en todas las localidades.

Ambiente	Genotipo									Promedio
	DP 1048B2F	DP 141B2F	DP 174RFlex	FM 1740B2F	FM 2484B2F	FM 9162B2F	FM 9250GL	FM 966LL	ST 5288B2F	
Ambalema	5.4	5.3	5.4	5.5	5.4	5.2	5.5	5.5	5.4	5.4
Andalucia	4.9	4.9	5.0	4.9	4.5	4.9	4.6	4.9	5.3	4.9
Armero	4.9	5.1	4.9	4.8	4.8	5.3	4.7	5.3	5.4	5.0
Candelaria	4.6	4.5	4.4	4.6	4.6	4.4	4.4	4.3	4.6	4.5
El Cerrito	4.4	4.2	4.2	4.3	4.3	4.3	4.1	4.3	4.5	4.3
Espinal	5.2	5.1	5.0	5.0	5.0	5.2	4.8	5.1	5.1	5.0
Guamo	5.2	5.3	5.2	5.2	5.0	5.3	5.3	5.5	5.6	5.3
Palermo	5.3	4.5	5.3	4.8	4.8	5.0	4.8	5.1	4.7	4.9
Palmira	4.8	4.5	4.5	4.5	4.6	4.7	4.1	4.3	4.4	4.5
Viges	4.8	4.7	4.7	4.7	4.4	4.7	4.4	4.6	4.8	4.6
Promedio	5.0	4.8	4.9	4.8	4.7	4.9	4.7	4.9	5.0	4.8

Los hilados confeccionados con fibras más finas, resultan en más fibras por sección transversal, lo que a su vez produce mayor resistencia, retención y absorbancia de la tinta, estos parámetros de calidad varían con la madurez de las fibras y se relacionan proporcionalmente.

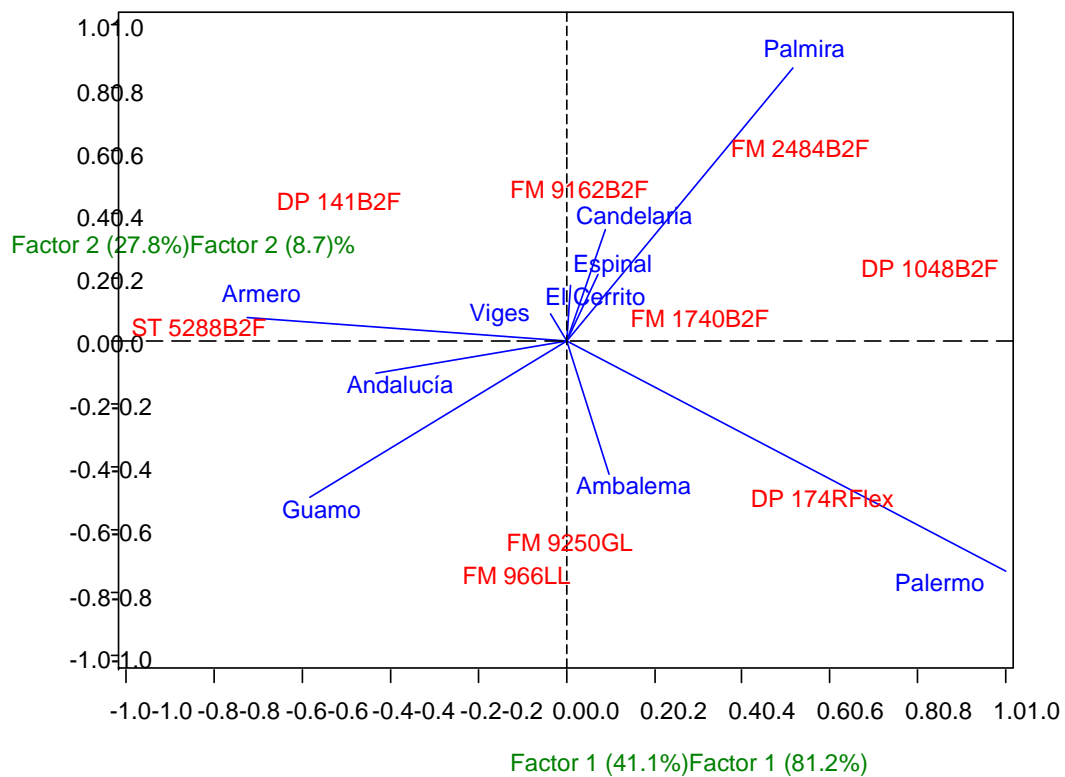


Figura 7. Biplot para la descomposición de la interacción genotipo ambiente en la variable finura.

El modelo AMMI (Figura 7), para la variable finura, presenta en las dos primeras componentes una explicación de la varianza del 68.9%. La alta significancia en la interacción encontrada muestra que los genotipos responden de manera diferencial en las diferentes localidades. Se observó la conformación de un grupo ambiental entre los municipios de Candelaria, Espinal, El Cerrito, Viges y Palmira, asociadas con los Genotipos FM 9162B2F, FM 1740B2F y FM 2484B2F. La mayor interacción fué para Palmira, la cual determinó os comportamientos diferenciales de cada una de las variedades evaluadas. Respecto de la variable finura, este ambiente presentó los valores más bajos y esto correspondió a los de mejor aptitud para la industria Algodonera Textil.

Se presentan altas correlaciones entre la localidad Palmira y el genotipo FM 2484B2F, la localidad Armero con los genotipos ST 5288B y DP 141B2F, para la localidad Palermo con el Genotipo DP 174RF. Los genotipos FM 9250G y FM 966LL correlacionados con Ambalema pueden ser utilizados en la zona del Tolima, excepto en Armero y Espinal para esta Variable. El genotipo FM 1740B es estable en la característica de finura. El Genotipo FM 9162B2F bien relacionado con el ambiente Candelaria.

Finalmente, el material DP 1048 B2F de acuerdo con el grafico, no se asocia a ningún ambiente de evaluación, esto podría relacionarse a los ambientes que no discriminan genotipos, ni influyen de manera significativa en la expresión de esta variable entre ellos las localidades de Vigés, el Cerrito y Espinal.

4.3.4 Longitud de la fibra (LF)

El análisis de varianza de acuerdo con el modelo AMMI no arroja diferencias significativas para la interacción, sin embargo si observaron diferencias entre variedades y ambientes evaluados. Con un promedio general de 28.4 mm para longitud de fibra, caracterizada como fibra de longitud media (Tabla 11). Sin embargo el análisis por separado para los diferentes ambientes, mostró que El Cerrito, Palmira y Vigés tienen valores de LF, correlacionados con fibras de tipo Largas, por encima de los 29 mm de longitud promedio en los tres ambientes.

Tabla 14. Tabla guía para el análisis del carácter longitud de la fibra del algodón (Conalgodón, 2010).

Longitud en pulgadas	Longitud en milésimas de pulgadas	Longitud en milímetros	Apreciación
< 7/8	< 0.890	< 21,8	Fibra Extra Corta
7/8 - 31/32	0.891 – 0.999	21,8 - 24,9	Fibra Corta
1" - 1 1/8"	1.000 – 1.139	25,1 - 28,7	Fibra Media
1 5/32 - 1 3/8	1.140 – 1.209	29,0 - 30,5	Fibra Larga
> 1 3/8	1.210 en adelante	> 30,5	Fibra Extra Larga

Lo anterior es explicable debido a que cada una de estas localidades presentaron características importantes de diferenciación climática favorable, el Cerrito tuvo las más bajas temperaturas promedios para el año 2012 con 22.5 grados centígrados contribuyendo al buen desarrollo de la fibra del algodón. Por su parte Palmira presentó 1720.7 horas/luz, en promedio y Vijes 1592.8 horas/luz de brillo solar, por otra parte, corresponden a suelos de fertilidad alta ricos en potasio, fundamental en el desarrollo fisiológico de la fibra (Conaldodon, 2010).

Tabla 15. Resultados del Modelo AMMI para la variable Longitud todas las localidades.

Ambiente	Genotipo									
	DP 1048B2F	DP 141B2F	DP 174RFlex	FM 1740B2F	FM 2484B2F	FM 9162B2F	FM 9250GL	FM 966LL	ST 5288B2F	Promedio
Ambalema	28.8	28.3	28.3	27.9	28.3	28.0	28.3	28.2	28.5	28.3
Andalucia	27.2	27.7	28.6	26.5	28.7	28.0	28.3	27.7	27.2	27.8
Armero	26.9	27.9	27.7	26.9	28.1	27.8	28.7	27.2	27.4	27.6
Candelaria	29.1	28.4	28.4	28.7	28.6	28.1	29.1	28.8	28.6	28.6
El Cerrito	30.0	29.7	29.7	29.1	30.4	29.3	30.3	29.1	29.0	29.6
Espinal	28.6	28.1	28.6	28.4	29.3	28.8	29.3	28.8	28.3	28.7
Guamo	28.2	27.9	27.4	27.4	28.6	27.4	27.9	27.1	28.1	27.8
Palermo	26.8	28.4	27.1	27.8	27.3	27.6	28.3	26.9	27.8	27.6
Palmira	29.2	28.5	29.9	28.6	30.0	28.8	29.1	29.3	29.1	29.2
Viges	29.7	29.8	28.9	28.8	29.0	29.1	29.1	28.6	27.9	29.0
Promedio	28.4	28.5	28.5	28.0	28.8	28.3	28.9	28.2	28.2	28.4

La longitud de la fibra de algodón, es un carácter variable que depende del genotipo y las condiciones ambientales, la temperatura, disponibilidad de humedad y la nutrición potásica.

En el promedio general para todos los genotipos se observaron fibras de longitud media para todos sin distinción alguna, los mayores valores para este carácter se encuentran en la localidad de El Cerrito con los genotipos DP 1048B2F con 30 mm, FM 2484B2F con 30.4 mm y FM 9250GL con 30.3 mm. En contraste con lo anterior, para Armero en el departamento del Tolima y

Palermo se observaron los menores valores de LF, con los genotipos DP 1048B2F, FM 1740B2F y FM 966LL para Andalucía con valores de 26 mm de longitud y con DP 1048B2F y FM 966LL para Palermo con valores también de 26 mm de longitud en la fibra siendo esta de tipo media para la interacción Ambiental.

Para la variable longitud el modelo AMMI explica en sus dos primeras componentes el 64% de su variabilidad. La longitud de la fibra presenta alta correlación en Armero con los genotipos FM 9162B y FM 9250G, mientras que en Palermo la longitud esta correlacionada con el genotipo DP 141B2.

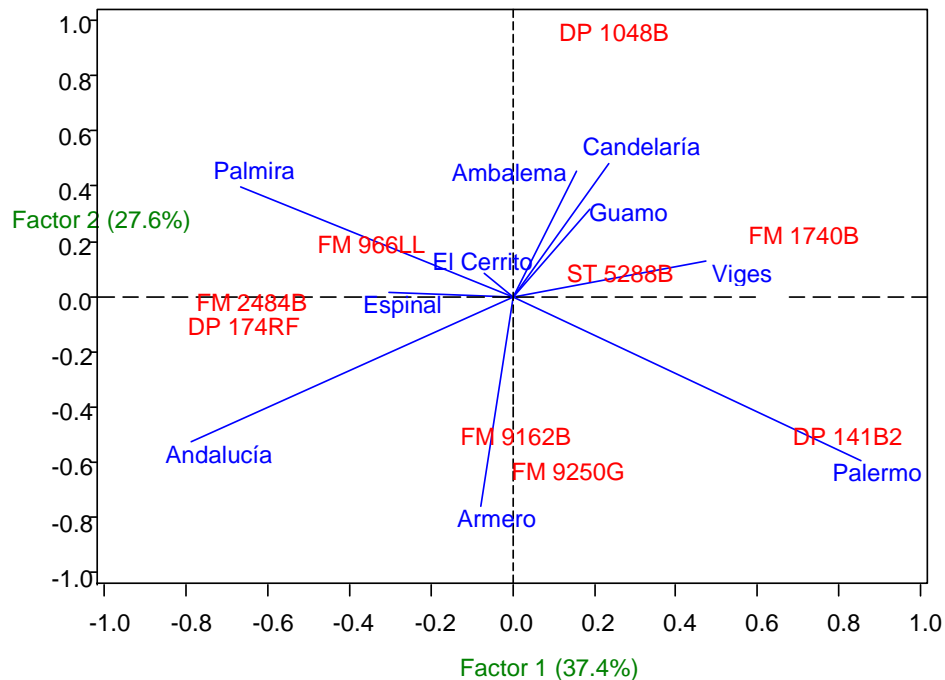


Figura 8. Biplot para la descomposición de la interacción genotipo ambiente en la variable longitud.

Para las localidades del Valle del Cauca se presenta una correlación media entre los genotipos FM 2484B y DP 174RF con las localidades de Andalucía y Palmira. La variedad más estable en la característica longitud de la fibra es ST 5288B, esto indica que al cambiar de localidad la longitud de la fibra no varía significativamente.

4.3.5 Resistencia de la fibra (RF)

La resistencia, no presentó diferencias significativas entre genotipos, lo que corresponde con lo observado en la tabla 13. Todos los materiales presentan un valor alrededor de 28 gr/tex, correspondiente a fibras Resistentes. De acuerdo a esto, puede considerarse que los valores de resistencia son óptimos, ya que la resistencia de la fibra, es una variable determinada por el genotipo, sin embargo también existen una relación debida a la deficiencia de nutrientes en la planta principalmente, el parámetro de resistencia es óptimo cuando es mayor a 26 gr/tex (peso/tamaño) (Conalgodón, 2010).

La respuesta de las localidades mostró que los mayores valores se presentan para la Zona Agroecológica del alto del rio Magdalena, lo que estaría indicando que las condiciones ambientales para estas localidades son determinantes para la respuesta a un mayor índice resistencia.

Tabla 16. Resultados del Modelo AMMI para la variable Resistencia todas las localidades.

Ambiente	Genotipo									
	DP 1048B2F	DP 141B2F	DP 174RFlex	FM 1740B2F	FM 2484B2F	FM 9162B2F	FM 9250GL	FM 966LL	ST 5288B2F	Promedio
Ambalema	31.5	29.6	30.3	31.6	30.9	30.4	31.5	32.5	30.2	30.9
Andalucia	27.9	29.9	29.6	27.0	29.5	30.7	32.1	33.0	27.9	29.7
Armero	27.2	33.7	29.2	29.6	30.6	31.6	30.6	31.6	28.5	30.3
Candelaria	28.4	28.6	27.2	27.4	28.8	29.2	29.5	28.9	26.7	28.3
El Cerrito	29.9	31.4	29.2	28.6	29.5	31.1	30.2	30.8	27.8	29.8
Espinal	33.2	31.5	31.6	30.1	31.9	31.4	31.4	33.7	30.3	31.7
Guamo	28.5	32.8	28.0	29.6	30.7	30.8	31.0	29.7	29.5	30.1
Palermo	28.3	31.1	27.5	29.6	28.8	33.3	31.3	30.9	29.9	30.1
Palmira	31.5	31.4	30.1	29.0	30.4	29.3	28.5	29.7	30.5	30.0
Viges	27.5	30.2	28.4	28.7	31.9	31.1	28.9	31.2	27.4	29.5
Promedio	29.4	31.0	29.1	29.1	30.3	30.9	30.5	31.2	28.9	30.0

Para las interacciones se observaron datos interesantes con valores por encima de los 33 gr/tex, para Armero, la interacción con las variedades DP 141B2, FM 9162B2F, FM 966LL, Espinal con la mayoría de Variedades, Guamo con DP 141B2F, FM 9250GL, Palmira con DP 1048B2F y DP 141B2F, Andalucía con DP 1048B2F, FM 1740B2F, FM 9250GL y FM 966LL, Vijes con FM 2484B2F, FM 9162B2F y FM 966LL, Ambalema con DP 1048B2F, FM 1740B2F, FM 9250GL, FM 966LL, con valores sobresalientes por encima de 31 gr/tex para fibras muy resistentes de acuerdo con lo observado en la tabla 14 y demandadas por la industria textil nacional e internacionalmente.

Tabla 17. Parámetros para la resistencia de la fibra (RS) de algodón (Diagonal, 2013).

Resistencia g/tex	Apreciación
< 21.0	Muy Débil
22.0 – 24.0	Débil
25.0 – 27.0	Promedio
28.0 – 30.0	Resistente
> 31	Muy Resistente

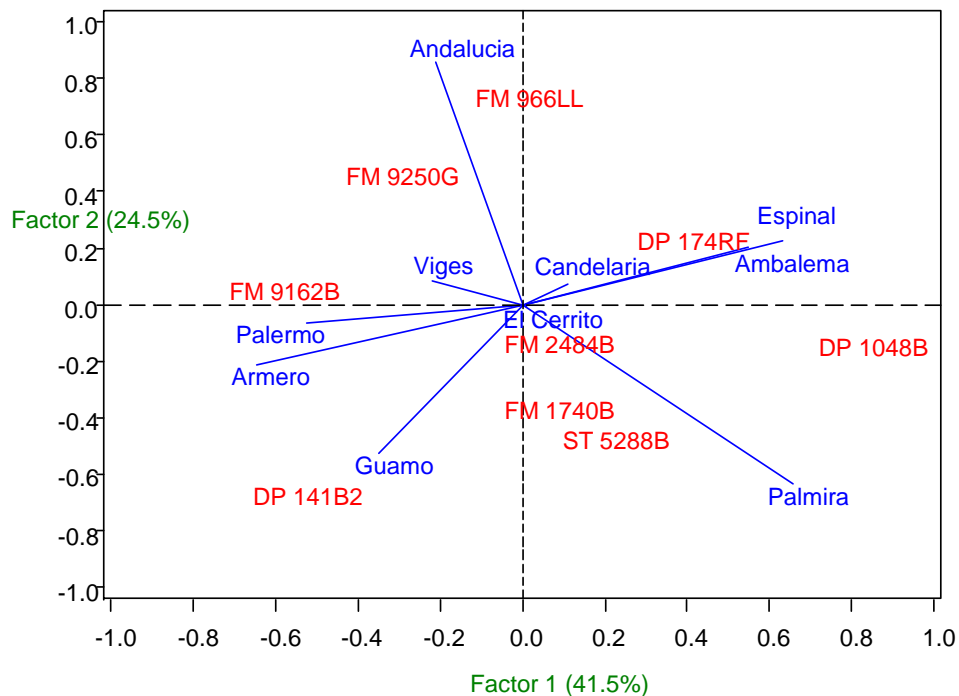


Figura 9. Biplot para la descomposición de la interacción genotipo ambiente en la variable resistencia de la fibra.

La resistencia de la fibra esta explicada en su primera componente en el 41.5% y en la segunda por el 24.5%, lo que representa un 66% total de la variabilidad.

La variedad más estable para este carácter es la FM 2484B2F por presentar su cercanía al eje central del biplot, se observó las correlaciones e interacciones entre Palermo y Armero con el genotipo FM 9162B2F además de la fuerte influencia que ejerce Andalucía sobre el comportamiento diferencial del FM 9250GL y FM 966LL en cuanto a la cercanía de los vectores correspondientes y presentando valores altos para el carácter correspondientes a fibras resistentes.

Las localidades Espinal y Ambalema en su interacción positiva con el genotipo DP 174B2F, y el Guamo con DP 141B2F, existen otra asociación ambiental de interacción pero con menor intensidad y el Palmira con las dos variedades FM 1740B2F y ST 5288B2F sin presentarse una fuerte asociación. Los mejores

ambientes para la expresión de este carácter fueron Espinal, Guamo y Palermo en el Departamento del Tolima.

4.3.6 Uniformidad de la fibra (UF)

En la tabla 15, se observa que el promedio general la variable UF esta en 80.6%, y esto estaría señalando fibras de baja uniformidad, en general se puede también observar que los genotipos FM 9162 B2F y FM 966 LL , son los de valores promedios favorecidos por los ambientes de la zona del Valle geográfico del Magdalena, los cuales mostraron los mayores valores.

En el análisis de varianza revelo que no hay diferencias significativas entre genotipos, en contraste el comportamiento por ambientes si muestra una Interacción significativa.

Tabla 18. Resultados del Modelo AMMI para la variable Uniformidad en todas las localidades

Ambiente	Genotipo									Promedio
	DP 1048B2F	DP 141B2F	DP 174RFlex	FM 1740B2F	FM 2484B2F	FM 9162B2F	FM 9250GL	FM 966LL	ST 5288B2F	
Ambalema	83.0	79.8	81.5	83.2	80.6	82.6	82.5	83.2	80.2	81.8
Andalucia	79.3	80.4	81.7	77.4	78.9	80.8	80.2	81.7	79.7	80.0
Armero	79.1	80.5	80.0	79.0	81.3	80.8	80.4	81.0	80.0	80.2
Candelaria	77.7	81.7	77.9	78.3	78.7	78.8	78.9	79.4	77.9	78.8
El Cerrito	82.1	80.5	80.5	80.1	79.6	80.7	81.0	80.3	79.9	80.5
Espinal	80.8	80.3	80.9	82.0	81.1	81.5	81.9	82.3	80.9	81.3
Guamo	81.4	81.2	79.6	82.1	82.4	80.7	82.2	80.6	81.0	81.2
Palermo	82.3	78.9	81.2	80.8	80.2	82.8	82.6	82.0	81.3	81.3
Palmira	81.4	82.0	82.2	81.6	81.1	82.1	79.9	81.4	81.1	81.4
Viges	78.1	81.4	79.3	80.2	79.0	79.6	78.0	80.3	78.6	79.4
Promedio	80.5	80.7	80.5	80.5	80.3	81.0	80.8	81.2	80.0	80.6

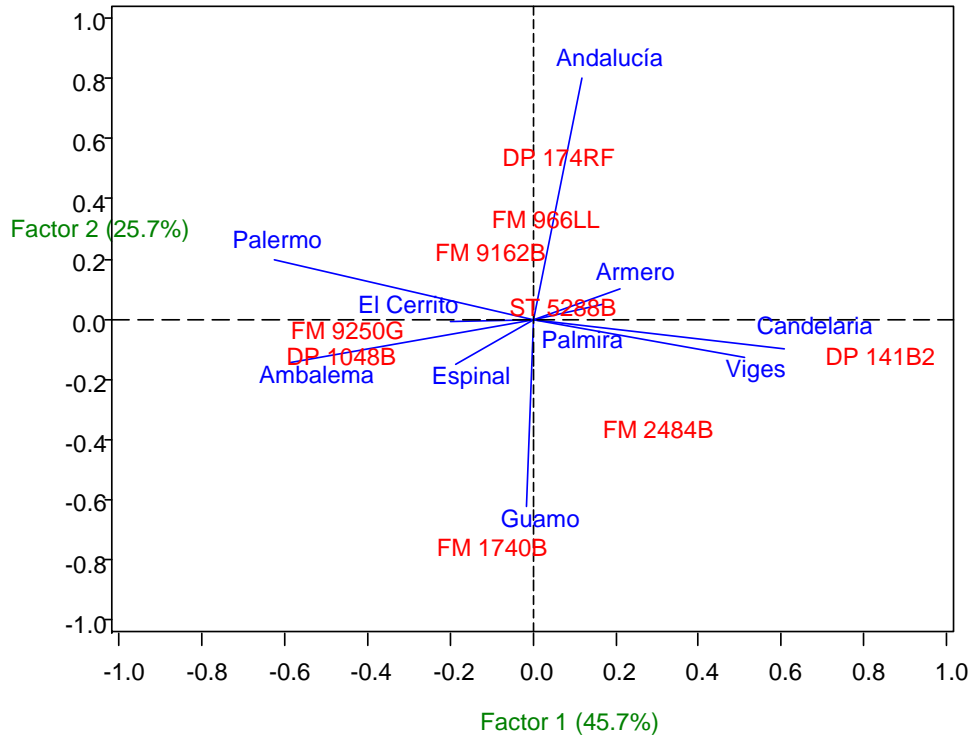


Figura 10. Biplot para la descomposición de la interacción genotipo ambiente en la Uniformidad de la fibra.

Para la uniformidad el modelo AMMI explica en sus dos primeras componentes el 71.4% de su variabilidad. La uniformidad de la fibra presenta una alta correlación entre la localidad del Guamo y el genotipo FM 1740B, la localidad de Andalucía presenta correlación con DP 174RF, FM 966LL y FM 9162 B2F. Las localidades de Candelaria y Vigés correlacionan con el genotipo DP141B2 y FM 2484 B2F, Mientras que en las localidades de Ambalema y Palermo están correlacionadas con FM 9250G y DP 1048B. El genotipo más estable en la uniformidad de la fibra es ST 5288B2F como se muestra con las demás variables evaluadas.

Los ambientes Armero, Espinal, Palermo no presentan interacción y carecen de asociación de Genotipos para estos ambientes en la expresión del carácter Uniformidad e las fibras del algodón al igual que el genotipo FM 2484B2F el cual no está determinado por ningún ambiente en la interacción.

4.4 Análisis del modelo de regresión SREG

4.4.1 Rendimiento (R)

Los resultados del modelo de regresión por sitio para la variable rendimiento, señalaron que los dos primeros componentes principales explican el 93.4% de la variabilidad total para este carácter. Se observó a formación de dos macro ambientes definidos: El primero conformado por las localidades de departamento del Valle del Cauca y el segundo corresponde a las localidades del departamento del Tolima excluyendo únicamente el Espinal quien a pesar de su ubicación geográfica tiende a agruparse con la localidad Andalucía.

Se observó que el primer macro ambiente está conformado por localidades Candelaria, Palmira, El Cerrito, Vijes y Andalucía con un excelente potencial productivo para las diferentes variedades evaluadas, esto debido posiblemente a la alta fertilidad de los suelos, los valores de precipitación promedio 1184 mm para el año 2012 en todo el departamento (IDEAM, 2012).

Las condiciones ambientales de cantidad de horas/luz, permitieron el correcto desarrollo vegetativo y reproductivo del Algodón, con niveles de 1336 horas luz acumuladas promedio para el departamento, además de temperaturas medias de 23,6 grados centígrados óptimas para el buen desarrollo de la fibra de Algodón semilla asociadas estas localidades a las variedades FM 9162B2F con un promedio de producción de 4,6 ton/ha, FM 1740B2F con un promedio productivo de 4,9 ton/ha y el material FM 2484B2F con una producción de 4,6 ton/ha pero observándose la gran superioridad del primer material en este

macro ambiente evaluado. Además de lo anterior se observa estabilidad para las variedades FM 1740B2F y FM 9162B2F según lo observado en el Biplot en el CP2 (componente principal 2) estos con valores cercanos a cero.

El segundo macro ambiente conformado por las localidades del departamento del Tolima con Guamo, Armero, Ambalema, Palermo con el mayor potencial productivo para la primera localidad con un promedio de 4,5 ton/ha siendo una producción excelente para esta zona y con alta puntuación para el CP1 (componente principal 1) asociado a este el Genotipo ST 5288B2F y con menor fertilidad de suelos texturas mas arenosas y con condiciones ambientales más extremas.

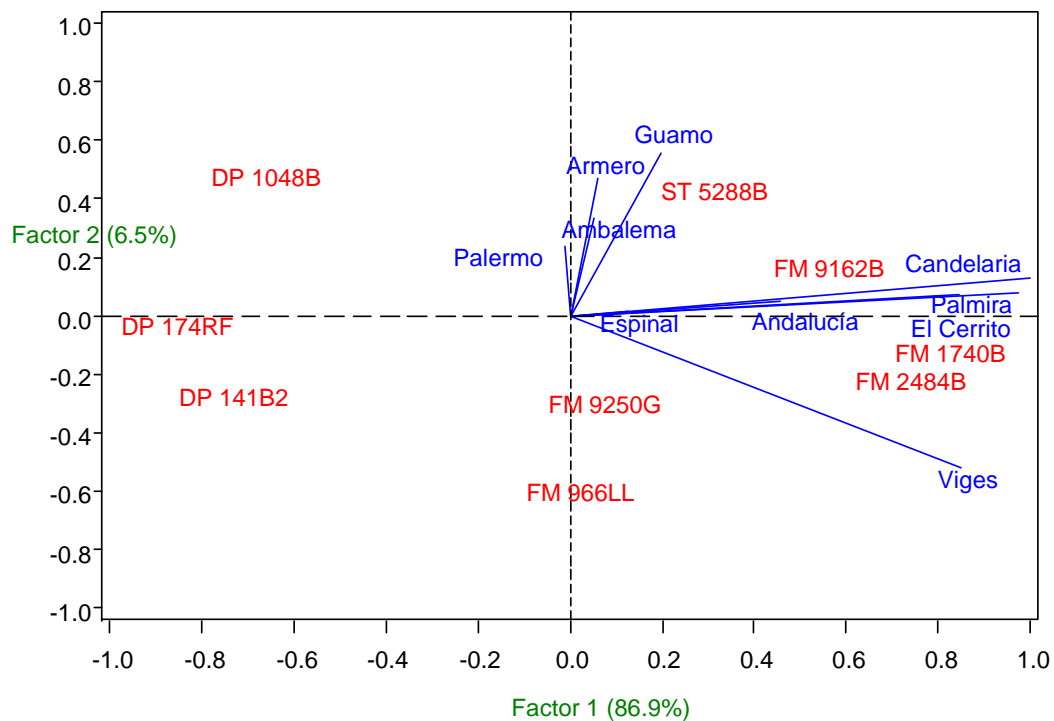


Figura 11. Biplot para el modelo SREG en la variable rendimiento.

Se observó el pobre aporte ambiental de la localidad Espinal el cual no tiene influencia alguna sobre la expresión del carácter para las Variedades evaluadas

y a su vez genotipos de bajo rendimiento estando ubicados lejos de las localidades o macro ambientes los cuales son: DP 1048B2F, DP 174RFlex, DP 141B2F, FM 966LL y FM 9250GL con producciones promedios de 3.4, 2.9, 3, 3.8, 3.9 ton/ha respectivamente correspondiendo con las menores producciones para el Experimento.

4.4.2 Porcentaje de fibra (F%)

En la figura 12, las dos primeras componentes del modelo SREG para la variable fibra tienen un explicación de la variabilidad del 67.3%. Se presentan dos zonas marcadas una formada por las localidades de Ambalema y Palermo, que tiene asociadas el genotipo DP 141B2 y Espinal que no presenta asociación con ningún material.

Para las demás localidades se diferencia una zona que forma un macro ambiente, debido a la falta de interacción entre los genotipos y las localidades.

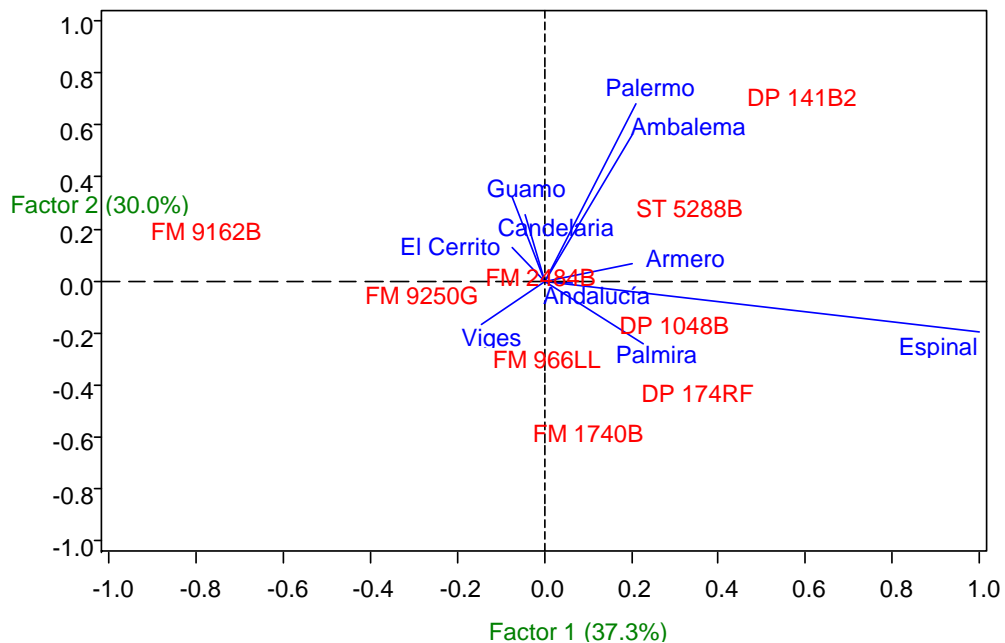


Figura 12. Biplot para el modelo SREG en la variable fibra.

4.4.3 Finura (F)

Para la variable finura el modelo SREG (figura 13), explica en sus dos primeras componentes el 68.2% de su variabilidad. En la figura 12 se discriminan claramente tres macro ambientes bien definidos el primero conformado por las localidades Palermo y Palmira Asociado a los genotipos DP 1048B2F con mayor aportación a la interacción con valores de 5 perteneciendo a fibras ásperas y al genotipo DP 174RFlex con un aporte menor a esta, un segundo macro ambiente en el cual están las localidades Espinal, El Cerrito y Viges y el genotipo único en esta asociación FM 9162B2F, y un tercer ambiente más amplio en dispersión con las localidades Andalucía, Armero y Guamo con los genotipos ST 5288B2F con mayor aporte y los genotipos DP 141B2F Y FM 966LL en menor rango para esta zona.

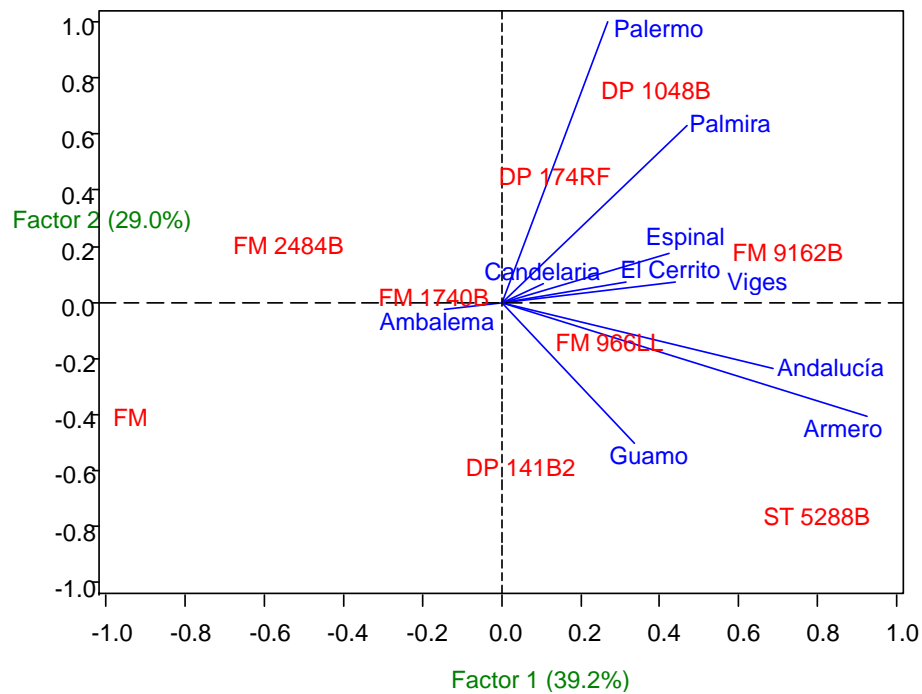


Figura 13. Biplot para el modelo SREG en la variable finura.

El genotipo FM 1740B2F es indiferente y carece de respuesta frente a los cambios ambientales y presenta estabilidad para este carácter, a diferencia de FM 2484B2F, FM 9250B2F los cuales estar en sitios aislados poseen pobre comportamiento para esta variable. La localidad Ambalema no presenta influencia ambiental sobre ningún genotipo evaluado por estar en el centro del Biplot.

4.4.4 Longitud de la fibra (LF)

La variabilidad de la longitud de la fibra es explicada por el modelo SREG en dos componentes en un 65.7%. No se discriminaron macro ambientes pero si se observó asociación de genotipos definidos a algunas localidades específicas, además de mostrar el Biplot la influencia ambiental positiva y favorable de algunos ambientes para la expresión de este carácter en dichos genotipos. Se observa una alta interacción entre la localidad Armero y el genotipo FM 9250GL con 28.8 mm de longitud de la fibra catalogada como fibra media, además de la asociación del Andalucía con la Variedad FM 2484B2F con igual valor de fibra media, el material DP 174RFlex con Palmira en el Valle del Cauca y por ultimo Palermo con la variedad DP 141B2F.

Se observa un genotipo el cual es poco responsivo a los cambios ambientales presentado estabilidad para este carácter FM 9162B2F a su vez que hay dos localidades Candelaria y Ambalema las cuales no ejercen influencia alguna sobre la expresión de la variable para las diferentes Variedades evaluadas en el presente estudio. También hay genotipos con pobre desempeño en los valores para este carácter por estar lejos de las localidades, estos son FM 1740B2F, ST 5288B2F, DP 1048B2F y FM 966LL.

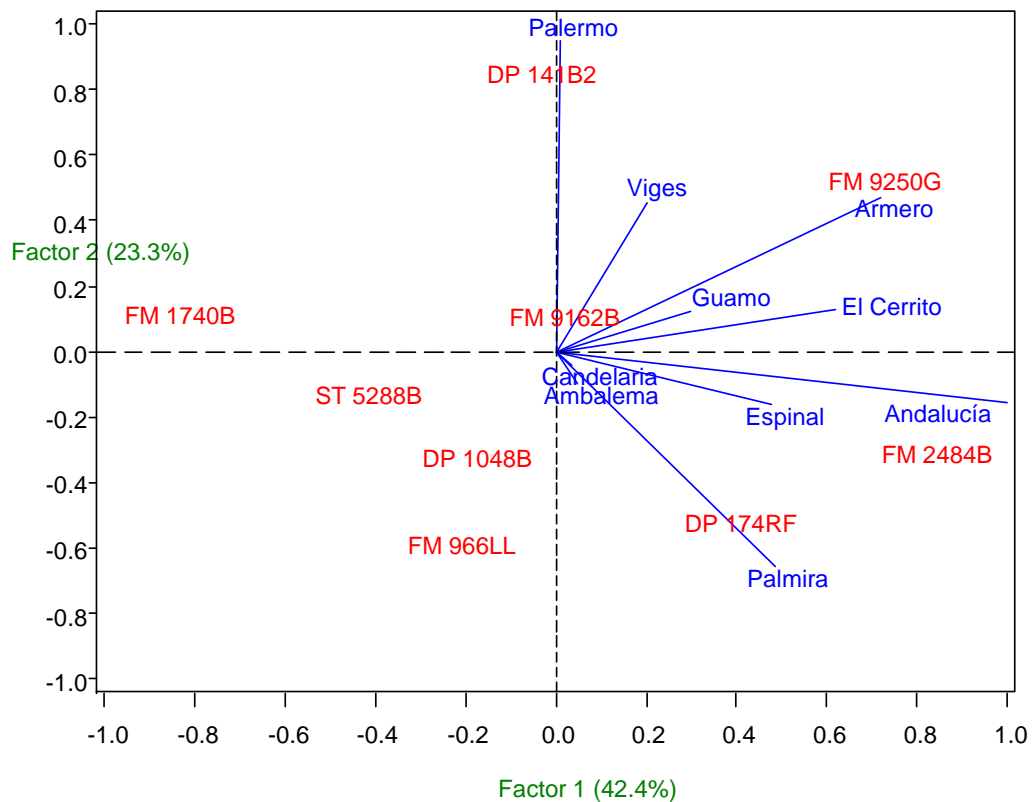


Figura 14. Biplot para el modelo SREG en la variable longitud.

4.4.5 Resistencia (RF)

El modelo SREG para la resistencia de la fibra, explica el 74.7% de la variabilidad, en la figura 15 se puede observar que se forma un macro ambiente de la zona del Tolima formado por las localidades Palermo, Guamo y Armero, el cual está asociado a los genotipos FM 9162B y DP 141B2, en esa misma zona se forma otro macro ambiente con las localidades de Ambalema y Espinal, pero que no tienen asociado ningún genotipo.

En la zona del Valle del Cauca se asocian tres localidades Candelaria, El Cerrito y Vigés, que se correlacionan con la variedad FM 9250G y Andalucía se encuentra solitaria, pero asociada altamente al genotipo FM 966LL. Los materiales DP 1048E, DP 174RF ST 5288B y FM 1740B tiene una correlación negativa con las zonas definidas.

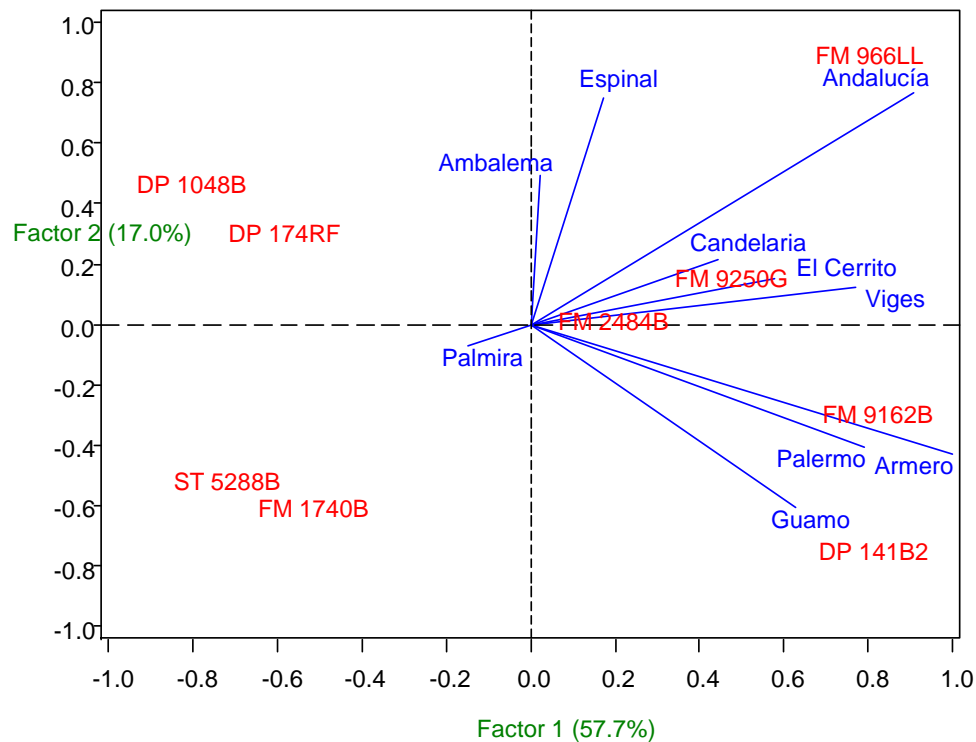


Figura 15. Biplot para el modelo SREG en la variable resistencia.

Se observó para los genotipos DP 1048B2F, DP 174RFlex, ST 5288B2F y FM 1740B2F con falta de asociación y bajos valores para esta variable en estudio por encontrarse sin asociación a localidad alguna.

4.4.6 Uniformidad de la Fibra (UF)

Para la uniformidad de la fibra (figura 16), el modelo SREG explica el 66.2% de la variabilidad en la dos primeras componentes. El grafico muestra que forma

dos macro ambientes grandes, uno en el Valle del Cauca formado por las localidades de Palmira El Cerrito, Candelaria y entre ellos se mezcla la localidad de Armero, a esta zona se asocia el genotipo DP 141B.

En el extremo opuesto se forma otro macro ambiente con las localidades de Palermo, Ambalema, El Cerrito y Espina, a esta zona se asocian los genotipos FM 9250B y DP 1048B. La zona de Andalucía es independiente y tiene asociados los genotipos FM 966LL y DP 174RF. La otra localidad independiente es Guamo y se asocia con los genotipos FM 1740B y FM 2484B.

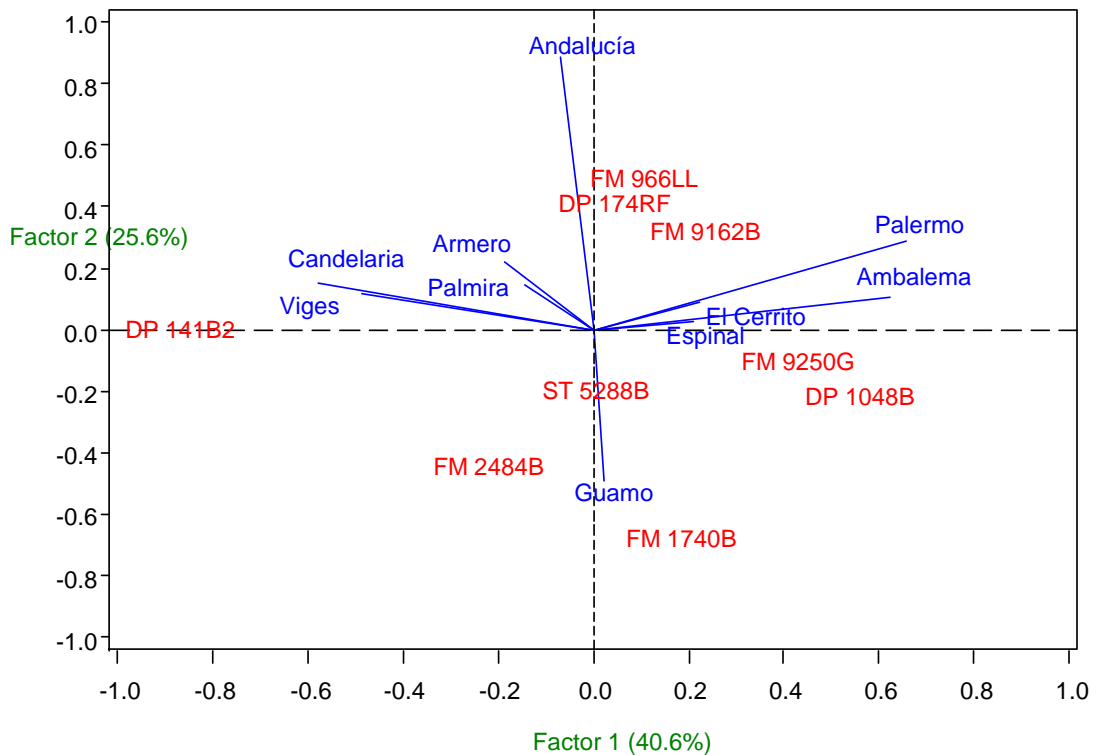


Figura 16. Biplot para el modelo SREG en la variable uniformidad.

4.5 Discusión de resultados: AMMI y SREG

4.5.1 Análisis del rendimiento

Con el análisis de la variable Rendimiento utilizando las metodologías AMMI y SREG se observaron similitudes en los resultados de la Interacción IGA entre variedades y ambientes evaluados. El modelo AMMI reveló el 89.9% de la variabilidad correspondiente a la interacción en sus dos primeros componentes. Por su parte los dos componentes integrales evaluados en el modelo SREG, explicaron el 93.4%, con una tendencia más ajustada en el análisis de regresión por sitio. Lo anterior estaría mostrando que las variedades si respondieron de manera diferencial a la variación ambiental, además los ambientes contribuyeron significativamente en la variación total, y esto confirma las diferencias climáticas y edafológicas, entre ambientes (Rodríguez *et. al.*, 2002).

Los dos modelos coinciden en la disgregación de dos ambientes, en los cuales uno responde positivamente al potencial de los materiales, mientras el otro marca menor potencial de rendimiento. Los resultados sugieren que la zona Agroecológica del Valle del Rio Cauca, es la de mayor influencia sobre el rendimiento; las localidades más importantes y destacadas fueron: Viges con un rendimiento de 5.1 t/ha, seguida de Candelaria y el Cerrito cada una con 4.8 t/ha. Las variedades con mayor rendimiento asociadas a estas localidades fueron: FM 1740, FM 2484 y FM 9162, siendo el material FM 1740, el de mayor producción con 4.9 t/ha de algodón semilla. Lo anterior evidencia, la aceptación que estos materiales transgénicos han tenido por regiones, el Valle del cauca, es el ambiente propicio en la expresión de esta variable, ya que Las etapas del desarrollo del cultivo son afectadas por las condiciones climáticas: temperatura, radiación, humedad relativa y precipitación, especialmente la variación de la temperatura diurna-nocturna, un factor que afecta la duración de cada una de las etapas del crecimiento del cultivo (CORPOICA, 2005).

El ambiente menos favorecido, señalado por los dos modelos, es la Zona Agroecológica del Valle del Río Magdalena, coinciden en las localidades de menor potencial de rendimiento. Sólo se destaca la localidad del Guamo, que presenta un rendimiento por encima del promedio de la zona 4.5 t/ha. No obstante, se puede decir que el comportamiento de las variedades con mayor rendimiento fue buena en este ambiente, y esto es contrario a lo encontrado por González (2007) quien relacionó variedades productivas de algodón fibra con menor estabilidad en todos los ambientes.

En el modelo AMMI los materiales transgénicos DP, están altamente correlacionados con las localidades del departamento del Tolima, sin embargo, en el modelo SREG, estos materiales no están asociados a ninguno de los dos ambiente evaluados. Lo anterior podría estar explicado en las diferencias de la respuesta genética entre los materiales ST y DP, los cuales estarían adaptados diferencialmente a las condiciones ambientales, marcadas entre estas dos regiones. Esta diferenciación fue posible debido a que el modelo AMMI ofreció una mejor orientación al señalar el ambiente del Valle del Cauca como más productivo a las variedades más rendidoras (Cambell *et. al.*, 2005).

En general los dos modelos reflejaron una variación alta para el rendimiento, con un rango desde las 2.1 t/ha hasta las 6.8 t/ha, lo que estaría indicando que a pesar de la uniformidad genética presente en un material transgénico, el ambiente en el cual se expresa sigue siendo determinante, para las variables de importancia económica como el rendimiento, que corresponde a un carácter cuantitativo gobernado por varios genes. La disminución del impacto ambiental y de factores agronómicos, con el uso de adecuados paquetes tecnológicos, sigue siendo vulnerable para los cultivos transgénicos.

El rendimiento de las variedades transgénicas, responde a la mejora genética convencional, ya que los genes transferidos no tienen un efecto directo sobre la producción, si no que al aportar resistencia, mejora su respuesta agronómica y

simplifica el manejo agronómico, no obstante, puede observarse un efecto positivo en la estabilidad de la producción, a pesar de la influencia tan marcada en todas las localidades (Brookes y Barfoot, 2009).

4.5.2 Análisis del porcentaje de fibra (F%)

El porcentaje de la fibra, es una variable que mostró un comportamiento muy uniforme, y fue observado en los dos modelos evaluados. Los resultados mostraron valores con rangos óptimos en términos de escala comercial. El análisis de Varianza, no se señaló diferencias significativas ($p < 0.001$) entre los genotipos ni para la interacción. De acuerdo con los resultados, el porcentaje de fibra estaría respondiendo a un componente aditivo importante.

El comportamiento del material FM 2484 B2F para el (%F), fue estable en los dos ambientes evaluados, mientras que para el material FM 9162, no presentó asociación alguna a ninguno de los ambientes. El porcentaje de fibra para la localidad de Espinal en el Departamento del Tolima, no asocia ningún comportamiento genotípico, la respuesta se observó en los dos modelos evaluados. No obstante, la respuesta fue positiva para la variable (%F) en la localidad de Andalucía (Valle del Cauca), ya que presentó valores mayores iguales al 44% de Fibra, en todos los materiales. Por su parte el modelo AMMI destacó la asociación estadística de las localidades de Armero y Andalucía con el genotipo FM 966.

4.5.3 Variables relacionadas con la calidad de la fibra

La variable Finura (F) presentó para los dos modelos evaluados diferencias significativas ($p < 0.05$) entre genotipos, ambiente y la IGA. En el análisis de

medias generales se observó que la zona Agroecológica del Valle Geográfico del alto Magdalena, presentó los promedios más importantes y se relacionaron con fibras catalogadas como ásperas, las localidades que se destacan son Ambalema con un promedio de 5.4 $\mu\text{g/in}$ y el Guamo con 5.3 $\mu\text{g/in}$.

En el modelo AMMI se observó una clara correlación entre ambientes y genotipos específicos, relacionados con la calidad de la fibra, lo cual mostró un acercamiento entre ambientes. La localidad Guamo en el Tolima con el Genotipo ST 5288, presentó fibras en promedio de 5.0 $\mu\text{g/in}$ de finura. Mientras para el ambiente del Valle del Cauca, la localidad de Candelaria con el material FM 9162 y Palmira con el material FM 2484. En la expresión de la variable finura, se observaron genotipos que en el análisis de componentes principales no se asociaron a ningún ambiente, entre ellos los materiales DP 141 y DP 1048. Adicionalmente, localidades que no determinaron el comportamiento de ninguno de los genotipos, entre ellos El Cerrito, Viges y Espinal.

En relación con la variable longitud de la fibra, no presentó efectos significativos entre genotipos, pero si diferencias para la interacción genotipo por ambiente, representado en el componente aditivo señalado en el modelo AMMI. Todas las localidades del Valle del Cauca con las variedades FM 2484 y DP 171. Para algunas localidades del Tolima se asocian los genotipos FM 9162 y FM 9250 siendo estos los más determinados por estos ambientes.

En cuanto a la Uniformidad de fibra (U), es un parámetro que no mostró diferencias entre las variedades transgénicas evaluadas. Sin embargo, se observaron algunos comportamientos interesantes de IGA, que señalaron que las condiciones de la localidad del Guamo son adecuadas para la expresión del genotipo FM 1740 y Andalucía como localidad independiente es favorable para los genotipos DP 174, FM 966 y FM 9162.

Para Resistencia de la fibra (RS), todas las variedades se caracterizaron por su fibra resistente. Las localidades en el Valle del río Magdalena, presentaron los mayores promedios. En el modelo AMMI se destaca la variedad FM 2484, la cual presentó la mejor estabilidad en relación a los dos ambientes evaluados.

En general para calidad de fibra, el Genotipo ST 5288 fue el que presentó la mayor estabilidad señalada en análisis de AMMI en su comportamiento a través de los ambientes. De acuerdo con lo explicado por Cordova (1991), cuando los cultivares manifiestan un comportamiento semejante en las diferentes localidades, puede atribuirse a su igualdad genética, sin embargo, ocurre sólo casos específicos, ya que se recomienda la medición de parámetros ambientales para correlacionarlos con parámetros de estabilidad.

Los genotipos DP 174 y FM 2484 fueron identificados como potenciales en las localidades de Candelaria y Vigés. El material FM 9250GL a esta misma zona pero en la localidad Andalucía, mientras el genotipo DP 141 respondió favorablemente en la localidad de Armero, del ambiente de Tolima, el Genotipo DP 174 se asoció al Espinal y Ambalema, estos resultados muestran que las diferencias entre los ambientes, pueden cambiar con frecuencia la magnitud del comportamiento de un genotipo a través de las diferentes localidades en el que fueron evaluados (Yan y Tinker, 2005).

El modelo SREG por su parte, mostró en el análisis de ACP, dos mega ambientes marcados, conformados por las localidades de Palermo y Palmira asociadas a los genotipos DP 1048 y DP 174. Espinal, El Cerrito y Vigés asociados a la variedad FM 9162. Finalmente, discrimina en el tercer cuadrante a Andalucía, Armero y Guamo relacionados con el genotipo ST 5288.

Finalmente, puede deducirse que los resultados obtenidos con el análisis del modelo AMMI, fueron muy similares a lo que se obtuvo con el modelo SREG,

particularmente en la definición de los componentes principales CP. Las diferencias entre ambientes presentan un impacto sobre las variedades, que fueron agrupadas con mayor precisión con el SREG. Estos resultados muestran que el modelo SREG, presenta una aplicación importante para definir los mega-ambientes, ya que en este análisis el biplot GGA despliega simultáneamente el efecto principal de un genotipo (G) y la interacción (GA) de un genotipo x ambiente en una tabla de doble entrada (Yan *et al.*, 2000, 2001; Yan y Kang, 2003), mientras que el AMMI lo hace sólo con la interacción genotipo por ambiente.

5. Conclusiones

- El mejor ambiente que posibilitó la expresión del potencial genético para las variedades transgénicas es Vives para el carácter rendimiento (R) en Ton/ha, a su vez para la variable porcentaje de fibra (F%), el mejor ambiente corresponde a Andalucía, y para la finura (F) del algodón teniendo en cuenta que a menor valor para este carácter mayor finura, la localidad con mejor comportamiento fue el Cerrito correspondiendo a fibras promedio. El ambiente más propicio para el desarrollo de la longitud de la fibra (LF) corresponde a El Cerrito al igual que para la finura, en contraste con esto, el ambiente Espinal fue el de mayor potencial para la expresión de la variable resistencia (RS) de la fibra del algodón.
- Para cada una de las variables en estudio existieron genotipos diferentes que muestran estabilidad frente a los cambios ambientales fluctuantes. Esto se observó para el carácter rendimiento en ton/ha, en el cual existen dos genotipos que presentaron estabilidad, las variedades FM 9250GL y ST 5288B2F, este último figurando como el más estable, además para las variables uniformidad (U) y longitud de la fibra (LF) del algodón a través de los ambientes contrastantes. La variedad FM 2484B2F presentó estabilidad en las variables % de fibra y resistencia de la misma para los dos modelos, tanto AMMI como SREG, se relaciona con el material FM 9250GL también dentro de esta estabilidad

en las dos variables anteriormente mencionadas. Para terminar la variedad FM 1740B2F es estable para finura de la fibra, además del carácter longitud de la fibra según el modelo AMMI el genotipo ST 5288B2F y FM 9162B2F para SREG.

- Según el análisis de la interacción genotipo por ambiente y el modelo para los ambientes de El Cerrito, Candelaria y Palmira, la Variedad FM 1740B2F correspondió a la de mayor adaptación y productividad para la variable (R) en ton/ha de algodón Semilla, también para los ambientes Armero, Ambalema, Guamo y Palermo correspondientes al departamento del Tolima se asocian muy bien en interacción con las Variedades DP en especial por su mejor comportamiento el Genotipo DP 1048B2F alcanzando la mayor productividad para esta zona.
- Se observó claramente que los dos modelos en estudio tanto AMMI como SREG tienen una clara complementariedad aunque con algunas diferencias, que ayudan a comprender mejor el estudio de la Interacción genotipo por ambiente para las diez variedades transgénicas evaluadas en los diez ambientes contrastantes del presente estudio.

6. Bibliografía

1. Bechere, E., Boykin, J. y Meredith, R. (2011) Evaluation of Cotton Genotypes for Ginning Energy and Ginning Rate. *The Journal of Cotton Science* 15:11–21.
2. Brévault, T., Heuberger, S., Zhang, M., Ellers-Kirk, C., Ni, X., Masson, L., & Carrière, Y. (2013). Potential shortfall of pyramided transgenic cotton for insect resistance management. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 110(15), 5806-5811.
3. Bradow, J. M., Davidonis, G. H. 2010. Effects of environment on fiber quality. En: *Physiology of Cotton*. Stewart, J., Ooterhuis, D., Heitholt, J., Mauney, J. (Eds). 21: 229-245.
4. Brookes, G. y Barfoot, P. (2009). Global impact of Biotech Crops: Income and Production Effects 1996-2007. *AgBioForum* 12 (2): 184-208.
5. Cadena, T.J. (2000). Crecimiento y desarrollo de la planta de algodón y sus efectos sobre el manejo del cultivo. In: *Memoria curso manejo integrado del algodonero*, Corpoica. Valledupar. pp. 46-57.
6. Campos, G.J. (2004). Adaptación e interacción genotipo-ambiente de lino (*Linum usitatissimum* L.) en Chile. Tesis Ingeniero Agrónomo. Universidad de Concepción, Facultad de Agronomía, Chillán, Chile.
7. Castillo D., Matus, I., Del Pozo, A., Madariaga, R. y Mellado, M. (2012). Adaptability And Genotype x Environment Interaction Of Spring Wheat Cultivars In Chile Using Regression Analysis, AMMI, And SREG. *Chilean journal of agricultural research* 72(2). 167-174p.
8. Cambell, T. Jones, M. (2005). Assesement of genotype x interactions for yield and fiber quality in cotton performance trial. *Euphytica* 144: 67-78

9. Chaparro, Alejandro. (2011). cultivos transgénicos:: entre los riesgos biológicos y los beneficios ambientales y económicos. *acta biológica Colombiana*, 16(3), 231-252.
10. CONALGODOÓN, (2012) Avances de la estrategia exportadora para el algodón en Colombia. Ministerio de agricultura
11. Contreras, S. y C. Krarup. (2000). Interacción genotipo por ambiente en cinco cultivares de espárrago (*Asparagus officinalis* L.). *Ciencia e Investigación Agraria* 27:133-139.
12. Cornelius, P. L., and J. Crossa. (1999). Prediction assessment of shrinkage estimators of multiplicative models for multienvironment cultivar trials. *Crop Sci.* 99: 998-1009.
13. Cornelius, P. L. Yan, W., Kang, M. S., Ma, B., and Woods, S. (2007). GGE biplot vs. AMMI analysis of genotype-by-environment data. *Crop science*, 47(2), 643-653.
14. Cross, A. D., Wilson, R. C., & Hancock, E. R. (1997). Inexact graph matching using genetic search. *Pattern Recognition*, 30(6), 953-970.
15. Crossa, J. (1990). Statistical analysis of multilocation trials. *Adv. Agron.* 44: 55-85
16. Crossa, J., Cornelius, P. L., & Yan, W. (2002). Biplots of linear-bilinear models for studying crossover genotypex environment interaction. *Crop Science*, 42(2), 619-633.
17. Eberhart, S. T., & Russell, W. A. (1966). Stability parameters for comparing varieties. *Crop science*, 6(1), 36-40.
18. Espitia, M., Aramendiz, H. y Cadena, J. (2008). Correlaciones y análisis de sendero en algodón (*Gossypium hirsutum* L.) en el Caribe Colombiano. *Revista de la facultad nacional de agronomía.* 61(1):4325-4335.
19. Espitia, M.; Martinez, O y Mendoza, A. (1993) Estabilidad fenotípica del rendimiento y la calidad de la fibra en líneas promisorias de algodón (*Gossypium hirsutum* L.). *Revista ICA.* 28(1).

20. Finlay, K. W., & Wilkinson, G. N. (1963). The analysis of adaptation in a plant-breeding programme. *Crop and Pasture Science*, 14(6), 742-754.
21. Gabriel, K. R. (1971). The biplot graphic display of matrices with application to principal components analysis. *Biometrika* 58(3): 453-467.
22. Garcia Rodriguez, M. T. (2010). Evaluación de la soya integral cocida como remplazo de la torta de algodón en la alimentación de cerdos en crecimiento, desarrollo y acabado.
23. Gauch, H. G., & Zobel, R. W. (1996). Optimal replication in selection experiments. *Crop Science*, 36(4), 838-843.
24. Gauch, H. G., and R. W. Zobel. (1988). Predictive and postdictive success of statistical analyses of yield trials. *Theor. Appl. Genet.* 76: 1-10.
25. Gutierrez, J., Lopez, M. y El-Zik, K. (1994). AMMI (Additive main effects and multiplicative interactions analysis): A tool to determine adaptability of upland cotton genotypes in Spain, Cotton improvement Conference, Beltwide Cotton Conf. Proc., 2: 688-689.
26. Gutierrez, J. (1998). Factores climáticos que afectan a la producción y a la calidad de la fibra de algodón. *Rev. Agricultura*. 815-818pp.
27. Gómez, S. J.; Arévalo, A. M., 2003. Análisis para la adopción de la tecnología generada para el algodón en el Valle del Cauca, Corpoica, Boletín técnico N° 23, Palmira, Edit. Litotámara, 21 p.
28. González, T., Monteverde, E., Marin, C. y Madriz, P. (2007). Comparación de tres métodos para estimar estabilidad del rendimiento En nueve variedades de algodón. *Interciencia* Vol. 23. 344-348 pp.
29. Hijmans, R.J., S.E. Cameron, J.L. Parra., P.G. Jones and A. Jarvis. (2005). Very high resolution interpolated climate surfaces for global land areas. *International Journal of Climatology* 25: 1965-1978.
30. INTI. (2005). Proyecto Nacional de Algodón. Informe de avance N° 1, segunda reunión anual.
31. Kandus, M; Almorza, D; Boggio Ronceros, R Y Salerno, JC. Statistical models for evaluating the genotype-environment interaction in maize (*Zea*

- mays L.). *Phyton* (B. Aires) (2010), vol.79, n.1 [citado 2014-09-22], pp. 39-46 .
32. Kempton, B. A. (1984). The use of biplots in interpreting variety by environment interactions. *J. Agric. Sci. Camb.* 103: 123-135.
 33. Kumar, V., Joshi, S. G., Bell, A. A., y Rathore, K. S. (2013). Enhanced resistance against *Thielaviopsis basicola* in transgenic cotton plants expressing *Arabidopsis NPR1* gene. *Transgenic research*, 22(2), 359-368.
 34. Larbougna, B., Denys, S., Bernard, T. C., Oula, T., Jacob, S., y Karim, T.. (2013). Assessment of possible hybridization between Bt cotton (*Gossypium hirsutum* L.) and other Malvaceae species (*Abelmoschus* spp. and *Hibiscus* spp.) cultivated in Burkina Faso. *African Journal of Biotechnology*, 12(14), 1609-1616.
 35. Lozano A. J., VM Zamora-Villa, L Ibarra-Jiménez, SA Rodríguez-Herrera, E de la Cruz-Lázaro, M de la Rosa-Ibarra (2009). Análisis de la interacción genotipo-ambiente mediante el modelo ammi y potencial de producción de triticales forrajeros (*X Triticosecale* Wittm.) *Rev. Universidad y ciencia* 25(31):81-92.
 36. Malagón, D, (2005). El flujo de lodo en la región de armero (Tolima-Colombia) caracterización y manejo inicial. Capítulo de libro. www.cibidema.gov.co
 37. Mariotti,, J A. (1994). La interacción genotipo ambiente, su significado e importancia en el mejoramiento genético y en la evaluación de cultivares. *Inta-Crts*, serie monográfica 1, 38pp.
 38. Martínez H, Espinal CF, Pinzon N, Gomez JT. (2006). Observatorio agrocadenas Colombia Informe de coyuntura primer trimestre de 2006. Disponible en Internet.
 39. Mora, F.; Osmerio, Pupim-Junior y Scapim, C. A. (2007). Predicción del efecto de cultivares de algodón en la presencia de interacción genotipo-ambiente. *Cienc. Inv. Agr.* vol.34, n.1, pp. 13-21.

40. Montenegro, J. Paz, y P. Fernández (2008). "Evaluación de la calidad de fibra de algodón por parámetros tecnológicos y comerciales", *Idia XXI. Cultiv. Ind.*, vol. 8, n.º 10, pp. 141-144.
41. Orozco, J. A., Porras, C. J., Aramendiz, T. H. 2001. Fisiología de la producción del algodón en Colombia. I. Efectos del genotipo, riego y nutrición sobre la producción y abscisión de estructuras reproductivas. En: *Revista Comalfi*, Volumen XXVIII, Número 1, Enero – Abril 2001. pp 7 – 16.
42. Piepho, H.P. and J. Móhring. (2006). Selection in Cultivar Trials - Is It Ignorable. *Crop Science* 46:192-201.
43. Rodríguez, R. M. (2000). Modernización y reactivación de la producción de algodón en la región de la costa caribe colombiana mediante la implementación de un programa integral de transferencia y adopción de tecnología. In: *Memoria curso manejo integrado del algodón, Corpoica. Valledupar*. pp. 6-11.
44. Rodríguez, J. Enrique, Sahagún C., Villaseñor, M., Héctor E., Molina-Galán, José D., Martínez-Garza, Ángel (2005). La interacción genotipo-ambiente en la caracterización de áreas temporales de producción de trigo. *Agrociencia* 39.
45. Rodríguez, J., Sahagún C. Villaseñor, M., Molina, G. Martínez, G. (2002) Estabilidad de siete variedades comerciales de trigo (*Triticum aestivum* L.) de temporal. *Rev. Fitotec. Mex.* 25:143-151.
46. Serrano M. (2007). Reducción en el uso de plaguicidas en el algodón con el uso de algodón Bt en Colombia. Resúmenes XXXIV Congreso de la Sociedad Colombiana de Entomología. 25-27 de julio Cartagena de Indias, Alpha impresores.
47. UNCTAD, (2002). Las guías de cultivo Agricultura Orgánica en el Trópico y Subtrópico. Asociación Naturland Kleinhaderner Weg. Gräfelfing.Alemania.

48. Valencia R. y Ligarreto G. (2010). Analyses of soybean-stain (*Bradyrhizobium japonicum*) x environment interaction, in oxisols of the colombian Orinoquia *Agronomía Colombiana* 28(3), 361-371
49. Van Lijsebettens, M., Angenon, G., Zambryski, P., Van Montagu, M. V. L. M., De Block, M., Lacroix, B., y Iantcheva, A. (2013). Plant Transgenesis. *International Journal of Developmental Biology*, 57.
50. Vertel, M.; Espitia, M. y Martínez, R. (1999). Comparación de ocho índices para determinar estabilidad fenotípica en algodón (*Gossypium hirsutum* L). *Agronomía Colombiana* 16 (1-3): 30-34 p.
51. Williams H., Pecina V., García, F., Montes N., Gámez, J., Arcos, G. Miguel A., Montes S. y Alcalá L. (2010). Modelo de Finlay y Wilkinson vs. el Modelo Ammi para analizar la interacción genotipo-ambiente en sorgo. *Revista fitotecnia mexicana*, 33(2), 117-123. Recuperado en 29 de julio de 2014
52. Windels P, Taverniers I, Depicker A, Van Bockstaele E, De Loose M. (2001). Characterization of the Roundup Ready Soybean Insert. *Eur Food Res Technol.*;213:107-112.
53. Yang Z, Bielawski JP. (2000). Statistical methods for detecting molecular adaptation. *Trends Ecol Evol.* 15:496–503
54. Yan, W. y Tinker, N. (2005). An integrated biplot analysis system for displaying, interpreting, and exploring genotype by environment interactions. *Crop Sci.* 45: 1004-1016.