

**EVALUACIÓN DE LAS FUENTES DE VARIACIÓN PARA RENDIMIENTO EN
ESTUDIOS DE INTERACCIÓN GENOTIPO X AMBIENTE DE ALGODÓN
(*Gossypium hirsutum* L.) EN EL CARIBE COLOMBIANO**

**MARÍA CAMILA MUÑOZ PUCHE
MILTON EDINSON BUELVAS GUZMÁN**

**UNIVERSIDAD DE CÓRDOBA
FACULTAD DE CIENCIAS AGRÍCOLAS
PROGRAMA DE INGENIERÍA AGRONÓMICA
MONTERÍA – CÓRDOBA
2020**

**EVALUACIÓN DE LAS FUENTES DE VARIACIÓN PARA RENDIMIENTO EN
ESTUDIOS DE INTERACCIÓN GENOTIPO X AMBIENTE DE ALGODÓN
(*Gossypium hirsutum* L.) EN EL CARIBE COLOMBIANO.**

**MARÍA CAMILA MUÑOZ PUCHE
MILTON EDINSON BUELVAS GUZMÁN**
Estudiantes del programa de Ingeniería Agronómica

**Trabajo de grado en la modalidad investigación como requisito para optar al
título de Ingeniero Agrónomo.**

Director:
MIGUEL MARIANO ESPITIA CAMACHO, I.A., M.sC., Ph.D.
Docente Investigador Programa de Ingeniería Agronómica

**UNIVERSIDAD DE CÓRDOBA
FACULTAD DE CIENCIAS AGRÍCOLAS
PROGRAMA DE INGENIERÍA AGRONÓMICA
MONTERÍA – CÓRDOBA
2020**

**La responsabilidad ética, legal y científica de las ideas expresadas,
conceptos y resultados del proyecto son responsabilidad de los autores.**

**Artículo 17, acuerdo No. 039 del 24 de junio de 2005 del Consejo Superior de
la Universidad de Córdoba.**

Nota de aceptación

MIGUEL MARIANO ESPITIA CAMACHO, Ph.D.
Director

HERMES ARAMÉNDIZ TATIS, Ph.D.
Jurado

ENRIQUE PARDO PÉREZ, Ph.D.
Jurado

Montería, octubre de 2020

DEDICATORIA

A mis padres Carmen Alicia Puche Acosta y César Augusto Muñoz Pretel que siempre me guiaron por el mejor camino, mientras que, me brindaron su comprensión y cariño incondicional. A mi hermano César Luis Muñoz y a mi abuela Adela Acosta quienes siempre me sacaron una sonrisa y me apoyaron en todo momento.

A Eliana Negrete Gómez mi gran amiga, quien siempre está para mí en todo momento y me motiva e inspira a ser mejor.

Y a todos aquellos familiares y amigos que creen en mi e hicieron posible todo esto, muchas gracias.

María Camila Muñoz Puche

DEDICATORIA

A mis padres Ader de Jesús Guzmán Díaz y Milton Edinson Buelvas Cogollo por ser quienes siempre me apoyan, me formaron como persona y creen en mí. A mi hermana Erika Buelvas que me inspira a superar las adversidades con el estoicismo que solo ella posee. A mi tío Luis Buelvas y a mi abuela Adela Cogollo, quienes contribuyeron en mi formación como futuro profesional.

Gracias a todos aquellos que hacen parte de mi vida y me apoyaron en el logro de mis metas porque sin esperar nada a cambio han sido pilares en mi camino y así forman parte de este logro que me abre puertas en mi vida personal y profesional.

Milton Edinson Buelvas Guzmán

AGRADECIMIENTOS

A los profesores de la Facultad de Ciencias Agrícolas del Programa de Ingeniería Agronómica de la Universidad de Córdoba.

A nuestro director Miguel Mariano Espitia Camacho, quien además de ser nuestro maestro ha sido nuestro ejemplo de formación, gracias por sus consejos, dedicación y sus regaños, por creer en nosotros y motivarnos a dar lo mejor.

Al ingeniero Hernando Araújo Vázquez por su colaboración y apoyo durante este proceso.

Agradecemos a todos esos compañeros que nos apoyaron y ayudaron a realizar nuestros propósitos, a Angélica Ávila, Luisa Peña, Tatiana Doria, Jhovanna López, José Ricardo, Diego Otero, Juan Sáez, Wilson Fernández, José Meza y Deymer Rodríguez.

CONTENIDO

	pág.
RESUMEN GENERAL	1
GENERAL ABSTRACT	2
CAPÍTULO I GENERALIDADES	
CHAPTER I GENERALITIES	
1. INTRODUCCIÓN	4
2. DEFINICIÓN DEL PROBLEMA	7
3. GENERALIDADES DE LA TEMÁTICA	9
3.1. FACTORES AMBIENTALES QUE AFECTAN AL CULTIVO DE ALGODÓN	9
3.2. DEFINICIÓN E IMPORTANCIA DE LA INTERACCIÓN GENOTIPO POR AMBIENTE (GXA)	10
3.3. ESTUDIOS DE INTERACCIÓN GENOTIPO POR AMBIENTE (GXA)	12
3.4. IMPORTANCIA DE LOS ESTUDIOS DE LAS FUENTES DE VARIACIÓN EN EL CULTIVO DE ALGODÓN	15
4. OBJETIVOS	18
4.1. OBJETIVO GENERAL	18
4.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS	18
5. HIPÓTESIS	19
6. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	20
CAPÍTULO II EVALUACIÓN DE LA SIGNIFICANCIA ESTADÍSTICA Y LA IMPORTANCIA DE LAS FUENTES DE VARIACIÓN DE LA INTERACCIÓN GENOTIPO X AMBIENTE DEL RENDIMIENTO DE ALGODÓN – SEMILLA, PORCENTAJE DE FIBRA Y RENDIMIENTO DE FIBRA, EN EL CARIBE SECO COLOMBIANO	
CHAPTER II EVALUATION OF THE STATISTICAL SIGNIFICANCE AND IMPORTANCE OF SOURCES OF VARIATION OF GENOTYPE X ENVIRONMENT INTERACTION OF COTTON - SEED YIELD, FIBER PERCENTAGE AND FIBER YIELD, IN THE DRY CARIBBEAN OF COLOMBIA	
RESUMEN	26
ABSTRACT	27
1. INTRODUCCIÓN	28
2. MATERIALES Y MÉTODOS	30
2.1. LOCALIZACIÓN	30
2.2. PROCEDIMIENTO	31
2.3. VARIABLES	31
2.4. ANÁLISIS ESTADÍSTICOS DE LOS DATOS	32
3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	35
3.1. SIGNIFICANCIA ESTADÍSTICA E IMPORTANCIA DE LAS FUENTES DE VARIACIÓN PARA EL RENDIMIENTO DE ALGODÓN – SEMILLAS (RENDAS)	35
3.2. SIGNIFICANCIA ESTADÍSTICA E IMPORTANCIA DE LAS FUENTES DE VARIACIÓN PARA EL PORCENTAJE DE FIBRA (POFIB)	37
3.3. SIGNIFICANCIA ESTADÍSTICA E IMPORTANCIA DE LAS FUENTES DE VARIACIÓN PARA EL RENDIMIENTO DE FIBRA (RENDIF)	40
4. CONCLUSIONES	43
5. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	44
CAPÍTULO III EVALUACIÓN DE LA SIGNIFICANCIA ESTADÍSTICA E IMPORTANCIA DE LAS FUENTES DE VARIACIÓN DE LA INTERACCIÓN GENOTIPO X AMBIENTE	

DEL RENDIMIENTO DE ALGODÓN – SEMILLA, PORCENTAJE DE FIBRA
Y RENDIMIENTO DE FIBRA, EN EL CARIBE HÚMEDO COLOMBIANO

CHAPTER III

EVALUATION OF THE STATISTICAL SIGNIFICANCE AND IMPORTANCE
OF THE SOURCES OF VARIATION OF GENOTYPE X ENVIRONMENT INTERACTION
OF COTTON - SEED YIELD, FIBER PERCENTAGE
AND FIBER YIELD, IN THE HUMID CARIBBEAN OF COLOMBIA

RESUMEN.....	50
ABSTRACT	51
1. INTRODUCCIÓN	52
2. MATERIALES Y MÉTODOS	54
2.1. LOCALIZACIÓN	54
2.2. PROCEDIMIENTO.....	55
2.3. VARIABLES	55
2.4. ANÁLISIS ESTADÍSTICO DE LOS DATOS	56
3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	58
3.1. SIGNIFICANCIA ESTADÍSTICA E IMPORTANCIA DE LAS FUENTES DE VARIACIÓN PARA EL RENDIMIENTO DE ALGODÓN – SEMILLA (RENDAS)	58
3.2. SIGNIFICANCIA ESTADÍSTICA E IMPORTANCIA DE LAS FUENTES DE VARIACIÓN PARA EL PORCENTAJE DE FIBRA (POFIB).....	61
3.3. SIGNIFICANCIA ESTADÍSTICA E IMPORTANCIA DE LAS FUENTES DE VARIACIÓN PARA EL RENDIMIENTO DE FIBRA (RENDIF)	63
4. CONCLUSIONES	66
5. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICA	67

CAPÍTULO IV

COMPARACIÓN DE LOS RESULTADOS OBTENIDOS DEL
CARIBE SECO VERSUS EL CARIBE HÚMEDO COLOMBIANO

CHAPTER IV

COMPARISON OF RESULTS OBTAINED FROM COLOMBIAN
DRY CARIBBEAN VERSUS WET CARIBBEAN

RESUMEN.....	72
ABSTRACT	73
1. INTRODUCCIÓN	74
2. MATERIALES Y MÉTODOS	76
3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	77
3.1. COMPARACIÓN DE LA IMPORTANCIA DE LAS FUENTES DE VARIACIÓN DEL CARIBE SECO (CS) VERSUS EL CARIBE HÚMEDO (CH) PARA EL RENDIMIENTO DE ALGODÓN – SEMILLA (RENDAS)	77
3.2. COMPARACIÓN DE LA IMPORTANCIA DE LAS FUENTES DE VARIACIÓN DEL CARIBE SECO (CS) VERSUS EL CARIBE HÚMEDO (CH) PARA EL PORCENTAJE DE FIBRA (POFIB)	79
3.3. COMPARACIÓN DE LA IMPORTANCIA DE LAS FUENTES DE VARIACIÓN DEL CARIBE SECO (CS) VERSUS EL CARIBE HÚMEDO (CH) PARA EL RENDIMIENTO DE FIBRA (RENDIF)	81
4. CONCLUSIONES	83
5. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	84

CAPÍTULO V

DISCUSIÓN GENERAL

CHAPTER V

GENERAL DISCUSSION

1. RESULTADOS Y DISCUSIÓN GENERAL	89
1.1. COMPARACIÓN DE LOS RESULTADOS DE LOS ANÁLISIS DE VARIANZAS COMBINADOS (ANAVACO) DEL CARIBE SECO (CS) CON LOS DEL CARIBE HÚMEDO (CH) PARA EL RENDIMIENTO DE ALGODÓN - SEMILLA (RENDAS).....	89
1.2. COMPARACIÓN DE LOS RESULTADOS DE LOS ANÁLISIS DE VARIANZAS COMBINADOS (ANAVACO) DEL CARIBE SECO (CS) CON LOS DEL CARIBE HÚMEDO (CH) PARA EL PORCENTAJE DE FIBRA (POFIB).....	91

1.3. COMPARACIÓN DE LOS RESULTADOS DE LOS ANÁLISIS DE VARIANZAS COMBINADOS (ANAVACO) DEL CARIBE SECO (CS) CON LOS DEL CARIBE HÚMEDO (CH) PARA EL RENDIMIENTO DE FIBRA (RENDIF)	94
1.4. COMPARACIÓN DE LOS RESULTADOS EN LAS EVALUACIONES DE LA IMPORTANCIA DE LAS FUENTES DE VARIACIÓN DE INTERÉS (A, G y GxA) DEL CARIBE SECO (CS) VERSUS CARIBE HÚMEDO (CH) PARA LAS TRES VARIABLES DEPENDIENTES (RENDAS, POFIB y RENDIF)	96
2. CONCLUSIONES GENERALES	98
3. RECOMENDACIONES	99
4. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	100

CONTENIDO DE TABLAS

pág.

CAPÍTULO I

- Tabla 1.** Resultados promedio de estudios previos que dividen el porcentaje de las contribuciones totales de los ambientes (A), genotipo (G) y la interacción genotipo por ambiente (GxA) para los componentes de rendimiento. 16
- Tabla 2.** Medias para nueve rendimientos, componentes de rendimiento, características de semillas y sus componentes de varianza expresados como porcentaje de la varianza total de los datos de la prueba regional de alta calidad (siglas en inglés: RHQ) de 2001-2007. 17

CAPÍTULO II

- Tabla 3.** Años de las evaluaciones agronómicas de las fuentes de variación de los análisis de varianzas combinados para el periodo 2003/2004 y 2007/2008. 30
- Tabla 4.** Localidades del Caribe seco durante los años 2003/2004 y 2007/2008, donde se realizaron los estudios de las evaluaciones GxA. 30
- Tabla 5.** Genotipos evaluados para el Caribe seco durante las cosechas 2003/2004 y 2007/2008. 31
- Tabla 6.** Análisis de varianzas combinados esperado para la interacción GxA. 34
- Tabla 7.** Análisis de varianzas combinados para el rendimiento de algodón – semilla (RENDAS) para el Caribe seco colombiano, durante las cosechas 2003/2004 y 2007/2008. 35
- Tabla 8.** Análisis de varianzas combinados para el porcentaje de fibra (POFIB) para el Caribe seco colombiano, durante las cosechas 2003/2004 y 2007/2008. 38
- Tabla 9.** Análisis de varianzas combinados para el rendimiento de fibra (RENDIF) para el Caribe seco colombiano, durante las cosechas 2003/2004 y 2007/2008. 41

CAPÍTULO III

- Tabla 10.** Años de las evaluaciones agronómicas de las fuentes de variación de los análisis de varianzas combinados para el periodo 2003/2004 y 2009/2010. 54
- Tabla 11.** Localidades del Caribe húmedo durante los años 2003/2004 y 2009/2010, donde se realizaron los estudios de las evaluaciones GxA. 54
- Tabla 12.** Genotipos evaluados para el Caribe húmedo durante las cosechas 2003/2004 y 2009/2010. 55
- Tabla 13.** Análisis de varianzas combinados para el rendimiento de algodón – semilla (RENDAS) para el Caribe húmedo colombiano, durante las cosechas 2003/2004 y 2009/2010. 58

Tabla 14. Análisis de varianzas combinados para el porcentaje de fibra (POFIB) para el Caribe húmedo colombiano, durante las cosechas 2003/2004 y 2009/2010. **61**

Tabla 15. Análisis de varianzas combinados para el rendimiento de fibra (RENDIF) para el Caribe húmedo colombiano, durante las cosechas 2003/2004 y 2009/2010. **64**

CAPÍTULO IV

Tabla 16. Comparación de la participación de ambientes (A), genotipos (G) e interacción GxA, de las sumas de cuadrados (SC), en los análisis de varianzas combinados para el rendimiento de algodón – semilla (RENDAS), en el Caribe seco (CS34 y CS78) versus el Caribe húmedo (CH34 y CH910). **77**

Tabla 17. Comparación de la participación de ambientes (A), genotipos (G) e interacción GxA, de las sumas de cuadrados (SC), en los análisis de varianzas combinados para el porcentaje de fibra (POFIB), en el Caribe seco (CS34 y CS78) versus el Caribe húmedo (CH34 y CH910). **79**

Tabla 18. Comparación de la participación de ambientes (A), genotipos (G) e interacción GxA, de las sumas de cuadrados (SC), en los análisis de varianzas combinados para el rendimiento de fibra (RENDIF), en el Caribe seco (CS34 y CS78) versus el Caribe húmedo (CH34 y CH910). **81**

CAPÍTULO V

Tabla 19. Comparación de los resultados en la resta de Caribe húmedo menos Caribe seco (CH-CS) de las sumas de cuadrados (SC) para rendimiento de algodón – semilla (RENDAS), porcentaje de fibra (POFIB) y rendimiento de fibra (RENDIF). **97**

CONTENIDO DE FIGURAS

pág.

CAPÍTULO II

Figura 1. Participación de ambientes (A), genotipos (G) e interacción GxA, en las sumas de cuadrados, para el rendimiento de algodón – semilla (RENDAS), en el Caribe seco colombiano, durante las cosechas 2003/2004 (CS34) y 2007/2008 (CS78). 37

Figura 2. Participación de ambientes (A), genotipos (G) e interacción GxA, en las sumas de cuadrados, para el porcentaje de fibra (POFIB), en el Caribe seco colombiano, durante las cosechas 2003/2004 (CS34) y 2007/2008 (CS78). 40

Figura 3. Participación de ambientes (A), genotipos (G) e interacción GxA, en la suma de cuadrados, para el rendimiento de fibra (RENDIF), en el Caribe seco colombiano, durante las cosechas 2003/2004 (CS34) y 2007/2008 (CS78). 42

CAPÍTULO III

Figura 4. Participación de ambientes (A), genotipos (G) e interacción GxA, en las sumas de cuadrados (SC), para el rendimiento de algodón – semilla (RENDAS), en el Caribe húmedo colombiano, durante las cosechas 2003/2004 (CH34) y 2009/2010 (CH910). 60

Figura 5. Participación de ambientes (A), genotipos (G) e interacción GxA, en las sumas de cuadrados (SC), para el porcentaje de fibra (POFIB), en el Caribe húmedo colombiano, durante las cosechas 2003/2004 (CH34) y 2009/2010 (CH910). 63

Figura 6. Participación de ambientes (A), genotipos (G) e interacción GxA, en las sumas de cuadrados (SC), para el rendimiento de fibra (RENDIF), en el Caribe húmedo colombiano, durante las cosechas 2003/2004 (CH34) y 2009/2010 (CH910). 65

CAPÍTULO IV

Figura 7. Participación promedio de ambientes (A), genotipos (G) e interacción GxA, de las sumas de cuadrados (SC), para el rendimiento de algodón – semilla (RENDAS), en el Caribe seco (CS34/CS78) y Caribe húmedo (CH34/CH910). 78

Figura 8. Participación promedio de ambientes (A), genotipos (G) e interacción GxA, de las sumas de cuadrados (SC), para el porcentaje de fibra (POFIB), en el Caribe seco (CS34/CS78) y Caribe húmedo (CH34/CH910). 80

Figura 9. Participación promedio de ambientes (A), genotipos (G) e interacción GxA, de las sumas de cuadrados (SC), para el rendimiento de fibra (RENDIF), en el Caribe seco (CS34/CS78) y Caribe húmedo (CH34/CH910). 82

CAPÍTULO V

Figura 10. Comparación de la participación de las sumas de cuadrados (SC) y la significancia estadística de los cuadrados medios (CM) de las tres fuentes de variación (A, G y GxA), la media y coeficiente de variación (CV) del rendimiento de algodón – semilla (RENDAS) del Caribe seco (CS) con el Caribe húmedo (CH) colombiano, durante las cosechas 2003/2004 (CS34 y CH34), 2007/2008 (CS78) y 2009/2010 (CH910). 89

Figura 11. Comparación de la participación de las sumas de cuadrados (SC) y la significancia estadística de los cuadrados medios (CM) de las tres fuentes de variación (A, G y GxA), la media y el coeficiente de variación (CV) del porcentaje de fibra (POFIB) del Caribe seco (CS) con el Caribe húmedo (CH) colombiano, durante las cosechas 2003/2004 (CS34 y CH34), 2007/2008 (CS78) y 2009/2010 (CH910).

92

Figura 12. Comparación de la participación de las sumas de cuadrados (SC) y la significancia estadística de los cuadrados medios (CM) de las tres fuentes de variación (A, G y GxA), la media y el coeficiente de variación (CV) del rendimiento de fibra (RENDIF) del Caribe seco (CS) con el Caribe húmedo (CH) colombiano, durante las cosechas 2003/2004 (CS34 y CH34), 2007/2008 (CS78) y 2009/2010 (CH910).

95

RESUMEN GENERAL

Esta investigación se propuso evaluar la significancia estadística e importancia de las fuentes de variación (FV) en los estudios de interacción genotipo por ambiente (GxA) en el cultivo de algodón (*Gossypium hirsutum* L.) para el rendimiento de algodón - semilla (RENDAS), porcentaje de fibra (POFIB) y rendimiento de fibra (RENDIF), en el Caribe seco (CS) y húmedo (CH) colombiano. Se utilizaron cuatro conjuntos de datos, los cuales fueron obtenidos de las evaluaciones de diez genotipos diferentes de fibra media en pruebas de evaluaciones agronómicas (PEA), en un diseño de bloques completamente al azar (DBCA) con cuatro repeticiones. Los datos fueron tomados en las cosechas algodonerías 2003/2004 (CS y CH), 2007/2008 (CS) y 2009/2010 (CH), en cuatro ambientes que representan las zonas productoras del CS y CH. En cada una de las tres variables de respuesta incluidas en el estudio se realizaron los análisis de varianzas combinados (ANAVACO) para cada conjunto de datos, de los cuatro ambientes de cada zona productora, asumiendo un modelo mixto con genotipos (G) como efectos fijos y ambientes (A) como efectos aleatorios. Con los cuadrados medios (CM) del ANAVACO se determinó la significancia estadística y con el porcentaje de la suma de cuadrados (SC) la importancia de las FV. Los resultados presentaron que la mayor parte de la variación de la SC para RENDAS en el CS estuvo asociada con el A que presentó diferencia altamente significativa ($p < 0,01$), representando en promedio con 90,1%, seguido de GxA con 7,4% y G con 2,6%, en el CH se presentó tendencia similar, con una explicación de la variación del A de 71,8%, seguido de GxA con 17,1% y G con 11,2%. Para POFIB la mayor parte de la variabilidad en el CS estuvo asociada con G que presentó diferencia altamente significativa, con promedio de 74,4%, seguido del A con 18% también con diferencia altamente significativa y 7,6% para GxA, en el CH el A obtuvo 57,2% de la variación, seguido del G con 34,7% y la GxA con 8,1%, siendo las tres fuentes significativas. El mayor aporte a la SC del RENDIF en el CS estuvo dada por el A, el cual presentó diferencia altamente significativa y explicó en promedio con 87,2% de la variación, seguido de GxA con 8,1% y del G con 4,7%, en el CH el efecto del A también presentó diferencia altamente significativa y respondió con 64% de la variación de la SC, seguido del G con 18,2% y la GxA con 17,9%. Los resultados de las PEA en el cultivo de algodón en el CS y CH mostraron tendencia similar en la significancia estadística y en la explicación de la variación de la SC, sobresaliendo los efectos del A, como los más importantes, pero con valores más altos en el CS que en CH, y la variación debida al A tuvo más efecto en la expresión del RENDAS y RENDIF. Por ello se sugiere aumentar el número de ensayos por PEA en más de cuatro ambientes en el Caribe colombiano.

Palabras clave: estudios interacción GxA en algodón, fuentes de variación, cuadrado medio, suma de cuadrado, ANAVACO, Caribe colombiano.

GENERAL ABSTRACT

This research be proposed evaluate the statistical significance and importance of sources of variation (SV) in GxE interaction studies in the cotton (*Gossypium hirsutum* L.) crop for cotton-seed yield (RENDAS), fiber percentage (POFIB) and fiber yield (RENDIF), in the Colombian dry Caribbean (CS) and humid Caribbean (CH). Four data sets were used, which were obtained from the evaluations of ten different genotypes of medium fiber in agronomic evaluation tests (PEA), in a completely randomized block design (CRBD) with four replications. The data were taken from the 2003/2004 (CS and CH), 2007/2008 (CS) and 2009/2010 (CH) cotton crops, in four environments representing the CS and CH producing areas. For each of the three response variables included in the study, a combined analysis of variance was performed for each data set, from the four environments of each production zone, assuming a mixed model with genotypes (G) as fixed effects and environments (E) as random effects. With the mean squares (MS) of the combined analysis of variance (ANAVACO), the statistical significance was determined and with the percentage of the sum of squares (SS) the importance of SV. The results showed that most of the variation in SS for RENDAS in CS was associated with E, which presented a highly significant difference ($p < 0,01$), representing an average of 90,1%, followed by GxE with 7,4% and G with 2,6%. In CH there was a similar trend, with an explanation for the variation in E of 71,8%, followed by GxE with 17,1% and G with 11,2%. For POFIB, most of the variability in CS was associated with G, which presented a highly significant difference, with an average of 74,4%, followed by E with 18%, also with a highly significant difference, and 7,6% for GxE. In CH, E obtained 57,2% of the variation, followed by G with 34,7% and GxE with 8,1%, all three sources being significant. The greatest contribution to the SS of RENDIF in the CS was given by E, which presented a highly significant difference and explained on average 87,2% of the variation, followed by GxE with 8,1% and G with 4,7%. In CH, the effect of E, also presented a highly significant difference and responded with 64% of the variation of SS, followed by G with 18,2% and GxE with 17,9%. The results of the PEA in the cotton crop in CS and CH showed similar trends in the statistical significance and in the explanation of the variation of SS, highlighting the effects of E, as the most important, but with higher values in CS than CH, and the variation due to E had more effect in the expression of RENDAS and RENDIF. Therefore, it is suggested to increase the number of trials per PEA in more than four environments in the Colombian Caribbean.

Keywords: cotton GxE interaction studies, sources of variation, mean square, sum of square, ANAVACO, Colombian Caribbean.

**CAPÍTULO I
GENERALIDADES**

**CHAPTER I
GENERALITIES**

1. INTRODUCCIÓN

En el cultivo del algodón (*Gossipyum hirsutum* L.) se aprovecha principalmente la fibra y las semillas. La fibra del algodón se emplea en la producción de textiles, mientras que, de las semillas se obtiene el linter después del deslinte, el cual se procesa para obtener fibras de celulosa, cuerdas gruesas y material de relleno, así como para la fabricación de papel. El aceite que se extrae de la semilla puede utilizarse como comestible y en el aprovechamiento de la torta como forraje (harina que se obtiene como subproducto después de la extracción de aceite de la semilla). La cáscara de la semilla puede emplearse como forraje crudo, cama para el ganado, abono o combustible (SAGARPA, 2014).

Colombia fue un importante productor y exportador de algodón durante los años 1977 hasta el año 1992, característica que fue perdiendo progresivamente a la vez que también disminuía el área de siembra hasta convertirse en un importador neto de este bien (García, 2004; CONALGODÓN, 2017). El algodón se cultiva en más de 100 países en el mundo y Colombia tan solo participa con el 0,0076 Millones de toneladas (Mt) métricas de fibra media. La producción global de fibra se estima en 26,5 Mt métricas de fibra media, destacándose países como China (6,17 Mt), India (6,18 Mt), EE. UU (3,59 Mt), Pakistán (2,37 Mt), Brasil (1,41 Mt) y Uzbekistán (1,16 Mt) (FAO, 2017).

El cultivo de algodón en toda Colombia para la temporada 2018 generó un total de 18.071 empleos, de los cuales 9.599 empleos fueron generados para la región Caribe (CONALGODÓN, 2018). Durante la cosecha 2017/18 la región Caribe aportó aproximadamente un 52% del área total sembrada en el país con 5.440 hectáreas (ha), alcanzando una producción de fibra de 3.936 t y algodón – semilla de 5.395 t. Los rendimientos totales según CONALGODÓN (2018), son para fibra con 36,7%, algodón – semilla con 50,3% y merma con 12,9%. La cosecha 2017/18 presentó un aumento de 1.000 t de fibra y algodón – semilla con respecto a la cosecha 2016/17, con una producción muy marcada a diferencia del rendimiento en fibra que presentó un aumento de 1 t (CONALGODÓN, 2017 y 2018). Si se separa por subregiones, el departamento de Córdoba en su cosecha 2016/17 presentó los promedios más bajo en rendimiento de fibra con 34,1%, desde el año 2014 hasta el año 2017. Para la cosecha 2017/18 Córdoba estuvo entre los mejores promedios de fibra con 36,3%. Sin embargo, el departamento de la Guajira registró el mayor porcentaje con 43% (CONALGODÓN, 2016, 2017 y 2018).

Según ICA (2018) citado por Agro-Bio (2019), los años 2015 hasta el año 2017 fueron de crisis para Colombia con el algodón, la siembra del cultivo presentó un aumento de 33,4% respecto a 2017, Colombia paso de cultivar 9.075 ha a 12.103 ha en nueve departamentos; Bolívar, Cesar, Córdoba, Cundinamarca, Huila, Guajira, Sucre, Tolima y Valle del Cauca. El departamento de Córdoba es el de mayor área cultivada con 5.786 ha y le sigue Tolima con 3.600 ha. Según FAO

(2018), la región Caribe presenta un rendimiento promedio de fibra de 1,2 t.ha⁻¹ siendo superior al promedio mundial estimado en 0,8 t.ha⁻¹ de fibra.

CONALGODÓN (2014), presentó los promedios de los costos de producción para el algodón - semilla por hectárea, de la cosecha "Costa-Meta" 2013/14 de \$4'307.324 a nivel de regiones, se registran cuatro niveles de costos, los de Cesar Norte con \$4'498.849 y Cesar Sur con \$4'153.942, los Córdoba cuyos costos fueron de \$4'368.842, y los de Sucre, departamento que registró menores costos por hectáreas equivalente a \$3'538.194. Se destaca la disminución del costo promedio por hectárea registrado en la subregión del Cesar Sur, en donde el costo disminuyó aproximadamente \$177.000 por hectárea.

Según CONALGODÓN (2018), en la cosecha "Costa-Meta" 2017/18, el mayor costo por hectárea (\$/ha⁻¹) lo presentó el departamento de la Guajira en el Municipio de San Juan del Cesar con \$4'413.073 por hectárea, y los menores costos para el departamento de Córdoba en el Municipio de Cereté con \$4'250.297 por hectárea, seguido el Municipio de Ciénaga de Oro con \$3'640.245 por hectárea.

Los departamentos de la región Caribe; Atlántico, Bolívar, César, Córdoba, Guajira, Magdalena y Sucre participan en la cosecha de algodón con los departamentos de Casanare, Guaviare, Meta y Vichada, estos departamentos están limitados por los tipos de ambientes que tienen sus ecosistemas, puesto que se diversifican desde bosque seco tropical en la Guajira (subregión Caribe seco) hasta el bosque húmedo tropical en Córdoba (subregión Caribe húmedo) (OCARIBE, 2018). En esta región hay dos condiciones climáticas contrastantes conocidas como Caribe seco y húmedo, estos delimitan a los departamentos, ya que deben realizar diferentes manejos agronómicos como cambio en la planeación del riego y variedades a utilizar (Araméndiz, Espitia, Agámez, Cardona y Robles, 2007; CONALGODÓN, 2016; OCARIBE, 2018).

Los caracteres cuantitativos como el rendimiento de algodón – semilla, porcentaje de fibra y rendimiento de fibra son controlados por muchos genes (poligénicos), más de 10 genes (≥ 10), además tienen una muy baja contribución fenotípica, debido a que interactúan entre ellos mismos y son muy influenciados por el ambiente. Por esta razón se realizan estudios de la interacción genotipo por ambiente (GxA) con distintas variedades de algodón (genotipos) en distintas localidades (ambientes) de la región para analizar el comportamiento de las fuentes de variación (FV), por medio de parámetros estadísticos como los análisis de varianzas combinados (ANAVACO), y determinar la adaptabilidad y estabilidad fenotípica, siendo así más factible establecer genotipos en distintas localidades (Espitia, Araméndiz y Mendoza, 1993; Araméndiz et al., 2007; Espitia, Araméndiz y Cadena, 2008; Mejía, 2014; Campuzano, Caicedo y Guevara, 2015; Sierra, Espitia y Cadena, 2017).

El resultado obtenido con los análisis de las FV en este estudio de interacción GxA, disminuirá el riesgo de recomendar en distintas localidades aquellos materiales que

puedan tener un comportamiento impredecible, con respecto a la variación de las condiciones ambientales. A partir de esto se espera mejorar la competitividad y la sostenibilidad de este sistema productivo, garantizando fuentes de trabajo (directa e indirecta) y una mejor calidad de vida para los productores y demás personas que dependen de esta actividad agrícola.

De acuerdo con el planteamiento anterior, la presente investigación se propuso como objetivo evaluar la significancia estadística e importancia de las fuentes de variación en los estudios de interacción GxA en el rendimiento y sus componentes en el cultivo de algodón (*Gossypium hirsutum* L.) en la región Caribe colombiana.

2. DEFINICIÓN DEL PROBLEMA

El algodón es un cultivo de importancia en la región Caribe colombiana, debido a que representa la principal actividad agrícola del segundo semestre de cada año. El cultivo de algodón a nivel nacional presenta respuestas diferentes de acuerdo con la variedad evaluada en localidades productoras. Los caracteres cuantitativos son variables de interés agronómico que varían debido al ambiente (A), genotipos (G) y su interacción (GxA). Esto influye en gran medida en el rendimiento de algodón – semilla, porcentaje de fibra y rendimiento de fibra en el Caribe colombiano (Sierra et al., 2017).

En Colombia, el algodón es un producto agrícola de ciclo semestral, se logran dos temporadas algodoneras en el año, lo que permite garantizar continuidad en la oferta. La temporada "Costa-Meta" participa con 53% de la producción nacional, a diferencia de la temporada del "Interior" que participa con 47% de la producción nacional (CONALDOGÓN, 2018). Las zonas algodoneras de la cosecha "Costa-Meta" se subdividen en dos grandes subzonas, diferenciadas por sus ambientes contrastantes, y se conocen como Caribe seco y húmedo. El Caribe seco se caracteriza por presentar ambientes de baja humedad relativa de 20% a 50%, temperatura promedio anual de 28°C a 30°C, suelos de fertilidad media a baja, en estos lugares las precipitaciones son de 500 a 1.000 milímetros por año (mm.año^{-1}) y en algunas partes pueden ser monomodales. El Caribe húmedo se caracteriza por presentar ambientes de alta humedad relativa con 80% a 90%, temperatura promedio anual de 25°C a 29°C, suelos con fertilidad media, y en estos lugares las precipitaciones superan los 1.200 mm.año^{-1} (Fernández, 2013; OCARIBE, 2018; IDEAM, 2020). Esta variabilidad en los factores ambientales afecta el comportamiento de los genotipos (rendimiento), especialmente cuando se presentan excesos o déficit de lluvias en etapas críticas del cultivo (Araméndiz et al., 2007; Espitia et al., 2008; Sierra et al., 2017). En la región Caribe colombiana durante la cosecha 2017/18 municipios como Chima y Cotorra presentaron los valores más altos de rendimiento de fibra con 1.280 y 1.084 kg.ha^{-1} de fibra para unos ingresos por hectárea de \$6'549.760 y \$5'545.191 respectivamente, mientras que el municipio de Ciénaga de Oro presentó el valor más bajo de rendimiento de fibra con 470 kg.ha^{-1} de fibra para unos ingresos por hectárea de \$2'403.332 (CONALGODÓN, 2018), estas diferencias en los rendimientos por hectárea de los municipios de Córdoba tienen relación con la variabilidad ambiental afectando las variables de mayor interés agronómico.

Esta variabilidad ambiental se presenta por el cambio climático o el cambio en el ambiente registrado en los últimos 30 años, el cual ha tenido un impacto en el crecimiento y desarrollo de las especies cultivadas, conduciendo a una reducción de los rendimientos (Jarma, Cardona y Araméndiz, 2012). Nelson et al. (2009) citado por Jarma et al. (2012), afirman que hay un efecto en el cultivo de algodón cuando la temperatura aumenta, y es que la producción de los genotipos comúnmente se declina y los requerimientos hídricos aumentan, lo que lleva a que los ingresos netos

disminuyan, dado que los estados fenológicos empiezan a variar afectando todas las tomas de datos en campo. Afirman que el impacto climático es relativo y varía entre las regiones, debido a las diferencias en los costos de producción, especialmente en el caso del agua.

Jarma et al. (2012) y Magrin (2015), explican que otro punto importante son los gases de efecto invernadero, estos están atrapando una porción creciente de radiación infrarroja terrestre y se espera que hagan aumentar la temperatura planetaria. Así como lo evidencian García, Botero, Quiroga y Robles (2012); Fernández (2013); Magrin (2015) y IDEAM (2020), explican que hubo un incremento en la temperatura de 0,5°C a 3°C para la región Caribe y que esta seguirá aumentando paulatinamente, lo cual ha influenciado a que se presenten mayor número de eventos de variabilidad climática en periodos de tiempos cortos, como sucede en la subzona Caribe seco que se presentan temperaturas de 30°C hasta 35°C en el día, y promedios anuales de temperaturas rosando los 30°C, y subzonas como el Caribe húmedo presentan los eventos de retraso de épocas de lluvias, y variación del espacio-tiempo en las precipitaciones (Jarma et al., 2012; García et al., 2012; Magrin, 2015).

La competitividad del sector algodonero se ha visto afectada con el tiempo, y son notorio los esfuerzos realizados por parte de los investigadores para mejorar los rendimientos de los cultivares mediante la siembra de ensayos en diferentes ambientes, lo cual se conoce como interacción GxA, trabajos como los de Espitia et al. (1993); Araméndiz et al. (2007); Espitia et al. (2008); Mejía (2014); Campuzano et al. (2015); Sierra et al. (2017), entre otros. Sin embargo, el algodón presenta altos costos de producción, los cuales para la cosecha 2017/18 fueron de \$4'106.218 por hectárea, fundamentales para producir 2.427 kg.ha⁻¹ de algodón – semilla, y 891 kg.ha⁻¹ de fibra, estos costos generados en gran parte por labores de recolección, mano de obra, el costo de las semillas, la siembra, limitantes tecnológicas y la respuesta diferencial de las variedades a las condiciones ambientales de las zonas productoras, esta última en gran parte es la de mayor importancia (Sierra et al., 2017; CONALGODÓN, 2018). Si comparamos la cosecha 2017/18 con la cosecha 2007/08 se han dejado de sembrar 35.293 ha y se dejaron de producir 26.892 t de fibra, esto significa que hubo un déficit de \$137'606.364.000 con un precio de \$5'117.000 por tonelada (CONALGODÓN, 2018). De manera que la competitividad del sector algodonero se ha afectado por la disminución del área de siembra, y el área sembrada ha disminuido por la rentabilidad del cultivo en las zonas algodoneras de la región Caribe colombiana.

Por todo lo anterior, en esta investigación se planteó la siguiente pregunta problema; ¿las fuentes de variación de los ANAVACO en los estudios de interacción GxA, tienen la misma significancia estadística e importancia en la variación para el rendimiento de algodón – semilla, porcentaje de fibra y rendimiento de fibra en el Caribe seco y húmedo colombiano?

3. GENERALIDADES DE LA TEMÁTICA

3.1. FACTORES AMBIENTALES QUE AFECTAN AL CULTIVO DE ALGODÓN

Los estudios fisiológicos que se han realizado a nivel metabólico señalan que la planta de algodón detiene su metabolismo a temperaturas menores de 12°C, siendo esta su temperatura base (Angeloni, Caram y Prause, 2001). La teoría de los grados días (GD) o días térmicos (DT) son remplazables y en ocasiones posibles de comparar con los días cronológicos. Angeloni et al. (2001), afirman que el algodón necesita de 1.343,8 GD acumulados con un total de 107 días después de la siembra para llegar a producción, cuyos resultados pueden variar de una zona a otra. CONACYT (2014), afirma que cuando la temperatura supera los 30°C la germinación y otros estados fenológicos pueden variar afectando todas las tomas de datos en campo. En la actualidad, los cultivos se están viendo afectados en su desarrollo por los fenómenos del clima (ambiente), provocando menores rendimientos (Fernández, 2013; Velázquez, 2017).

El cultivo de algodón tiene un comportamiento muy variante en las principales variables de interés agronómico e industrial. Ese efecto variable lo genera principalmente el ambiente. Las condiciones climáticas benefician o desfavorecen la expresión de las características de las variedades convencionales o variedades transgénicas. En Colombia el rendimiento es un aspecto importante en la economía del país, sobre todo para la generación de empleo, aporte a la industria textilera y manufacturera (Mejía, 2014).

El cultivo de algodón tiene una condición de humedad favorable en el suelo cuando esta se encuentra a 90% de capacidad de campo, pero se presenta una susceptibilidad a inundaciones. Las regiones más adecuadas para el cultivo de algodón están localizadas en altitudes de 0 a 500 metros sobre el nivel del mar (m.s.n.m.), y al cultivarse sobre los 1.000 m.s.n.m. ocasiona disminución de los rendimientos por hectárea (CONACYT, 2014).

Spoljaric, Tcach, Rojas, Tarrago y Cointry (2018), señalan que una de las principales limitantes para la producción de algodón es la variabilidad ambiental que se da en climas subhúmedos y en climas con déficit hídrico, y aunque el algodón está adaptado a episodios de sequía periódica, debido a que un 90% del algodón cultivado en el mundo fue domesticado en regiones semiáridas, los investigadores encontraron que el déficit hídrico logró afectar el crecimiento, desarrollo y rendimiento del cultivo de algodón.

Los mejores suelos para este cultivo son aquellos que presentan una buena aireación, adecuada retención del agua y ricos en materia orgánica. El cultivo de algodón no es de terrenos con mucha acidez, se ha demostrado que necesita una acumulación considerable de bases, la cual va determinada para la mota, es decir,

que pH menores a 5,5 son de severidad para el cultivo (Herrera y Páez, 1992; SAGRAPA, 2017).

Mejía (2014), indica que, entre los factores ambientales más importantes se encuentran los relacionados con las precipitaciones y el suelo, que son necesarios conocer antes de establecer un cultivo, y por ello se estima la retención de humedad, la infiltración y el método de riego, que permiten establecer los estimativos de las necesidades mínimas de agua, la cantidad de luz solar.día⁻¹ (fotoperiodo) y la humedad relativa (HR%). Teniendo en cuenta estos criterios, los requerimientos de agua del cultivo de 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.

Paytas (2012), encontró en su investigación que la calidad de fibra comparada con el rendimiento (kg.ha⁻¹) es menos sensible a las altas temperatura. Las pérdidas de rendimiento son mayores ante un estrés térmico.

3.2. DEFINICIÓN E IMPORTANCIA DE LA INTERACCIÓN GENOTIPO POR AMBIENTE (GXA)

Uno de los principios básicos en el estudio de la herencia de los caracteres métricos, es que el valor de un individuo (Fenotipo) es determinado por dos componentes básicos; la constitución genética (Genotipo) y una contribución del ambiente específico donde el individuo se encuentra. Lo cual se representa de la siguiente manera según Johansen (1903):

$$F = G + A$$

Donde F representa el valor fenotípico, G el valor genotípico y A un desvío provocado por el ambiente en los caracteres cuantitativos.

Cuando un determinado genotipo es sembrado en dos ambientes diferentes (localidades), se espera una variación en el valor fenotípico mayor que el obtenido a nivel de una sola localidad. En este caso el valor genotípico debe ser calculado con base en la media de las dos localidades. La condición de diferentes cultivares de una misma especie cultivados en varios ambientes, provoca un tercer componente, que es la interacción genotipo por ambiente (GxA).

$$F = G + A + G * A$$

La GxA se puede interpretar cómo el comportamiento de un genotipo evaluado en diferentes ambientes, o también se puede interpretar como la incapacidad de que un genotipo responda igual al sembrarse en diferentes ambientes.

Las interacciones que tienen los genotipos con el ambiente ha sido durante mucho tiempo de gran interés para los productores de algodón, y los ensayos a largo plazo de cultivares proporcionan una excelente fuente de datos extensos para estudiar las interacciones de GxA (Meredith et al., 2012). Entender lo que representa A, G y GxA es de mucha importancia para esta investigación. Por ello, se explica a continuación.

El genotipo (G), es capaz de expresar las características, y que dependiendo el grado de contribución fenotípica se denomina; poligénicos: considerados como caracteres cuantitativos con una menor contribución fenotípica y mayor número de genes que interactúan (≥ 10 genes). Mesogénicos u oligogénicos: considerados también como caracteres cuantitativos con una cantidad de genes mayor a 3 pero menor de 10 genes. Monogénicos: considerados como caracteres cualitativos dado que tienen una alta contribución fenotípica y el número de genes que interactúan es de 1 a 3 genes (Johannsen, 1903; Espitia et al., 1993; Araméndiz et al., 2007).

El ambiente (A), es la combinación de la localidad más el semestre o el año en el cual se evaluaron los genotipos, puede estar compuesto por factores predecibles e impredecibles. Los predecibles son el tipo de suelo, la fertilidad, densidad poblacional (DP) y el método de siembra. Los impredecibles son la precipitación (PP), radiación (Q), humedad relativa (HR%), temperatura (T°C), velocidad del viento (VV), incidencia (I), plagas y enfermedades (Johannsen, 1903; Espitia et al., 1993; Araméndiz et al., 2007).

Por último, la interacción GxA. Según Vallejo y Estrada (2002), se puede definir como el comportamiento relativo diferencial que muestran los genotipos cuando se les somete a diferentes ambientes. En otros términos, es la incapacidad de un genotipo para responder de manera similar cuando se siembra en varios ambientes. La interacción GxA reduce la asociación entre los valores genotípicos y fenotípicos, y obliga a los fitomejoradores considerar la estabilidad y adaptabilidad de los materiales.

Valencia y Ligarreto (2010), argumentan que los mejoradores de plantas en sus procesos de selección afrontan con regularidad el fenómeno conocido como interacción GxA, que reduce la correlación entre fenotipo y genotipo, y la ganancia genética. Lo que dificulta la selección y recomendación de cultivares. La interacción GxA generalmente hace alusión a la variación que no puede ser explicada por los efectos principales del G o del A.

Acevedo et al. (2010), definen la interacción GxA como el comportamiento diferencial de los genotipos en los diversos ambientes, dificultándose la selección de los que están ampliamente adaptados como los más estables. Por esa razón la presencia de GxA afecta las estimativas de la varianza genética y por ende sobre estima la ganancia genética esperada por selección, afectando negativamente el éxito de los programas de mejoramiento.

Rodríguez et al. (2011), afirman que para evaluar el comportamiento agronómico de los cultivares generados de los programas de mejoramiento genético de cualquier especie agrícola, es necesario medir la estabilidad relativa de los genotipos sometidos a la totalidad de los ambientes predominantes en una región potencial de adaptación. Las etapas finales de estos programas incluyen experimentos de evaluación en diferentes localidades durante varios años.

Rodríguez, Puchades, Bernal, Jorge y García (2012), definen la interacción GxA como la respuesta diferencial de un genotipo a través de diferentes ambientes. Los principales propósitos de los estudios de GxA son: identificar cultivares con altos rendimientos para una región dada y determinar las localidades que mejor la representen.

En la agricultura de escala donde la utilización de tecnología es fundamental, se busca que los mejores genotipos rindan en los mejores ambientes. A pesar de esto la tendencia generalizada en muchos países del mundo que enfrentan limitaciones de áreas óptimas para el desarrollo de los cultivos, evalúan los efectos de la interacción GxA con la finalidad de encontrar genes (análisis de QTL) los cuales permitan a los cultivares un grado de adaptación a las condiciones impredecibles de algunas zonas, teniendo en cuenta que la calidad de las producciones no se afecte de manera drástica (Vallejo y Estrada, 2002).

3.3. ESTUDIOS DE INTERACCIÓN GENOTIPO POR AMBIENTE (GXA)

Se tiene entendido que en fitomejoramiento se trabaja con variables que son prácticas y aplicadas para poder analizar el rendimiento de la fibra del cultivo de algodón. Sin embargo, estos caracteres son complejos y dependen de un gran número de factores y de sus interacciones (Campbell et al., 2012).

Uno de los métodos a usar para el mejoramiento genético es el cruzamiento de padres con potencialidades en su rendimiento que sean contrastantes y características de alta calidad en la fibra debido a la correlación negativa entre estas dos características (Campbell et al., 2012).

Palomo, Santamaría y Godoy (1998), realizaron un estudio de la estabilidad del rendimiento y de la calidad de la fibra de 12 genotipos de algodón evaluados en seis localidades, durante 1989 a 1994, de la Comarca Lagunera, México. Los resultados evidenciaron que hubo diferencias significativas entre los genotipos evaluados para el rendimiento de algodón pluma y la calidad de la fibra. Entre los genotipos evaluados, seis presentaron rendimientos altos y fueron estables a través de ambientes.

Mora, Osmério y Scapim (2007), en su investigación intentaron predecir el efecto de cultivar 14 genotipos de algodón en diferentes localidades de Brasil y Paraguay

durante la temporada 2003/2004. Los resultados evidenciaron que hubo deferencia significativa para los efectos de interacción GxA, y los valores estimativos de estabilidad genotípica detectaron dos genotipos estables.

Asfaw et al. (2011), realizaron un experimento para determinar el rango de adaptación de un conjunto diverso de accesiones de mijo e identificar tipos superiores con un excelente potencial de rendimiento. Utilizaron 44 accesiones indígenas seleccionadas y dos variedades de control, evaluados en 11 ambientes de las temporadas 2004 y 2008. Los resultados experimentales mostraron una participación superior por parte del A con 79,1% y 86,9% de la suma total de cuadrados de sus variables respuestas.

Campbell et al. (2012), en su investigación examinaron la interacción GxA y las correlaciones de rasgos presentes de algodón Pee Dee de 70 años. Los resultados de estos autores sugieren que existe una interacción GxA significativa para varios rasgos de rendimiento y calidad de fibra.

Riaz et al. (2013), realizaron un estudio para determinar la estabilidad del rendimiento, la adaptabilidad y para analizar la interacción GxA de nueve genotipos de algodón en seis localidades de Punjab, Pakistán, durante la temporada 2010 y 2011, para un total de 12 ambientes. Los resultados revelaron que la principal contribución a la suma de cuadrado fue del A con 38,51%, seguido de GxA con 35,27% y G con 26,22%.

Gul et al. (2014), su estudio lo realizaron en los años 2010 y 2011 evaluando la interacción GxA y la correlación de ocho genotipos de algodón. Utilizaron los cuadrados medios para determinar la significancia, y estos revelaron que G, A y GxA fueron altamente significativos ($p < 0,01$), detectando con ello variabilidad genética. La suma total de cuadrados por su parte detectó en el rendimiento de algodón – semilla que la mayor participación fue de la GxA (40,00%), seguido de G (28,10%) y A (26,99%), con un coeficiente de variación de 12,58%, lo cual hace muy confiable estos valores.

Mejía (2014), en su investigación evaluaron nueve genotipos de algodón transgénico en 10 localidades. Las variables de interés fueron rendimiento de fibra y calidad de la fibra. Los resultados mostraron diferencia significativa para A ($p < 0,01$) y G ($p < 0,05$). El genotipo fue significativo para todas las variables con excepción del porcentaje de fibra y uniformidad.

Campuzano et al. (2015), realizaron una investigación pionera en Colombia para determinar la adaptación de genotipos de algodón en condiciones de sabanas mejoradas de la altillanura. Utilizaron cinco genotipos de algodón para sembrar en cinco localidades diferentes. Los resultados evidenciaron que el A fue altamente significativo ($p < 0,01$) para rendimiento de algodón – semilla, motas por plantas y

peso de motas. El G presentó significancia ($p < 0,05$) para rendimiento de algodón – semilla y peso de mota, y GxA no fue significativa en ninguna de las variables.

López et al. (2015), su estudio lo realizaron en los años 2011 y 2012. Sembraron un ensayo de rendimiento conformado por 10 líneas avanzadas y dos testigos comerciales de frijol negro en 12 localidades de los estados de Veracruz y Chiapas, México. Los resultados evidenciaron que el efecto del A en los rendimientos fue mayor que el de G. En seis de los 12 ambientes de prueba, los testigos fueron significativamente ($p < 0,05$) superados por la mejor línea de siembra.

Sánchez, Borrego, Zamora, Sánchez y Castillo (2015), en su investigación se enfocaron a estimar la interacción GxA y estabilidad de características de rendimiento, fisiológicas y de calidad de 25 genotipos de tomate en tres localidades. Los resultados de interés mostraron que el rendimiento fue significativo ($p < 0,05$) para A, pero G y GxA no fueron significativos.

Sah et al. (2016), realizaron una evaluación de la interacción GxA con 21 genotipos de lentejas sembradas en ocho localidades durante la temporada 2013/14 y 2014/15. Los resultados evidenciaron que G, A y GxA fueron significativos en todas las variables de respuestas, y que la estimación de la suma de cuadrados para rendimiento de grano fue mayor en A (54,86%), seguido de GxA (25,28%) y G (19,86%).

Koroma, Swaray, Akromah y Obeng (2017), estudiaron la influencia de la interacción GxA de 18 genotipos de maíz sembrados en dos localidades, Knust y Akomadan, en Ghana. Los resultados experimentales para rendimiento de grano evidenciaron que los híbridos evaluados presentaron significancia para A ($p < 0,01$), G ($p < 0,05$) y GxA ($p < 0,01$), y en la suma de cuadrados del A aportó la mayor participación con 69,25%, seguido de G con 7,08% y GxA con 8,37%.

Shar, Baloch, Arain, Jatoy Lochi (2017), en su investigación realizaron una prueba de campo con ocho genotipos de algodón americano (upland) sembrados en Sindh Agriculture University Tandojam durante la temporada 2014. Los resultados de interés revelaron que existe una diferencia significativa para todos los rasgos, excepto para el índice de semillas. La variación en el rendimiento de algodón – semilla fue atribuible a su correlación con las cápsulas.planta⁻¹. Por el contrario, el número de cápsulas.planta⁻¹ demostró una correlación altamente significativa pero negativa con el peso de la cápsula.

Alves et al. (2017), su estudio evaluó la interacción GxA del rendimiento de fibra y longitud de fibra, utilizando 16 genotipos de algodón americano (upland) sembrados en ocho localidades del estado de Mato Grosso, Brasil. Los resultados experimentales identificaron que el rendimiento de fibra presentó significancia a nivel de G y GxA ($p < 0,01$), y el A no presentó significancia alguna. Además,

detectaron 1 genotipo con amplia adaptabilidad y estabilidad para ambas variables dependientes.

Sierra et al. (2017), realizaron una estimación de correlación para el rendimiento de fibra con 10 genotipos de algodón sembrados en 6 localidades del Caribe húmedo colombiano. Los resultados de interés presentaron diferencia altamente significativa para A y GxA ($p < 0,01$).

Nadeem et al. (2018), en su investigación evaluaron la interacción GxA más un análisis de correlación. Utilizaron 12 genotipos de algodón en total, sembrados en dos fechas diferentes (normal y tarde), en Peshawar, Pakistan, durante la temporada 2013/14. Los resultados experimentales mostraron que G y A en la mayoría de las variables dependientes fue significativa, excepto el índice de semillas donde no hubo significancia en A. La GxA por su parte fue significativa en cuatro componentes de rendimiento.

3.4. IMPORTANCIA DE LOS ESTUDIOS DE LAS FUENTES DE VARIACIÓN EN EL CULTIVO DE ALGODÓN

El análisis de interacción GxA tienen un impacto significativo en los esfuerzos para desarrollar cultivares de algodón de alto rendimiento, debido a que permite realizar estudios de adaptabilidad, estabilidad fenotípica y realizar recomendaciones sobre los genotipos en estudio. Igualmente, el conocimiento generado de los estudios de GxA, permite agrupar áreas productoras homogéneas y zonificar los nuevos genotipos mejorados, al igual que para diseñar programas óptimos de mejoramiento y criterios de selección efectivos. Los mejoradores de algodón usan este recurso para seleccionar líneas específicas con una mayor estabilidad ambiental, además pueden usar dicha información para seleccionar genotipos que representen eventos de recombinación y combinen un alto rendimiento y un potencial de calidad de fibra (Campbell et al., 2012).

La necesidad de investigar la importancia de las fuentes de variación en el cultivo de algodón resulta del efecto siempre cambiante de la tecnología, lo cual ocasiona un comportamiento diferencial de la interacción GxA. Tres factores que cambian constantemente en los sistemas de producción agrícola del algodón son el genotipo, el componente ambiental y la necesidad de estimar la interacción GxA para los nuevos materiales, con el fin de mejorar aún más la experimentación o medir nuevos rasgos. La genética y el mejoramiento genético de plantas ha venido sufriendo grandes cambios que obligan a las entidades de investigación a ofertar nuevos materiales para las diferentes zonas productoras. Además, de los cambios del genotipo, se puede resaltar los cambios significativos en las áreas de producción de algodón (Meredith et al., 2012).

Una de las investigaciones relevantes citada es la de Meredith et al. (2012), en su revisión de literatura citan varios estudios que informan sobre resultados del rendimiento y calidad de la fibra en evaluaciones de interacción GxA en el cultivo de algodón. Estos estudios involucran métodos de análisis de A, G y GxA ampliamente diferentes para rendimiento y componentes del rendimiento, los cuales se presentan en la Tabla 1. Se destaca que, para el rendimiento, en la suma de cuadrados el A obtuvo la mayor contribución de la variación fenotípica con 86%, seguido de GxA con 9% y por último el G con solo 5%.

Tabla 1. Resultados promedio de estudios previos que dividen el porcentaje de las contribuciones totales de los ambientes (A), genotipo (G) y la interacción genotipo por ambiente (GxA) para los componentes de rendimiento.

Estudio de autores	% de componentes totales		
	A	G	GxA
	Rendimiento de fibra		
DeLacy et al., 1990 (T) ^z	90	3	8
DeLacy et al., 1990 (A)	80	11	9
Kerby et al., 2000 (E) ^y	94	1	6
Kerby et al., 2000 (M)	90	1	9
Meredith, 2003	80	7	13
Campbell and Jones, 2005	90	2	8
Blanche et al., 2006	92	3	5
Campbell et al., 2011	72	9	19
PROMEDIO	86	5	9
	Porcentaje fibra		
Kerby et al., 2000	55	24	21
Kerby et al., 2000	82	6	12
Meredith, 2003	57	26	17
Campbell and Jones, 2005	23	57	20
Blanche et al., 2006	28	38	34
Campbell et al., 2011	66	21	13
PROMEDIO	52	29	19
	Peso de la cápsula		
Meredith, 2003	55	27	19
Blanche et al., 2006	36	38	26
Campbell et al., 2011	44	10	46
PROMEDIO	45	25	30
	Peso de la semilla		
Meredith, 2003	47	36	18
Blanche et al., 2006	26	48	27
Campbell et al., 2011	43	29	28
PROMEDIO	39	38	24

También Meredith et al. (2012), consideraron en su revisión analizar la interacción GxA, con el fin de compararlo con los resultados anteriores. Evaluaron 26 características y 56 localidades. Encontraron que los componentes de varianza de rendimiento para fibra y semilla fueron similares con un promedio en A con 87,5%, G con 8%, y GxA de 8% de la varianza total. Los resultados de este estudio sugieren que, durante los últimos 50 años, se produjeron pocos cambios en los componentes de varianza A, G y GxA (Tabla 2).

Tabla 2. Medias para nueve rendimientos, componentes de rendimiento, características de semillas y sus componentes de varianza expresados como porcentaje de la varianza total de los datos de la prueba regional de alta calidad (siglas en inglés: RHQ) de 2001-2007.

Rasgo	Media	Ambiente				Genotipo Total	Genotipo por ambiente			
		Año (Y)	Loc (L)	YL	Total (%)	(G)	GY	GL	GYL	Total (%)
Fibra (kg.ha⁻¹)	1.227	0	39,6	44,7	84,3	7,4	0,0	1,7	6,6	8,4
		(.) ^z	1,7	4,4		5,9	(.)	2,0	7,2	
Semilla (kg.ha⁻¹)	1.818	0,4	37,5	50,4	88,6	3,6	0,0	2,1	5,7	7,8
		0,1	1,5	3,6		3,8	(.)	2,0	5,2	
Aceite (kg.ha⁻¹)	358	1,9	38,6	43,9	84,4	6,9	0,03	1,9	6,4	8,6
		0,3	1,6	3,6		5,1	0,6	2,4	5,5	
N (kg.ha⁻¹)	62	2,6	34,9	52,6	90,1	1,0	1,5	2,2	5,2	8,9
		0,4	1,5	3,6		0,8	1,4	2,1	4,9	
Aceite (%)	19,5	1,6	32,4	18,9	52,8	36,7	0,7	1,7	8,1	10,5
		0,6	1,8	4,0		6,7	1,1	1,1	6,0	
N (%)	3,43	14,3	30,6	36,7	81,6	10,8	1,3	1,0	5,4	7,7
		1,2	1,6	4,1		5,0	1,7	1,3	6,2	
Fibra (%)	40,1	0,0	20,2	36,8	57,0	33,1	1,1	4,7	4,0	9,8
		(.)	1,3	3,6		4,5	3,3	1,5	2,9	
Peso de Capsula	5,11	4,2	35,2	31,6	71,0	16,2	0,0	0,0	12,8	12,8
		0,7	1,7	3,9		6,0	(.)	(.)	11,0	
Peso de Semilla	9,72	1,3	70,1	11,0	82,4	10,8	0,3	4,1	2,4	6,8
		0,6	0,6	3,6		5,9	1,9	6,6	4,1	

4. OBJETIVOS

4.1. OBJETIVO GENERAL

Evaluar la significancia e importancia de las fuentes de variación en los estudios de interacción genotipo x ambiente en el rendimiento de algodón (*Gossypium hirsutum* L.) en la región Caribe colombiana.

4.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- a) Evaluar la significancia estadística y la importancia de las fuentes de variación de la interacción genotipo x ambiente del rendimiento de algodón – semilla, porcentaje de fibra y rendimiento de fibra, en el Caribe seco colombiano.
- b) Evaluar la significancia estadística y la importancia de las fuentes de variación de la interacción genotipo x ambiente del rendimiento de algodón – semilla, porcentaje de fibra y rendimiento de fibra, en el Caribe húmedo colombiano.
- c) Comparar los resultados obtenidos del Caribe seco versus el Caribe húmedo, colombiano.

5. HIPÓTESIS

Las fuentes de variación de los ANAVACO en los estudios de interacción GxA, tienen la misma significancia estadística e importancia en la variación para el rendimiento de algodón – semilla, porcentaje de fibra y rendimiento de fibra en el Caribe seco y húmedo colombiano.

6. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Acevedo, M., Reyes, E., Castrillo, W., Torres, O., Marín, C., Álvarez, R., y Torres, E. (2010).** Estabilidad fenotípica de arroz de riego en Venezuela utilizando los modelos LIN-BINNS y AMMI. *Agronomía tropical*, 60(2), 131-138.
- Agro-Bio (2019).** Aumenta el cultivo de algodón transgénico en Colombia. Recuperado de: <https://www.agrobio.org/algodon-transgenico-en-colombia/>
- Alves, R. S., Teodoro, P. E., Farias, F. C., Farias F., J. C., Carvalho, L. P., Rodrigues J., I. S., y Resende M., D. V. (2017).** Evaluation of genotype x environment interactions in cotton using the method proposed by Eberhart and Russell and reaction norm models. *Genetics and Molecular Research*, 16(3), 1-12.
- Angeloni, P. N., Caram, G. A., y de Prause, J. (2001).** Utilización de dos temperaturas base para el cálculo de grados – día. Cátedra de Climatología y Fenología Agrícolas. Facultad de Ciencias Agrícolas. UNNE. Recuperado de: <https://es.scribd.com/document/267970178/Temperatura-Grados-dia>
- Araméndiz, H., Espitia, M., Agámez, A., Cardona, C., y Robles, J. (2007).** Estabilidad fenotípica de genotipos de algodón (*Gossypium hirsutum* L.). *Revista U.D.C.A. Actualidad y divulgación científica*, 10(2), 65-73.
- Asfaw, A., Erenso, D., Taye, T., Feyera, M., Haileselassie, K., Tesfaye, T., ... Chemed D. (2011).** Genotype-by-Environment Interaction and Yield Stability Analysis in Finger Millet (*Elucine coracana* L. Gaertn) in Ethiopia. *American Journal of Plant Sciences*, 2, 408-415.
- Campbell, B. T., Chee, P. W., Lubbers, E., Bowman, D. T., Meredith, W. R., Johnson, J., y Jones, D. C. (2012).** Dissecting genotype x environment interactions and trait correlations present in the Pee Dee cotton germplasm collection following seventy years of plant breeding. *Crop Science*, 52(2), 690-699.
- Campuzano D., L. F., Caicedo, G. S., y Guevara, A. J. (2015).** Determinación de atributos en genotipos de algodón (*Gossypium hirsutum* L.) en la rotación maíz-soya asociados a suelos ácidos mejorados de la altillanura colombiana. *Ciencia y Tecnología Agropecuaria*, 16(2), 251-263.
- CONACYT (2014).** Consejo Nacional de Ciencias y Tecnologías. Algodón. Recuperado de: <https://www.conacyt.gob.mx/cibiogem/index.php/algodon>
- CONALGODÓN (2014).** Resultados y análisis de los costos unitarios de producción cosecha costa 2013/14. Fondo de Momento Algodonero. Recuperado de:

<http://conalgodon.com/wp-content/uploads/2016/06/Informe-Final-Costos-Cosecha-Costa-2013-14.pdf>

CONALGODÓN (2016). Boletín informativo N°2: febrero de 2016. Cosecha de algodón. Unidad de Estadística y Análisis Económico. Recuperado de: <http://conalgodon.com/wp-content/uploads/2016/07/INFORME-WEB-FEBRERO-2016.pdf>

CONALGODÓN (2017). Boletín informativo N°4: abril de 2017. Cosecha de algodón. Unidad de Estadística y Análisis Económico. Recuperado de: <http://conalgodon.com/wp-content/uploads/2017/05/INFORME-WEB-ABRIL-2017.pdf>

CONALGODÓN (2018). Boletín informativo N°4: abril de 2018. Cosecha de algodón. Unidad de Estadística y Análisis Económico. Recuperado de: <http://conalgodon.com/wp-content/uploads/2018/05/INFORME-WEB-ABRIL-2018.pdf>

CONALGODÓN (2018). Resultados y análisis costos de producción cosecha costa 2017/18. Fondo de Momento Algodonero. Recuperado de: <http://conalgodon.com/wp-content/uploads/2018/11/DOCUMENTO-FINAL-costos-costa-2017-2018.pdf>

Espitia, M., Araméndiz, 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.

Espitia, M., Araméndiz, H., y Mendoza, A. (1993). Selección simultanea de genotipos de algodón (*Gossypium hirsutum* L.) por altos rendimientos y estabilidad. *Revista ICA*, 28(3), 227-234.

FAO (2017). Datos sobre alimentación y agricultura. Cultivos. Datos solicitados. Recuperado de: <http://www.fao.org/faostat/es/#data/QC>

FAO (2018). Cooperación sur-sur trilateral. Estudio nichos de mercados del algodón. Recuperado de: <http://www.fao.org/3/I8813ES/i8813es.pdf>

Fernández, M. (2013). Efectos del cambio climático en la producción y rendimiento de cultivos por sectores: evaluación riesgo agroclimático. Recuperado de: <http://www.ideam.gov.co/documents/21021/21138/Efectos+del+Cambio+Climatico+en+la+agricultura.pdf>

García G., J. (2004). El cultivo de algodón en Colombia entre 1953 y 1978: una evaluación de las políticas gubernamentales. Recuperado de:

<https://repositorio.banrep.gov.co/bitstream/handle/20.500.12134/6580/?sequence=2>

García, M. C., Botero, A. P., Quiroga F., A. B., y Robles, E. A. (2012). Variabilidad climática, cambio climático y el recurso hídrico en Colombia. *Revista de Ingeniería*, (36), 60-64.

Gul, S., Khan, N. U., Batool, S., Baloch, M. J., Munir, M., Sajid, M., y Kazmi, S. F. (2014). Genotype by environment interaction and association of morpho-yield variables in upland cotton. *Journal of Animal and Plant Sciences*, 24(1), 262-271.

Herrera A., F. O. y Páez M., J. L. (1992). Extracción de nutrientes en las diferentes etapas de crecimiento de la planta de algodón (*G. hirsutum* L.) En el Sinú medio (tesis de pregrado). Universidad de Córdoba, Montería, Colombia.

IDEAM (2020). Tiempo y clima. Datos solicitados. Recuperado de: <http://www.ideam.gov.co/web/tiempo-y-clima>

Jarma, O. A., Cardona, A. C., y Araméndiz, T. H. (2012). Efecto del cambio climático sobre la fisiología de las plantas cultivadas: una revisión. *Revista U.D.C.A. Actualidad y divulgación científica*, 15(1), 63-76.

Johannsen, W. (1903). Base genética de la variación continua. UCM. Apuntes. Recuperado de: <https://www.ucm.es/data/cont/media/www/pag-56185/15-Base%20gen%C3%A9tica%20de%20la%20variaci%C3%B3n%20continua.pdf>

Koroma, M. S., Swaray, M., Akromah, R., y Obeng, A. K. (2017). Genotype by environment interaction and stability of extra-early maize hybrids (*Zea Mays* L.) for yield evaluated under irrigation. *International Journal of Environment, Agriculture and Biotechnology*, 2(5), 2573-2580.

López, S. E., Tosquy V., Ó. H., Villar, S. B., Acosta G., J. A., Rodríguez R., J. R., y Andrés, M. P. (2015). Rendimiento y estabilidad de líneas mejoradas de frijol negro en Veracruz y Chiapas, México. *Revista fitotecnia mexicana*, 38(2), 173-181.

Magrin, G. (2015). Adaptación al cambio climático en América Latina y el Caribe. Recuperado de: <https://www.cepal.org/es/publicaciones/39842-adaptacion-al-cambio-climatico-america-latina-caribe>

Mejía, S. J. (2014). Evaluación de la interacción genotipo por ambiente para variedades transgénicas de algodón *Gossypium hirsutum* L. (tesis de Maestría). Universidad nacional de Colombia, Palmira, Colombia.

- Meredith Jr., W. R., Boykin, D. L., Bourland, F. M., Caldwell, W. D., Campbell, B. T., Gannaway, J. R., y Zhang, J. (2012).** Genotype x environment interactions over seven years for yield, yield components, fiber quality, and gossypol traits in the regional high quality tests. *Journal of Cotton Science*, 16, 160-169.
- Mora, F., Osmerio, P. J., y Scapim, C. A. (2007).** Predicción del efecto de cultivares de algodón en la presencia de interacción genotipo-ambiente. *Ciencia e Investigación Agraria*, 34(1), 13-21.
- Nadeem, F., Khan, N. U., Khalid, S., Azam, S., Saeed, B., Jan, T., y Khan, M. R. (2018).** Genotype x environment interaction studies in F₅ populations of upland cotton under agro-climatic condition of Peshawar. *Pure and Applied Biology*, 7(3), 973-991.
- OCARIBE (2018).** Observatorio del Caribe colombiano. Región Caribe de Colombia. Recuperado de: <https://www.ocaribe.org/region-caribe?la=es>
- Palomo, G. A., Santamaría, C. J., y Godoy, Á. S. (1998).** Estabilidad del rendimiento y de la calidad de la fibra de 12 genotipos de algodón. *Agricultura Técnica en México*, 24(2), 147-153.
- Paytas, M. (2012).** Calidad de fibra, un aspecto que comienza a definirse muy tempranamente en el algodón. *Revista Voces y Ecos*, (29), 8-10.
- Riaz, M., Naveed, M., Farooq, J., Farooq, A., Mahmood, A., Rafiq, Ch. M., ... Sadiq A. (2013).** AMMI analysis for stability, adaptability and GE interaction studies in cotton (*Gossypium hirsutum* L.). *The Journal of Animal and Plant Sciences*, 23(3), 865-871.
- Rodríguez G., R. E., Ponce M., J. F., Rueda P., E. O., Avendaño, R. L., Paz H., J. J., Santillano, C. J., y Cruz, V. M. (2011).** Interacción genotipo-ambiente para la estabilidad de rendimiento en trigo en la región de Mexicali, B.C., México. *Tropical and Subtropical Agroecosystems*, 14(2), 543-558.
- Rodríguez, G. R., Puchades, I. Y., Bernal, L. N., Jorge, S. H., y García, P. H. (2012).** Métodos Estadísticos Multivariados en el estudio de la Interacción Genotipo-Ambiente en la Caña de Azúcar. *Ciencia en su PC*, (1), 47-60.
- SAGARPA (2014).** Análisis de la cadena de valor en la producción de algodón en México. Recuperado de: <https://www.redinnovagro.in/pdfs/algodon.pdf>
- SAGARPA (2017).** Planeación Agrícola Nacional 2017-2030. Algodón. Recuperado de: <http://www.consejagri.mx/images/PLANEACION%20AGRINAL%20MEX/CON%20POTENCIAL%20DE%20MERCADO/Potencial-Algodon.pdf>

- Sah, B. P., Yadav, N. K., Ghimire, S. K., Shrestha, S. M., Sah, S. K., y Sarker, A. (2016).** Genotype x environment interaction and stability analysis in lentil (*Lens culinaris* Medik). *International Journal of Environment, Agriculture and Biotechnology*, 1(3), 354-365.
- Sánchez, A. D., Borrego, E. F., Zamora V., V. M., Sánchez C., J. D., y Castillo, R. F. (2015).** Estimación de la interacción genotipo-ambiente en tomate (*Solanum lycopersicum* L.) Con el modelo AMMI. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 6(4), 763-778.
- Shar, T., Baloch, M. J., Arain, M. A., Jatoi, W. A., y Lochi, R. (2017).** Phenotypic associations, regression coefficients and heritability estimates for quantitative and fiber quality traits in upland cotton genotypes. *Pakistan Journal of Agriculture, Agricultural Engineering, and Veterinary Sciences*, 33(2), 142-152.
- Sierra, M., Espitia, M., y Cadena, J. (2017).** Correlación entre rendimiento, estabilidad fenotípica y métodos de selección simultánea en algodón. Universidad de Córdoba. *Revista Temas Agrarios*, 22(1), 21-30.
- Spoljaric, M. V., Tcach, M. A., Rojas, J. M., Tarrago, J. R., y Cointry, E. L. (2018).** Caracterización de genotipos de *Gossypium hirsutum* L. sobre su tolerancia a estrés hídrico. RIA. *Revista de Investigaciones Agropecuarias*, 44(1), 49-59.
- Valencia, R. A., y Ligarreto, G. (2010).** Análisis de la interacción soya-cepa (*Bradyrhizobium japonicum*) x ambiente, en Qxisoles de la Orinoquia colombiana. *Agronomía Colombiana*, 28(3), 361-371.
- Vallejo, F. A., y Estrada, E. I. (2002).** Mejoramiento genético de plantas. Universidad Nacional de Colombia, sede Palmira (UNAPAL), Feriva S.A. ISBN: 958-8095-11-5., 225-227.
- Velázquez, Ó (2017).** Cambio climático afecta cultivo de algodón. Recuperado de: <https://www.inforural.com.mx/cambio-climatico-afecta-cultivo-algodon/>

CAPÍTULO II

EVALUACIÓN DE LA SIGNIFICANCIA ESTADÍSTICA Y LA IMPORTANCIA DE LAS FUENTES DE VARIACIÓN DE LA INTERACCIÓN GENOTIPO X AMBIENTE DEL RENDIMIENTO DE ALGODÓN – SEMILLA, PORCENTAJE DE FIBRA Y RENDIMIENTO DE FIBRA, EN EL CARIBE SECO COLOMBIANO

CHAPTER II

EVALUATION OF THE STATISTICAL SIGNIFICANCE AND IMPORTANCE OF SOURCES OF VARIATION OF GENOTYPE X ENVIRONMENT INTERACTION OF COTTON - SEED YIELD, FIBER PERCENTAGE AND FIBER YIELD, IN THE DRY CARIBBEAN OF COLOMBIA

RESUMEN

En este capítulo se propuso evaluar la significancia estadística y la importancia de las fuentes de variación (FV) de la interacción genotipo por ambiente (GxA) en el cultivo de algodón para el rendimiento de algodón – semilla (RENDAS), porcentaje de fibra (POFIB) y rendimiento de fibra (RENDIF), en el Caribe seco (CS) colombiano. Se utilizaron los datos de dos pruebas de evaluaciones agronómicas (PEA), donde se evaluaron 10 genotipos de fibra media diferentes, empleando el diseño de bloques completos al azar (DBCA) con cuatro repeticiones. Cada PEA estuvo conformada por los resultados de cuatro ambientes representativos del CS. Las PEA se realizaron durante las cosechas 2003/2004 y 2007/2008. Para determinar la significancia estadística de las FV del análisis de varianzas combinados (ANAVACO) se utilizó la prueba de F basada en cuadrados medios (CM) y la importancia de las FV se calculó ponderando en porcentaje la variación del ambiente (A), genotipo (G) e interacción GxA, sobre el total de la suma de cuadrados (SC) de estas FV. Los resultados obtenidos, señalan que para RENDAS en las cosechas 2003/2004 y 2007/2008 los CM presentaron diferencia altamente significativa ($p < 0,01$) solo para A, con una explicación de la SC con tendencia similar en las dos cosechas, así: G (1,5%), A (92,6%) y GxA (5,9%) para la cosecha 2003/2004, y G (3,6%), A (87,5%) y GxA (8,9%) para la cosecha 2007/2008, respectivamente. En el promedio de las dos cosechas la mayor parte de la variación de la SC para RENDAS estuvo asociada con el A representando con un valor de 90,1%, seguido de GxA con 7,4% y G con 2,6%. El POFIB en los CM para las cosechas 2003/2004 y 2007/2008 presentaron diferencia altamente significativa en las fuentes G y A, con tendencia similar en la explicación de la SC, con G (79,4%), A (17,8%) y GxA (2,9%) en la cosecha 2003/2004, y G (69,5%), A (18,1%) y GxA (12,4%) para la cosecha 2007/2008, respectivamente. En promedio la mayor parte de la variación para POFIB, estuvo asociada al G con 74,5%, seguido del A con 18% y 7,7% para GxA. En el RENDIF para la cosecha 2003/2004, se presentó diferencia significativa entre G ($p < 0,05$) y A ($p < 0,01$), a diferencia de la cosecha 2007/2008 que solo se detectó diferencia altamente significativa para A ($p < 0,01$). La explicación de la SC mostró tendencia similar en las dos cosechas, con G (4,3%), A (90,0%) y GxA (5,7%) en la cosecha 2003/2004, y G (5,2%), A (84,4%) y GxA (10,4%) para la cosecha 2007/2008, respectivamente. En promedio el mayor aporte de la SC del RENDIF estuvo dada por el A con 87,2% de la variación, seguido de GxA con 8,1% y del G con 4,7%. La tendencia en la explicación promedio de la variación fue muy similar en RENDAS y RENDIF, además la variación debida al A tuvo más efecto en la expresión de las mismas.

Palabras clave: algodón - semilla, análisis de varianza combinado, rendimiento de fibra, significancia estadística, suma de cuadrados, Caribe seco colombiano.

ABSTRACT

In this chapter we set out to evaluate the statistical significance and importance of sources of variation (SV) of the genotype-by-environment interaction (GxE) in cotton cultivation for cotton-seed yield (RENDAS), fiber percentage (POFIB) and fiber yield (RENDIF), in the Colombian dry Caribbean (CS). Data from two agronomic evaluation tests (PEA) were used, where ten different medium fiber genotypes were evaluated, using the complete randomized block design (DRBD) with four replications. Each PEA was made up of the results of four representative CS environments. The PEAs were conducted during the 2003/2004 and 2007/2008 harvests. To determine the statistical significance of the SV of combined analysis of variance (ANAVACO), the F test based on mean squares (MS) was used and the significance of the SV was calculated by weighting the variation of environment (E), genotype (G), and interaction GxE as a percentage of the total sum of squares (SS) of these SV. The results obtained indicate that for RENDAS in the 2003/2004 and 2007/2008 harvests the MS presented a highly significant difference ($p < 0,01$) only for E, with an explanation of the SS with a similar trend in the two harvests, as well: G (1,5%), E (92,6%) and GxE (5,9%) for the 2003/2004 harvest, and G (3,6%), E (87,5%) and GxE (8,9%) for the 2007/2008 harvest. In the average of the two harvests, most of the variation of the SS for RENDAS was associated with E representing a value of 90,1%, followed by GxE with 7,4% and G with 2,6%. The POFIB in the MS for the 2003/2004 and 2007/2008 harvests showed a highly significant difference in the G and E sources, with a similar trend in the explanation of the SS, with G (79,4%), E (17,8%) and GxE (2,9%) for the 2003/2004 harvest, and G (69,5%), E (18,1%) and GxE (12,4%) for the 2007/2008 harvest. On average, most of the variation for POFIB was associated with G with 74,5%, followed by E with 18% and 7,7% for GxE. In the RENDIF for the 2003/2004 harvest, there was a significant difference between G ($p < 0,05$) and E ($p < 0,01$), as opposed to the 2007/2008 harvest which only detected a highly significant difference for E ($p < 0,01$). The SS's explanation showed similar trends in the two harvests, with G (4,3%), E (90,0%) and GxE (5,7%) for the 2003/2004 harvest, and G (5,2%), E (84,4%) and GxE (10,4%) for the 2007/2008 harvest. On average, the greatest contribution of RENDIF's SS was given by E with 87,2% of the variation, followed by GxE with 8,1% and G with 4,7%. The trend in the average explanation of the variation was very similar in RENDAS and RENDIF, and the variation due to E had more effect on their expression.

Keywords: Cotton - seed, combined analysis of variance, fiber yield, statistical significance, sum of squares, Colombian dry Caribbean.

1. INTRODUCCIÓN

El cultivo de algodón (*Gossypium hirsutum* L.) en el Caribe seco colombiano se siembra bajo un conjunto de factores ambientales que se caracterizan y delimitan a los departamentos productores. Esta subzona productora está conformada por los departamentos del Atlántico, Cesar, Guajira y Magdalena. Estos agroecosistemas se caracterizan por un ambiente de baja humedad relativa de 20% a 50%, temperatura promedio anual de 28°C a 30°C, suelos de fertilidad media a baja, en estos lugares las precipitaciones son de 500 a 1.000 milímetros por año (mm.año^{-1}) y en algunas partes pueden ser monomodales (Dicyt, 2011; CONALGODÓN, 2018; IDEAM, 2020). Con el tiempo los cultivares de algodón se establecieron en lo que se conoce hoy como zonas algodoneras y congruente a lo planteado, se les exige cada vez más a los materiales de siembra.

Las exigencias principales son la estimación del progreso genético, y esa estimación es mucho más precisa con la realización de experimentos en diferentes ambientes, con muestras representativas de los genotipos liberados y genotipos avanzados, ya que de lo contrario se generaría un vacío de información (Araméndiz, Espitia y Isaza, 2010). Muchas de las estimaciones abarcan distintos parámetros estadísticos. Estos parámetros a menudo son utilizados para el análisis de los caracteres cuantitativos, los que controlan el rendimiento en el cultivo de algodón, y estos análisis de caracteres cuantitativos hacen que la presencia de los estudios de interacción genotipo por ambiente (GxA) aumenten. Se han propuesto y utilizado diferentes metodologías paramétricas y no paramétricas para su estudio, basadas en diferentes modelos y supuestos de análisis de varianzas como los de Yates y Cochran (1938), Finlay y Wilkinson (1963), y Eberhart y Russel (1966) citados por Mejía (2014).

Los estudios de la interacción GxA han demostrado que reducen la asociación entre los valores genotípicos y fenotípicos, y obliga a los fitomejoradores a considerar la estabilidad y adaptabilidad de los materiales (Espitia, Araméndiz y Mendoza, 1993). Por esa razón al encontrar una interacción GxA relevante, se deben enfocar esfuerzos para conocer las causas de esa interacción, con el objetivo de hacer una predicción precisa del comportamiento de un determinado genotipo bajo una variedad de ambientes (Araméndiz, Espitia, Agámez, Cardona y Robles, 2007; Araméndiz et al., 2010; Mejía, 2014; Sierra, Espitia y Cadena, 2017).

Yan y Kang (2002) y Damba (2008), concuerdan que el factor ambiente representa un estrés cuando hay un nivel fuera del óptimo. Un ejemplo claro es cuando en condiciones de sequía el agua está a un nivel subóptimo y se pueden identificar genotipos que hagan un uso eficiente del agua.

Yan y Kang (2002) y Vallejo y Estrada (2002), afirman que existen diferencias en la tasa de aumento de la respuesta genotípica a un nivel subóptimo (sequia), lo cual refleja diferencias en la eficiencia, y las diferencias en las tasas de decrecimiento

de la respuesta genotípica a un nivel superóptimo (exceso de humedad) reflejan diferencias en tolerancia.

Una revisión sobre la interacción GxA en el cultivo de algodón realizada por Meredith et al. (2012), afirman que durante los últimos 50 años se produjeron pocos cambios en los componentes de varianza, relacionados con ambiente (A), genotipo (G) e interacción GxA. No obstante, los análisis de las fuentes de variación, en el cultivo de algodón son necesarios para los genotipos promisorios como los que se evalúan en este estudio y los que se evalúen en otras investigaciones, estimándoles los componentes del rendimiento en diferentes ofertas ambientales. Con ello se garantiza a los agricultores la posibilidad de obtener genotipos confiables a sus condiciones ambientales impredecibles y acordes a las particularidades de las zonas productoras del Caribe seco colombiano.

Las distintas investigaciones encontradas sobre la interacción GxA enfocados en los parámetros de rendimientos son numerosos, como los de Palomo, Santamaria y Godoy (1998), Mora, Pupim y Scapim (2007), Asfaw et al. (2011), Campbell et al. (2012), Riaz et al. (2013), Gul et al. (2014), Mejía (2014), Campuzano, Caicedo y Guevara (2015), López et al. (2015), Sánchez, Borrego, Zamora, Sánchez y Castillo (2015), Akter et al. (2015), Sah et al. (2016), Koroma, Swaray, Akromah y Obeng (2017), Shar, Baloch, Arain, Jatoi y Lochi (2017), Alves et al. (2017), Sierra et al. (2017), y Nadeem et al. (2018), y otros enfocados netamente en el cultivo de algodón, Palomo et al. (1998), Mora et al. (2007), Campbell et al. (2012), Riaz et al. (2013), Gul et al. (2014), Mejía (2014), Campuzano et al. (2015), Shar et al. (2017), Alves et al. (2017), Sierra et al. (2017), y Nadeem et al. (2018). Sin embargo, entre las literaturas encontradas no se tiene un reporte en el cual se comparen los resultados obtenidos para determinar la importancia de las fuentes de variación por medio de los análisis de varianzas combinados (ANAVACO).

De acuerdo con el planteamiento anterior, el presente capítulo se propuso como objetivo evaluar la significancia estadística y la importancia de las fuentes de variación de la interacción GxA del rendimiento de algodón – semilla, porcentaje de fibra y rendimiento de fibra, en el Caribe seco colombiano.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

2.1. LOCALIZACIÓN

Para realizar el presente estudio se utilizaron dos conjuntos de datos, obtenidos de la evaluación de 10 genotipos diferentes de fibra media en cuatro ambientes representativos de las zonas productoras del Caribe seco colombiano, realizados durante las cosechas algodoneras 2003/2004 y 2007/2008 (Tabla 3). En la Tabla 4 se presentan las localidades del Caribe seco donde estuvieron sembradas las pruebas de evaluaciones agronómicas (PEA).

Tabla 3. Años de las evaluaciones agronómicas de las fuentes de variación de los análisis de varianzas combinados para el periodo 2003/2004 y 2007/2008.

Periodo	Caribe Seco
2003/2004	10G-4A-4R
2007/2008	10G-4A-4R

G = genotipos; **A** = ambiente; **R** = repeticiones.

Tabla 4. Localidades del Caribe seco durante los años 2003/2004 y 2007/2008, donde se realizaron los estudios de las evaluaciones GxA.

No.	Localidad	Departamento	Año de cosecha	T (°C)	PP (mm)	ASNM (m)	Fertilidad De Suelos
1	Riohacha (Maicao)	Guajira	2003/2004	28,2	621	53	Baja
2	El Copey	Cesar		27,5	1369	80	
3	Codazzi (Motilonia)			28,8	1605	180	Media
4	San Juan del Cesar	Guajira		29,5	1100	250	Baja
1	Riohacha (Maicao)	Guajira	2007/2008	28,2	621	53	Baja
2	Codazzi (Motilonia)	Cesar		28,8	1605	180	Media
3	San Juan del Cesar	Guajira		29,5	1100	250	Baja
4	Valledupar	Cesar		28,1	961	138	Media

T = temperatura en grados centígrados; **PP** = precipitación promedio en milímetros; **A.S.N.M.** = altura sobre el nivel del mar en metros.

2.2. PROCEDIMIENTO

Para el logro del objetivo del presente estudio, cada conjunto de datos se originó de los resultados obtenidos de cuatro PEA. En cada PEA se sembraron cuatro ensayos de evaluación de 10 genotipos diferentes de fibra media en cuatro fincas de agricultores (ambientes) de las zonas productoras del Caribe seco colombiano (Tabla 3). La selección de las localidades y los lotes se hizo en consenso con los productores.

2.3. VARIABLES

2.3.1. Variables independientes: en cada PEA se evaluaron 10 genotipos de algodón diferentes de fibra media, conformados por ocho líneas promisorias en la cosecha 2007/2008 y siete líneas promisorias en la cosecha 2003/2004, obtenidas por el programa de mejoramiento genético de algodón de CORPOICA en el C.I. Motilonia y Turipaná y dos variedades comerciales nacionales y una comercial internacional en la cosecha 2003/2004, una variedad comercial nacional y una comercial internacional en la cosecha 2007/2008, empleadas como testigos con buena adaptación y rendimiento (Tabla 5).

Tabla 5. Genotipos evaluados para el Caribe seco durante las cosechas 2003/2004 y 2007/2008.

Nº	CARIBE SECO 2003/2004	CARIBE SECO 2007/2008	Características
1	LC-149	L-Cer 0014	Línea promisorias de fibra media
2	LC-151	L-Cer 0016	Línea promisorias de fibra media
3	LC-153	L-Cer 0034	Línea promisorias de fibra media
4	LT-1	L-Cer 0044	Línea promisorias de fibra media
5	LT-2	SEL-ORO BLANCO	Línea promisorias de fibra media
6	LT-3	L-Cer 0060	Línea promisorias de fibra media
7	LT-4	L-Cer 0007	Línea promisorias de fibra media
8	CM-123	L-Cer 0046	Línea promisorias de fibra media
9	SM-137	SINUANA M – 137	Variedad Colombiana de fibra media (Testigo)
10	DP-opal	Nuopal	Variedad Americana de fibra media (Testigo)

2.3.2. Diseño experimental: para la implementación en campo de cada PEA, se utilizó un diseño experimental de bloques completos al azar (DBCA) con 10 genotipos diferentes y cuatro repeticiones, según lo dispone la resolución ICA No. 00148 del 18 enero de 2005. Cada ensayo de evaluación en cada PEA tuvo un proceso de aleatorización diferente de los 10 genotipos en las unidades experimentales de cada bloque. El tamaño de parcela o unidad experimental (UE) fue de seis surcos de 10 metros (m) de longitud, separados a una distancia de 0,9 m (separación entre plantas de 0,2 m), con un área experimental por prueba de 2.332 m².

2.3.3. Variables dependientes: de acuerdo con las variables dependientes consideradas en el estudio, se dispuso de la base de datos creada y mencionadas anteriormente (Tabla 3), con genotipos como efectos fijos y ambientes como efectos aleatorios para rendimiento de algodón – semilla (RENDAS), porcentaje de fibra (POFIB) y rendimiento de fibra (RENDIF), en el Caribe seco colombiano.

A continuación, se describe como se estimaron cada una de las variables consideradas para este estudio:

a) RENDAS (kg.ha⁻¹): es el peso en kilogramos por hectárea de la producción de algodón – semilla, recolectado en los dos surcos centrales de cada UE.

b) POFIB (%): es la relación expresada en porcentaje, después del desmote experimental, entre el peso de una muestra de fibra de algodón y el peso de la misma cantidad con la semilla. Generalmente producto de 50 motas de algodón con semillas cosechadas al azar en cada UE.

c) RENDIF (kg.ha⁻¹): es el peso en kilogramos por hectárea de la fibra de algodón recolectado en los dos surcos centrales de cada UE. El valor de esta variable se obtiene mediante el producto del rendimiento de algodón – semilla por el porcentaje de fibra sobre cien para cada genotipo (RENDASxPOFIB/100).

2.4. ANÁLISIS ESTADÍSTICOS DE LOS DATOS

Los datos de campo obtenidos en cada ensayo de cada PEA, en el Caribe seco, durante las cosechas mencionadas en la Tabla 3, se almacenaron en un archivo de Excel para cada experimento individual (ambiente) y luego se creó un archivo combinado con los datos de los cuatro ambientes, correspondientes a cada PEA. Con los datos obtenidos de cada PEA se realizó un análisis de varianzas combinados (ANAVACO), asumiendo un modelo mixto, con genotipos (G) como efectos fijos y ambientes (A) como efectos aleatorios.

La significancia estadística de cada fuente de variación del ANAVACO para cada variable dependiente de interés, se realizó a través de la relación estadística de los

cuadrados medios (CM) mediante la prueba F y para determinar la importancia de las fuentes de variación, se hizo la ponderación en porcentaje de las sumas de cuadrados (SC), tal como se señala en la Tabla 6. El modelo estadístico del ANAVACO, es el siguiente:

$$Y_{ijk} = \mu + A_j + R_{k(j)} + G_i + (GA)_{ij} + \varepsilon_{ijk}$$

Dónde:

Y_{ijk} = efecto del i-ésimo genotipo en el j-ésimo ambiente y en la k-ésima repetición.

μ = media general.

A_j = efecto del j-ésimo ambiente.

$R_{k(j)}$ = efecto de la k-ésima repetición en el j-ésimo ambiente.

G_i = efecto del i-ésimo genotipo.

$(GA)_{ij}$ = efecto de la interacción del i-ésimo genotipo por el j-ésimo ambiente.

ε_{ijk} = error aleatorio, con los supuestos usuales $\varepsilon_{ij} \sim NI(0, \sigma^2)$.

La significancia estadística de las F, se realizó mediante la comparación con los valores de F tabla con sus respectivos grados de libertad y niveles del 5% o 1% de probabilidad (Tabla 6).

La regla de decisión es la siguiente: Sí $F_c \geq F$ tabla: entonces, existe diferencia estadística al 5% o al 1%, y sí $F_c < F$ tabla: entonces, no existe diferencia estadística para la respectiva fuente de variación.

Todos los análisis estadísticos se realizaron utilizando el programa computacional GENES versión Windows (2014.6.1), desarrollado por Cruz (2016).

Tabla 6. Análisis de varianzas combinados esperado para la interacción GxA.

Fuentes de variación (FV)	GL	SC	CM	E(CM)	Prueba F	Importancia FV
Ambientes (A)	(A-1)	SC _A	CM _A	$\sigma^2_e + g \sigma^2_r + gr \sigma^2_a$	CM _A / CM _R	(SC _A /SC _t)*100
Repeticiones (b)/A	A (R-1)	SC _R	CM _R	$\sigma^2_e + r \sigma^2_r$		(SC _R /SC _t)*100
Genotipos (G)	(G-1)	SC _G	CM _G	$\sigma^2_e + \sigma^2_{ga} + ar/(g-1)\Sigma(g_i - \bar{g})^2$	CM _G / CM _{GxA}	(SC _G /SC _t)*100
Interacción (GxA)	(G-1)(A-1)	SC _{GxA}	CM _{GxA}	$\sigma^2_e + r \sigma^2_{ga}^2$	CM _{GxA} / CM _e	(SC _{GxA} /SC _t)*100
Error (e)	A(G-1)(R-1)	SC _e	CM _e	σ^2_e	CM _e	(SC _e /SC _t)*100
Total (t)	(AGR-1)	SC _t				

R = Repeticiones; **GL** = Grados de libertad; **SC** = Suma de cuadrados; **SC_t** = SC_(A+G+GxA); **CM** = Cuadrado medios; **E(CM)** = Cuadrados medios esperados; σ^2_e = Varianza del error; σ^2_r = Varianza de la repetición (b)/A; σ^2_a = Varianza ambiental; σ^2_{ga} = Varianza de la interacción GxA; $ar/(g-1)\Sigma(g_i - \bar{g})^2$ = Varianza genética.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1. SIGNIFICANCIA ESTADÍSTICA E IMPORTANCIA DE LAS FUENTES DE VARIACIÓN PARA EL RENDIMIENTO DE ALGODÓN – SEMILLAS (RENDAS)

El análisis de varianzas combinados (ANAVACO) para RENDAS, se presenta en la Tabla 7. El coeficiente de variación (CV) expresado en porcentaje (%) presentó una amplitud de variación de 18,0% para la cosecha 2003/2004, y de 24,8% para la cosecha 2007/2008. Estos CV(%) son un indicativo de que en la cosecha 2003/2004 se presentó mayor control del error y mayor eficiencia en la técnica experimental utilizada en la investigación, comparada con la cosecha 2007/2008. Además, los CV(%) demuestran como varía el RENDAS por efecto del ambiente.

Tabla 7. Análisis de varianzas combinados para el rendimiento de algodón – semilla (RENDAS) para el Caribe seco colombiano, durante las cosechas 2003/2004 y 2007/2008.

FV	Caribe Seco 2003-2004 (RENDAS)			
	GL	SC	CM	% SC
BLOQUES	12	7243102,4		
GENOTIPOS (G)	9	1776972,1	197441,3 ns	1,5
AMBIENTES (A)	3	112388331,6	37462777,2**	92,6
GxA	27	7165581,8	265391,9 ns	5,9
ERROR COMBINADO	108	19852406,2		
TOTAL	159	148426394,0		
Media (kg.ha⁻¹)		2382,5		
CV (%)		18,0		
FV	Caribe Seco 2007-2008 (RENDAS)			
	GL	SC	CM	% SC
BLOQUES	12	10206087,5		
GENOTIPOS (G)	9	5516494,3	612943,8 ns	3,6
AMBIENTES (A)	3	132523516,1	44174505,4**	87,5
GxA	27	13470710,5	498915,2 ns	8,9
ERROR COMBINADO	108	69248124,1		
TOTAL	159	230964932,4		
Media (kg.ha⁻¹)		3225,7		
CV (%)		24,8		

FV = fuente de variación; **GL** = grados de libertad; **SC** = sumas de cuadrados; **CM** = cuadrados medios; **%SC** = participación en porcentaje en las sumas de cuadrados; **ns** = no significativo; * = significancia al 5% ($p < 0,05$) en la prueba de F; ** = significativo al 1% ($p < 0,01$) en la prueba de F; **CV(%)** = coeficiente de variación en porcentaje.

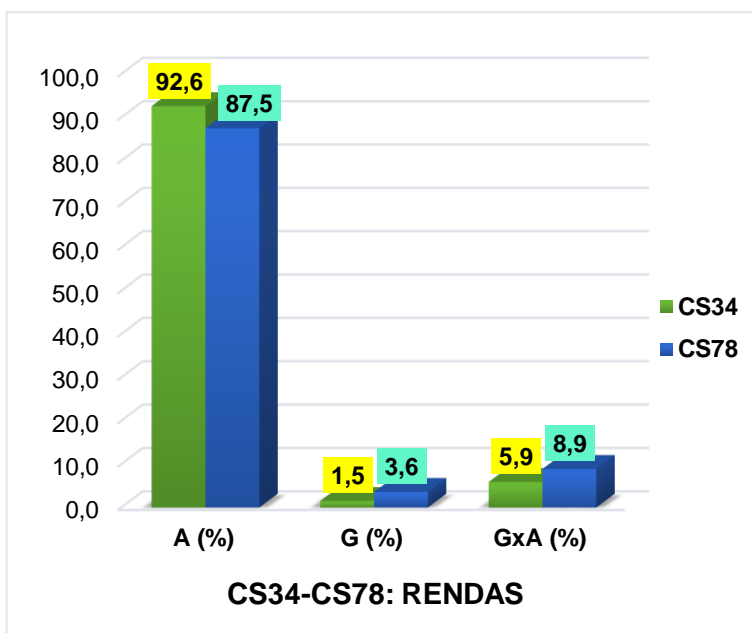
Según los resultados de Maleia et al. (2019) y Cotrim et al. (2019), los CV(%) para RENDAS obtenidos a partir de evaluaciones realizadas en campos de agricultores son aceptables, debido a que hay poco control de las condiciones ambientales, reportándose valores de 13% a 30% de variación. Esto podría explicar la media general obtenida por cosecha. Sin embargo, los valores de la media general son inversos a los valores de los CV(%). La cosecha 2003/2004 que presentó menor CV(%) tuvo una media general de 2.382,5 kg.ha⁻¹, y la cosecha 2007/2008 que presentó mayor CV(%) tuvo una media general de 3.225,7 kg.ha⁻¹, demostrando que la media general aumentó en 26% aproximadamente de una cosecha a otra, posiblemente se deba a un mejor comportamiento de los genotipos evaluados, las condiciones edafoclimáticas y el manejo agronómico ofrecido en las localidades en estudio durante la cosecha 2007/2008, comparados con los mismos factores de la cosecha 2003/2004, en el Caribe seco colombiano.

La significancia estadística y la importancia de las fuentes de variación de interés, ambiente (A), genotipo (G) e interacción (GxA), en RENDAS presentaron una tendencia en su comportamiento muy similar en las dos cosechas. Los cuadrados medios (CM) presentaron diferencia altamente significativa ($p < 0,01$) entre A en ambas cosechas, y no se detectó diferencia significativa (ns) entre G e interacción GxA en ambas cosechas. Esto sugiere que los G presentaron respuesta promedio similar y que su comportamiento no cambió por efecto de las variaciones del ambiente donde se evaluaron los genotipos, y que los A presentaron respuesta promedio diferente de manera contrastante, posiblemente debido al efecto que ejercen las condiciones ambientales del Caribe seco sobre esta variable dependiente, de allí que su interpretación sea; que en el promedio de todos los genotipos por lo menos uno de los ambientes se comportó estadísticamente diferente (Cubero y Flores, 2003). Estos resultados concuerdan con los obtenidos por Riaz et al. (2013); Campuzano et al. (2015); Nadeem et al. (2018) y Ribeiro et al. (2018), quienes encontraron que la interacción GxA no es tan relevante para los componentes del RENDAS, y no concuerdan con los resultados obtenidos por Mukoyi et al. (2018) y Cotrim et al. (2019), los cuales reportaron diferencia significativa para A y GxA, y también con los de Laghari et al. (2003); Killi y Harem (2006); Ibrahim et al. (2014); Gul et al. (2014); Gul et al. (2016); Ali et al. (2017); Dewan et al. (2017); Ali et al. (2018); Sadabadi et al. (2018); Teodoro et al. (2019); Maleia et al. (2019) y Shahzad et al. (2019), quienes encontraron diferencias significativas para cada una de las fuentes de variación de interés en RENDAS.

Si analizamos la participación de las fuentes de variación de interés, en la Figura 1, expresadas en las sumas de cuadrados (SC) para RENDAS, se puede observar mejor la tendencia similar en el comportamiento para ambas cosechas del Caribe seco colombiano. Nótese que la participación del A presentó la mayor contribución en ambas cosechas, con valores de 92,6% (2003/2004) y 87,5% (2007/2008). En orden de magnitud le siguió la interacción GxA con 5,9% y 8,9%, para las cosechas 2003/2004 y 2007/2008, respectivamente. La fuente de variación G fue la que menos contribuyó a explicar la variación de la SC, con 1,5% (2003/2004) y 3,6%

(2007/2008). Esto indica que las sumas de las media obtenidas por tratamientos (genotipos) fueron inferior a las sumas de las media obtenidas por localidades (ambientes), y que al calcular la SC para cada fuente de variación de interés, muestra que gran parte de la variación fenotípica tiene mayor contribución por el ambiente, debido a la gran divergencia entre localidades dentro del Caribe seco (Cubero y Flores, 2003). Lo cual concuerdan con los resultados obtenidos por Meredith (2003); Campbell et al. (2012); Riaz et al. (2013); Mukoyi et al. (2018) y Shahzad et al. (2019), los cuales detectaron que el A presenta la participación más alta de la variación de la SC, y difieren con los resultados de Blanche et al. (2006) y Ali et al. (2017), quienes encontraron que el G presenta la mayor participación, y Gul et al. (2014) y Gul et al. (2016), reportaron que la mayor participación es de la interacción GxA para la variación de la SC en el RENDAS.

Figura 1. Participación de ambientes (A), genotipos (G) e interacción GxA, en las sumas de cuadrados, para el rendimiento de algodón – semilla (RENDAS), en el Caribe seco colombiano, durante las cosechas 2003/2004 (CS34) y 2007/2008 (CS78).



3.2. SIGNIFICANCIA ESTADÍSTICA E IMPORTANCIA DE LAS FUENTES DE VARIACIÓN PARA EL PORCENTAJE DE FIBRA (POFIB)

El ANAVACO para POFIB, se presenta en la Tabla 8. El CV(%) presentó valores de 2,2% para la cosecha 2003/2004 y de 3,7% para la cosecha 2007/2008. Estos CV(%) resultaron similares para ambas cosechas e indican a su vez que la cosecha 2003/2004 presentó ligeramente mayor control del error y mayor eficiencia de la técnica experimental utilizada en la investigación, comparada con la cosecha

2007/2008. También sugiere que existió poca variación debido al efecto del ambiente, así como lo reportan Maleia et al. (2019); Cotrim et al. (2019) y Mejía et al. (2020), quienes sugieren que los CV(%) para POFIB obtenidos en las pruebas de evaluaciones agronómicas, presentan valores de 2% a 9% de variación. Sin embargo, los valores obtenidos de la media general en POFIB son inversos a los valores de los CV(%). La cosecha 2003/2004 que presentó menor CV(%) tuvo una media general de 40,3%, y la cosecha 2007/2008 que presentó mayor CV(%) tuvo una media general de 43,2%, indicando con estos resultados que la media general aumentó de una cosecha a otra, posiblemente porque los genotipos, condiciones edafoclimáticas y manejo agronómico fueron ligeramente más favorables en la cosecha 2007/2008, comparados con los mismos factores de la cosecha 2003/2004. Estos resultados son el producto del desmote experimental expresado en unidades adimensionales (%).

Tabla 8. Análisis de varianzas combinados para el porcentaje de fibra (POFIB) para el Caribe seco colombiano, durante las cosechas 2003/2004 y 2007/2008.

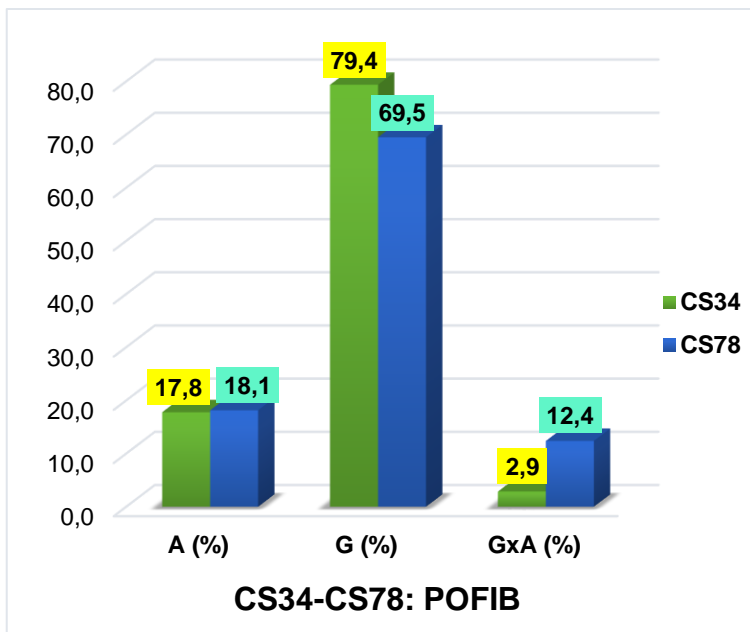
FV	Caribe Seco 2003-2004 (POFIB)			
	GL	SC	CM	% SC
BLOQUES	12	8,3		
GENOTIPOS (G)	9	878,9	97,7**	79,4
AMBIENTES (A)	3	196,8	65,6**	17,8
GxA	27	31,7	1,2 ns	2,9
ERROR COMBINADO	108	84,3		
TOTAL	159	1200,1		
Media (%)		40,3		
CV (%)		2,2		
FV	Caribe Seco 2007-2008 (POFIB)			
	GL	SC	CM	% SC
BLOQUES	12	54,4		
GENOTIPOS (G)	9	465,2	51,7**	69,5
AMBIENTES (A)	3	121,5	40,5**	18,1
GxA	27	82,9	3,1 ns	12,4
ERROR COMBINADO	108	280,1		
TOTAL	159	1004,1		
Media (%)		43,2		
CV (%)		3,7		

FV = fuente de variación; **GL** = grados de libertad; **SC** = suma de cuadrados; **CM** = cuadrados medios; **%SC** = participación en porcentaje en la suma de cuadrados; **ns** = no significativo; * = significancia al 5% ($p < 0,05$) en la prueba de F; ** = significativo al 1% ($p < 0,01$) en la prueba de F; **CV(%)** = coeficiente de variación en porcentaje.

Los CM presentaron diferencias altamente significativas entre A y G en ambas cosechas, y en estas dos cosechas, la interacción GxA no presentó diferencia significativa. Esto explica que los G presentaron respuesta promedio diferente y que su comportamiento no cambió por efecto de las variaciones del ambiente donde se evaluaron los genotipos, y la respuesta de A, indica que en los promedios de los genotipos evaluados, por lo menos uno de los ambientes se comportó estadísticamente diferente (Cubero y Flores, 2003). Estos resultados concuerdan con los obtenidos por Mejía (2014), quien encontró que la interacción GxA para POFIB no es significativa y que el A para esta variable dependiente puede llegar a ser muy altamente significativa ($p < 0,001$), también Maleia et al. (2019), reportaron diferencias altamente significativas para A y G, con una interacción GxA no significativa, y todos estos resultados son contrarios a los obtenidos por Zeng y Meredith (2009); Ribeiro et al. (2018) y Mejía et al. (2020), los cuales reportaron que el A no presentó diferencia significativa, y otros autores como Ibrahim et al. (2014); Gul et al. (2016); Dewan et al. (2017); Mukoyi et al. (2018); Ali et al. (2018); Shahzad et al. (2019) y Cotrim et al. (2019), reportaron diferencias significativas para cada una de las fuentes de variación de interés en POFIB.

Si analizamos la participación de las fuentes de variación de interés, en la Figura 2, expresadas en las SC para POFIB, se puede observar mejor la tendencia similar en el comportamiento para ambas cosechas del Caribe seco colombiano. El G, presentó la mayor contribución en ambas cosechas, con valores de 79,4% (2003/2004) y 69,5% (2007/2008). En orden de magnitud le siguió el A con 17,8% y 18,1%, para las cosechas 2003/2004 y 2007/2008, respectivamente. La fuente de variación GxA fue quien menos contribuyó a explicar la variación de la SC, con 2,9% (2003/2004) y 12,4% (2007/2008). Esto sugiere que se presentó un comportamiento inverso al de RENDAS, debido a que las sumas de las media obtenidas por tratamientos (genotipos) fueron superior a las sumas de las media obtenidas por localidades (ambientes), y que la diferencia de condiciones ambientes entre localidades dentro del Caribe seco no afectó tanto la expresión de los genotipos, de manera que el POFIB fue menos influenciado por el ambiente (Cubero y Flores, 2003). Por lo tanto, la contribución a la SC de la GxA que se calcula con base a las media de todos los genotipos dentro de cada ambiente, se obtienen valores altamente variables, pero estos se corrigen restando la variación de G y A, siendo mínimo en este caso la respuesta por parte de la interacción (Cubero y Flores, 2003). Lo cual concuerda con los resultados obtenidos por Campbell y Jones (2005) y Blanche et al. (2006), quienes detectaron que la fuente de variación G presenta la mayor participación en el POFIB, y son contrarios a los obtenidos por Kerby et al. (2000); Meredith (2003); Campbell et al. (2012); Mejía (2014); Gul et al. (2016); Mukoyi et al. (2018); Shahzad et al. (2019) y Mejía et al. (2020), quienes encontraron que la fuente de variación A presenta la mayor participación de la variación de la SC para POFIB.

Figura 2. Participación de ambientes (A), genotipos (G) e interacción GxA, en las sumas de cuadrados, para el porcentaje de fibra (POFIB), en el Caribe seco colombiano, durante las cosechas 2003/2004 (CS34) y 2007/2008 (CS78).



3.3. SIGNIFICANCIA ESTADÍSTICA E IMPORTANCIA DE LAS FUENTES DE VARIACIÓN PARA EL RENDIMIENTO DE FIBRA (RENDIF)

El ANAVACO para RENDIF, se presenta en la Tabla 9. El CV(%) presentó valores de 17,5% para la cosecha 2003/2004 y de 27,1% para la cosecha 2007/2008. Estos CV(%) resultaron poco similares, indicando que la cosecha 2003/2004 presentó mayor control del error y mayor eficiencia de la técnica experimental utilizada en la investigación, comparada con la cosecha 2007/2008. Además, estos resultados registran una variación similar a la de RENDAS, la cual por ser una variable cuantitativa está también sujeta a los efectos del ambiente. Según los resultados de Mejía et al. (2020), los CV(%) para RENDIF obtenidos en campos de agricultores son aceptables, reportándose valores superiores al 12%, y es contrario a los resultados de Teodoro et al. (2019), los cuales sugieren que los CV(%) para RENDIF no son mayores del 10%. La media general para RENDIF por cosecha presentó el mismo comportamiento explicado en RENDAS y POFIB, evidenciándose con una media general superior para la cosecha 2007/2008 (1.395,6 kg.ha⁻¹), en comparación con la cosecha 2003/2004 (956,5 kg.ha⁻¹) del Caribe seco colombiano.

Tabla 9. Análisis de varianzas combinados para el rendimiento de fibra (RENDIF) para el Caribe seco colombiano, durante las cosechas 2003/2004 y 2007/2008.

FV	Caribe Seco 2003-2004 (RENDIF)			
	GL	SC	CM	% SC
BLOQUES	12	1150910,4		
GENOTIPOS (G)	9	808571,1	89841,2*	4,3
AMBIENTES (A)	3	16902083,0	5634027,7**	90,0
GxA	27	1064998,4	39444,4 ns	5,7
ERROR COMBINADO	108	3033575,2		
TOTAL	159	22960138,0		
Media (kg.ha⁻¹)		956,6		
CV (%)		17,5		
FV	Caribe Seco 2007-2008 (RENDIF)			
	GL	SC	CM	% SC
BLOQUES	12	2149627,6		
GENOTIPOS (G)	9	1485197,0	165021,9 ns	5,2
AMBIENTES (A)	3	24277398,9	8092466,3**	84,4
GxA	27	3001066,9	111150,6 ns	10,4
ERROR COMBINADO	108	15490286,2		
TOTAL	159	46403576,6		
Media (kg.ha⁻¹)		1395,6		
CV (%)		27,1		

FV = fuente de variación; **GL** = grados de libertad; **SC** = suma de cuadrados; **CM** = cuadrados medios; **%SC** = participación en porcentaje en la suma de cuadrados; **ns** = no significativo; * = significancia al 5% ($p < 0,05$) en la prueba de F; ** = significativo al 1% ($p < 0,01$) en la prueba de F; **CV(%)** = coeficiente de variación en porcentaje.

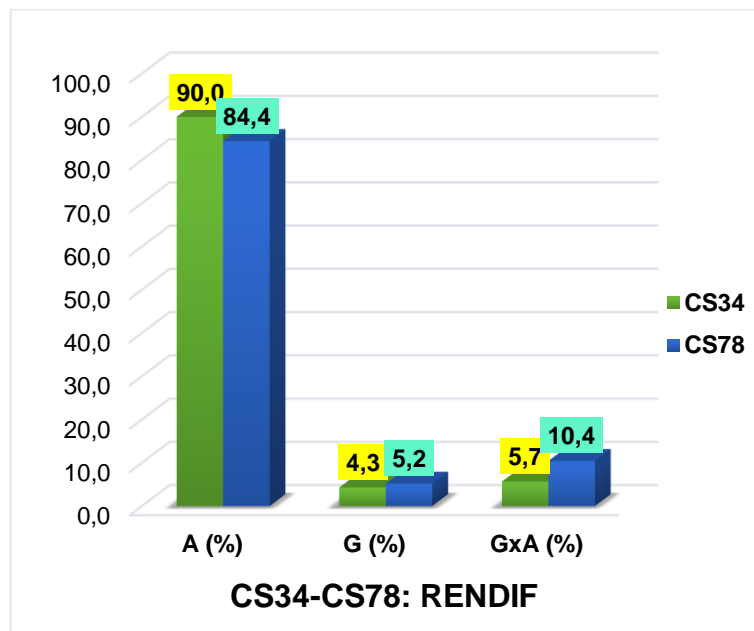
Los CM presentaron diferencia altamente significativa entre A en ambas cosechas, y solo diferencia significativa ($p < 0,05$) para el G en la cosecha 2003/2004. Nótese que para ambas cosechas la interacción GxA no fue significativa. Estos resultados concuerdan con los obtenidos por Moresco (2003) y Zeng y Meredith (2009), quienes reportaron que la interacción GxA no es significativa para esta variable dependiente, y difiere con los resultados obtenidos por Mejía (2014); Ibrahim et al. (2014); Dewan et al. (2017); Mukoyi et al. (2018); Teodoro et al. (2019); Shahzad et al. (2019) y Mejía et al. (2020), los cuales reportaron diferencias significativas para cada una de las fuentes de variación de interés en RENDIF.

Los resultados obtenidos además muestran como RENDAS y RENDIF presentan ligeras diferencias, con tendencia en su comportamiento muy similar entre ellas y en las dos cosechas. Sugiriendo que RENDAS y RENDIF se están comportando como caracteres cuantitativos altamente poligénicos. Según Espitia et al. (2008), se

espera que ambas variables dependientes estén asociadas debido a su alta correlación fenotípica y genotípica (0,8 - 1,0). Lo cual a su vez permite que los análisis de la importancia de las fuentes de variación con las SC y la significancia estadística de las fuentes de variación con los CM resulten similares. Otras evidencias son las encontradas en las investigaciones de Dewan et al. (2017); Mukoyi et al. (2018) y Shahzad et al. (2019), quienes obtuvieron diferencias significativas con sus CM, y contribuciones con las SC para las fuentes de variación A, G y GxA similares entre RENDAS y RENDIF.

Si analizamos la participación de las fuentes de variación de interés, en la Figura 3, expresadas en las SC para RENDIF, se puede observar mejor la tendencia similar en el comportamiento para ambas cosechas del Caribe seco colombiano. El A, presentó la mayor contribución en ambas cosechas, con valores de 90,0% (2003/2004) y 84,4% (2007/2008). En orden de magnitud le siguió la interacción GxA con 5,7% y 10,4% para las cosechas 2003/2004 y 2007/2008 respectivamente. La fuente de variación G fue quién menos contribuyó a la variación de la SC, con 4,3% (2003/2004) y 5,2% (2007/2008). Estos resultados concuerdan con los obtenidos por Kerby et al. (2000); Meredith (2003); Campbell y Jones (2005); Blanche et al. (2006); Campbell et al. (2012); Meredith et al. (2012); Mejía (2014); Mukoyi et al. (2018); Shahzad et al. (2019) y Mejía et al. (2020), los cuales encontraron que el A es quien presenta la mayor participación de la variación de la SC para RENDIF.

Figura 3. Participación de ambientes (A), genotipos (G) e interacción GxA, en la suma de cuadrados, para el rendimiento de fibra (RENDIF), en el Caribe seco colombiano, durante las cosechas 2003/2004 (CS34) y 2007/2008 (CS78).



4. CONCLUSIONES

La significancia estadística y la importancia de las fuentes de variación de interés en RENDAS y RENDIF presentaron tendencia muy similar, por ser caracteres cuantitativos altamente poligénicos, y muy influenciados por el ambiente. En el promedio de las dos cosechas la contribución a las SC fue contrastante para el A con 90,1% (RENDAS) y 87,2% (RENDIF), y también presentó diferencia altamente significativa.

Los resultados del POFIB difieren del RENDAS y RENDIF. En el promedio de las dos cosechas la contribución a las SC fue contrastante para el G con 74,5%, además de presentar diferencia altamente significativa para G y A, lo cual indica que POFIB es una variable cuantitativa, oligogénica, menos influenciada por el ambiente.

5. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Akter, A., Hasan, M. J., Kulsum, M. U., Rahman, M. H., Paul, A. K., Lipi, L. F., y Akter, S. (2015).** Genotypexenvironment interaction and yield stability analysis in hybrid rice (*Oryza sativa* L.) by AMMI biplot. *Bangladesh Rice Journal*, 19(2), 83-90.
- Ali, I., Khan, N. U., Mohammad, F., Iqbal, M. A., Abbas, A., Farhatullah, Z. B., ... y Rahman, M. (2017).** Genotype by environment and GGE-biplot analyses for seed cotton yield in upland cotton. *Pakistan Journal of Botany*, 49(6), 2273-2283.
- Ali, I., Khan, N. U., Rahman, M., Gul, R., Bibi, Z., Gul, S., ... y Haq, H. A. (2018).** Genotype by environment and biplot analyses for yield and fiber traits in upland cotton. *Internacional Journal of Agriculture and Biology*, 20, 1979-1990.
- Alves, R. S., Teodoro, P. E., Farias, F. C., Farias F., J. C., Carvalho, L. P., Rodrigues J., I. S., y Resende M., D. V. (2017).** Evaluation of genotype x environment interactions in cotton using the method proposed by Eberhart and Russell and reaction norm models. *Genetics and Molecular Research*, 16(3), 1-12.
- Araméndiz, H., Espitia, M., Agámez, A., Cardona, C., y Robles, J. (2007).** Estabilidad fenotípica de genotipos de algodón (*Gossypium hirsutum* L.). *Revista U.D.C.A. Actualidad y divulgación científica*, 10(2), 65-73.
- Araméndiz, H., Espitia, M., y Isaza, M. (2010).** Progreso genético del algodón (Gossypium hirsutum L.) en Colombia. *Revista Temas Agrarios*, 15(1), 24-33.
- Asfaw, A., Erenso, D., Taye, T., Feyera, M., Haileselassie, K., Tesfaye, T., ... Chemed D. (2011).** Genotype-by-Environment Interaction and Yield Stability Analysis in Finger Millet (*Elucine coracana* L. Gaertn) in Ethiopia. *American Journal of Plant Sciences*, 2, 408-415.
- Blanche, S. B., Myers, G. O., Zumba, J. Z., Caldwell, D., y Hayes, J. (2006).** Stability Comparisons Between Conventional And Near-isogenic Transgenic Cotton Cultivars. *The Journal of Cotton Science*, 10, 17-28.
- Campbell, B. T. y Jones, M. A. (2005).** Assessment of genotype x environment interactions for yield and fiber quality in cotton performance trials. *Euphytica*, 144(1), 69-78.
- Campbell, B. T., Chee, P. W., Lubbers, E., Bowman, D. T., Meredith, W. R., Johnson, J., y Jones, D. C. (2012).** Dissecting genotype x environment interactions and trait correlations present in the Pee Dee cotton germplasm

collection following seventy years of plant breeding. *Crop Science*, 52(2), 690-699.

Campuzano D., L. F., Caicedo, G. S., y Guevara, A. J. (2015). Determinación de atributos en genotipos de algodón (*Gossypium hirsutum* L.) en la rotación maíz-soya asociados a suelos ácidos mejorados de la altillanura colombiana. *Ciencia y Tecnología Agropecuaria*, 16(2), 251-263.

CONALGODÓN (2018). Boletín informativo N°4: abril de 2018. Cosecha de algodón. Unidad de Estadística y Análisis Económico. Recuperado de: <http://conalgodon.com/wp-content/uploads/2018/05/INFORME-WEB-ABRIL-2018.pdf>

Cotrim, M. F., Farias F., J. C., de Carvalho, L. P., Teodoro L., P. R., Bhering, L. L., y Teodoro, P. E. (2019). Environmental stratification in the brazilian cerrado on the yield and fiber quality of cotton genotypes. *Bioscience journal*, 35(5), 1349-1355.

Cubero, J. I. y Flores, F. (2003). *Métodos estadísticos para el estudio de la estabilidad varietal en ensayos agrícolas. 2ª edición.* Recuperado de: <https://www.juntadeandalucia.es/servicios/publicaciones/detalle/49566.html>

Damba, G. P. (2008). Evaluación de métodos para análisis de estabilidad en diferentes ambientes en genotipos de yuca (*Manihot esculenta* Crantz). (tesis de Maestría). Universidad nacional de Colombia, Palmira, Colombia.

Dewan, K. M., Bhuiyan M., S. R., Robbani, M. G., y Sonom, M. (2017). Genotype-environment interaction in yield of hill cotton genotypes. *Bangladesh Journal of Plant Breeding and Genetics*, 30(2), 35-40.

Dicyt. (2011). El Caribe Colombiano representa la diversidad de ambientes climáticos. Recuperado de: <https://dicyt.com/noticias/el-caribe-colombiano-representa-la-diversidad-de-ambientes-climaticos>

Espitia, M., Araméndiz, 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.

Espitia, M., Araméndiz, H., y Mendoza, A. (1993). Selección simultánea de genotipos de algodón (*Gossypium hirsutum* L.) por altos rendimientos y estabilidad. *Revista ICA*, 28(3), 227-234.

Gul, S., Khan, N. U., Batool, S., Baloch, M. J., Munir, M., Sajid, M., y Kazmi, S. F. (2014). Genotype by environment interaction and association of morpho-

yield variables in upland cotton. *Journal of Animal and Plant Sciences*, 24(1), 262-271.

Gul, S., Khan, N. U., Gul, R., Baloch, M., Latif, A., y Khan, I. A. (2016). Genotype by environment and phenotypic adaptability studies for yield and fiber variables in upland cotton. *Journal of Animal and Plant Sciences*, 26(3), 776-786.

Ibrahim, M. M., Ahmad M., S. H., Hassan I., S. M., y Abd El-Sameea, A. (2014). Phenotypic Stability of Some Egyptian Cotton Genotypes Grown at Different Environments of Upper Egypt. *World Rural Observations*, 6(4), 93-102.

IDEAM (2020). Tiempo y clima. Datos solicitados. Recuperado de: <http://www.ideam.gov.co/web/tiempo-y-clima>

Kerby, T. A., Burgess, J., Bates, M., Albers, D. y Lege, K. (2000). Partitioning variety and environmental contribution to variation in yield, plant growth, and fiber quality. *The Proceedings of the Beltwide Cotton Conference*, 1, 528-532.

Killi, F., y Harem, E. (2006). Genotype x environment interaction and stability analysis of cotton yield in Aegean region of Turkey. *Journal of environmental biology*, 37(2), 427-430.

Koroma, M. S., Swaray, M., Akromah, R., y Obeng, A. K. (2017). Genotype by environment interaction and stability of extra-early maize hybrids (*Zea Mays* L.) for yield evaluated under irrigation. *International Journal of Environment, Agriculture and Biotechnology*, 2(5), 2573-2580.

Laghari, S., Kandhro, M. M., Ahmed, H. M., Sial, M. A., y Shad, M. Z. (2003). Genotype x Environment (GxE) interactions in Cotton (*Gossypium hirsutum* L.) Genotypes. *Asian Journal of Plant Sciences*, 2(6), 480-482.

López, S. E., Tosquy V., Ó. H., Villar, S. B., Acosta G., J. A., Rodríguez R., J. R., y Andrés, M. P. (2015). Rendimiento y estabilidad de líneas mejoradas de frijol negro en Veracruz y Chiapas, México. *Revista fitotecnia mexicana*, 38(2), 173-181.

Maleia, M. P., Jamal, E. C., Savanguane, J. W., João, J., y Teca, J. O. (2019). Stability and Adaptability of Cotton (*Gossypium Hirsutum* L.) Genotypes under Multi Environmental Conditions in Mozambique. *Journal of Agronomy and Agricultural Science*, 2, 017.

Mejía S., J. R., Galeano M., C. H., Burbano, E. E., Vallejo C., F. A., y Arango, M. (2020). Interacción genotipo por ambiente de nueve variedades de algodón para los Valles interandinos en Colombia. *Agronomía Mesoamericana*, 31(1), 31-42.

- Mejía, S. J. (2014).** Evaluación de la interacción genotipo por ambiente para variedades transgénicas de algodón *Gossypium hirsutum* L. (tesis de Maestría). Universidad nacional de Colombia, Palmira, Colombia.
- Meredith Jr., W. R. (2003).** Thirty-six years of Regional High Quality Variety Tests. *Beltwide Cotton Conferences, Nashville, TN-Journal*, 6-10, 2561-2566.
- Meredith Jr., W. R., Boykin, D. L., Bourland, F. M., Caldwell, W. D., Campbell, B. T., Gannaway, J. R., y Zhang, J. (2012).** Genotype x environment interactions over seven years for yield, yield components, fiber quality, and gossypol traits in the regional high quality tests. *Journal of Cotton Science*, 16, 160-169.
- Mora, F., Osmerio, P. J., y Scapim, C. A. (2007).** Predicción del efecto de cultivares de algodón en la presencia de interacción genotipo-ambiente. *Ciencia e Investigación Agraria*, 34(1), 13-21.
- Moresco, E. R. (2003).** Progreso genético no melhoramento do algodoeiro no Estado de Mato Grosso. (tesis de Doctorado). Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, San Paulo, Brasil.
- Mukoyi, F., Gasura, E., y Makunde, G. S. (2018).** Implications of correlations and genotype by environment interactions among cotton traits. *African Crop Science Journal*, 26(2), 219-235.
- Nadeem, F., Khan, N. U., Khalid, S., Azam, S., Saeed, B., Jan, T., y Khan, M. R. (2018).** Genotype x environment interaction studies in F₅ populations of upland cotton under agro-climatic condition of Peshawar. *Pure and Applied Biology*, 7(3), 973-991.
- Palomo, G. A., Santamaría, C. J., y Godoy, Á. S. (1998).** Estabilidad del rendimiento y de la calidad de la fibra de 12 genotipos de algodón. *Agricultura Técnica en México*, 24(2), 147-153.
- Riaz, M., Naveed, M., Farooq, J., Farooq, A., Mahmood, A., Rafiq, Ch. M., ... Sadiq, A. (2013).** AMMI analysis for stability, adaptability and GE interaction studies in cotton (*Gossypium hirsutum* L.). *The Journal of Animal and Plant Sciences*, 23(3), 865-871.
- Ribeiro, L. P., Carvalho L., P. D., Farias F., J. C., Rodrigues J., I. D. S., Teodoro, P. E., y Bhering, L. L. (2018).** Genetic gains in agronomic and technological traits of elite cotton genotypes. *Bragantia*, 77(3), 466-475.

- Sadabadi, M. F., Ranjbar, G. A., Zangi, M. R., Tabar, S. K., y Zarini, H. N. (2018).** Analysis of stability and adaptation of cotton genotypes using gge biplot method. *Trakia Journal of Sciences*, 16(1), 51.
- Sah, B. P., Yadav, N. K., Ghimire, S. K., Shrestha, S. M., Sah, S. K., y Sarker, A. (2016).** Genotype x environment interaction and stability analysis in lentil (*Lens culinaris* Medik). *International Journal of Environment, Agriculture and Biotechnology*, 1(3), 354-365.
- Sánchez, A. D., Borrego, E. F., Zamora V., V. M., Sánchez C., J. D., y Castillo, R. F. (2015).** Estimación de la interacción genotipo-ambiente en tomate (*Solanum lycopersicum* L.) Con el modelo AMMI. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 6(4), 763-778.
- Shahzad, K., Qi, T., Guo, L., Tang, H., Zhang, X., Wang, H., ... y Shahid Iqbal, M. (2019).** Adaptability and stability comparisons of inbred and hybrid cotton in yield and fiber quality traits. *Agronomy*, 9(9), 516.
- Shar, T., Baloch, M. J., Arain, M. A., Jatoi, W. A., y Lochi, R. (2017).** Phenotypic associations, regression coefficients and heritability estimates for quantitative and fiber quality traits in upland cotton genotypes. *Pakistan Journal of Agriculture, Agricultural Engineering, and Veterinary Sciences*, 33(2), 142-152.
- Sierra, M., Espitia, M., y Cadena, J. (2017).** Correlación entre rendimiento, estabilidad fenotípica y métodos de selección simultánea en algodón. Universidad de Córdoba. *Revista Temas Agrarios*, 22(1), 21-30.
- Teodoro, P. E., Farias F., J. C., de Carvalho, L. P., Ribeiro, L. P., Nascimento, M., Azevedo, C. F., ... y Bhering, L. L. (2019).** Adaptability and stability of cotton genotypes regarding fiber yield and quality traits. *Crop Science*, 59(2), 518-524.
- Vallejo, F. A., y Estrada, E. I. (2002).** Mejoramiento genético de plantas. Universidad Nacional de Colombia, sede Palmira (UNAPAL), Feriva S.A. ISBN: 958-8095-11-5., 225-227.
- Yan, W. y Kang, M. S. (2002).** GGE Biplot Analysis: A Graphical Tool for Breeders, Geneticists, and Agronomists. CRC Press, Boca Raton, Florida, U.S.A., ISBN: 978-0849313387., 168-288.
- Zeng, L., y Meredith Jr, W. R. (2009).** Associations among lint yield, yield components, and fiber properties in an introgressed population of cotton. *Crop science*, 49(5), 1647-1654.

CAPÍTULO III

EVALUACIÓN DE LA SIGNIFICANCIA ESTADÍSTICA E IMPORTANCIA DE LAS FUENTES DE VARIACIÓN DE LA INTERACCIÓN GENOTIPO X AMBIENTE DEL RENDIMIENTO DE ALGODÓN – SEMILLA, PORCENTAJE DE FIBRA Y RENDIMIENTO DE FIBRA, EN EL CARIBE HÚMEDO COLOMBIANO

CHAPTER III

EVALUATION OF THE STATISTICAL SIGNIFICANCE AND IMPORTANCE OF THE SOURCES OF VARIATION OF GENOTYPE X ENVIRONMENT INTERACTION OF COTTON - SEED YIELD, FIBER PERCENTAGE AND FIBER YIELD, IN THE HUMID CARIBBEAN OF COLOMBIA

RESUMEN

En este capítulo se propuso evaluar la significancia estadística e importancia de las fuentes de variación (FV) de la interacción genotipo por ambiente (GxA) en el cultivo de algodón para el rendimiento de algodón - semilla (RENDAS), porcentaje de fibra (POFIB) y rendimiento de fibra (RENDIF), en el Caribe húmedo (CH) colombiano. Se utilizaron los datos de dos pruebas de evaluaciones agronómicas (PEA), donde se evaluaron 10 genotipos de fibra media diferentes, empleando el diseño de bloques completos al azar (DBCA) con cuatro repeticiones. Cada PEA estuvo conformada por los resultados de cuatro ambientes representativos del CH. Las PEA se realizaron durante las cosechas 2003/2004 y 2009/2010. Para determinar la significancia estadística de las FV del análisis de varianzas combinados (ANAVACO) se utilizó la prueba de F basada en cuadrados medios (CM) y la importancia de las FV se calculó ponderando en porcentaje la variación del ambiente (A), genotipo (G) e interacción (GxA), sobre el total de la suma de cuadrados (SC) de estas FV. Los resultados obtenidos señalan que para RENDAS en los CM presentaron diferencia significativa ($p < 0,05$) solo para G (2003/2004), y diferencia altamente significativa ($p < 0,01$) para A y GxA (2009/2010), con una explicación de la SC con tendencia similar en las dos cosechas, así: G (18,5%), A (59,9%) y GxA (21,6%) en la cosecha 2003/2004, y G (3,8%), A (83,7%) y GxA (12,6%) para la cosecha 2009/2010. En el promedio de las dos cosechas la mayor parte de la variación de la SC para RENDAS estuvo asociada al A con 71,8%, seguido de GxA con 17,1% y G con 11,2%. El POFIB en los CM para la cosecha 2003/2004 presentó alta significancia ($p < 0,01$) para G y A, y significancia ($p < 0,05$) en GxA, mientras que la cosecha 2009/2010 presentó diferencia altamente significativa ($p < 0,01$) para A, G y GxA, con tendencia diferente entre ambas cosechas en la explicación de la SC, con G (49,2%), A (44,1%) y GxA (6,7%) en la cosecha 2003/2004, y G (20,3%), A (70,3%) y GxA (9,4%) para la cosecha 2009/2010. En promedio la mayor parte de la variación para POFIB, estuvo asociada al A con 57,2%, seguido del G con 34,8% y 8,1% para GxA. En el RENDIF la cosecha 2003/2004, solo presentó diferencia altamente significativa ($p < 0,01$) para G, a diferencia de la cosecha 2009/2010 que presentó diferencia altamente significativa ($p < 0,01$) para A y GxA. La explicación de la SC mostró tendencia similar en las dos cosechas, con G (34,8%), A (46,2%) y GxA (19,0%) en la cosecha 2003/2004, y G (1,5%), A (81,7%) y GxA (16,8%) para la cosecha 2009/2010. En promedio el mayor aporte en la SC del RENDIF estuvo dada por el A con 64% de la variación, seguido del G con 18,2% y de la GxA con 17,9%. La tendencia en la explicación promedio de la variación fue muy similar en RENDAS y RENDIF, además la variación debida al A tuvo más efecto en la expresión de las mismas.

Palabras clave: algodón - semilla, análisis de varianza combinado, rendimiento de fibra, significancia estadística, suma de cuadrados, Caribe húmedo colombiano.

ABSTRACT

In this chapter we set out to evaluate the statistical significance and importance of sources of variation (SV) of genotype-by-environment interaction (GxE) in cotton cultivation for cotton-seed yield (RENDAS), fiber percentage (POFIB) and fiber yield (RENDAS), in the Colombian Humid Caribbean (CH). Data from two agronomic evaluation tests (PEA) were used, where ten different medium fiber genotypes were evaluated, using the complete randomized block design (DRBD) with four replications. Each PEA was made up of the results of four representative CH environments. The PEAs were conducted during the 2003/2004 and 2009/2010 harvests. To determine the statistical significance of the SV of combined analysis of variance (ANAVACO), the F test based on mean squares (MS) was used and the significance of the SVs was calculated by weighting the variation of environment (E), genotype (G) and interaction (GxE) as a percentage of the total sum of squares (SS) of these SV. The results obtained indicate that for RENDAS in the MS they presented significant difference ($p < 0,05$) only for G (2003/2004), and highly significant difference ($p < 0,01$) for E and GxE (2009/2010), with an explanation of the SS with similar trend in the two crops, like this: G (18,5%), E (59,9%) and GxE (21,6%) for the 2003/2004 harvest, and G (3,8%), E (83,7%) and GxE (12,6%) for the 2009/2010 harvest. In the average of the two harvests, most of the variation in SS for RENDAS was associated with E with 71,8%, followed by GxE with 17,1% and G with 11,2%. The POFIB in the MS for the 2003/2004 harvest presented high significance ($p < 0,01$) for G and E, and significance ($p < 0,05$) in GxE, while the 2009/2010 harvest presented highly significant difference ($p < 0,01$) for E, G and GxE, with different trend between both crops in the explanation of the SS, with G (49,2%), E (44,1%) and GxE (6,7%) in the 2003/2004 harvest, and G (20,3%), E (70,3%) and GxE (9,4%) for the 2009/2010 harvest. On average, most of the variation for POFIB was associated with E with 57,2%, followed by G with 34,8% and 8,1% for GxE. In the RENDAS the 2003/2004 harvest only presented highly significant difference ($p < 0,01$) for G, unlike the 2009/2010 harvest that presented highly significant difference ($p < 0,01$) for E and GxE. The SS explanation showed similar trend in the two crops, with G (34,8%), E (46,2%) and GxE (19,0%) in the 2003/2004 crop, and G (1,5%), E (81,7%) and GxE (16,8%) for the 2009/2010 crop. On average, the greatest contribution to the SS of RENDIF was given by E with 64% of the variation, followed by G with 18,2% and GxE with 17,9%. The trend in the average explanation of the variation was very similar in RENDAS and RENDIF, in addition the variation due to E had more effect on the expression.

Keywords: Cotton - seed, combined analysis of variance, fiber yield, statistical significance, sum of squares, colombian wet Caribbean.

1. INTRODUCCIÓN

El cultivo de algodón (*Gossypium hirsutum* L.) en el Caribe húmedo colombiano se siembra bajo un conjunto de factores ambientales que caracterizan y delimitan a los departamentos productores. Esta subzona productora está conformada por los departamentos de Bolívar, Córdoba y Sucre. Estos agroecosistemas se caracterizan por presentar ambientes de alta humedad relativa con 80% a 90%, temperatura promedio anual de 25°C a 29°C, suelos con fertilidad media, y en estos lugares las precipitaciones superan los 1.200 milímetros anuales (mm.año⁻¹) (Dicyt, 2011; CONALGODÓN, 2018; IDEAM, 2020). Los materiales de siembra se establecieron en lo que se conoce hoy como zonas algodonerías y cada vez se les exige más a los nuevos cultivares.

Las exigencias principales son la estimación del progreso genético, y esta es muy importante porque se realiza con ensayos establecidos en diferentes ambientes, con muestras representativas de los genotipos liberados y genotipos avanzados (Araméndiz, Espitia y Isaza, 2010). Estas estimaciones utilizan distintos parámetros estadísticos. Estos parámetros son usuales para el análisis de los caracteres cuantitativos, los que controlan el rendimiento en el cultivo de algodón, y estos análisis hacen que la presencia de los estudios de interacción genotipo por ambiente (GxA) aumenten (Mejía, 2014).

Los estudios de interacción GxA han demostrado que ocasionan un problema a los fitomejoradores, haciendo necesario medir el grado de adaptabilidad y estabilidad fenotípica de los nuevos genotipos (Vertel, Espitia y Martínez, 1999). Estos genotipos posteriormente serán ofrecidos y recomendados como materiales promisorios de mejor comportamiento a las condiciones impredecibles y acordes a las particularidades de las zonas productoras, especialmente las relacionadas con los eventos de lluvias anormales (Araméndiz, Espitia, Agámez, Cardona y Robles, 2007; Sierra, Espitia y Cadena, 2017).

Yan y Kang (2002) y Damba (2008), concuerdan que un factor ambiental representa un estrés cuando hay un nivel fuera del óptimo. Por ejemplo, en condiciones de inundación hay un nivel abiótico extremo y en este caso la selección se dirigirá a la identificación de genotipos tolerantes a excesos de humedad. Lo cual concuerda con Vallejo y Estrada (2002), afirman que existen diferencias en las tasas de decrecimiento de la respuesta genotípica a un nivel abiótico extremo, donde se reflejan respuestas de diferencias en tolerancia.

La necesidad de investigar la importancia de las fuentes de variación resulta del efecto cambiante de las condiciones ambientales en el trópico, lo cual ocasiona un comportamiento diferencial de los cultivos como reflejo de la interacción GxA. Por esa razón, se tienen en cuenta los esfuerzos en cuantificar y analizar los cultivares de algodón de alto rendimiento, debido a la inestabilidad ambiental registrada en las zonas tropicales. Este conocimiento es usado para el diseño de programas óptimos

de mejoramiento y criterios de selección, además los fitomejoradores pueden usar esta información para seleccionar genotipos que representen eventos de recombinación y combinen alto rendimiento, estabilidad y potencial de calidad de fibra (Campbell et al., 2012).

Las distintas investigaciones que se han realizado sobre la interacción GxA enfocando esfuerzos en el cultivo de algodón en las tres fuentes de variación, genotipo (G), ambiente (A) e interacción GxA, para los parámetros de rendimiento, son numerosos, como los de Kerby, Burgess, Bates, Albers y Lege (2000); Meredith (2003); Moresco (2003); Campbell y Jones (2005); Blanche, Myers, Zumba, Caldawell y Hayes (2006); Espitia, Araméndiz y Cadena (2008); Campbell et al. (2012); Meredith et al. (2012); Riaz et al. (2013); Gul et al. (2014); Mejía (2014); Campuzano, Caicedo y Guevara (2015) y Nadeem et al. (2018). Estas investigaciones corroboran con los resultados obtenidos, que los análisis de las fuentes de variación en este tipo de estudio ayudarían a la definición del número óptimo y clasificación de ambientes de evaluación. Pudiendo seleccionar y recomendar de forma precisa y segura los genotipos de siembra, en este caso, para las diferentes variaciones ambientales que se presentan en las zonas productoras del Caribe húmedo colombiano. Estos genotipos evaluados mejorarían la competitividad y sostenibilidad del sistema productivo.

De acuerdo con el planteamiento anterior, el presente capítulo se propuso como objetivo evaluar la significancia estadística y la importancia de las fuentes de variación de la interacción GxA del rendimiento de algodón – semilla, porcentaje de fibra y rendimiento de fibra, en el Caribe húmedo colombiano.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

2.1. LOCALIZACIÓN

Para realizar el presente estudio se utilizaron dos conjuntos de datos, obtenidos de la evaluación de 10 genotipos diferentes de fibra media en cuatro ambientes representativos de las zonas productoras del Caribe húmedo colombiano, realizados durante las cosechas algodoneras 2003/2004 y 2009/2010 (Tabla 10). En la Tabla 11 se presenta las localidades del Caribe húmedo donde estuvieron sembradas las pruebas de evaluaciones agronómicas (PEA).

Tabla 10. Años de las evaluaciones agronómicas de las fuentes de variación de los análisis de varianzas combinados para el periodo 2003/2004 y 2009/2010.

Periodo	Caribe Húmedo
2003/2004	10G-4A-4R
2009/2010	10G-6A-4R

G = Genotipos; **A** = Ambiente; **R** = Repeticiones.

Tabla 11. Localidades del Caribe húmedo durante los años 2003/2004 y 2009/2010, donde se realizaron los estudios de las evaluaciones GxA.

No.	Localidad	Departamento	Año de cosecha	T (°C)	PP (mm)	ASNM (m)	Fertilidad de suelos
1	Cereté (Retiro de los indios)	Córdoba	2003/2004	28	1300	20	media
2	San Pelayo (Corocito)			27	1500	20	
3	Cotorra (La Culebra)			27	1500	20	
4	Aguachica	Cesar		27,7	1456	220	
1	Cereté (Retiro de los indios 1)	Córdoba	2009/2010	28	1300	20	media
2	Cereté (Manguelito 1)			27	1220	12	
3	Km 3 vía Cereté – Ciénaga de Oro			27	1220	12	
4	Ciénaga de Oro - Malagana			27	1220	33	
5	Cereté (Retiro de los indios 2)			28	1300	20	
6	Cerete (Manguelito 2)			27	1220	12	

T = temperatura en grados centígrados; **PP** = precipitación promedio en milímetros; **A.S.N.M.** = altura sobre el nivel del mar en metros; La cosecha 2009/2010 es la única que presenta seis localidades (ambientes).

2.2. PROCEDIMIENTO

Para el logro del objetivo del presente estudio, cada conjunto de datos se originó de los resultados obtenidos de cuatro PEA. En cada PEA se sembraron cuatro ensayos de evaluación de 10 genotipos diferentes de fibra media en cuatro fincas de agricultores (ambientes) de las zonas productoras del Caribe húmedo colombiano (Tabla 10). La selección de las localidades y los lotes se hizo en consenso con los productores.

2.3. VARIABLES

2.3.1. Variables independientes: en cada PEA se evaluaron 10 genotipos de algodón diferentes de fibra media, conformados por ocho líneas promisorias en la cosecha 2009/2010 y siete líneas promisorias en la cosecha 2003/2004, obtenidos por el programa de mejoramiento genético de algodón de CORPOICA en el C.I. Motilonia y Turipaná y dos variedades comerciales nacionales y una comercial internacional en la cosecha 2003/2004, una variedad comercial nacional y una comercial internacional en la cosecha 2009/2010, empleadas como testigos, con buena adaptación y rendimiento (Tabla 12).

Tabla 12. Genotipos evaluados para el Caribe húmedo durante las cosechas 2003/2004 y 2009/2010.

Nº	CARIBE HÚMEDO 2003/2004	CARIBE HÚMEDO 2009/2010	Características
1	LC-149	LC.159	Línea promisorio de fibra media
2	LC-151	LC.160	Línea promisorio de fibra media
3	LC-153	LC164	Línea promisorio de fibra media
4	LT-1	LC.165	Línea promisorio de fibra media
5	LT-2	LC.166	Línea promisorio de fibra media
6	LT-3	LC.168	Línea promisorio de fibra media
7	LT-4	LC.169	Línea promisorio de fibra media
8	CM-123	LC.158	Línea promisorio de fibra media
9	SM-137	ORO B.M 151	Variedad Colombiana de fibra media (Testigo)
10	DP-opal	DELTAOPAL	Variedad Americana de fibra media (Testigo)

2.3.2. Diseño experimental: para la implementación en campo de cada PEA, se utilizó un diseño experimental de bloques completos al azar (DBCA) con 10 genotipos diferentes y cuatro repeticiones, según lo dispone la resolución ICA No. 00148 del 18 enero de 2005. Cada ensayo de evaluación en cada PEA, tuvo un proceso de aleatorización diferente de los 10 genotipos en las unidades experimentales de cada bloque. El tamaño de parcela o unidad experimental (UE) fue de seis surcos de 10 metros (m) de longitud, separados a una distancia de 0,9 m (separación entre plantas de 0,2 m), con un área experimental por prueba de 2.332 m².

2.3.3. Variables dependientes: de acuerdo con las variables dependientes consideradas en el estudio, se dispuso de la base de datos creada y mencionada anteriormente (Tabla 10), con genotipos como efectos fijos y ambientes como efectos aleatorios para rendimiento de algodón – semilla (RENDAS), porcentaje de fibra (POFIB) y rendimiento de fibra (RENDIF), en el Caribe húmedo colombiano.

A continuación, se describe como se estimaron cada una de las variables consideradas para este estudio:

a) RENDAS (Kg.ha⁻¹): es el peso en kilogramos por hectárea de la producción de algodón – semilla, recolectado en los dos surcos centrales de cada UE.

b) POFIB (%): es la relación expresada en porcentaje, después del desmote experimental, entre el peso de una muestra de fibra de algodón y el peso de la misma cantidad con la semilla. Generalmente producto de 50 motas de algodón con semillas cosechadas al azar en cada UE.

c) RENDIF (Kg.ha⁻¹): es el peso en kilogramos por hectárea de la fibra de algodón recolectado en los dos surcos centrales de cada UE. El valor de esta variable se obtiene mediante el producto del rendimiento de algodón – semilla por el porcentaje de fibra sobre cien para cada genotipo (RENDASxPOFIB/100).

2.4. ANÁLISIS ESTADÍSTICO DE LOS DATOS

Los datos de campo obtenidos en cada ensayo de cada PEA, en el Caribe húmedo, durante las cosechas mencionadas en la Tabla 10, se almacenaron en un archivo de Excel para cada experimento individual (ambiente) y luego se creó un archivo combinado con los datos de los cuatro ambientes, correspondientes a cada PEA. Con los datos obtenidos de cada PEA se realizó un análisis de varianzas combinados (ANAVACO), asumiendo un modelo mixto, con genotipos (G) como efectos fijos y ambientes (A) como efectos aleatorios.

La significancia estadística de cada fuente de variación del ANAVACO para cada variable dependiente de interés, se realizó a través de la relación estadística de los

cuadrados medios (CM) mediante la prueba F y para determinar la importancia de las fuentes de variación, se hizo la ponderación en porcentaje de las sumas de cuadrados (SC), tal como se señala en la Tabla 6 (capítulo 2). El modelo estadístico del ANAVACO, es el siguiente:

$$Y_{ijk} = \mu + A_j + R_{k(j)} + G_i + (GA)_{ij} + \varepsilon_{ijk}$$

Dónde:

Y_{ijk} = efecto del i-ésimo genotipo en el j-ésimo ambiente y en la k-ésima repetición.

μ = media general.

A_j = efecto del j-ésimo ambiente.

$R_{k(j)}$ = efecto de la k-ésima repetición en el j-ésimo ambiente.

G_i = efecto del i-ésimo genotipo.

$(GA)_{ij}$ = efecto de la interacción del i-ésimo genotipo por el j-ésimo ambiente.

ε_{ijk} = error aleatorio, con los supuestos usuales $\varepsilon_{ij} \sim NI(0, \sigma^2)$.

La significancia estadística de las F, se realizó mediante la comparación con los valores de F tabla con sus respectivos grados de libertad y niveles del 5% o 1% de probabilidad (Tabla 6 en el capítulo 2).

La regla de decisión es la siguiente: Sí $F_c \geq F$ tabla: entonces, existe diferencia estadística al 5% o 1%, y sí $F_c < F$ tabla: entonces, no existe diferencia estadística para la respectiva fuente de variación.

Todos los análisis estadísticos se realizaron utilizando el programa computacional GENES versión Windows (2014.6.1), desarrollado por Cruz (2016).

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1. SIGNIFICANCIA ESTADÍSTICA E IMPORTANCIA DE LAS FUENTES DE VARIACIÓN PARA EL RENDIMIENTO DE ALGODÓN – SEMILLA (RENDAS)

El análisis de varianzas combinados (ANAVACO) para RENDAS, se presenta en la Tabla 13. El coeficiente de variación (CV) expresado en porcentaje (%) presentó una amplitud de variación de 12,2% para la cosecha 2003/2004 y de 17,2% para la cosecha 2009/2010. Estos CV(%) son un indicativo de que en la cosecha 2003/2004 se presentó mayor control del error y mayor eficiencia en la técnica experimental utilizada en la investigación, comparada con la cosecha 2009/2010. Además, los CV(%) demuestran como varía el RENDAS por efecto del ambiente.

Tabla 13. Análisis de varianzas combinados para el rendimiento de algodón – semilla (RENDAS) para el Caribe húmedo colombiano, durante las cosechas 2003/2004 y 2009/2010.

FV	Caribe Húmedo 2003-2004 (RENDAS)			
	GL	SC	CM	% SC
BLOQUES	12	39275810,2		
GENOTIPOS (G)	9	9493838,9	1054871,0*	18,5
AMBIENTES (A)	3	30649866,7	10216622,2 ns	59,9
GxA	27	11040547,9	408909,2 ns	21,6
ERROR COMBINADO	108	28515438,1		
TOTAL	159	118975501,7		
Media (kg.ha⁻¹)		4197,2		
CV (%)		12,2		
FV	Caribe Húmedo 2009-2010 (RENDAS)			
	GL	SC	CM	% SC
BLOQUES	18	10480770,1		
GENOTIPOS (G)	9	9435125,9	1048347,3 ns	3,8
AMBIENTES (A)	5	209940357,2	41988071,4**	83,7
GxA	45	31552926,1	701176,1**	12,6
ERROR COMBINADO	162	38386008,6		
TOTAL	239	299795188,1		
Media (kg.ha⁻¹)		2831,1		
CV (%)		17,2		

FV = fuente de variación; **GL** = grados de libertad; **SC** = suma de cuadrados; **CM** = cuadrados medios; **%SC** = participación en porcentaje en la suma de cuadrados; **ns** = no significativo; * = significancia al 5% ($p < 0,05$) en la prueba de F; ** = significativo al 1% ($p < 0,01$) en la prueba de F; **CV(%)** = coeficiente de variación en porcentaje.

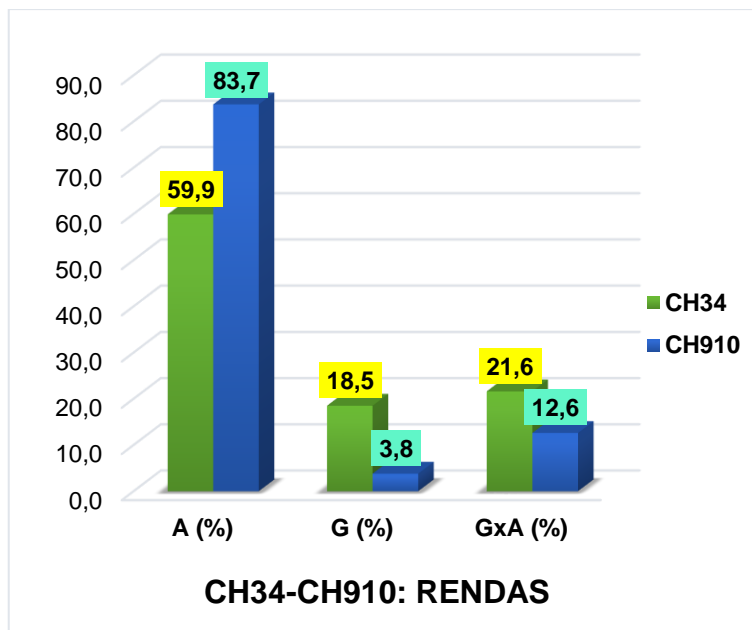
Maleia et al. (2019) y Cotrim et al. (2019), reportaron que el RENDAS presenta altos CV(%) ante ambientes divergentes, y se reportan valores de 13 a 30% de variación. Lo cual puede explicar los resultados obtenidos en la media general por cosecha, que fue de 4.197,2 kg.ha⁻¹ (2003/2004) y 2.831,1 kg.ha⁻¹ (2009/2010), estos resultados demuestran que la media general disminuyó en un 33% aproximadamente de una cosecha a otra, posiblemente se deba al mejor comportamiento de los genotipos evaluados, las condiciones edafoclimáticas y el manejo agronómico ofrecido en las localidades en estudio durante la cosecha 2003/2004, comparadas con los mismos factores de la cosecha 2009/2010, en el Caribe húmedo colombiano.

La significancia estadística y la importancia de las fuentes de variación de interés, ambiente (A), genotipo (G) e interacción (GxA), en RENDAS, presentaron una tendencia en su comportamiento contrastante entre las dos cosechas. Los cuadrados medios (CM) en la cosecha 2003/2004 no presentaron diferencia significativa (ns) para A y GxA, encontrándose diferencia significativa ($p < 0,05$) solo para el G, estos resultados indican que, en el promedio de los genotipos, por lo menos uno de ellos se comportó estadísticamente diferente y su comportamiento no es debido al efecto de la variación ambiental donde se realizaron las evaluaciones, obedeciendo así, a las diferencias genéticas de los cultivares (Cubero y Flores, 2003). Mientras que la cosecha 2009/2010 presentó diferencia altamente significativa ($p < 0,01$) para A y GxA, y el G no presentó diferencia significativa (ns), indicando que los genotipos presentaron respuesta promedio similar, que en el promedio de los ambientes existe una diferencia contrastante, y además la interacción GxA evidencia que la respuesta de los genotipos a los cambios ambientales para la variable dependiente RENDAS tienen un comportamiento en el Caribe húmedo contrastante (Cubero y Flores, 2003). Los resultados obtenidos en la cosecha 2003/2004 concuerdan con los de Riaz et al. (2013); Campuzano et al. (2015); Nadeem et al. (2018) y Ribeiro et al. (2018), quienes encontraron que la interacción GxA no es tan relevante para los componentes del RENDAS, y los resultados obtenidos en la cosecha 2009/2010 concuerdan con los de Mukoyi et al. (2018) y Cotrim et al. (2019), los cuales encontraron diferencias significativas para A y GxA. Todos estos resultados son contrarios a los obtenidos por Laghari et al. (2003); Killi y Harem (2006); Gul et al. (2014); Ibrahim et al. (2014); Gul et al. (2016); Ali et al. (2017); Dewan et al. (2017); Ali et al. (2018); Sadabadi et al. (2019); Maleia et al. (2019) y Shahzad et al. (2019), quienes detectaron diferencias altamente significativas en las fuentes de variación de interés en RENDAS.

Si analizamos la participación de las fuentes de variación de interés, en la Figura 4, expresadas en las sumas de cuadrados (SC) para RENDAS, se puede observar mejor la tendencia en el comportamiento para ambas cosechas en el Caribe húmedo colombiano. Nótese que la participación del A presentó la mayor contribución en ambas cosechas, con valores de 59,9% (2003/2004) y 83,7% (2009/2010). En orden de magnitud le siguió la interacción GxA con 21,6% y 12,6%, para las cosechas 2003/2004 y 2009/2010, respectivamente. La fuente de variación

G fue quién menos contribuyó a explicar la variación de la SC, con 18,5% (2003/2004) y 3,8% (2009/2010). Esto indica que las sumas de las media obtenidas por localidades (ambientes), fue superior a las sumas de las media obtenida por tratamientos (genotipos), y que al calcular la SC para las fuentes de variación de interés, muestran que gran parte de la variación fenotípica tiene mayor contribución por el ambiente, debido a las variaciones que ofrece el trópico, que son impredecibles. Sin embargo, la GxA es superior a la expresión del G, posiblemente se deba a que GxA se obtiene en base a las media de todos los genotipos dentro de cada ambiente, obteniendo valores altamente variables, pero estos se corrigen restando la variación de G y A, de manera que la respuesta de la interacción resultó menor que A y superior a G (Cubero y Flores, 2003). Lo cual concuerda con los resultados obtenidos por Meredith (2003); Campbell et al. (2012); Riaz et al. (2013); Mukoyi et al. (2018) y Shahzad et al. (2019), quienes encontraron que el A presenta la participación más alta de la variación de la SC, y son contrarios con los resultados de Blanche et al. (2006) y Ali et al. (2017), los cuales detectaron que el G presenta la mayor participación, y Gul et al. (2014) y Gul et al. (2016), reportaron que la mayor participación es de la interacción GxA para la variación de la SC en el RENDAS.

Figura 4. Participación de ambientes (A), genotipos (G) e interacción GxA, en las sumas de cuadrados (SC), para el rendimiento de algodón – semilla (RENDAS), en el Caribe húmedo colombiano, durante las cosechas 2003/2004 (CH34) y 2009/2010 (CH910).



3.2. SIGNIFICANCIA ESTADÍSTICA E IMPORTANCIA DE LAS FUENTES DE VARIACIÓN PARA EL PORCENTAJE DE FIBRA (POFIB)

El ANAVACO para POFIB, se presenta en la Tabla 14. El CV(%) presentó valores de 4,1% para la cosecha 2003/2004 y de 3,4% para la cosecha 2009/2010. Estos CV(%) resultaron similares para ambas cosechas e indican a su vez que la cosecha 2009/2010 presentó ligeramente mayor control del error y mayor eficiencia de la técnica experimental utilizada en la investigación, comparada con la cosecha 2003/2004. También sugiere que existió poca variación debido al efecto del ambiente.

Tabla 14. Análisis de varianzas combinados para el porcentaje de fibra (POFIB) para el Caribe húmedo colombiano, durante las cosechas 2003/2004 y 2009/2010.

FV	Caribe Húmedo 2003-2004 (POFIB)			
	GL	SC	CM	% SC
BLOQUES	12	94,2		
GENOTIPOS (G)	9	760,9	84,5**	49,2
AMBIENTES (A)	3	682,6	227,5**	44,1
GxA	27	104,4	3,9*	6,7
ERROR COMBINADO	108	260,8		
TOTAL	159	1902,9		
Media (%)		37,5		
CV (%)		4,1		
FV	Caribe Húmedo 2009-2010 (POFIB)			
	GL	SC	CM	% SC
BLOQUES	18	105,7		
GENOTIPOS (G)	9	425,4	47,3**	20,3
AMBIENTES (A)	5	1471,4	294,3**	70,3
GxA	45	195,7	4,3**	9,4
ERROR COMBINADO	162	298,8		
TOTAL	239	2497,1		
Media (%)		39,4		
CV (%)		3,4		

FV = fuente de variación; **GL** = grados de libertad; **SC** = suma de cuadrados; **CM** = cuadrados medios; **%SC** = participación en porcentaje en la suma de cuadrados; **ns** = no significativo; * = significativo al 5% ($p < 0,05$) en la prueba de F; ** = significativo al 1% ($p < 0,01$) en la prueba de F; **CV(%)** = coeficiente de variación en porcentaje.

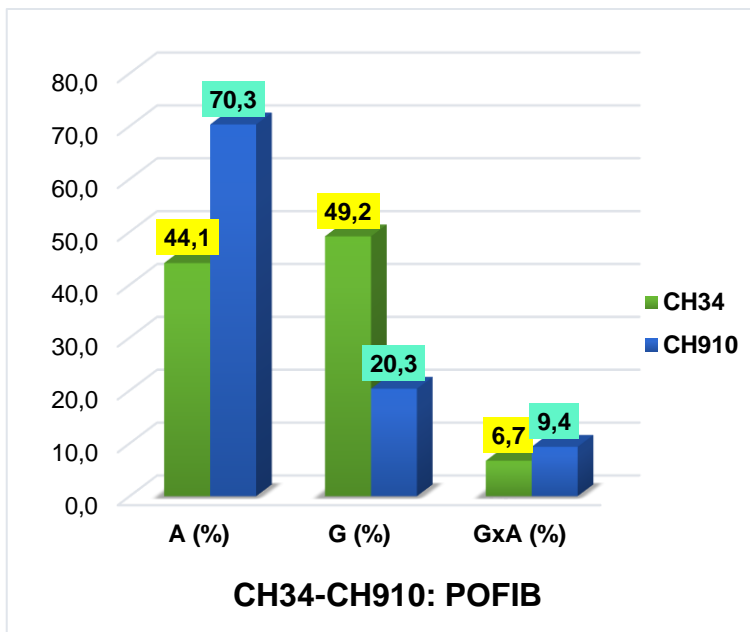
La variación de los CV(%), así como lo reportan Maleia et al. (2019); Cotrim et al. (2019) y Mejía et al. (2020), sugieren que el POFIB presenta CV(%) de 2% a 9%, y que estos tiene relación a que es una variable de menor influencia por el ambiente, en comparación con RENDAS, de manera que facilita la interpretación de la media

general obtenida por cosecha, que fueron de 37,5% (2003/2004) y 39,4% (2009/2010), indicando que la media general aumentó de una cosecha a otra, posiblemente porque los genotipos, condiciones edafoclimáticas y manejo agronómico fueron ligeramente más favorables en la cosecha 2009/2010, comparada con los mismos factores de la cosecha 2003/2004. Estos resultados son el producto del desmote experimental expresado en unidades adimensionales (%).

Los CM presentaron diferencias altamente significativas entre G y A en ambas cosechas, y la interacción GxA presentó diferencia significativa para la cosecha 2003/2004 y diferencia altamente significativa para la cosecha 2009/2010. Esto explica que los G presentaron respuesta promedio diferente y que su comportamiento cambio por efecto de las variaciones ambientales donde se evaluaron los genotipos (Cubero y Flores, 2003). Estos resultados concuerdan con los obtenidos por Ibrahim et al. (2014); Gul et al. (2016); Dewan et al. (2017); Mukoyi et al. (2018); Ali et al. (2018); Shahzad et al. (2019) y Cotrim et al. (2019), quienes reportaron diferencias significativas para cada una de las fuentes de variación de interés en POFIB, y son contrarios a los resultados obtenidos por Mejía (2014); Maleia et al. (2019) y Mejía et al. (2020), los cuales reportaron que la interacción GxA no es significativa, y Zeng y Meredith (2009) y Ribeiro et al. (2018), reportaron que el A no es significativo para esta variable dependiente POFIB.

Si analizamos la participación de las fuentes de variación de interés, en la Figura 5, expresadas en las SC para POFIB, se puede observar la tendencia diferente en el comportamiento para ambas cosechas del Caribe húmedo colombiano. La cosecha 2003/2004 presentó mayor contribución por el G con 49,2%, seguido del A con 44,1% y 6,7% para GxA, mientras que la cosecha 2009/2010 presentó mayor contribución por el A con 70,3%, seguido del G con 20,3% y 9,4% para GxA. La interacción GxA resultó para ambas cosechas la de menor contribución a la variación de la SC. Esto sugiere que la cosecha 2003/2004 presentó un comportamiento inverso al de RENDAS, debido a que las sumas de las media obtenidas por tratamientos (genotipos) fue superior a las sumas de las media obtenidas por localidades (ambientes), y que al calcular las SC para las fuentes de variación de interés, resultó que la SC del G fue superior a la del A (Cubero y Flores, 2003), a diferencia de la cosecha 2009/2010 que presentó lo contrario, donde la fuente de variación A, muestra que gran parte de la variación fenotípica tiene mayor contribución por el ambiente, debido a las variaciones ambientales que se presentaron en esta cosecha (Cubero y Flores, 2003). Los resultados obtenidos en la cosecha 2003/2004 concuerdan con Campbell y Jones (2005) y Blanche et al. (2006), quienes reportaron que la mayor contribución a las SC en sus estudios estuvo dada por el G para POFIB, y los resultados de la cosecha 2009/2010 concuerdan con los de Kerby et al. (2000); Meredith (2003); Campbell et al. (2012); Mejía (2014); Gul et al. (2016); Mukoyi et al. (2018); Shahzad et al. (2019) y Mejía et al. (2020), los cuales encontraron que la fuente de variación A presenta la mayor participación de la variación de la SC para POFIB.

Figura 5. Participación de ambientes (A), genotipos (G) e interacción GxA, en las sumas de cuadrados (SC), para el porcentaje de fibra (POFIB), en el Caribe húmedo colombiano, durante las cosechas 2003/2004 (CH34) y 2009/2010 (CH910).



3.3. SIGNIFICANCIA ESTADÍSTICA E IMPORTANCIA DE LAS FUENTES DE VARIACIÓN PARA EL RENDIMIENTO DE FIBRA (RENDIF)

El ANAVACO para RENDIF, se presenta en la Tabla 15. El CV(%) presentó valores de 13,3% para la cosecha 2003/2004 y de 20,8% para la cosecha 2009/2010. Estos CV(%) resultaron poco similares, indicando que la cosecha 2003/2004 presentó mayor control del error y mayor eficiencia de la técnica experimental utilizada, comparada con la cosecha 2009/2010. Además, estos resultados registran una variación similar a la de RENDAS, la cual por ser una variable cuantitativa está también sujeta a los efectos del ambiente. Mejía et al. (2020), reportan que el RENDIF presenta CV(%) superiores al 12% debido al efecto ambiental, lo cual contradice a Teodoro et al. (2019), quienes reportan CV(%) inferiores del 10% para RENDIF. La media general por cosecha presentó para RENDIF el mismo comportamiento explicado en RENDAS y POFIB, evidenciándose con una media general superior para la cosecha 2003/2004 (1.569,8 kg.ha⁻¹), en comparación con la cosecha 2009/2010 (1.056,8 kg.ha⁻¹) del Caribe húmedo colombiano.

Los CM presentaron para la cosecha 2003/2004 diferencia altamente significativa entre G, y no se presentó diferencia significativa para A y GxA, a diferencia de la cosecha 2009/2010 que presentó diferencias altamente significativas para A y GxA, y el G no presentó diferencia significativa. Los resultados de la cosecha 2003/2004 concuerdan con los obtenidos por Moresco (2003) y Zeng y Meredith (2009),

quienes reportaron que la interacción GxA no es significativa para esta variable dependiente, y los resultados de ambas cosechas no concuerdan con los obtenidos por Mejía (2014); Ibrahim et al. (2014); Dewan et al. (2017); Mukoyi et al. (2018); Teodoro et al. (2019); Shahzad et al. (2019) y Mejía et al. (2020), los cuales detectaron diferencias significativas en las fuentes de variación de interés en RENDIF.

Tabla 15. Análisis de varianzas combinados para el rendimiento de fibra (RENDIF) para el Caribe húmedo colombiano, durante las cosechas 2003/2004 y 2009/2010.

FV	Caribe Húmedo 2003-2004 (RENDIF)			
	GL	SC	CM	% SC
BLOQUES	12	5232848,4		
GENOTIPOS (G)	9	3387593,8	376399,3**	34,8
AMBIENTES (A)	3	4498467,0	1499489,0 ns	46,2
GxA	27	1844083,8	68299,4 ns	19,0
ERROR COMBINADO	108	4725739,1		
TOTAL	159	19688732,0		
Media (kg.ha⁻¹)		1569,8		
CV (%)		13,3		
FV	Caribe Húmedo 2009-2010 (RENDIF)			
	GL	SC	CM	% SC
BLOQUES	18	1919237,3		
GENOTIPOS (G)	9	490788,6	54532,1 ns	1,5
AMBIENTES (A)	5	27091476,1	5418295,2**	81,7
GxA	45	5579397,5	123986,6**	16,8
ERROR COMBINADO	162	7815048,0		
TOTAL	239	42895947,5		
Media (kg.ha⁻¹)		1056,8		
CV (%)		20,8		

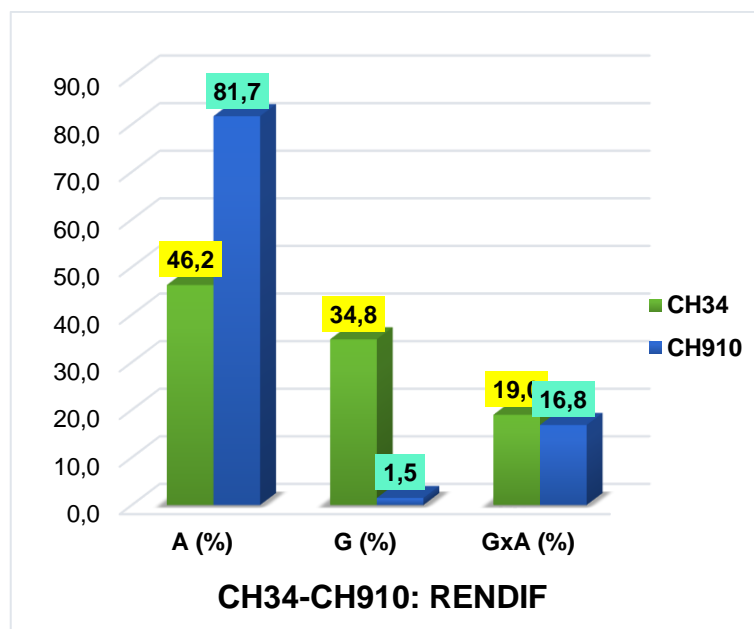
FV = fuente de variación; **GL** = grados de libertad; **SC** = suma de cuadrados; **CM** = cuadrados medios; **%SC** = participación en porcentaje en la suma de cuadrados; **ns** = no significativo; * = significativo al 5% ($p < 0,05$) en la prueba de F; ** = significativo al 1% ($p < 0,01$) en la prueba de F; **CV(%)** = coeficiente de variación en porcentaje.

Los resultados obtenidos también muestran como RENDAS y RENDIF presentan ligeras diferencias, con tendencia en su comportamiento muy similar entre ellas y poco similares entre cosechas. Sugiriendo que RENDAS y RENDIF se están comportando como caracteres cuantitativos altamente poligénicos. Según Espitia et al. (2008) y Sierra et al. (2017), se espera que ambas variables dependientes estén asociadas debido a su alta correlación fenotípica y genotípica (0,8 - 1,0). Lo cual permite que los análisis de la importancia de las fuentes de variación con las SC y

la significancia estadística de las fuentes de variación con los CM resulten similares. Además, se han encontrado investigaciones como las de Dewan et al. (2017); Mukoyi et al. (2018) y Shahzad et al. (2019), quienes obtuvieron en sus resultados diferencias significativas con sus CM, y contribuciones con las SC para las fuentes de variación A, G y GxA similares entre RENDAS y RENDIF.

Si analizamos la participación de las fuentes de variación de interés, en la Figura 6, expresadas en las SC para RENDIF, se puede observar mejor la tendencia similar en el comportamiento para ambas cosechas del Caribe húmedo colombiano. El A, presentó la mayor contribución en ambas cosechas. En la cosecha 2003/2004 el A presentó un valor de 46,2%, seguido del G con 34,8% y por último la GxA con 19,0%, mientras que en la cosecha 2009/2010 el A presentó un valor de 81,7%, seguido de la GxA con 16,8% y por último el G con 1,5%. Estos resultados concuerdan con los obtenidos por Kerby et al. (2000); Meredith (2003); Campbell y Jones (2005); Blanche et al. (2006); Campbell et al. (2012); Meredith et al. (2012); Mejía (2014); Mukoyi et al. (2018); Shahzad et al. (2019) y Mejía et al. (2020), los cuales reportaron que el A es quien presenta la mayor participación de la SC para RENDIF.

Figura 6. Participación de ambientes (A), genotipos (G) e interacción GxA, en las sumas de cuadrados (SC), para el rendimiento de fibra (RENDIF), en el Caribe húmedo colombiano, durante las cosechas 2003/2004 (CH34) y 2009/2010 (CH910).



4. CONCLUSIONES

La significancia estadística y la importancia de las fuentes de variación de interés en RENDAS y RENDIF presentaron tendencia muy similar, por ser caracteres cuantitativos altamente poligénicos, y muy influenciados por el ambiente. En el promedio de las dos cosechas la contribución a la SC fue contrastante para el A con 71,8% (RENDAS) y 64% (RENDIF), y también presentó diferencia altamente significativa.

Los resultados del POFIB difieren del RENDAS y RENDIF. Sin embargo, de manera general, en el promedio de las dos cosechas la contribución a la SC fue superior para el A con 57,2%, además de presentar diferencia significativa para cada una de las fuentes de variación de interés, lo cual indica que POFIB es una variable cuantitativa, oligogénica, menos influenciada por el ambiente.

5. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICA

- Ali, I., Khan, N. U., Mohammad, F., Iqbal, M. A., Abbas, A., Farhatullah, Z. B., ... y Rahman, M. (2017).** Genotype by environment and GGE-biplot analyses for seed cotton yield in upland cotton. *Pakistan Journal of Botany*, 49(6), 2273-2283.
- Ali, I., Khan, N. U., Rahman, M., Gul, R., Bibi, Z., Gul, S., ... y Haq, H. A. (2018).** Genotype by environment and biplot analyses for yield and fiber traits in upland cotton. *Internacional Journal of Agriculture and Biology*, 20, 1979-1990.
- Araméndiz, H., Espitia, M., Agámez, A., Cardona, C., y Robles, J. (2007).** Estabilidad fenotípica de genotipos de algodón (*Gossypium hirsutum* L.). *Revista U.D.C.A. Actualidad y divulgación científica*, 10(2), 65-73.
- Araméndiz, H., Espitia, M., y Isaza, M. (2010).** Progreso genético del algodón (Gossypium hirsutum L.) en Colombia. *Revista Temas Agrarios*, 15(1), 24-33.
- Blanche, S. B., Myers, G. O., Zumba, J. Z., Caldwell, D., y Hayes, J. (2006).** Stability Comparisons Between Conventional And Near-isogenic Transgenic Cotton Cultivars. *The Journal of Cotton Science*, 10, 17–28.
- Campbell, B. T. y Jones, M. A. (2005).** Assessment of genotype x environment interactions for yield and fiber quality in cotton performance trials. *Euphytic*, 144(1), 69-78.
- Campbell, B. T., Chee, P. W., Lubbers, E., Bowman, D. T., Meredith, W. R., Johnson, J., y Jones, D. C. (2012).** Dissecting genotype x environment interactions and trait correlations present in the Pee Dee cotton germplasm collection following seventy years of plant breeding. *Crop Science*, 52(2), 690-699.
- Campuzano D., L. F., Caicedo, G. S., y Guevara, A. J. (2015).** Determinación de atributos en genotipos de algodón (*Gossypium hirsutum* L.) en la rotación maíz-soya asociados a suelos ácidos mejorados de la altillanura colombiana. *Ciencia y Tecnología Agropecuaria*, 16(2), 251-263.
- CONALGODÓN (2018).** Boletín informativo N°4: abril de 2018. Cosecha de algodón. Unidad de Estadística y Análisis Económico. Recuperado de: <http://conalgodon.com/wp-content/uploads/2018/05/INFORME-WEB-ABRIL-2018.pdf>
- Cotrim, M. F., Farias F., J. C., de Carvalho, L. P., Teodoro L., P. R., Bhering, L. L., y Teodoro, P. E. (2019).** Environmental stratification in the brazilian cerrado

on the yield and fiber quality of cotton genotypes. *Bioscience journal*, 35(5), 1349-1355.

Cubero, J. I. y Flores, F. (2003). *Métodos estadísticos para el estudio de la estabilidad varietal en ensayos agrícolas. 2ª edición.* Recuperado de: <https://www.juntadeandalucia.es/servicios/publicaciones/detalle/49566.html>

Damba, G. P. (2008). Evaluación de métodos para análisis de estabilidad en diferentes ambientes en genotipos de yuca (*Manihot esculenta* Crantz). (tesis de Maestría). Universidad nacional de Colombia, Palmira, Colombia.

Dewan, K. M., Bhuiyan M., S. R., Robbani, M. G., y Sonom, M. (2017). Genotype-environment interaction in yield of hill cotton genotypes. *Bangladesh Journal of Plant Breeding and Genetics*, 30(2), 35-40.

Dicyt (2011). El Caribe Colombiano representa la diversidad de ambientes climáticos. Recuperado de: <https://dicyt.com/noticias/el-caribe-colombiano-representa-la-diversidad-de-ambientes-climaticos>

Espitia, M., Araméndiz, 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.

Gul, S., Khan, N. U., Batool, S., Baloch, M. J., Munir, M., Sajid, M., y Kazmi, S. F. (2014). Genotype by environment interaction and association of morpho-yield variables in upland cotton. *Journal of Animal and Plant Sciences*, 24(1), 262-271.

Gul, S., Khan, N. U., Gul, R., Baloch, M., Latif, A., y Khan, I. A. (2016). Genotype by environment and phenotypic adaptability studies for yield and fiber variables in upland cotton. *Journal of Animal and Plant Sciences*, 26(3), 776-786.

Ibrahim, M. M., Ahmad M., S. H., Hassan I., S. M., y Abd El-Sameea, A. (2014). Phenotypic Stability of Some Egyptian Cotton Genotypes Grown at Different Environments of Upper Egypt. *World Rural Observations*, 6(4), 93-102.

IDEAM (2020). Tiempo y clima. Datos solicitados. Recuperado de: <http://www.ideam.gov.co/web/tiempo-y-clima>

Kerby, T. A., Burgess, J., Bates, M., Albers, D. y Lege, K. (2000). Partitioning variety and environmental contribution to variation in yield, plant growth, and fiber quality. *The Proceedings of the Beltwide Cotton Conference*, 1, 528-532.

- Killi, F., y Harem, E. (2006).** Genotype x environment interaction and stability analysis of cotton yield in Aegean region of Turkey. *Journal of environmental biology*, 37(2), 427-430.
- Laghari, S., Kandhro, M. M., Ahmed, H. M., Sial, M. A., y Shad, M. Z. (2003).** Genotype x Environment (GxE) interactions in Cotton (*Gossypium hirsutum* L.) Genotypes. *Asian Journal of Plant Sciences*, 2(6), 480-482.
- Maleia, M. P., Jamal, E. C., Savanguane, J. W., João, J., y Teca, J. O. (2019).** Stability and Adaptability of Cotton (*Gossypium Hirsutum* L.) Genotypes under Multi Environmental Conditions in Mozambique. *Journal of Agronomy and Agricultural Science*, 2, 017.
- Mejía S., J. R., Galeano M., C. H., Burbano, E. E., Vallejo C., F. A., y Arango, M. (2020).** Interacción genotipo por ambiente de nueve variedades de algodón para los Valles interandinos en Colombia. *Agronomía Mesoamericana*, 31(1), 31-42.
- Mejía, S. J. (2014).** Evaluación de la interacción genotipo por ambiente para variedades transgénicas de algodón *Gossypium hirsutum* L. (tesis de Maestría). Universidad nacional de Colombia, Palmira, Colombia.
- Meredith Jr., W. R. (2003).** Thirty-six years of Regional High Quality Variety Tests. *Beltwide Cotton Conferences, Nashville, TN-Journal*, 6-10, 2561-2566.
- Meredith Jr., W. R., Boykin, D. L., Bourland, F. M., Caldwell, W. D., Campbell, B. T., Gannaway, J. R., y Zhang, J. (2012).** Genotype x environment interactions over seven years for yield, yield components, fiber quality, and gossypol traits in the regional high quality tests. *Journal of Cotton Science*, 16, 160-169.
- Moresco, E. R. (2003).** Progreso genético no melhoramento do algodoeiro no Estado de Mato Grosso. (tesis de Doctorado). Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, San Paulo, Brasil.
- Mukoyi, F., Gasura, E., y Makunde, G. S. (2018).** Implications of correlations and genotype by environment interactions among cotton traits. *African Crop Science Journal*, 26(2), 219-235.
- Nadeem, F., Khan, N. U., Khalid, S., Azam, S., Saeed, B., Jan, T., y Khan, M. R. (2018).** Genotype x environment interaction studies in F₅ populations of upland cotton under agro-climatic condition of Peshawar. *Pure and Applied Biology*, 7(3), 973-991.

- Riaz, M., Naveed, M., Farooq, J., Farooq, A., Mahmood, A., Rafiq, Ch. M., ... Sadiq, A. (2013).** AMMI analysis for stability, adaptability and GE interaction studies in cotton (*Gossypium hirsutum* L.). *The Journal of Animal and Plant Sciences*, 23(3), 865-871.
- Ribeiro, L. P., Carvalho L., P. D., Farias F., J. C., Rodrigues J., I. D. S., Teodoro, P. E., y Bhering, L. L. (2018).** Genetic gains in agronomic and technological traits of elite cotton genotypes. *Bragantia*, 77(3), 466-475.
- Sadabadi, M. F., Ranjbar, G. A., Zangi, M. R., Tabar, S. K., y Zarini, H. N. (2018).** Analysis of stability and adaptation of cotton genotypes using gge biplot method. *Trakia Journal of Sciences*, 16(1), 51.
- Shahzad, K., Qi, T., Guo, L., Tang, H., Zhang, X., Wang, H., ... y Shahid Iqbal, M. (2019).** Adaptability and stability comparisons of inbred and hybrid cotton in yield and fiber quality traits. *Agronomy*, 9(9), 516.
- Sierra, M., Espitia, M., y Cadena, J. (2017).** Correlación entre rendimiento, estabilidad fenotípica y métodos de selección simultánea en algodón. Universidad de Córdoba. *Revista Temas Agrarios*, 22(1), 21-30.
- Teodoro, P. E., Farias F., J. C., de Carvalho, L. P., Ribeiro, L. P., Nascimento, M., Azevedo, C. F., ... y Bhering, L. L. (2019).** Adaptability and stability of cotton genotypes regarding fiber yield and quality traits. *Crop Science*, 59(2), 518-524.
- Vallejo, F. A., y Estrada, E. I. (2002).** Mejoramiento genético de plantas. Universidad Nacional de Colombia, sede Palmira (UNAPAL), Feriva S.A. ISBN: 958-8095-11-5., 225-227.
- Vertel, M., Espitia, M., y Martínez, R. (1999).** Comparación de ocho índices para determinar estabilidad fenotípica en algodón (*Gossypium hirsutum* L.). *Agronomía Colombiana*, 16(3), 30-34.
- Yan, W. y Kang, M. S. (2002).** GGE Biplot Analysis: A Graphical Tool for Breeders, Geneticists, and Agronomists. CRC Press, Boca Raton, Florida, U.S.A., ISBN: 978-0849313387., 168-288.
- Zeng, L., y Meredith Jr, W. R. (2009).** Associations among lint yield, yield components, and fiber properties in an introgressed population of cotton. *Crop science*, 49(5), 1647-1654.

CAPÍTULO IV
COMPARACIÓN DE LOS RESULTADOS OBTENIDOS DEL CARIBE SECO
VERSUS EL CARIBE HÚMEDO COLOMBIANO.

CHAPTER IV
COMPARISON OF RESULTS OBTAINED FROM COLOMBIAN DRY
CARIBBEAN VERSUS WET CARIBBEAN

RESUMEN

En este capítulo se propuso comparar los resultados obtenidos en la evaluación de la importancia de las fuentes de variación (FV) de cada análisis de varianzas combinados (ANAVACO) en las pruebas de evaluaciones agronómicas (PEA) en el cultivo de algodón para rendimiento de algodón – semilla (RENDAS), porcentaje de fibra (POFIB) y rendimiento de fibra (RENDIF), en el Caribe seco (CS) y compararlo con los resultados obtenidos en el Caribe húmedo (CH) colombiano. Se utilizaron los datos de las dos PEA del CS y las dos PEA del CH. En las cuatro PEA se evaluaron 10 genotipos de fibra media diferentes, empleando un diseño de bloques completos al azar (DBCA) con cuatro repeticiones. Cada PEA estuvo conformada por los resultados de cuatro ambientes representativos del CS y CH. Las PEA se realizaron durante las cosechas 2003/2004 y 2007/2008 (CS), y 2003/2004 y 2009/2010 (CH). Para determinar la importancia de las FV del ANAVACO se calculó ponderando en porcentaje la variación del ambiente (A), genotipo (G) e interacción (GxA), sobre el total de la suma de cuadrados (SC) de estas FV. Para la comparación de las FV de interés, se realizó para todos los análisis mediante una resta en el orden de CH-CS, donde los resultados negativos obtenidos señalan que el CS presentó mayor participación en la FV comparada, y cuando el resultado presentado es positivo, señala que la FV comparada es mayor en el CH. Los resultados obtenidos a partir de la comparación de los promedios de las FV de interés, entre subzonas, para RENDAS señalaron que la mayor parte de la variación de las SC es debido al A con -18,3% y que es más resaltante en el CS, seguido la interacción GxA con 9,7% y G con 8,6%, esto evidencia que la GxA y G son más importantes en el CH. POFIB en sus FV de interés, entre subzonas, presentó que la mayor parte de la variación de las SC es debido al G con -39,7% y este es más resaltante en el CS, seguido el A con 39,3% y la interacción GxA con 0,4%, esto evidencia que A y GxA son más relevantes en el CH. RENDIF en sus FV de interés, entre subzonas, presentó que la mayor parte de la variación de las SC es debido al A con -23,2% y este es más resaltante en el CS, seguido el G con 13,4% y la interacción GxA con 9,8%, esto evidencia que G y GxA son más importantes en el CH. La importancia de las FV de interés, en RENDAS y RENDIF, presentaron una tendencia en su comportamiento ligeramente diferente entre subzonas productoras colombianas. Además, la variación debida al A tuvo más efecto en la explicación de las mismas, pero con valores más altos en el CS que en el CH.

Palabras claves: diferencias en importancia, análisis de varianzas combinados, fuentes de variación, sumas de cuadrados, región Caribe colombiana.

ABSTRACT

In this chapter we set out to compare the results obtained in the evaluation of the importance of sources of variation (SV) of each combined analysis of variances (ANAVACO) in the tests of agronomic evaluations (PEA) in the cotton crop for cotton-seed yield (RENDAS), fiber percentage (POFIB) and fiber yield (RENDIF), in the dry caribbean (CS) and compare it with the results obtained in the colombian humid caribbean (CH). Data from the two CS's PEAs and the two CH's PEA were used. In the four PEA, ten different middle fiber genotypes were evaluated, using a randomized complete block design (DRBD) with four replications. Each PEA was made up of the results of four representative environments of CS and CH. The PEAs were conducted during the 2003/2004 and 2007/2008 harvests (CS), and 2003/2004 and 2009/2010 (CH). To determine the importance of the ANAVACO's SV, the variation of environment (E), genotype (G) and interaction (GxE) was calculated as a percentage of the total sum of squares (SS) of these SV. For the comparison of the SV of interest, it was carried out for all the analyses by means of a subtraction in the order of CH-CS, where the negative results obtained indicate that the CS presented a greater participation in the SV compared, and when the result presented is positive, it indicates that the SV compared is greater in the CH. The results obtained from the comparison of the averages of the SV of interest, between subzones, for RENDAS indicated that most of the variation of the SS is due to the E with -18,3% and that it is more outstanding in the CS, followed by the interaction GxE with 9,7% and G with 8,6%, this evidences that the GxE and G are more important in CH. POFIB in its SV of interest, among subareas, presented that most of the variation in CS is due to G with -39,7% and this is more prominent in the CS, followed by E with 39,3% and GxE interaction with 0,4%, this evidences that E and GxE are more relevant in CH. RENDIF in its SV of interest, among subareas, presented that most of the variation in CS is due to E with -23,2% and this is more outstanding in the CS, followed by G with 13,4% and the GxE interaction with 9,8%, this evidences that G and GxE are more important in CH. The importance of the SV of interest, in RENDAS and RENDIF, presented a tendency in its slightly different behavior between Colombian productive subzones. In addition, the variation due to E had more effect in explaining them, but with higher values in CS than in CH.

Keywords: differences in importance, combined analysis of variances, sources of variation, sums of squares, colombian Caribbean region.

1. INTRODUCCIÓN

La región Caribe colombiana se subdivide en dos grandes subzonas, diferenciadas por sus ambientes contrastantes, y se conocen como Caribe seco y húmedo. El Caribe seco se caracteriza por presentar ambientes de baja humedad relativa de 20% a 50%, temperatura promedio anual de 28°C a 30°C, suelos de fertilidad media a baja, en estos lugares las precipitaciones son de 500 a 1.000 milímetros por año (mm.año^{-1}) y en algunas partes pueden ser monomodales. El Caribe húmedo se caracteriza por presentar ambientes de alta humedad relativa con 80% a 90%, temperatura promedio anual de 25°C a 29°C, suelos con fertilidad media, y en estos lugares las precipitaciones superan los $1.200 \text{ mm.año}^{-1}$ (Dicyt, 2011; OCARIBE, 2018; IDEAM, 2020). Esta variabilidad en los factores ambientales afecta al cultivo de algodón, principalmente cuando se presentan excesos o déficit de lluvias en etapas críticas del cultivo, haciendo que los productores tengan que realizar manejos agronómicos diferentes (Araméndiz, Espitia, Agámez, Cardona y Robles, 2007; Sierra, Espitia y Cadena, 2017; CONALGODÓN, 2018). Sin embargo, los estudios de interacción genotipo por ambiente (GxA) agrupados con las mediciones de adaptabilidad y estabilidad fenotípica, han permitido recomendar genotipos promisorios que facilitan el manejo agronómico, aumenten la producción y mejoren los rendimientos (Vertel, Espitia y Martínez, 1999; Araméndiz, Espitia y Isaza, 2010), pero obliga al investigador a seguir retroalimentando los estudios de interacción GxA para poder seleccionar genotipos superiores en ambientes específicos por medio de los resultados y parámetros estadísticos como los análisis de varianzas combinados (ANAVACO). Damba (2008), afirma que los ANAVACO son un método potente de diagnóstico, ya que permite la posibilidad de estudiar submodelos representativos de los datos totales del ensayo. Aporta gran información sobre la naturaleza de la interacción GxA, permitiendo clasificar tanto los genotipos como los ambientes según sus patrones de comportamiento.

El conocimiento de la naturaleza y la magnitud de la interacción GxA contribuye de manera importante para determinar el número de ambientes óptimos de evaluación en que los genotipos deben ser evaluados con el objetivo de lograr la precisión necesaria para medir las diferencias entre genotipos, principalmente porque puede ayudar a determinar si es necesario el desarrollo de genotipos promisorios para todos los ambientes de interés o si se deberían desarrollar genotipos promisorios para ambientes específicos (Yan y Kang, 2002). Por esa razón, con el tiempo se hace más necesario realizar evaluaciones prolongadas de los genotipos en condiciones de producción propia de una microregión para evitar una recomendación errónea de variedades y paquetes agronómicos (Espitia, Araméndiz y Mendoza, 1993; Espitia, Araméndiz y Cadena, 2008; Sierra et al., 2017).

En cuanto a las alternativas para reducir la interacción GxA, Eberhart (1970), sugiere que la variación genotípica puede tener influencia en el número de ambientes, adicionalmente, Sprague y Eberhart (1977) citado por Damba (2008), recomiendan aumentar el número de localidades para los ensayos, si la interacción

GxA se debe a factores ambientales impredecibles. No obstante, en la región Caribe colombiana ya se han realizado varias investigaciones para determinar la significancia de los ANAVACO para estudios de adaptabilidad y estabilidad fenotípica, con el fin de liberar comercialmente nuevos genotipos para las subzonas productoras, las cuales presentan un conjunto de factores bióticos y abióticos diferentes que generan fuentes de variaciones cambiantes que afectan la expresión de las variables agronómicas de interés (Espitia et al., 1993; Araméndiz et al., 2007; Espitia et al., 2008; Mejía, 2014; Campuzano, Caicedo y Guevara, 2015; Sierra et al., 2017).

Entre las distintas investigaciones que se han realizado sobre la interacción GxA en el cultivo de algodón en las tres fuentes de variación de interés, genotipo (G), ambiente (A) e interacción GxA, para los parámetros de rendimiento, son numerosos como los de Espitia et al. (1993); Palomo, Santamaría y Godoy (1998); Kerby, Burgess, Bates, Albers y Lege (2000); Meredith (2003); Moresco (2003); Campbell y Jones (2005); Blanche, Myers, Zumba, Caldwell y Hayes (2006); Araméndiz et al. (2007); Espitia et al. (2008); Araméndiz et al. (2010); Campbell et al. (2012); Meredith et al. (2012); Riaz et al. (2013); Gul et al. (2014); Mejía (2014); Campuzano et al. (2015); Sierra et al. (2017) y Nadeem et al. (2018). Pero no se han presentado reportes en el cual se comparen los resultados obtenidos entre ambas subzonas productoras para determinar la importancia y diferencias de las fuentes de variación del ANAVACO.

De acuerdo con el planteamiento anterior, el presente capítulo se propuso como objetivo comparar los resultados obtenidos en la evaluación de la importancia de las fuentes de variación de cada ANAVACO en las pruebas de evaluaciones agronómicas (PEA) en el cultivo de algodón para rendimiento de algodón – semilla, porcentaje de fibra y rendimiento de fibra, en el Caribe seco y compararlo con los resultados obtenidos en el Caribe húmedo colombiano.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

Para realizar el presente estudio se utilizaron los resultados obtenidos en las evaluaciones de la importancia de las fuentes de variación (FV) de cada análisis de varianzas combinados (ANAVACO) de las pruebas de evaluaciones agronómicas (PEA) en el cultivo de algodón para rendimiento de algodón – semilla (RENDAS), porcentaje de fibra (POFIB) y rendimiento de fibra (RENDIF), en el Caribe seco (Ver capítulo 2) y compararlo con los resultados obtenidos en el Caribe húmedo (Ver capítulo 3), colombiano. Además, para ello, se halló la diferencia en porcentaje (%) por medio de la resta en el orden de Caribe húmedo menos Caribe seco (CH-CS), con el objetivo de hallar por medio de las sumas de cuadrados (SC) la fuente de variación más sobresaliente, y en que subzona productora es más marcada la fuente de variación comparada.

Cuando los valores de la resta CH-CS indiquen valores negativos, sugieren que la fuente de variación comparada es superior en el Caribe seco. Mientras que los resultados positivos, sugieren que la fuente de variación comparada es superior en el Caribe húmedo. Cada cosecha está conformada por dos PEA, abreviadas de la siguiente manera; Caribe húmedo, cosechas 2003/2004 (CH34) y 2009/2010 (CH910), y Caribe seco, cosechas 2003/2004 (CS34) y 2007/2008 (CS78).

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1. COMPARACIÓN DE LA IMPORTANCIA DE LAS FUENTES DE VARIACIÓN DEL CARIBE SECO (CS) VERSUS EL CARIBE HÚMEDO (CH) PARA EL RENDIMIENTO DE ALGODÓN – SEMILLA (RENDAS)

Los resultados de la importancia de las fuentes de variación de interés, relacionados con ambientes (A), genotipos (G) e interacción (GxA), de ambas subzonas (CS y CH) para RENDAS, se presentan en la Tabla 16. La diferencia en porcentaje (%) expresada en la suma de cuadrados (SC) para las cosechas 2003/2004 (CH34) con 2003/2004 (CS34) revelaron que el A es quien más contribuyó a la variación fenotípica con -32,7%, este valor negativo sugiere que la fuente de variación A fue mayor en el Caribe seco (2003/2004), debido a las condiciones impredecibles, especialmente por las precipitaciones y el grado de fertilidad de los suelos. En orden de magnitud le siguió el G con 17,0% y por último la interacción GxA con 15,7%, estos valores positivos sugieren que las fuentes de variación G y GxA fueron mayor en el Caribe húmedo (2003/2004). La comparación de las cosechas 2009/2010 (CH910) con 2007/2008 (CS78), presentaron tendencia similar a las cosechas comparadas anteriormente, ya que la variación fenotípica tuvo mayor contribución por el A, en el Caribe seco (2007/2008), con un valor de -3,8%, y le siguió la interacción GxA y G, con mayor contribución en el Caribe húmedo (2009/2010), con valores de 3,7% y 0,2%, respectivamente.

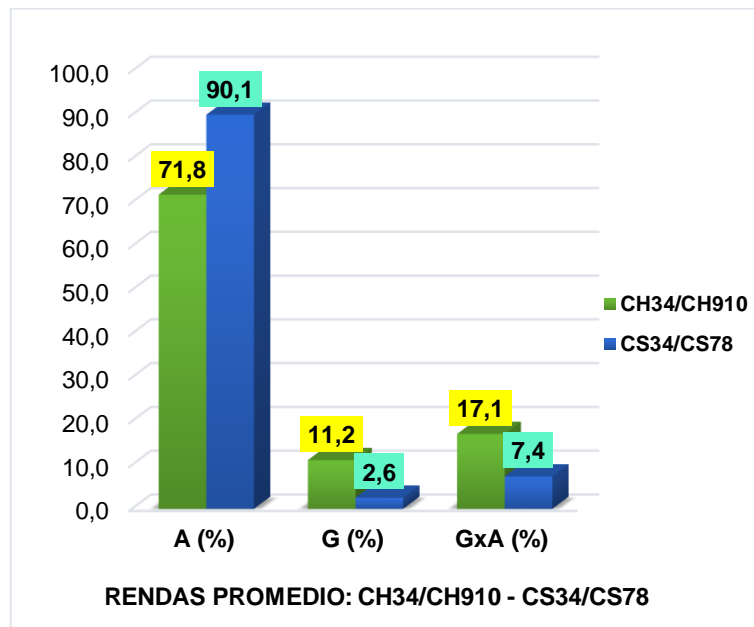
Tabla 16. Comparación de la participación de ambientes (A), genotipos (G) e interacción GxA, de las sumas de cuadrados (SC), en los análisis de varianzas combinados para el rendimiento de algodón – semilla (RENDAS), en el Caribe seco (CS34 y CS78) versus el Caribe húmedo (CH34 y CH910).

COSECHAS	%SC			COSECHAS	%SC			COSECHAS	DIFERENCIA (%)		
	A	G	GXA		A	G	GXA		A	G	GXA
CH34	59,9	18,5	21,6	CS34	92,6	1,5	5,9	CH34-CS34	-32,7	17,0	15,7
CH910	83,7	3,8	12,6	CS78	87,5	3,6	8,9	CH910-CS78	-3,8	0,2	3,7
Media	71,8	11,2	17,1		90,1	2,6	7,4		-18,3	8,6	9,7

La diferencia (%) entre las media (Tabla 16) de las fuentes de variación de interés, señalan que, a nivel general la fuente de variación que presentó mayor contribución es el A con -18,3%, lo cual resalta que RENDAS en las dos subzonas aldoneras fue muy influenciada por el ambiente, pero con mayor efecto en el Caribe seco. En orden de magnitud le siguió GxA con 9,7% y por último el G con 8,6%, indicando que RENDAS en el Caribe húmedo fue más favorecido a que se expresen mejor los genotipos, y con ello hubo mayor interacción GxA.

Si analizamos la media general de la participación de las fuentes de variación de interés, en la Figura 7, expresadas en la SC para RENDAS, se puede observar mejor la tendencia en el comportamiento para ambas subzonas. Nótese que la participación del A presentó la mayor contribución en ambas subzonas, con valores de 71,8% (Caribe húmedo) y 90,1% (Caribe seco). En orden de magnitud le siguió la interacción GxA con 17,1% y 7,4%, para las subzonas Caribe húmedo y Caribe seco, respectivamente. La fuente de variación G fue quien menos contribuyó a explicar la variación de la SC, con 11,2% (Caribe húmedo) y 2,6% (Caribe seco). Este comportamiento contrastante de los ambientes en RENDAS demuestra que esta variable dependiente es un carácter de baja heredabilidad que actúa de forma poligénica, afectada por los efectos ambientales que influyen en el valor fenotípico, lo cual concuerda con Moghny y Mariz (2015), quienes explican que debido a la relación que existe entre la varianza genotípica y la varianza fenotípica total y los valores de heredabilidad en sentido amplio para RENDAS son bajos, reflejando el gran efecto de los ambientes. Los resultados obtenidos concuerdan con los de Meredith (2003); Campbell et al. (2012); Riaz et al. (2013); Mukoyi et al. (2018) y Shahzad et al. (2019), los cuales sostienen que el A es quien más contribuye a la variación de la SC, y difieren con los resultados de Blanche et al. (2006) y Ali et al. (2017), quienes han reportado que el G presenta la mayor participación, y Gul et al. (2014) y Gul et al. (2016), reportaron que la mayor participación es de la interacción GxA para la variación de la SC en el RENDAS.

Figura 7. Participación promedio de ambientes (A), genotipos (G) e interacción GxA, de las sumas de cuadrados (SC), para el rendimiento de algodón – semilla (RENDAS), en el Caribe seco (CS34/CS78) y Caribe húmedo (CH34/CH910).



3.2. COMPARACIÓN DE LA IMPORTANCIA DE LAS FUENTES DE VARIACIÓN DEL CARIBE SECO (CS) VERSUS EL CARIBE HÚMEDO (CH) PARA EL PORCENTAJE DE FIBRA (POFIB)

Los resultados de la importancia de las fuentes de variación de interés, de ambas subzonas, para POFIB, se presentan en la Tabla 17. La diferencia (%) expresada en la SC para las cosechas 2003/2004 (CH34) con 2003/2004 (CS34) revelaron que el G es quien más contribuyó a la variación fenotípica con -30,2%, sugiriendo que la fuente de variación G fue mayor en el Caribe seco (2003/2004). En orden de magnitud le siguió el A con 26,3% y por último la interacción GxA con 3,8%, indicando que las fuentes de variación A y GxA fueron mayor en la cosecha del Caribe húmedo (2003/2004). La comparación de las cosechas 2009/2010 (CH910) con 2007/2008 (CS78), presentaron tendencia diferente a las cosechas comparadas anteriormente, en razón a que la variación fenotípica tuvo mayor contribución por el A, en el Caribe húmedo (2009/2010), con un valor de 52,2%, y le siguió el G y GxA, con mayor contribución en el Caribe seco (2007/2008), con valores de -49,2% y -3,0%, respectivamente.

Tabla 17. Comparación de la participación de ambientes (A), genotipos (G) e interacción GxA, de las sumas de cuadrados (SC), en los análisis de varianzas combinados para el porcentaje de fibra (POFIB), en el Caribe seco (CS34 y CS78) versus el Caribe húmedo (CH34 y CH910).

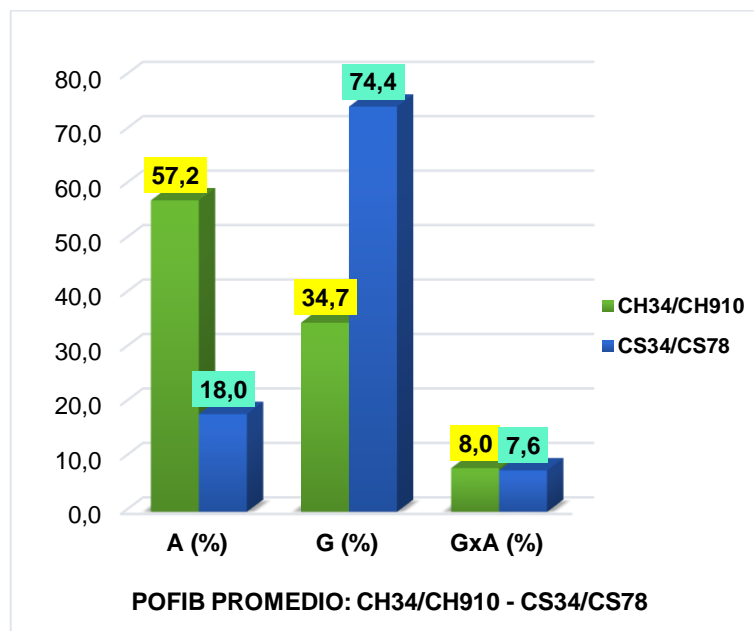
COSECHAS	%SC			COSECHAS	%SC			COSECHAS	DIFERENCIA (%)		
	A	G	GXA		A	G	GXA		A	G	GXA
CH34	44,1	49,2	6,7	CS34	17,8	79,4	2,9	CH34-CS34	26,3	-30,2	3,8
CH910	70,3	20,3	9,4	CS78	18,1	69,5	12,4	CH910-CS78	52,2	-49,2	-3,0
Media	57,2	34,7	8,0		18,0	74,4	7,6		39,3	-39,7	0,4

La diferencia (%) entre las media (Tabla 17) de las fuentes de variación de interés, señalan que, a nivel general la fuente de variación que presentó mayor contribución es el G con -39,7%, lo cual resalta que el POFIB es menos influenciada por el ambiente en comparación con RENDAS, y el valor al ser negativo demuestra que hay mayor contribución del G en el Caribe seco. En orden de magnitud le siguió el A con 39,3% y por último la GxA con 0,4%, sugiriendo que POFIB en el Caribe húmedo fue más influenciado por las condiciones ambientales, y con ello hubo mayor interacción GxA.

Si analizamos la media general de la participación de las fuentes de variación de interés, en la Figura 8, expresadas en la SC para POFIB, se puede observar mejor la tendencia diferente en el comportamiento para ambas subzonas. El G, presentó la mayor contribución en el Caribe seco con un valor de 74,4%, seguido de A y GxA con valores de 18,0% y 7,6%, respectivamente. Estos resultados demuestran que, al obtener semillas de menor peso, permiten un mayor POFIB, y por lo tanto menor

RENDAS, así como lo reportan Zeng y Meredith (2009), quienes encontraron en sus estudios una correlación genotípica negativa entre el peso de la semilla y porcentaje de fibra (-0,76), esta alta correlación negativa implica que, en ambientes favorables para RENDAS, el POFIB responderá de manera contraria, y en ambiente favorables para POFIB, el RENDAS presentará menores rendimientos. De manera contraria en el Caribe húmedo se presentó mayor contribución por el A, con un valor de 57,2%, seguido de G y GxA con valores de 34,7% y 8,0%, respectivamente. Lo cual sugiere que en el Caribe húmedo fue menos favorecido el POFIB, debido a que en esta subzona se encontraron los mejores pesos de semillas (RENDAS). Los resultados obtenidos en el Caribe seco concuerdan con Campbell y Jones (2005) y Blanche et al. (2006), los cuales sostienen que la fuente de variación G es la de mayor contribución en la variación del POFIB, y los resultados obtenidos en el Caribe húmedo concuerdan con los reportados por Kerby et al. (2000); Meredith (2003); Campbell et al. (2012); Mejía (2014); Gul et al. (2016); Mukoyi et al. (2018); Shahzad et al. (2019) y Mejía et al. (2020), quienes encontraron que la fuente de variación A fue la de mayor contribución en la variación del POFIB.

Figura 8. Participación promedio de ambientes (A), genotipos (G) e interacción GxA, de las sumas de cuadrados (SC), para el porcentaje de fibra (POFIB), en el Caribe seco (CS34/CS78) y Caribe húmedo (CH34/CH910).



3.3. COMPARACIÓN DE LA IMPORTANCIA DE LAS FUENTES DE VARIACIÓN DEL CARIBE SECO (CS) VERSUS EL CARIBE HÚMEDO (CH) PARA EL RENDIMIENTO DE FIBRA (RENDIF)

Los resultados de la importancia de las fuentes de variación de interés, de ambas subzonas, para RENDIF, se presentan en la Tabla 18. La diferencia (%) expresada en la SC para las cosechas 2003/2004 (CH34) con 2003/2004 (CS34) revelaron que el A es quien más contribuyó a la variación fenotípica con -43,8%, indicando que la fuente de variación A fue mayor en el Caribe seco (2003/2004), lo cual se relaciona con lo explicado en RENDAS, debido a que RENDIF también es influenciada por las condiciones ambientales impredecibles, especialmente por la precipitación y el grado de fertilidad de los suelos. En orden de magnitud le siguió el G con 30,5% y por último la interacción GxA con 13,3%, sugiriendo que las fuentes de variación G y GxA fueron mayor en el Caribe húmedo (2003/2004). La comparación de las cosechas 2009/2010 (CH910) con 2007/2008 (CS78), presentaron tendencia diferente a las cosechas comparadas anteriormente, dado que la variación fenotípica tuvo mayor contribución por la interacción GxA, en el Caribe húmedo (2009/2010), con un valor de 6,4%, y le siguió el G y A, con mayor contribución en el Caribe seco (2007/2008), con valores de -3,7% y -2,7%, respectivamente.

Tabla 18. Comparación de la participación de ambientes (A), genotipos (G) e interacción GxA, de las sumas de cuadrados (SC), en los análisis de varianzas combinados para el rendimiento de fibra (RENDIF), en el Caribe seco (CS34 y CS78) versus el Caribe húmedo (CH34 y CH910).

COSECHAS	%SC			COSECHAS	%SC			COSECHAS	DIFERENCIA (%)		
	A	G	GXA		A	G	GXA		A	G	GXA
CH34	46,2	34,8	19,0	CS34	90,0	4,3	5,7	CH34-CS34	-43,8	30,5	13,3
CH910	81,7	1,5	16,8	CS78	84,4	5,2	10,4	CH910-CS78	-2,7	-3,7	6,4
Media	64,0	18,2	17,9		87,2	4,7	8,1		-23,2	13,4	9,8

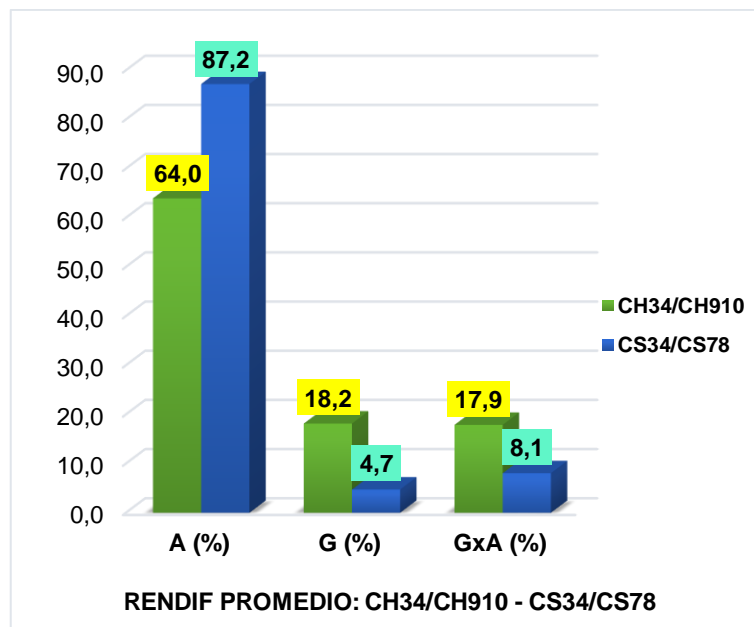
La diferencia (%) entre las media generales (Tabla 18) de las fuentes de variación de interés, señalan que, a nivel general la fuente de variación que presentó mayor contribución es el A con -23,2%, lo cual resalta que RENDIF en las dos subzonas algodoneras fue muy influenciada por el ambiente, pero con mayor efecto en el Caribe seco. En orden de magnitud le siguió el G con 13,4% y por último la GxA con 9,8%, indicando que RENDIF en el Caribe húmedo fue más favorecido a que se expresen mejor los genotipos, y con ello hubo mayor interacción GxA.

Los resultados obtenidos, además, evidencian que RENDAS y RENDIF presentan ligeras diferencias en su comportamiento, con tendencia similar en el análisis de contribución de las fuentes de variación con la SC, en ambas subzonas de estudio. Según Espitia et al. (2005); Espitia et al. (2008); Sierra et al. (2017); Zeng y Meredith

(2009); Newaz et al. (2019) y Queiroz et al. (2019), estos resultados posiblemente se expliquen por el alto grado de correlación fenotípica y genotípica directa que existe entre RENDAS y RENDIF. De manera que permiten que los análisis de la importancia de las fuentes de variación con las SC resulten similares, investigaciones como las de Mukoyi et al. (2018) y Shahzad et al. (2019), obtuvieron en sus resultados de contribución a las SC para las fuentes de variación A, G y GxA similares entre RENDAS y RENDIF.

Si analizamos la media general de la participación de las fuentes de variación de interés, en la Figura 9, expresadas en la SC para RENDIF, se puede observar mejor la tendencia en el comportamiento para ambas subzonas. El A, presentó mayor contribución en ambas subzonas, con valores de 64,0% (Caribe húmedo) y 87,2% (Caribe seco). En orden de magnitud, para el Caribe húmedo le siguió el G con 18,2% y por último la interacción GxA con 17,9%, y para el Caribe seco le siguió la interacción GxA con 8,1% y por último el G con 4,7%. Estos resultados concuerdan con los obtenidos por Kerby et al. (2000); Meredith (2003); Campbell y Jones (2005); Blanche et al. (2006); Campbell et al. (2012); Meredith et al. (2012); Mejía (2014); Mukoyi et al. (2018); Shahzad et al. (2019) y Mejía et al. (2020), quienes reportaron que el A es quien presenta la mayor contribución a la variación del RENDIF.

Figura 9. Participación promedio de ambientes (A), genotipos (G) e interacción GxA, de las sumas de cuadrados (SC), para el rendimiento de fibra (RENDIF), en el Caribe seco (CS34/CS78) y Caribe húmedo (CH34/CH910).



4. CONCLUSIONES

La importancia de las fuentes de variación de interés en RENDAS y RENDIF presentaron tendencia en su comportamiento similar, por ser caracteres cuantitativos altamente poligénicos, y muy influenciados por el ambiente. Los valores de ambas subzonas de evaluación evidenciaron que la contribución a la SC fue contrastante para el A con -18,3% (RENDAS) y -23,2% (RENDIF), indicando ser superior y con mayor efecto en el Caribe seco colombiano.

Los resultados del POFIB difieren de una subzona a otra. Los valores evidenciaron que la contribución a la SC fue contrastante para el G con -39,7%, indicando ser superior y con mayor efecto en el Caribe seco, mientras que el A con 39,3%, sugiere ser superior y con mayor efecto en el Caribe húmedo. Esto demuestra que POFIB es una variable cuantitativa, oligogénica, menos influenciada por el ambiente.

5. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Ali, I., Khan, N. U., Rahman, M., Gul, R., Bibi, Z., Gul, S., ... y Haq, H. A. (2018).** Genotype by environment and biplot analyses for yield and fiber traits in upland cotton. *Internacional Journal of Agriculture and Biology*, 20, 1979-1990.
- Araméndiz, H., Espitia, M., Agámez, A., Cardona, C., y Robles, J. (2007).** Estabilidad fenotípica de genotipos de algodón (*Gossypium hirsutum* L.). *Revista U.D.C.A. Actualidad y divulgación científica*, 10(2), 65-73.
- Araméndiz, H., Espitia, M., y Isaza, M. (2010).** Progreso genético del algodnero (*Gossypium hirsutum* L.) en Colombia. *Revista Temas Agrarios*, 15(1), 24-33.
- Blanche, S. B., Myers, G. O., Zumba, J. Z., Caldwell, D., y Hayes, J. (2006).** Stability Comparisons Between Conventional And Near-isogenic Transgenic Cotton Cultivars. *The Journal of Cotton Science*, 10, 17–28.
- Campbell, B. T. y Jones, M. A. (2005).** Assessment of genotype x environment interactions for yield and fiber quality in cotton performance trials, *Euphytica*. 144(1), 69-78.
- Campbell, B. T., Chee, P. W., Lubbers, E., Bowman, D. T., Meredith, W. R., Johnson, J., y Jones, D. C. (2012).** Dissecting genotype x environment interactions and trait correlations present in the Pee Dee cotton germplasm collection following seventy years of plant breeding. *Crop Science*, 52(2), 690-699.
- Campuzano D., L. F., Caicedo, G. S., y Guevara, A. J. (2015).** Determinación de atributos en genotipos de algodón (*Gossypium hirsutum* L.) en la rotación maíz-soya asociados a suelos ácidos mejorados de la altillanura colombiana. *Ciencia y Tecnología Agropecuaria*, 16(2), 251-263.
- CONALGODÓN (2018).** Boletín informativo N°4: abril de 2018. Cosecha de algodón. Unidad de Estadística y Análisis Económico. Recuperado de: <http://conalgodon.com/wp-content/uploads/2018/05/INFORME-WEB-ABRIL-2018.pdf>
- Damba, G. P. (2008).** Evaluación de métodos para análisis de estabilidad en diferentes ambientes en genotipos de yuca (*Manihot esculenta* Crantz). (tesis de Maestría). Universidad nacional de Colombia, Palmira, Colombia.
- Dicyt (2011).** El Caribe Colombiano representa la diversidad de ambientes climáticos. Recuperado de: <https://dicyt.com/noticias/el-caribe-colombiano-representa-la-diversidad-de-ambientes-climaticos>

- Eberhart, S. A. (1970).** Factors effecting efficiencies of breeding methods. *African soils*, 15(3), 655-680.
- Espitia M., Vallejo F. y Baena D. (2005).** Correlaciones fenotípicas, genéticas y ambientales en *Cucurbita moschata* Duch. Ex Poir. *Revista Acta Agronómica*, 54(1), 1-9.
- Espitia, M., Araméndiz, 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.
- Espitia, M., Araméndiz, H., y Mendoza, A. (1993).** Selección simultanea de genotipos de algodón (*Gossypium hirsutum* L.) por altos rendimientos y estabilidad. *Revista ICA*, 28(3), 227-234.
- Gul, S., Khan, N. U., Batool, S., Baloch, M. J., Munir, M., Sajid, M., y Kazmi, S. F. (2014).** Genotype by environment interaction and association of morpho-yield variables in upland cotton. *Journal of Animal and Plant Sciences*, 24(1), 262-271.
- Gul, S., Khan, N. U., Gul, R., Baloch, M., Latif, A., y Khan, I. A. (2016).** Genotype by environment and phenotypic adaptability studies for yield and fiber variables in upland cotton. *Journal of Animal and Plant Sciences*, 26(3), 776-786.
- IDEAM (2020).** Tiempo y clima. Datos solicitados. Recuperado de: <http://www.ideam.gov.co/web/tiempo-y-clima>
- Kerby, T. A., Burgess, J., Bates, M., Albers, D. y Lege, K. (2000).** Partitioning variety and environmental contribution to variation in yield, plant growth, and fiber quality. *The Proceedings of the Beltwide Cotton Conference*, 1, 528-532.
- Mejía S., J. R., Galeano M., C. H., Burbano, E. E., Vallejo C., F. A., y Arango, M. (2020).** Interacción genotipo por ambiente de nueve variedades de algodón para los Valles interandinos en Colombia. *Agronomía Mesoamericana*, 31(1), 31-42.
- Mejía, S. J. (2014).** Evaluación de la interacción genotipo por ambiente para variedades transgénicas de algodón *Gossypium hirsutum* L. (tesis de Maestría). Universidad nacional de Colombia, Palmira, Colombia.
- Meredith Jr., W. R. (2003).** Thirty-six years of Regional High Quality Variety Tests. *Beltwide Cotton Conferences, Nashville, TN-Journal*, 6-10, 2561-2566.
- Meredith Jr., W. R., Boykin, D. L., Bourland, F. M., Caldwell, W. D., Campbell, B. T., Gannaway, J. R., y Zhang, J. (2012).** Genotype x environment

interactions over seven years for yield, yield components, fiber quality, and gossypol traits in the regional high quality tests. *Journal of Cotton Science*, 16, 160-169.

- Moghny, A. M. y Max, M. S. (2015).** Genotypic stability and phenotypic adaptability for some yield traits in some long staple cotton genotypes. *Egyptian Journal Agricultural Research*, 93(1), 85-100.
- Moresco, E. R. (2003).** Progreso genético no melhoramento do algodoeiro no Estado de Mato Grosso. (tesis de Doctorado). Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, San Paulo, Brasil.
- Mukoyi, F., Gasura, E., y Makunde, G. S. (2018).** Implications of correlations and genotype by environment interactions among cotton traits. *African Crop Science Journal*, 26(2), 219-235.
- Nadeem, F., Khan, N. U., Khalid, S., Azam, S., Saeed, B., Jan, T., y Khan, M. R. (2018).** Genotype x environment interaction studies in F₅ populations of upland cotton under agro-climatic condition of Peshawar. *Pure and Applied Biology*, 7(3), 973-991.
- Nawaz, B., Sattar, S., y Malik, T. A. (2019).** Genetic analysis of yield components and fiber quality parameters in upland cotton. *International Multidisciplinary Research Journal*, 9, 13-19.
- OCARIBE (2018).** Observatorio del Caribe colombiano. Región Caribe de Colombia. Recuperado de: <https://www.ocaribe.org/region-caribe?la=es>
- Palomo, G. A., Santamaría, C. J., y Godoy, Á. S. (1998).** Estabilidad del rendimiento y de la calidad de la fibra de 12 genotipos de algodón. *Agricultura Técnica en México*, 24(2), 147-153.
- Queiroz, D. R., Farias F., J. C., Cavalcanti J., J. V., de CARVALHO, L. P., Neder, D. G., Melo G., G. M., ... y Teodoro, P. E. (2019).** Genetic parameters and path analysis of traits of upland cotton for the brazilian semi-arid region. *Bioscience Journal*, 35(6), 1855-1861.
- Riaz, M., Naveed, M., Farooq, J., Farooq, A., Mahmood, A., Rafiq, Ch. M., ... Sadiq, A. (2013).** AMMI analysis for stability, adaptability and GE interaction studies in cotton (*Gossypium hirsutum* L.). *The Journal of Animal and Plant Sciences*, 23(3), 865-871.
- Shahzad, K., Qi, T., Guo, L., Tang, H., Zhang, X., Wang, H., ... y Shahid Iqbal, M. (2019).** Adaptability and stability comparisons of inbred and hybrid cotton in yield and fiber quality traits. *Agronomy*, 9(9), 516.

- Sierra, M., Espitia, M., y Cadena, J. (2017).** Correlación entre rendimiento, estabilidad fenotípica y métodos de selección simultánea en algodón. Universidad de Córdoba. *Revista Temas Agrarios*, 22(1), 21-30.
- Vertel, M., Espitia, M., y Martínez, R. (1999).** Comparación de ocho índices para determinar estabilidad fenotípica en algodón (*Gossypium hirsutum* L). *Agronomía Colombiana*, 16(3), 30-34.
- Yan, W. y Kang, M. S. (2002).** GGE Biplot Analysis: A Graphical Tool for Breeders, Geneticists, and Agronomists. CRC Press, Boca Raton, Florida, U.S.A., ISBN: 978-0849313387., 168-288.
- Zeng, L., y Meredith Jr, W. R. (2009).** Associations among lint yield, yield components, and fiber properties in an introgressed population of cotton. *Crop science*, 49(5), 1647-1654.

CAPÍTULO V
DISCUSIÓN GENERAL

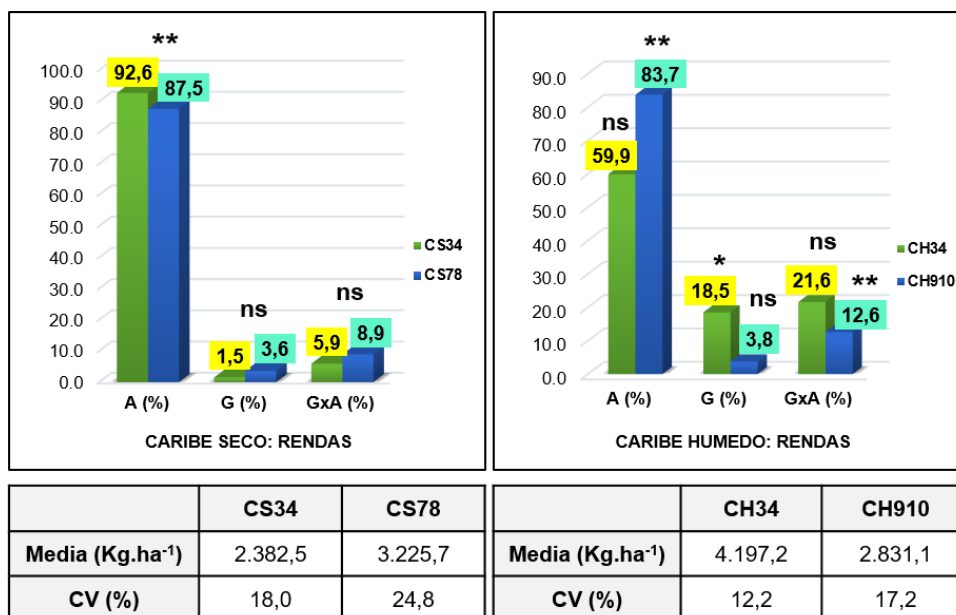
CHAPTER V
GENERAL DISCUSSION

1. RESULTADOS Y DISCUSIÓN GENERAL

1.1. COMPARACIÓN DE LOS RESULTADOS DE LOS ANÁLISIS DE VARIANZAS COMBINADOS (ANAVACO) DEL CARIBE SECO (CS) CON LOS DEL CARIBE HÚMEDO (CH) PARA EL RENDIMIENTO DE ALGODÓN - SEMILLA (RENDAS)

La comparación de los resultados del RENDAS entre ambas subzonas algodoneras se presenta en la Figura 10. La media en kilogramos por hectárea ($\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$) para el Caribe seco fue menor en aproximadamente $1.900 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$, comparada con la del Caribe húmedo. Esto probablemente se deba a las mejores condiciones edafoclimáticas que ofrecen las zonas productoras del Caribe húmedo para la expresión del potencial genético de los genotipos evaluados. Los coeficientes de variación (CV) expresados en porcentaje (%) presentaron una tendencia inversa a la observada para RENDAS, ya que los valores más altos se presentaron en el Caribe seco con 18,0% (2003/2004) y 24,8% (2007/2008), en comparación con el Caribe húmedo que presentó valores de 12,2% (2003/2004) y 17,2% (2009/2010).

Figura 10. Comparación de la participación de las sumas de cuadrados (SC) y la significancia estadística de los cuadrados medios (CM) de las tres fuentes de variación (A, G y GxA), la media y coeficiente de variación (CV) del rendimiento de algodón – semilla (RENDAS) del Caribe seco (CS) con el Caribe húmedo (CH) colombiano, durante las cosechas 2003/2004 (CS34 y CH34), 2007/2008 (CS78) y 2009/2010 (CH910).



** = significativo al 1% ($p < 0,01$); * = significativo al 5% ($p < 0,05$); ns = no significativo; **A** = ambiente en porcentaje; **G** = genotipo en porcentaje; **GxA** = interacción en porcentaje; **CV** = coeficiente de variación en porcentaje.

Los valores altos del CV guardan relación directa con la participación de la fuente de variación ambiental (A) en las sumas de cuadrados (SC), en donde el A presentó mayor participación en ambas cosechas del Caribe seco con 92,6% (2003/2004) y 87,5% (2007/2008), en comparación con el Caribe húmedo que presentó valores de 59,9% (2003/2004) y 83,7% (2009/2010). Estos resultados obtenidos concuerdan con los de Meredith (2003); Campbell et al. (2012); Riaz et al. (2013); Mukoyi et al. (2018) y Shahzad et al. (2019), quienes afirman que el RENDAS varía principalmente por efectos del A, lo cual interpretan como una explicación en la SC superior al 50%. Sin embargo, los resultados de Blanchet et al. (2006) y Gul et al. (2014), sugieren que el A es quien menos contribuye a explicar la variación del RENDAS, siendo el A interpretado con una explicación en la SC inferior de 30%.

Según Yan y Kang (2002); Vallejo y Estrada (2002); Damba (2008) y Mejía (2014), es posible explicar los resultados de ambientes contrastantes cuando las zonas con periodos secos o las zonas con periodos de lluvias superan los niveles óptimos, pero estos resultados conllevan a la identificación de genotipos superiores con adaptaciones a condiciones adversas, mas no de genotipos con los mejores potenciales agronómicos. En este sentido, los resultados de los CV resultan ser útiles para detectar errores y la mejor técnica experimental utilizada, pero también es de utilidad cuando se presentan variaciones contrastantes por el ambiente, y estos CV son quienes detectan el potencial de los genotipos cuando no se presentan en los análisis estadísticos (Damba, 2008). Por esta razón, los valores altos del CV son característicos de las zonas marginales o ambientes desfavorables de producción.

Los resultados de la significancia estadística de los cuadrados medios (CM) para la fuente de variación A, guardan una relación directa con la importancia del A en la SC, dado que presentaron diferencia altamente significativa ($p < 0,01$) en ambas cosechas del Caribe seco, a diferencia del Caribe húmedo, el cual presentó diferencia altamente significativa ($p < 0,01$) para el A en la cosecha 2009/2010, pero no presentó significancia (ns) en la cosecha 2003/2004. Estos resultados se relacionan con los reportados por Yan y Kang (2002); Vallejo y Estrada (2002); Damba (2008) y Mejía (2014), y además, concuerdan con los resultados de Meredith (2003); Campbell et al. (2012); Riaz et al. (2013); Campuzano et al. (2015) y Nadeem et al. (2018), ya que el ambiente es muy relevante entre sus resultados obtenidos.

La fuente de variación genética (G), el Caribe seco en la participación de la SC, fue quien menos contribuyó con valores de 1,5% (2003/2004) y 3,6% (2007/2008), a diferencia de las cosechas del Caribe húmedo que presentaron mayor contribución con 18,5% (2003/2004) y 3,8% (2009/2010). Estos resultados obtenidos no concuerdan con los de Meredith (2003), Campbell et al. (2012), Riaz et al. (2013) y Gul et al. (2014), en donde el ambiente no superó los niveles óptimos para que existiera un efecto enmascarante hacia los genotipos, y por esa razón no hubo una diferencia marcada entre la contribución de las tres fuentes de variación de interés

(A, G y GxA). No obstante, los resultados de Blache et al. (2006), sugieren que, ante ambientes menos desfavorables, el G para la variable dependiente RENDAS en la SC es quien más contribuye con valores superiores al 40%. Si comparamos estos resultados con la significancia estadística de los CM obtenidos en la fuente de variación G, se evidencia una relación directa principalmente en el Caribe seco, ya que no se presentó significancia (ns) en ambas cosechas, a diferencia del Caribe húmedo, el cual presentó diferencia significativa ($p < 0,05$) para la cosecha 2003/2004, y no presentó significancia (ns) en la cosecha 2009/2010.

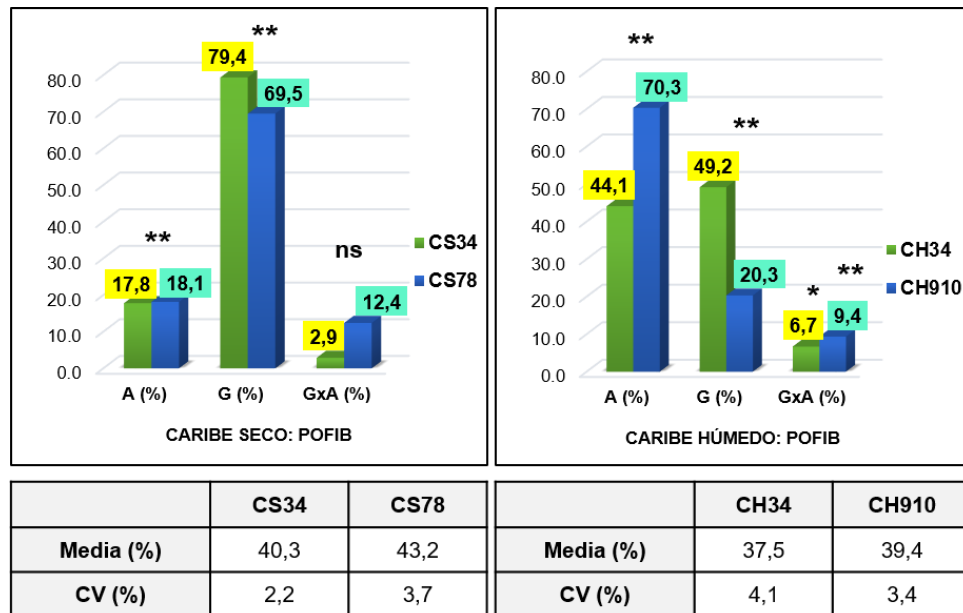
La fuente de variación GxA, en los resultados de la significancia estadística con los CM, tuvo poca relevancia debido a que solo en el Caribe húmedo presentó diferencia altamente significativa ($p < 0,01$) para la cosecha 2009/2010 y no significancia (ns) en la cosecha 2003/2004, a diferencia del Caribe seco que no presentó significancia en ambas cosechas. Estos resultados concuerdan con los de Riaz et al. (2013); Campuzano et al. (2015) y Nadeem et al. (2018), quienes encontraron que la interacción GxA no es tan relevante para los componentes del RENDAS, y difieren con los reportados por Gul et al. (2014), los cuales detectaron diferencia altamente significativa en las tres fuentes de variación (A, G y GxA) en RENDAS. Sin embargo, al comparar estos resultados obtenidos con los resultados de la SC en la fuente de variación GxA, se evidencia una contribución superior a la del G en ambas subzonas, siendo mayor en el Caribe húmedo con valores de 21,6% (2003/2004) y 12,6% (2009/2010), en comparación con los valores del Caribe seco con 5,9% (2003/2004) y 8,9% (2007/2008). Lo cual concuerda con lo reportado por Blanche et al. (2006), quienes encontraron que en ambientes menos desfavorables la interacción supera la contribución del genotipo, pero difiere con lo reportado por Meredith (2003) y Campbell et al. (2012), los cuales detectaron que la interacción no supera el 25% de la contribución en la SC y es la que menos contribuye en el RENDAS.

1.2. COMPARACIÓN DE LOS RESULTADOS DE LOS ANÁLISIS DE VARIANZAS COMBINADOS (ANAVACO) DEL CARIBE SECO (CS) CON LOS DEL CARIBE HÚMEDO (CH) PARA EL PORCENTAJE DE FIBRA (POFIB)

La comparación de los resultados del POFIB entre ambas subzonas aldoneras se presentan en la Figura 11. La media en porcentaje (%) para el Caribe húmedo fue menor en aproximadamente 3%, comparada con la del Caribe seco. Lo cual sugiere que las condiciones edafoclimáticas que ofrecen las zonas productoras del Caribe seco son ligeramente más favorables para el POFIB. Los valores del CV% de manera general resultaron bajos y muy similares para ambas subzonas productoras, presentando para el Caribe húmedo valores de 4,1% (2003/2004) y 3,4% (2009/2010), y para el Caribe seco con 2,2% (2003/2004) y 3,7% (2007/2008). Estos valores resultan ser inferiores comparados con los CV del RENDAS, ello en razón a que el POFIB es una variable oligogénica menos influenciada por el

ambiente, en comparación con la variable RENDAS, adicionalmente también, porque existe mayor participación en la SC por parte del G, siendo el Caribe seco superior con valores de 79,4% (2003/2004) y 69,5% (2007/2008), en comparación con el Caribe húmedo con 49,2% (2003/2004) y 20,3% (2009/2010). Estos resultados se interpretan como un menor efecto del ambiente ante la variable POFIB. Los resultados del Caribe seco concuerdan con los obtenidos por Campbell y Jones (2005), quienes reportaron que el G explicaba la variación de la SC con valores superiores al 50% para el POFIB, y los resultados del Caribe húmedo concuerdan con los de Kerby et al. (2000); Meredith (2003); Blanche et al. (2006); Campbell et al. (2012) y Mejía (2014), los cuales encontraron valores menores del 50% para el POFIB.

Figura 11. Comparación de la participación de las sumas de cuadrados (SC) y la significancia estadística de los cuadrados medios (CM) de las tres fuentes de variación (A, G y GxA), la media y el coeficiente de variación (CV) del porcentaje de fibra (POFIB) del Caribe seco (CS) con el Caribe húmedo (CH) colombiano, durante las cosechas 2003/2004 (CS34 y CH34), 2007/2008 (CS78) y 2009/2010 (CH910).



** = significativo al 1% ($p < 0,01$); * = significativo al 5% ($p < 0,05$); ns = no significativo; **A** = ambiente en porcentaje; **G** = genotipo en porcentaje; **GxA** = interacción en porcentaje; **CV** = coeficiente de variación en porcentaje.

Campbell y Jones (2005), sugirieron que cuando los ambientes son más desfavorables los genotipos tienen un efecto mayor en la contribución de la SC para la variable POFIB, mientras que Blanche et al. (2006), indican que cuando los ambientes son menos desfavorables los genotipos tienen un efecto menor en la contribución de la SC para la variable POFIB. En este sentido, la significancia estadística de los CM para el G, presentaron una relación directa con la importancia

en la SC, ya que se presentó diferencia altamente significativa ($p < 0,01$) en ambas subzonas, siendo mayor el efecto en el Caribe seco que en el Caribe húmedo. Esto posiblemente se deba a que en las zonas secas el cultivo de algodón acumula menos reservas en las semillas y produce más fibra (Zeng y Meredith, 2009).

La fuente de variación A, en la SC presenta un comportamiento diferente entre subzonas, el A en el Caribe seco presentó menor contribución con valores de 17,8% (2003/2004) y 18,1% (2007/2008), en comparación con los valores del Caribe húmedo con 44,1% (2003/2004) y 70,3% (2009/2010). Los resultados del Caribe húmedo concuerdan con los reportados por Kerby et al. (2000); Meredith (2003); Campbell et al. (2012); Mejía (2014); Gul et al. (2016); Mukoyi et al. (2018); Shahzad et al. (2019) y Mejía et al. (2020), quienes realizaron investigaciones similares donde el A explicaba la variación de la SC con valores superiores al 50%, y los resultados del Caribe seco concuerdan con los reportados por Campbell y Jones (2005) y Blanche et al. (2006), los cuales reportaron que la fuente de variación A explica la variación de la SC con valores menores al 50% para la variable POFIB. Si comparamos estos resultados con la significancia estadística de los CM para la fuente de variación A, se presenta una relación directa principalmente en el Caribe húmedo, ya que se detectó diferencia altamente significativa ($p < 0,01$) para ambas subzonas algodoneras, pero con mayor efecto del ambiente en el Caribe húmedo que en el Caribe seco. Esto puede estar sucediendo posiblemente a que en condiciones más favorables el cultivo de algodón acumula mayor reserva en las semillas y produce menos fibra como sucede en el Caribe húmedo, caso contrario en el Caribe seco, donde las condiciones son más desfavorables, y el cultivo de algodón acumula menos reservas en las semillas y utiliza más sus fotosintatos en la producción de fibra (Zeng y Meredith, 2009).

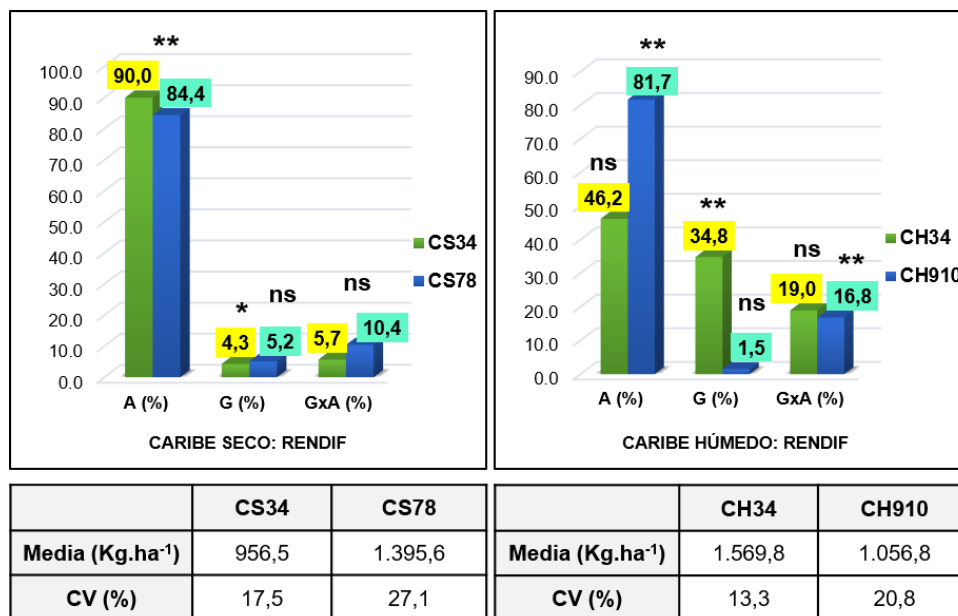
La fuente de variación GxA, en los resultados de la significancia estadística de los CM, tuvo mayor importancia en el Caribe húmedo, presentando diferencia altamente significativa ($p < 0,01$) y diferencia significativa ($p < 0,05$) para las cosechas 2009/2010 y 2003/2004 respectivamente, a diferencia del Caribe seco que no presentó significancia (ns) en ambas cosechas. Los resultados del Caribe seco concuerdan con Mejía (2014) y Maleia et al. (2019); quien reportó que la interacción GxA para POFIB no es relevante. Si comparamos estos resultados con la importancia de la fuente de variación GxA, los resultados del Caribe seco presentan una relación directa, debido a que tienen una baja contribución en la SC con valores de 2,9% (2003/2004) y 12,4% (2007/2008), a diferencia del Caribe húmedo que no presentó una relación directa, pero tuvo valores bajos en la contribución a la SC de 6,7% (2003/2004) y 9,4% (2009/2010). Estos resultados en la contribución a la SC concuerdan con los reportados por Kerby et al. (2000); Meredith (2003); Campbell y Jones (2005); Campbell et al. (2012), los cuales encontraron que la interacción GxA presenta la menor contribución para la variable POFIB, y difieren con los resultados reportados por Blanche et al. (2006), quienes encontraron que la interacción GxA para POFIB no es la de menor contribución.

1.3. COMPARACIÓN DE LOS RESULTADOS DE LOS ANÁLISIS DE VARIANZAS COMBINADOS (ANAVACO) DEL CARIBE SECO (CS) CON LOS DEL CARIBE HÚMEDO (CH) PARA EL RENDIMIENTO DE FIBRA (RENDIF)

La comparación de los resultados del RENDIF entre ambas subzonas aldoneras se presentan en la Figura 12. La media en $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ para el Caribe seco fue superior en una de las cosechas, comparada con la del Caribe húmedo. Esta respuesta se explica principalmente por las condiciones edafoclimáticas óptimas diferentes entre subzonas para que los genotipos expresen su potencial genético en algunos caracteres, en este sentido RENDAS es mayor en el CH, POFIB es mayor en el CS, y RENDIF que se origina de las dos variables anteriores, resulta ser mayor en el CS de igual manera que POFIB. Sin embargo, los CV% del RENDIF presentaron una tendencia similar a la observada en RENDAS, siendo mayor en el Caribe seco con valores de 17,5% (2003/2004) y 27,1% (2007/2008), en comparación con el Caribe húmedo con 13,3% (2003/2004) y 20,8% (2009/2010). La tendencia en la similitud para los CV entre RENDAS y RENDIF, se explica por una alta correlación genotípica y fenotípica entre las dos variables poligénicas cuantitativas (Espitia et al., 2005; Espitia et al., 2008; Sierra et al., 2017; Zeng y Meredith, 2009; Newaz et al., 2019; Queiroz et al., 2019), y también por la manera en cómo se calcula la variable dependiente RENDIF, es mediante el producto del RENDAS por POFIB sobre 100 ($\text{RENDAS}\times\text{POFIB}/100$) para cada genotipo, de tal forma que todo el efecto ambiental que tiene RENDAS, una gran parte la recibe el RENDIF, probablemente tales efectos hacen que la participación en la SC y la significancia de los CM en las tres fuentes de variación de interés (A, G y GxA) resulten similares para estas variable dependientes RENDAS y RENDIF.

Los resultados de la importancia de la fuente de variación A, en la SC presenta un comportamiento diferente entre subzonas, siendo mayor en el Caribe seco con valores de 90,0% (2003/2004) y 84,4% (2007/2008), en comparación con el Caribe húmedo con 46,2% (2003/2004) y 81,7% (2009/2010). Esta variable dependiente RENDIF por ser cuantitativa y poligénica tiene un gran efecto por el A, resultados similares han sido reportados por DeLacy et al. (1999) citado por Meredith et al. (2012), y concuerdan con los resultados de Kerby et al. (2000); Meredith (2003); Blanche et al. (2006) y Campbell et al. (2012); Mukoyi et al. (2018); Shahzad et al. (2019) y Mejía et al. (2020), en donde la contribución del ambiente en la SC es superior al 70%. Los resultados de la significancia estadística de los CM presentaron diferencia altamente significativa ($p<0,01$) para ambas cosechas del Caribe seco, a diferencia del Caribe húmedo, el cual presentó diferencia altamente significativa en la cosecha 2009/2010, y no presentó significancia (ns) en la cosecha 2003/2004, similar a lo encontrado en RENDAS.

Figura 12. Comparación de la participación de las sumas de cuadrados (SC) y la significancia estadística de los cuadrados medios (CM) de las tres fuentes de variación (A, G y GxA), la media y el coeficiente de variación (CV) del rendimiento de fibra (RENDIF) del Caribe seco (CS) con el Caribe húmedo (CH) colombiano, durante las cosechas 2003/2004 (CS34 y CH34), 2007/2008 (CS78) y 2009/2010 (CH910).



** = significativo al 1% ($p < 0,01$); * = significativo al 5% ($p < 0,05$); ns = no significativo; **A** = ambiente en porcentaje; **G** = genotipo en porcentaje; **GxA** = interacción en porcentaje; **CV** = coeficiente de variación en porcentaje.

La fuente de variación G del RENDIF, si analizamos las cosechas 2003/2004 (CS), 2007/2008 (CS), y 2009/2010 (CH), en la participación de la SC, el G fue quien menos contribuyó con valores de 4,3%, 5,2% y 1,5% respectivamente. Mientras que la cosecha 2003/2004 (CH) presentó un comportamiento diferente a las cosechas anteriores con 34,8%. Estos resultados de la cosecha 2003/2004 (CH) no concuerdan con los reportados por DeLacy et al. (1999) citado por Meredith et al. (2012); Kerby et al. (2000); Meredith (2003); Campbell y Jones (2005); Blanche et al. (2006) y Campbell et al. (2012), quienes reportaron que la contribución por el G en la SC para el RENDIF no superó los valores de 12%. Si comparamos estos resultados con la significancia estadística de los CM obtenidos en la fuente de variación G, se evidencia una relación directa principalmente con las cosechas 2007/2008 (CS) y 2009/2010 (CH), las cuales no presentaron significancia (ns), a diferencia de la cosecha 2003/2004 (CS) y 2003/2004 (CH) que presentaron diferencia significativa ($p < 0,05$) y diferencia altamente significativa ($p < 0,01$) respectivamente.

La fuente de variación GxA, en los resultados de los CM, para las cosechas 2003/2004 (CS), 2007/2008 (CS), y 2003/2004 (CH) no presentaron significancia (ns), mientras que la cosecha 2009/2010 (CH) presentó diferencia altamente significativa ($p < 0,01$), de esta manera, es la única cosecha que no concuerda con lo reportado por Moresco (2003), quien sugiere que la interacción GxA no es significativa y relevante para esta variable dependiente RENDIF. Sin embargo, en la importancia de la fuente de variación GxA en la SC, de manera general se presentan valores superiores a la contribución del genotipo, y esta contribución de la GxA es mayor en el Caribe húmedo con valores de 19,0% (2003/2004) y 16,8% (2009/2010), en comparación con el Caribe seco con 5,7% (2003/2004) y 10,4% (2007/2008). Estos resultados obtenidos concuerdan con los reportados por DeLacy et al. (1999) citado por Meredith et al. (2012); Kerby et al. (2000); Meredith (2003); Campbell y Jones (2005); Blanche et al. (2006) y Campbell et al. (2012), los cuales reportaron que la contribución de la interacción GxA en la SC para RENDIF no superó los valores de 20%.

1.4. COMPARACIÓN DE LOS RESULTADOS EN LAS EVALUACIONES DE LA IMPORTANCIA DE LAS FUENTES DE VARIACIÓN DE INTERÉS (A, G y GxA) DEL CARIBE SECO (CS) VERSUS CARIBE HÚMEDO (CH) PARA LAS TRES VARIABLES DEPENDIENTES (RENDAS, POFIB y RENDIF)

La comparación de los resultados de las tres variables dependientes, RENDAS, POFIB y RENDIF, se presentan en la Tabla 19. Esta comparación presenta datos negativos y positivos, ya que son el producto de la resta entre cosechas en el orden de Caribe húmedo menos Caribe seco (CH-CS) realizadas para cada variable dependiente, utilizando los resultados de la importancia de las fuentes de variación de las SC. Por esa razón, todos los valores negativos obtenidos corroboran que la fuente de variación comparada fue mayor en el Caribe seco, y los valores positivos indican que fue mayor en el Caribe húmedo. Nótese que RENDAS y RENDIF presentaron mayor contribución a la SC por la fuente de variación A, la cual presentó mayor efecto en ambas cosechas del Caribe seco. No obstante, la variable POFIB se comportó de manera diferente, debido a que el G fue quien realizó la mayor contribución a la SC en ambas cosechas del Caribe seco. Los valores positivos obtenidos para RENDAS y RENDIF de manera general fueron en las fuentes de variación G y GxA, indicando que tienen mayor efecto y mayor contribución a la SC en el Caribe húmedo, a diferencia del POFIB que presentó de manera general valores positivos en las fuentes de variación A y GxA, sugiriendo que tienen mayor efecto y mayor contribución a la SC en el Caribe húmedo.

Se destaca que la fuente de variación GxA, presentó valores muy similares en los promedios de las variables RENDAS y RENDIF, lo cual señala que este efecto no es importante en su contribución a las SC en el Caribe seco y Caribe húmedo. Además, de manera general tiene el menor efecto, principalmente en la variable POFIB, ya que presentó el menor efecto en ambas cosechas de ambas subzonas

algodoneras. En este sentido, si un investigador quiere determinar el número de ambientes óptimos de evaluación, se le dificulta principalmente porque no se conoce la magnitud de la interacción GxA (Yan y Kang, 2002), pero se puede sugerir o se cree conveniente aumentar el número de ambientes de evaluación para reducir los efectos ambientales predecibles y lograr desarrollar e identificar genotipos superiores para una gama menor de ambientes (Sprague y Eberhart, 1977 citado por Damba, 2008).

Tabla 19. Comparación de los resultados en la resta de Caribe húmedo menos Caribe seco (CH-CS) de las sumas de cuadrados (SC) para rendimiento de algodón – semilla (RENDAS), porcentaje de fibra (POFIB) y rendimiento de fibra (RENDIF).

DIFERENCIA (%SC)									
Cosechas	Variables dependientes								
	RENDAS			POFIB			RENDIF		
	A	G	GxA	A	G	GxA	A	G	GxA
CH34-CS34	-32,7	17,0	15,7	26,3	-30,2	3,8	-43,8	30,5	13,3
CH910-CS78	-3,8	0,2	3,7	52,2	-49,2	-3,0	-2,7	-3,7	6,4
Media	-18,3	8,6	9,7	39,3	-39,7	0,4	-23,2	13,4	9,8

Si se tienen en cuenta todos los resultados obtenidos en la importancia de las fuentes de variación, de manera individual por cosechas, concuerdan con los resultados reportados por Kerby et al. (2000); Meredith (2003); Campbell y Jones (2005); Blanche et al. (2006); Campbell et al. (2012); Riaz et al. (2013); Meredith et al. (2012); Mejía (2014) y Gul et al. (2014), quienes realizaron investigaciones similares, principalmente Meredith et al. (2012), los cuales realizaron una revisión de literatura citando varios estudios y comparando los resultados en los parámetros de rendimiento. Sin embargo, es lo más semejante a esta investigación, de manera que no se han reportado trabajos que comparen los resultados entre subzonas productoras para determinar la fuente de variación más importante, y que comparen el comportamiento de las fuentes de variación entre significancia e importancia, utilizando los ANAVACO. Por lo tanto, se asume esta investigación como una de las primeras en cumplir tales objetivos, contribuyendo a próximas investigaciones a una continuidad con mayor criterio de discusión.

2. CONCLUSIONES GENERALES

RENDAS y RENDIF, en ambas subzonas algodoneras fueron altamente influenciadas por el A, presentando diferencia altamente significativa y contribución a la SC superior al 80%, además presentaron valores altos de coeficiente de variación, indicando que hay mayor variación para la subzona Caribe seco.

POFIB, en la subzona Caribe seco presentó para el G diferencia altamente significativa y contribución a la SC superior al 70%, mientras que en la subzona Caribe húmedo presentó para el A diferencia altamente significativa y contribución a la SC superior al 55%. Sin embargo, POFIB presentó los valores más bajos en los coeficientes de variación, con mayor variación para la subzona Caribe húmedo.

A nivel de subzonas, en el Caribe seco, POFIB y RENDIF presentaron los mejores promedios, y en el Caribe húmedo, RENDAS presentó el mejor promedio, sugiriendo que hay mayor producción de fibra en el Caribe seco, y mayor producción de semillas en el Caribe húmedo.

3. RECOMENDACIONES

- a) Aumentar el número de cosechas de evaluación en próximas investigaciones, con el fin de generar un análisis contrastante ante las entidades colombianas que trabajan con el mejoramiento del cultivo de algodón.

- b) Aumentar el número de ambientes para cada prueba de evaluación agronómica (PEA), debido a que el ambiente es quien explica la variación de los resultados, este efecto enmascara los genotipos y no permite que se seleccionen los mejores materiales. Por lo tanto, se hace una recomendación a las entidades que mejoran el cultivo de algodón, a que aumenten el número de ambientes por prueba en el Caribe seco y Caribe húmedo colombiano.

4. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Blanche, S. B., Myers, G. O., Zumba, J. Z., Caldwell, D., y Hayes, J. (2006).** Stability Comparisons Between Conventional And Near-isogenic Transgenic Cotton Cultivars. *The Journal of Cotton Science*. 10, 17-28.
- Campbell, B. T. y Jones, M. A. (2005).** Assessment of genotype x environment interactions for yield and fiber quality in cotton performance trials. *Euphytica*. 144(1), 69-78.
- Campbell, B. T., Chee, P. W., Lubbers, E., Bowman, D. T., Meredith, W. R., Johnson, J., y Jones, D. C. (2012).** Dissecting genotype x environment interactions and trait correlations present in the Pee Dee cotton germplasm collection following seventy years of plant breeding. *Crop Science*. 52(2), 690-699.
- Campuzano D., L. F., Caicedo, G. S., y Guevara, A. J. (2015).** Determinación de atributos en genotipos de algodón (*Gossypium hirsutum* L.) en la rotación maíz-soya asociados a suelos ácidos mejorados de la altillanura colombiana. *Ciencia y Tecnología Agropecuaria*. 16(2), 251-263.
- Damba, G. P. (2008).** Evaluación de métodos para análisis de estabilidad en diferentes ambientes en genotipos de yuca (*Manihot esculenta* Crantz). (tesis de Maestría). Universidad nacional de Colombia, Palmira, Colombia.
- Espitia M., Vallejo F. y Baena D. (2005).** Correlaciones fenotípicas, genéticas y ambientales en *Cucurbita moschata* Duch. Ex Poir. *Revista Acta Agronómica*. 54(1), 1-9.
- Espitia, M., Araméndiz, 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.
- Gul, S., Khan, N. U., Batool, S., Baloch, M. J., Munir, M., Sajid, M., y Kazmi, S. F. (2014).** Genotype by environment interaction and association of morpho-yield variables in upland cotton. *Journal of Animal and Plant Sciences*. 24(1), 262-271.
- Gul, S., Khan, N. U., Gul, R., Baloch, M., Latif, A., y Khan, I. A. (2016).** Genotype by environment and phenotypic adaptability studies for yield and fiber variables in upland cotton. *Journal of Animal and Plant Sciences*, 26(3), 776-786.
- Kerby, T. A., Burgess, J., Bates, M., Albers, D. y Lege, K. (2000).** Partitioning variety and environmental contribution to variation in yield, plant growth, and fiber quality. *The Proceedings of the Beltwide Cotton Conference*. 1, 528-532

- Maleia, M. P., Jamal, E. C., Savanguane, J. W., João, J., y Teca, J. O. (2019).** Stability and Adaptability of Cotton (*Gossypium Hirsutum* L.) Genotypes under Multi Environmental Conditions in Mozambique. *Journal of Agronomy and Agricultural Science*, 2, 017.
- Mejía S., J. R., Galeano M., C. H., Burbano, E. E., Vallejo C., F. A., y Arango, M. (2020).** Interacción genotipo por ambiente de nueve variedades de algodón para los Valles interandinos en Colombia. *Agronomía Mesoamericana*, 31(1), 31-42.
- Mejía, S. J. (2014).** Evaluación de la interacción genotipo por ambiente para variedades transgénicas de algodón *Gossypium hirsutum* L. (tesis de Maestría). Universidad nacional de Colombia, Palmira, Colombia.
- Meredith Jr., W. R. (2003).** Thirty-six years of Regional High Quality Variety Tests. *Beltwide Cotton Conferences, Nashville, TN-Journal*. 6-10, 2561-2566.
- Meredith Jr., W. R., Boykin, D. L., Bourland, F. M., Caldwell, W. D., Campbell, B. T., Gannaway, J. R., y Zhang, J. (2012).** Genotype x environment interactions over seven years for yield, yield components, fiber quality, and gossypol traits in the regional high quality tests. *Journal of Cotton Science*. 16, 160-169.
- Moresco, E. R. (2003).** Progreso genético no melhoramento do algodoeiro no Estado de Mato Grosso. (tesis de Doctorado). Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, San Paulo, Brasil.
- Mukoyi, F., Gasura, E., y Makunde, G. S. (2018).** Implications of correlations and genotype by environment interactions among cotton traits. *African Crop Science Journal*, 26(2), 219-235.
- Nadeem, F., Khan, N. U., Khalid, S., Azam, S., Saeed, B., Jan, T., y Khan, M. R. (2018).** Genotype x environment interaction studies in F₅ populations of upland cotton under agro-climatic condition of Peshawar. *Pure and Applied Biology*. 7(3), 973-991.
- Nawaz, B., Sattar, S., y Malik, T. A. (2019).** Genetic analysis of yield components and fiber quality parameters in upland cotton. *International Multidisciplinary Research Journal*, 9, 13-19.
- Queiroz, D. R., Farias F., J. C., Cavalcanti J., J. V., de CARVALHO, L. P., Neder, D. G., Melo G., G. M., ... y Teodoro, P. E. (2019).** Genetic parameters and path analysis of traits of upland cotton for the brazilian semi-arid region. *Bioscience Journal*, 35(6), 1855-1861.

- Riaz, M., Naveed, M., Farooq, J., Farooq, A., Mahmood, A., Rafiq, Ch. M., ... Sadiq, A. (2013).** AMMI analysis for stability, adaptability and GE interaction studies in cotton (*Gossypium hirsutum* L.). *The Journal of Animal and Plant Sciences*. 23(3), 865-871.
- Shahzad, K., Qi, T., Guo, L., Tang, H., Zhang, X., Wang, H., ... y Shahid Iqbal, M. (2019).** Adaptability and stability comparisons of inbred and hybrid cotton in yield and fiber quality traits. *Agronomy*, 9(9), 516.
- Sierra, M., Espitia, M., y Cadena, J. (2017).** Correlación entre rendimiento, estabilidad fenotípica y métodos de selección simultánea en algodón. Universidad de Córdoba. *Revista Temas Agrarios*. 22(1), 21-30.
- Vallejo, F. A., y Estrada, E. I. (2002).** Mejoramiento genético de plantas. Universidad Nacional de Colombia, sede Palmira (UNAPAL), Feriva S.A. ISBN: 958-8095-11-5., 225-227.
- Yan, W. y Kang, M. S. (2002).** GGE Biplot Analysis: A Graphical Tool for Breeders, Geneticists, and Agronomists. CRC Press, Boca Raton, Florida, U.S.A., ISBN: 978-0849313387., 168-288.
- Zeng, L., y Meredith Jr, W. R. (2009).** Associations among lint yield, yield components, and fiber properties in an introgressed population of cotton. *Crop science*, 49(5), 1647-1654.