

Determinación de los coeficientes genéticos en maíz para ser utilizados en el modelo CERES-Maize

Por

Marilis Esteves Nieves

Tesis sometida en cumplimiento parcial de los requisitos para el grado de

MAESTRO EN CIENCIAS

en

Agronomía

UNIVERSIDAD DE PUERTO RICO
RECINTO UNIVERSITARIO DE MAYAGÜEZ
2007

Aprobado por:

Arístides Armstrong, MS.
Miembro, Comité Graduado

Fecha

Miguel A. Muñoz, Ph.D.
Miembro, Comité Graduado

Fecha

Elvin Román Paoli, Ph.D.
Presidente, Comité Graduado

Fecha

Miguel Muñoz, Ph.D.
Director de Departamento

Fecha

Lucas Avilés, MS.
Representante de Estudios Graduados

Fecha

Dedicatoria

- A mi hija Miralis Cruz por que es mi motivación para seguir adelante. Por todo ese cariño, energía y talento con el que día a día me llenas de felicidad. “Te amo hasta el infinito y más allá”.
- A mi esposo Ricardo Irizarry por decirme siempre las palabras correctas para alentarme a continuar luchando. Por tu confianza en mi, por todo tu amor y energía para enseñarme a que las cosas que cuestan trabajo son las que nos llenan de orgullo y felicidad. “Te Amo”.
- A mis padres Mariano Esteves y Josefina Nieves por darme los valores y la educación necesaria para ser una persona exitosa.
- A mis hermanos Lizy y Josmar por estar siempre presente brindándome su cariño y confianza para seguir adelante.
- A mis amigos quienes hicieron del RUM un lugar inolvidable.

Agradecimientos

- A Dios por darme salud y sabiduría para lograr mis metas.
- Al Agro. Salvio Torres padre y el Dr. Miguel A. Muñoz por su confianza al recomendarme como estudiante graduada, haciendo posible el comienzo de mi carrera.
- Al Dr. Elvin Román Paoli por brindarme su ayuda siempre que solicité de ella.
- A mi comité graduado el Dr. Elvin Román Paoli, Dr. Miguel A. Muñoz y al Profesor Arístides Armstrong por haber formado parte de mi equipo de trabajo y por brindarme las herramientas necesarias para completar el mismo.
- A todos los empleados de la Subestación Experimental Agrícola de Lajas por su colaboración y el cariño que me brindaron siempre.
- A las estudiantes graduadas Nancy Arocho e Isabelle Giuliani por su colaboración en el trabajo de campo.
- A mi familia y amigos quienes son mi inspiración para crecer como profesional y como ser humano.
- A mis secretarias favoritas Evelyn y Gloria por esas personalidades tan alegres, siempre dispuestas a ayudar.

Abstract

An investigation was conducted in the Agricultural Experimental Station at Lajas, Puerto Rico using crop models to determine maize physiological performance. The objective of this investigation is to determine the genetic coefficients of three varieties of maize; Mayorbela (M), Diente de Caballo (DC), Chulo (Ch) and a hybrid improved for *Bacillus thuringiensis* (Bt). Four of the most important genetic coefficients for maize were determined; the juvenile phase of plant (P1), growth of the grain from thermal time from silking to physiological maturity (P5), potential number of grains per cob (G2) and the linear dry matter accumulation in grain (Kernel/cob) (G3). The investigation is composed of two experiments conducted on 2004 and 2005. CERES-Maize was validated utilizing published data for the same varieties evaluated in the field using genetics coefficients estimated in Lajas during 2004 and 2005. The statistic analyses showed that M produced the highest yield on 2004 with 4,184 kg/ha. While the Bt hybrid obtained the highest number of kernel/cob with 616. The estimated values for P1 were 219, 253, 252 and 362 heat units for Bt, M, DC, and Ch, respectively. Estimated P5 values corresponded to 660, 720, 673, and 395 heat units for Bt, M, DC, and Ch, respectively. The G3 values obtained were 7.7, 6.7, 6.2 and 3.5 mg/day for Bt, M, DC and Ch, respectively. No significant differences were found for leaf area and biomass accumulation. For the 2005 experiment, the Bt hybrid obtained the highest yield with 3,845 kg/ha and highest kernel number with 590 kernel/cob. No significant differences were found for the number of kernel/cob for M, DC, Ch and Bt hybrid. G3 values were 7.7, 6.7 5.9, and 5.7 mg/day, for DC, Bt, M, and Ch, respectively. The P5 values were similar than those published for maize varieties with, 756, 755, 795, and 777 heat units

for Bt, M, DC and Ch, respectively. The values of P1 were greater to those of year 2004. For 2005, P1 estimates were 352 for Bt, 422 for M, 479 for DC and 405 for Ch. Similar than 2004, no significant differences were found for leaf area and the biomass. The variables validated were leaf area index, biomass, kernel number/cob, total leaf number, day of tassel initiation, physiological maturity date and yield. CERES-Maize did not predict yield accurately. In some cases the model overestimates simulated yields around 70% and other underestimates it about 30%.

Resumen

En la Subestación Experimental Agrícola de Lajas se llevó a cabo una investigación con el fin de determinar el comportamiento fisiológico de variedades locales de maíz. El objetivo para esta investigación fue determinar los coeficientes genéticos de tres variedades de maíz; Mayorbela (M), Diente de Caballo (DC), Chulo (Ch) y un híbrido mejorado para Bt (*Bacillus thuringiensis*) (Bt). Se determinaron cuatro de los coeficientes genéticos más importantes; la fase juvenil del cultivo (P1), período de llenado del grano desde florecida a madurez fisiológica (P5), el número potencial de granos por mazorca (G2) y la acumulación lineal de materia seca en el grano (G3). Esta investigación se compone de dos experimentos establecidos en febrero 2004 y marzo 2005. Se validó el modelo CERES-Maize utilizando datos publicados de las variedades evaluadas utilizando los coeficientes genéticos estimados en Lajas durante 2004 y 2005. Para el experimento del 2004 los análisis estadísticos mostraron que hubo diferencia significativa para el rendimiento. La variedad M obtuvo el mayor rendimiento con 4,184 kg/ha. El híbrido Bt obtuvo el mayor número de granos/mazorca correspondiente a 616 granos/mazorca. Los valores de G3 registrados fueron 7.7, 6.7, 6.2 y 3.5 mg/día para Bt, M, DC y Ch, respectivamente. Para P1 los valores observados, en unidades termales fueron 219 para Bt, 253 para M, 252 para DC y 362 para Ch. Los valores de P5 fueron valores similares a los publicados a otras variedades de maíz excepto para Ch. Estos valores correspondieron a 660 (Bt), 720 (M), 673 (DC), y 395 (Ch). El análisis de varianza indicó que no hubo diferencia significativa entre las variedades para el índice de área foliar y la biomasa. Para el segundo experimento en el 2005 el rendimiento más alto lo obtuvo el híbrido Bt con

3,845 kg/ha. No hubo diferencia significativa para el número de granos/mazorca para las variedades M, DC, Ch y el híbrido Bt. Para G3 los valores encontrados fueron 7.7, 6.7, 5.9 y 5.7 mg/día para DC, Bt, M, y Ch, respectivamente. Los valores de P5 muestran valores esperados para todas las variedades estos corresponden a 756, 755, 795, y 777 unidades termales para Bt, M, DC y Ch, respectivamente. Los valores de P1 resultaron mayores a los del 2004. Para el año 2005, P1 constituyó 352 para Bt, 422 para M, 479 para DC y 405 para Ch. La respuesta en términos estadísticos para el área foliar y la biomasa fue similar al 2004. Se válido el modelo CERES-Maize para las variables; índice de área foliar (IAF), biomasa, número de granos/mazorca, número de hojas total, fecha de florecida, fecha de madurez fisiológica y el rendimiento. CERES-Maize no resultó certero en predecir el rendimiento. En algunos casos el modelo sobreestimó el rendimiento alrededor de un 70% y otros lo subestimó alrededor de un 30%.

© Marilis Esteves Nieves, 2007

Tabla de Contenido

	Página
1. Introducción	1
2. Objetivos	2
3. Revisión de Literatura	3
3.1 Descripción de la planta de maíz.	3
3.2 Plagas más importantes de la planta de maíz.	3
3.3 Etapas de desarrollo de la planta de maíz.	4
3.4 Coeficientes genéticos	6
3.5 Modelos de simulación de cultivos	8
3.6 Historia del modelo CERES-Maize	9
3.7 Modelo CERES-Maize	10
3.8 Validación del modelo CERES-Maize.	10
4. Materiales y Métodos	12
4.1 Descripción del área experimental	12
4.2 Descripción del experimento	13
4.2.1 Experimento 2004	13
4.2.2 Experimento 2005	14
4.3 Descripción de los tratamientos	14
4.4 Descripción y determinación de las variables bajo estudio.	15
4.5 Validación del Modelo CERES-Maize	24
5. Resultados y Discusión	26
5.1 Primer Experimento (febrero-junio 2004)	26
5.2 Segundo Experimento (marzo-junio 2005)	32
5.3 Validación del modelo CERES-Maize utilizando coeficientes de años contrarios.	45
5.4 Validación del modelo CERES-Maize utilizando coeficientes del mismo año.	69
6. Conclusión	80
7. Recomendaciones	82
8. Literatura Citada	83
9. Apéndices	87

Lista de Cuadros

		Página
Cuadro 3.1	Definición de los coeficientes genéticos utilizados en CERES-Maize.	7
Cuadro 3.2	Insumos experimentales requeridos por CERES-Maize.	12
Cuadro 4.1	Referencias utilizadas para validar el modelo CERES-Maize.	25
Cuadro 5.1	Etapas fenológicas de las variedades de maíz sembradas durante 2004 en Lajas, P.R.	27
Cuadro 5.2	Estimados de coeficientes genéticos de las variedades de maíz sembradas en Lajas durante 2004.	29
Cuadro 5.3	ANOVA para índice de área foliar obtenido en Lajas durante 2004.	32
Cuadro 5.4	ANOVA para la biomasa obtenida en Lajas durante 2004.	33
Cuadro 5.5	ANOVA para el rendimiento de las variedades DC, "Bt", M y Ch sembradas en el 2004.	35
Cuadro 5.6	Etapas Fenológicas de las variedades de maíz sembradas durante 2005.	37
Cuadro 5.7	Coefficientes genéticos de las variedades de maíz sembradas en Lajas durante 2005.	39
Cuadro 5.8	ANOVA para índice de área foliar obtenido durante 2005.	42
Cuadro 5.9	ANOVA para la biomasa obtenida durante 2005.	43
Cuadro 5.10	ANOVA para el rendimiento de las variedades DC, "Bt" y M, sembradas durante 2005.	44

Lista de Figuras

		Página
Figura 4.1	Ilustración de la primera hoja de la planta; muestra como se identifica la germinación.	16
Figura 4.2	Instrumento utilizado para medir área foliar (LI 3100).	17
Figura 4.3	Planta seleccionada para el muestreo de número de hojas total.	18
Figura 4.4	Fotografía de la yema apical de maíz diferenciada observada a través de un estereoscopio. Tomada de Ritchie et al. (1992).	19
Figura 4.5	Fotografía de Inflorescencia masculina de maíz.	20
Figura 4.6	Fotografía de Inflorescencia femenina de maíz.	21
Figura 4.7	Fotografía demostrando granos recolectados para la determinación de G3.	22
Figura 4.8	Semillas de maíz donde se observa la línea negra que identifica la madurez fisiológica.	23
Figura 5.1	Número de hojas total para las variedades de maíz sembradas durante 2004 en Lajas P.R.	28
Figura 5.2	Análisis de Regresión lineal entre días después de la fecha de florecida y el peso de la semilla donde la pendiente de la recta es un estimado de G3 (2004).	30
Figura 5.3	Número potencial de granos por mazorca (G2) para cada variedad de maíz sembrado durante 2004 en Lajas, P.R.	31
Figura 5.4	Índice de área foliar para las variedades M, "Bt" y DC sembradas en Lajas durante 2004.	32
Figura 5.5	Biomasa acumulada para las variedades M, "Bt" y DC sembradas en Lajas durante 2004.	34
Figura 5.6	Rendimiento obtenido para las variedades M, "Bt", Ch y DC sembradas en Lajas durante 2004.	35
Figura 5.7	Número de hojas total para las variedades M, Ch, "Bt" y DC sembradas en Lajas durante 2005.	38

Figura 5.8	Análisis de regresión lineal entre días después de la fecha de florecida y el peso de la semilla donde la pendiente de la recta es un estimado de G3 (2005).	40
Figura 5.9	Número potencial de granos por mazorca para cada variedad sembrada en Lajas durante 2005.	41
Figura 5.10	Índice de área foliar para las variedades M, “Bt” y Ch sembradas en Lajas, durante 2005.	42
Figura 5.11	Biomasa para las variedades M, “Bt” y Ch sembradas en Lajas durante 2005.	44
Figura 5.12	Rendimiento obtenido para las variedades de maíz, Ch, M y “Bt” obtenido durante 2005.	45
Figura 5.13	Validación de CERES-Maize para el rendimiento obtenido en Lajas durante 2004 y las publicaciones citadas en el Cuadro 4.1 utilizando los coeficientes estimados en Lajas en el año 2005.	47
Figura 5.14	Validación de CERES-Maize para el rendimiento obtenido en Lajas durante 2005 y las publicaciones citadas en el Cuadro 4.1 utilizando los coeficientes estimados en Lajas en el año 2004.	47
Figura 5.15	Validación de CERES-Maize para el rendimiento obtenido en Lajas durante 2004 utilizando los coeficientes genéticos estimados en Lajas en el año 2005.	49
Figura 5.16	Validación de CERES-Maize para el rendimiento obtenido en Lajas durante 2005 utilizando los coeficientes genéticos estimados en Lajas en el año 2004.	49
Figura 5.17	Validación de CERES-Maize para el rendimiento obtenido de las publicaciones citadas en el Cuadro 4.1 utilizando los coeficientes genéticos estimados en Lajas en el año 2004.	51
Figura 5.18	Validación de CERES-Maize para el rendimiento de las publicaciones citadas en Cuadro 4.1 utilizando los coeficientes genéticos estimados en Lajas en el año 2005.	51

Figura 5.19	Validación de CERES-Maize para la fecha de florecida obtenida durante 2004 utilizando los coeficientes genéticos estimados en Lajas en el año 2005.	56
Figura 5.20	Validación de CERES-Maize para la fecha de florecida obtenida durante 2005 utilizando los coeficientes genéticos estimados en Lajas en el año 2004.	56
Figura 5.21	Validación de CERES-Maize para la fecha de florecida obtenida durante 2004 utilizando los coeficientes genéticos estimados en Lajas en el año 2005, añadiendo los datos del experimento de Flores et al. (2001).	57
Figura 5.22	Validación de CERES-Maize para la fecha de florecida obtenida durante 2005 utilizando los coeficientes genéticos estimados en Lajas en el año 2004, añadiendo los datos del experimento de Flores et al. (2001).	57
Figura 5.23	Validación de CERES-Maize para el número de hojas total obtenido durante 2004 utilizando los coeficientes genéticos estimados en Lajas en el año 2005.	59
Figura 5.24	Validación de CERES-Maize para el número de hojas total obtenido durante 2005 utilizando los coeficientes genéticos estimados en Lajas en el año 2004.	59
Figura 5.25	Validación de CERES-Maize para el índice de área foliar obtenido durante 2004 utilizando los coeficientes genéticos estimados en Lajas en el año 2005.	61
Figura 5.26	Validación de CERES-Maize para el índice de área foliar obtenido durante 2005 utilizando los coeficientes genéticos estimados en Lajas en el año 2004.	61
Figura 5.27	Validación de CERES-Maize para el número de granos por mazorca obtenido durante 2004 utilizando los coeficientes genéticos estimados en Lajas en el año 2005.	63
Figura 5.28	Validación de CERES-Maize para el número de granos por mazorca obtenido durante 2005 utilizando los coeficientes genéticos estimados en Lajas en el año 2004.	64

Figura 5.29	Validación de CERES-Maize para el número de granos por mazorca obtenido durante 2004 utilizando los coeficientes genéticos estimados en Lajas en el año 2005 añadiendo los datos del experimento de Flores et al. (2001).	64
Figura 5.30	Validación de CERES-Maize para el número de granos por mazorca obtenido durante 2005 utilizando los coeficientes genéticos estimados en Lajas en el año 2004 añadiendo los datos del experimento de Flores et al. (2001).	65
Figura 5.31	Validación de CERES-Maize para la fecha de madurez fisiológica obtenida durante 2004 utilizando los coeficientes genéticos estimados en Lajas en el año 2005.	66
Figura 5.32	Validación de CERES-Maize para la fecha de madurez fisiológica obtenida durante 2005 utilizando los coeficientes genéticos estimados en Lajas en el año 2004.	66
Figura 5.33	Validación de CERES-Maize para la biomasa obtenida durante 2004 utilizando los coeficientes genéticos estimados en Lajas en el año 2005.	67
Figura 5.34	Validación de CERES-Maize para la biomasa obtenida durante 2005 utilizando los coeficientes genéticos estimados en Lajas en el año 2004.	68
Figura 5.35	Validación de CERES-Maize para el rendimiento obtenido en 2004 utilizando los coeficientes genéticos estimados en Lajas en el año 2004.	69
Figura 5.36	Validación de CERES-Maize para el rendimiento obtenido en 2005 utilizando los coeficientes genéticos estimados en Lajas en el año 2005.	70
Figura 5.37	Validación de CERES-Maize para la fecha de florecida obtenida en 2004 utilizando los coeficientes genéticos estimados en Lajas en el año 2004.	71
Figura 5.38	Validación de CERES-Maize para la fecha de florecida obtenida en 2005 utilizando los coeficientes genéticos estimados en Lajas en el año 2005.	71

Figura 5.39	Validación de CERES-Maize para el número de hojas obtenido en 2004 utilizando los coeficientes genéticos estimados en Lajas en el año 2004.	73
Figura 5.40	Validación de CERES-Maize para el número de hojas obtenido durante 2005 utilizando los coeficientes genéticos estimados en Lajas en el año 2005.	73
Figura 5.41	Validación de CERES-Maize para el índice de área foliar obtenida durante 2004 utilizando los coeficientes genéticos estimados en Lajas en el año 2004.	74
Figura 5.42	Validación de CERES-Maize para el índice de área foliar obtenida durante 2005 utilizando los coeficientes genéticos estimados en Lajas en el año 2005.	74
Figura 5.43	Validación de CERES-Maize para el número de granos por mazorca obtenido durante 2004 utilizando los coeficientes genéticos estimados en Lajas en el año 2004.	75
Figura 5.44	Validación de CERES-Maize para el número de granos por mazorca obtenido durante 2005 utilizando los coeficientes genéticos estimados en Lajas en el año 2005.	76
Figura 5.45	Validación de CERES-Maize para fecha de madurez fisiológica obtenido durante 2004 utilizando los coeficientes genéticos estimados en Lajas en el año 2004.	77
Figura 5.46	Validación de CERES-Maize para la fecha de madurez fisiológica obtenido en 2005 utilizando los coeficientes genéticos estimados en Lajas en el año 2005.	77
Figura 5.47	Validación de CERES-Maize para la biomasa obtenida durante 2004 utilizando los coeficientes genéticos estimados en Lajas en el año 2004.	78
Figura 5.48	Validación de CERES-Maize para la biomasa obtenida durante 2005 utilizando los coeficientes genéticos estimados en Lajas en el año 2005.	79

Lista de Apéndice

		Página
Apéndice 8.1	Medias obtenidas para la biomasa y el IAF para las variedades M, “Bt”, y DC estimadas en Lajas, P.R. durante 2004.	87
Apéndice 8.2	Medias obtenidas para la biomasa y el IAF para las variedades M, “Bt”, y DC estimadas en Lajas P.R. durante 2005.	88
Apéndice 8.3	Rendimiento (kg/ha) observado vs. simulado para las variedades M, DC, Ch y “Bt” obtenidos durante 2004 y 2005 utilizando coeficientes genéticos de años contrarios y del mismo año.	89
Apéndice 8.4	Número de granos por mazorca observado vs. simulado obtenido durante 2004 y 2005 utilizando coeficientes de años contrarios, 2005 y 2004, respectivamente.	90
Apéndice 8.5	Fecha de madurez fisiológica observada vs. simulada obtenida durante 2004 y 2005 en Lajas, P. R. utilizando coeficientes de años contrarios 2005 y 2004, respectivamente.	90
Apéndice 8.6	Índice de área foliar observado vs. simulado obtenido durante 2004 y 2005 en Lajas, P.R. utilizando coeficientes de años contrarios 2005 y 2004, respectivamente.	91
Apéndice 8.7	Número de hojas observadas vs. simuladas obtenidos durante 2004 y 2005 en Lajas, P.R. utilizando coeficientes de años contrarios 2005 y 2004, respectivamente.	91
Apéndice 8.8	Biomasa (kg/ha) observada vs. simulada obtenida durante 2004 y 2005 en Lajas, P.R. utilizando coeficientes de años contrarios 2005 y 2004, respectivamente.	92
Apéndice 8.9	Números de granos por mazorca observado vs. simulado utilizando los coeficientes genéticos obtenidos durante 2004 y 2005 en Lajas, P.R. con el mismo año de siembra.	92

Apéndice 8.10	Fecha de madurez fisiológica observada versus simulada obtenida durante 2004 y 2005 en Lajas, P.R., con el mismo año de siembra.	93
Apéndice 8.11	Índice de área foliar máximo observado vs. simulado utilizando los coeficientes genéticos obtenidos durante 2004 y 2005 en Lajas, P.R., con el mismo año de siembra.	93
Apéndice 8.12	Número de hojas observadas vs. simuladas utilizando los coeficientes genéticos obtenidos durante 2004 y 2005 en Lajas, P.R., con el mismo año de siembra.	94
Apéndice 8.13	Biomasa (kg/ha) observada versus simulada utilizando los coeficientes genéticos obtenidos durante 2004 y 2005 en Lajas, P.R., con el mismo año de siembra.	94
Apéndice 8.14	Medias para el Rendimiento (kg/ha) obtenido en Lajas durante 2004.	94
Apéndice 8.15	Medias para el Rendimiento (kg/ha) obtenido en Lajas durante 2005.	95
Apéndice 8.16	Análisis de varianza para el número de hojas obtenido en Lajas durante 2004.	95
Apéndice 8.17	Medias para el número de hojas obtenido en Lajas durante 2004.	95
Apéndice 8.18	Análisis de varianza para el número de hojas obtenido en Lajas durante 2005.	96
Apéndice 8.19	Medias para el número de hojas obtenido en Lajas durante 2005.	96
Apéndice 8.20	Análisis de varianza para el número de granos/mazorca obtenido en Lajas durante 2004.	96
Apéndice 8.21	Medias para el número de granos/mazorca obtenido en Lajas durante 2004. (Incluye el 100% de los datos)	97
Apéndice 8.22	Análisis de varianza para el número de granos/mazorca obtenido en Lajas durante 2005.	97
Apéndice 8.23	Medias para el número de granos/mazorca obtenido en Lajas durante 2005. (Incluye el 100% de los datos)	97

1. Introducción

Los modelos de simulación son representaciones matemáticas de procesos que podemos ver y/o medir de la naturaleza. Los modelos de simulación relacionados a la producción agrícola de las cosechas están basados en procesos físicos y biológicos (Freebaim, 1993). CERES-Maize es un modelo de simulación que sigue los principios de determinantes fisiológicos para el crecimiento de cultivos (Jones y Kiniry, 1986). Este es uno de los modelos de cosechas encontrados en DSSAT (Sistema de Ayuda de Decisión para la Transferencia de Agrotecnología). DSSAT puede simular el crecimiento y el desarrollo de una cosecha hasta 50 años consecutivos y permite hasta 15 combinaciones de opciones simuladas en un solo experimento (IBSNAT, 1998).

La utilización de un modelo de cultivos nos permite realizar estudios de cultivos en menos tiempo y extrapolar los datos para analizar diferentes variables. Muchos modelos de simulación utilizan los coeficientes genéticos para caracterizar variedades e híbridos. Los coeficientes genéticos son una serie de parámetros que describen la interacción genotipo x ambiente (IBSNAT, 1993). Se pueden utilizar dos métodos para obtener los coeficientes genéticos de un cultivo: (1) determinación experimental directa y (2) estimando los coeficientes genéticos, utilizando procesos computadorizados (Román-Paoli et al., 2000).

Los coeficientes genéticos más importantes del maíz son la fase juvenil del cultivo (P1), respuesta al fotoperíodo (P2), tiempo de acumulación de materia seca del grano (P5), número potencial de granos por mazorca (G2) y crecimiento lineal en el grano (G3).

2. Objetivos:

- 1- Determinar los coeficientes genéticos para variedades e híbridos prominentes de maíz de campo en Puerto Rico.
- 2- Determinar el rendimiento de las variedades e híbridos utilizados.
- 3- Validar el Modelo CERES-Maize bajo condiciones de Puerto Rico.

3. Revisión de Literatura:

3.1. Descripción de la planta de maíz:

La planta de maíz es alta, con abundantes hojas y un sistema radicular fibroso, normalmente de un solo tallo que tiene hasta 30 hojas. Las hojas de la planta de maíz suelen ser angostas y su sistema de raíces adventicias provee apoyo, absorción de agua y nutrimentos. El hábito de crecimiento de la planta de maíz es anual, es una planta C_4 y se propaga por semillas. El maíz es una planta monoica que desarrolla yemas laterales en la axila de las hojas en la mitad superior. Estas dan origen a la inflorescencia femenina, la cual se desarrolla en una mazorca cubierta por hojas modificadas. La parte superior produce la inflorescencia masculina o panoja; ésta tiene una espiga central prominente y varias ramificaciones laterales con flores masculinas, las cuales producen abundantes granos de polen (Ritchie, et al., 1992).

3.2. Plagas más importantes:

Las plantas de maíz pueden ser atacadas a lo largo de su ciclo de vida o en el almacenamiento del grano por varios insectos. El gusano cogollero *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae) y el gusano de la mazorca, *Helicoverpa zea* (Lepidoptera: Noctuidae), son la plagas de mayor importancia económica en la producción comercial de Puerto Rico (Figueroa, 1983; Ortega y De León, 1974). *S. frugiperda* ataca la planta de maíz a partir de la fase de plántula y causa daño en las hojas en etapas tempranas de desarrollo así como en la etapa de prefloración (López, 1994). *H. zea* también puede afectar la floración al dañar el desarrollo, de la mazorca y el tallo (Ortega et al., 1980). El gusano de la mazorca, *H. Zea*, se mueve dentro de los canales de los estigmas para completar su ciclo de vida en la mazorca, lo que retrasa

el crecimiento del grano (Wiseman, 1989) y facilita la entrada de otros insectos y patógenos que causan enfermedades (López, 1994).

3.3. Etapas de desarrollo:

El crecimiento se expresa mayormente en tiempo, por ejemplo número de días para germinar. El crecimiento se puede expresar en unidades termales (Td). El tiempo termal no considera aspectos fisiológicos en el crecimiento y depende de la temperatura. Este es el tiempo que le toma a la planta en completar una etapa fenológica. El tiempo termal asume que la respuesta al crecimiento del cultivo es lineal y que la temperatura a la que crece la planta es superior a la temperatura base (T_b) y menor a la temperatura máxima donde crece el cultivo (Ecuación [1]). Este tiempo se calcula obteniendo el promedio diario de la temperatura ($^{\circ}\text{C}$) máxima y mínima en cada etapa fenológica. A este promedio se le restan 8°C que es la temperatura base donde la planta de maíz no crece. Para esto se utiliza la siguiente ecuación:

$$T_d = \sum_{i=1}^n \left(\frac{T_{\max} + T_{\min}}{2} \right) - T_b \quad [1]$$

T_d = unidades termales

T_{\max} = temperatura máxima diaria $^{\circ}\text{C}$

T_{\min} = temperatura mínima diaria $^{\circ}\text{C}$

T_b = temperatura base, no hay crecimiento $^{\circ}\text{C}$ (8°C)

N = número de días en el período

La fenología del maíz la describimos en etapas de crecimiento vegetativo y reproductivo. La etapa vegetativa (V) y la etapa reproductiva (R) se subdividen en subetapas de desarrollo. La etapa vegetativa se subdivide numéricamente como V_1 , V_2 , V_3 , etc., donde $V_{(n)}$ representa la última hoja completamente desarrollada, antes de llegar a formarse la flor masculina. La planta emerge del suelo (VE) entre cuatro hasta

cinco días después de la siembra, siempre que existan condiciones húmedas y calientes. Sin embargo, en condiciones secas o frescas puede tardar dos semanas o más. De aquí en adelante se consideran todas las hojas que la planta vaya desarrollando durante todo su crecimiento vegetativo. La planta de maíz puede llegar a desarrollar entre 21 hasta 30 hojas. En la etapa V_3 comienza el crecimiento del tallo, en la etapa V_6 es cuando el collar está sobre la superficie del suelo y el tallo comienza un período de alargamiento (Ritchie et al., 1992). En la etapa V_7 se inicia la formación de la inflorescencia masculina. La planta permanece en etapa vegetativa hasta que la inflorescencia masculina se desarrolla por completo y la flor femenina no está visible todavía. Esta etapa se conoce por sus siglas en inglés (VT) cual comienza aproximadamente entre dos hasta tres días antes del comienzo de la formación de la flor femenina (R_1). El tiempo que transcurre entre la etapa VT y R_1 depende considerablemente del genotipo y las condiciones ambientales. Generalmente tarda entre dos hasta tres días para que la inflorescencia femenina sea expuesta y polinizada (Ritchie et al., 1992).

En la etapa R_1 la planta ya ha alcanzado su tamaño máximo y la formación del grano comienza. La etapa R_2 conocida como la etapa bomba o ampolla ocurre entre 10 hasta 14 días después de la florecida (DDF). En esta etapa la semilla se observa blanca y comienza a acumular materia seca; ya están formadas la radícula, el coleóptilo y las hojas embrionarias. La etapa de leche (R_3) ocurre entre 18 hasta 22 DDF, donde se comienza a ver el grano de color amarillo ya que está acumulando almidón. La etapa de masa (R_4) ocurre entre 24 hasta 28 DDF, donde la continua acumulación de almidón causa que el fluido interno lechoso se torne de una

consistencia espesa a una consistencia pastosa. En la etapa de diente (R_5), la cual ocurre entre 35 hasta 42 DDF el grano de maíz se seca y forma una línea blanca de almidón. La etapa R_6 ocurre entre 55 hasta 65 DDF y se puede observar la formación de una línea negra dentro de la semilla. Esta línea es una buena indicación de una máxima acumulación de materia seca y la terminación del crecimiento del grano. En esta etapa la planta alcanza su madurez fisiológica (RM).

3.4. Coeficientes Genéticos

Muchos modelos de crecimiento de cultivos utilizan el concepto de coeficientes genéticos para caracterizar diferentes genotipos (Ritchie et al., 1989). Los coeficientes genéticos pueden ser obtenidos por experimentos directos obteniendo los datos en el campo (Ogoshi et al., 1991) o indirectos calculando los coeficientes genéticos utilizando los datos fenológicos históricos obtenidos en el campo y luego utilizando un modelo de simulación (Hunt et al., 1993). Los coeficientes, en el caso del maíz, se designan con una letra seguida por un número (Cuadro 3.1). El tiempo termal (T_d) que transcurre desde que la planta germina hasta que completa la etapa juvenil del cultivo se designa como P_1 , lo cual ocurre cuatro días antes de la diferenciación de la yema apical. El P_2 expresa la sensibilidad al fotoperíodo del cultivo y normalmente se determina en ambientes de estudio controlados (Kiniry et al., 1983). Los valores de P_2 varían desde cero hasta uno (Tsuji et al., 1994). Un valor de uno significa que la planta demora en diferenciar su yema apical un día adicional por cada hora en exceso de 12.5 horas a lo largo del día. En Puerto Rico, el fotoperíodo no es más de 13.5 horas en los días largos. Para híbridos o variedades tropicales se sugiere un valor de P_2 de 0.52 días/hora (Ritchie et al., 1986). Estudios realizados indican que el modelo CERES-

Maize es insensible a P2 (Román-Paoli et al., 2000). Por lo tanto no se requiere de un estimado bien preciso para P2. La iniciación de la flor masculina en CERES-Maize es dependiente de la función de sensibilidad al fotoperíodo donde la iniciación de la flor masculina ocurre cuatro días después de haber terminado la etapa juvenil (Carberry et al., 1989).

Cuadro 3.1. Definición de los coeficientes genéticos utilizados en CERES-Maize

Coeficiente	Descripción
PHINT	“Phylochron interval”; intervalos en tiempo termal entre la aparición de cada hoja sucesiva.
P1	Período desde emergencia de la semilla hasta el final de la etapa juvenil durante la cual la planta no responde a cambios en fotoperíodo. (Td)
P2	Período durante la etapa juvenil durante el cual la planta es sensible a cambios en fotoperíodo. (Td)
P3	Iniciación de la flor masculina hasta el final del crecimiento de hojas y la formación de la flor femenina (Td).
P4	Período entre la fecha de florecida hasta el comienzo del llenado del grano. (Td)
P5	Período de llenado del grano desde florecida femenina hasta madurez fisiológica (Td)
P6	Final de llenado del grano hasta madurez fisiológica. (Td)
P7	Presiembra.
P8	Período entre germinación a emergencia de la semilla.
P9	Germinación a emergencia de la semilla. (Td)
G2	Número Potencial de granos por mazorca por planta.
G3	Rango de llenado del grano durante la etapa lineal bajo optimas condiciones (mg/día).

El P5 es el período o etapa de crecimiento del grano desde florecida femenina hasta la madurez fisiológica de este. Los granos de maíz requieren al menos siete semanas después de la florecida femenina para desarrollarse fisiológicamente en un grano maduro y tener un contenido de agua aproximado a 40%. En el caso de coeficientes genéticos para etapas reproductivas, CERES-Maize utiliza G2 y G3 (Ritchie et al., 1986). El número potencial de semillas (G2) es un estimado del número potencial de granos en una planta que están creciendo sin limitaciones (Ritchie et al., 1986). El G3 describe la acumulación de materia seca en el grano a través de su desarrollo. La temperatura óptima para el llenado del grano es de 30 °C (Carberry et al., 1989). Un aumento o disminución de G3 tiene un gran efecto en el rendimiento y el peso de la semilla, lo que hace que el modelo sea bien sensitivo para el coeficiente G3. Existen tres fases para el crecimiento de la semilla: la fase juvenil del grano donde está en una etapa lechosa y acumula muy lentamente materia seca; la fase lineal en donde reacumula materia seca rápidamente; y la fase decreciente donde finalmente ocurre la formación de una línea negra dentro de la semilla que indica que la misma ha alcanzado su madurez fisiológica. El G3 se puede estimar obteniendo la pendiente de una regresión lineal de materia seca acumulada en la semilla versus tiempo. Los coeficientes genéticos pueden ser divididos como sensitivos (G3), moderadamente sensitivos (P1, P5 y G2) e insensitivos (P2) (Román-Paoli et al., 2000). Los otros coeficientes mencionados en el Cuadro 3.1 no varían mucho.

3.5. Modelos de simulación de cultivos:

Los modelos de simulación nos permiten analizar algunos aspectos de la producción agrícola que no pueden hacerse eficientemente con experimentos

tradicionales (Román-Paoli et al., 2000). Los mismos están basados en procesos físicos y biológicos de las plantas y del medio ambiente que las rodea. La solución de estas representaciones matemáticas utilizando un programa de computadora es lo que llamamos simulación. Una simulación puede incluir factores como desarrollo del cultivo, respuestas al estrés hídrico y rangos de erosión bajo diferente manejo (Freebaim, 1993).

Para que un modelo de simulación funcione, se requieren cuatro tipos de insumos: (1) insumos de manejo, (2) secuencias del clima diario, (3) características del suelo e (4) información de medidas de campo (Ej: número de granos, crecimiento lineal del grano y profundidad de siembra, entre otros) (Thornton et al., 1991). Los parámetros del modelo pueden ser medidos en experimentos independientes, directamente del campo o estimados de datos existentes (Román-Paoli et al., 2000). Los modelos de simulación nos permiten extrapolar los parámetros a través de diferentes condiciones y lugares (Thornton et al., 1991).

3.6. Historia del modelo CERES-Maize

En el “Proyecto Internacional de Prueba para la Transferencia Agrotecnológica” (IBSNAT), un grupo de científicos unieron sus conocimientos para crear una red internacional para las investigaciones agrícolas. Con esta idea surge el “Sistema de Decisiones para la Transferencia Agrotecnológica” (DSSAT). En la actualidad, el Consorcio Internacional de Sistemas Agrícolas (ICASA) es quien ha continuado con la meta de internacionalizar el programa DSSAT, dándole un enfoque a la agricultura y a los recursos naturales. Los modelos de cosecha que están accesibles bajo el programa computarizado DSSAT, estos son la serie de 1) CERES de modelos para

cereales; **CERES-Maize**, CERES-Wheat, CERES-Rice, CERES-Barley, CERES-Sorghum, y CERES-Millet, la serie 2) CROPGRO de modelos para las leguminosas; CROPGRO-Soybean, CROPGRO-Peanut, CROPGRO-Dry bean, la serie 3) CROPSIM para los cultivos de raíces; CROPSIM-Cassava y SUBSTOR-Patata y para otras cosechas; 4) CROPGRO-“Tomato”, 5) CROPGRO-“Chickpea”, 6) CROPGRO-Caña de azúcar y 7) CROPGRO-Girasol, entre otros.

3.7. Modelo CERES-Maize

CERES-Maize es un modelo de crecimiento y desarrollo del maíz (*Zea mays*) que simula fenología y rendimiento, utilizando el suelo, clima e insumos de manejo (Román-Paoli et al., 2000). El modelo CERES-Maize puede estimar el rendimiento utilizando archivos de clima existentes (Carberry et al., 1989). El modelo considera caracteres genéticos de la planta, el clima, el crecimiento de hojas, tallos y raíces, acumulación y repartición de biomasa, balance hídrico en el suelo e influencia del déficit hídrico sobre el crecimiento y desarrollo del cultivo. Otros factores que puede considerar son; el balance de nitrógeno en el suelo e influencia del déficit de nitrógeno sobre el crecimiento y desarrollo del cultivo. El balance de otros macronutrientes relacionados como el fósforo y el potasio, así como el control de plagas, malezas y enfermedades, hasta el momento no son considerados factores limitantes para el programa DSSAT.

3.8. Validación del modelo CERES-Maize

La validación de un modelo consiste en comparar los resultados observados con resultados simulados por el modelo. La validación establece el uso y relevancia del modelo determinando la precisión de la simulación al utilizar datos independientes. La

validación puede ser cualitativa o cuantitativa. La validación de un modelo se realiza graficando los resultados de los datos reales (independiente) y los datos simulados (dependiente). Para que la simulación sea buena la pendiente de la relación lineal debe ser igual a uno y el intercepto igual a cero. Para determinar los resultados estadísticos se puede determinar el R^2 , el error estándar de los residuales (RMSE) y la suma de cuadrados del error (SS) donde;

$$SS = \sum (\text{simulado} - \text{real})^2 \quad [2]$$

La validación permite ver cuan eficiente es el modelo en predecir un resultado de una variable en particular. Para validar el modelo CERES-Maize se requiere un mínimo de datos. Estos datos corresponden a datos de manejo, suelo y clima (Cuadro 3.2). Una vez el modelo contenga todos estos datos en archivos se puede comenzar a realizar la validación. Los archivos de DSSAT son los siguientes; “Xbuild” para datos de manejo y características del experimento, “Sbuild” para preparar el archivo de suelo y “Weatherman” para preparar archivos de clima.

Cuadro 3.2. Insumos Experimentales requeridos por CERES-Maize (DSAT 4.0, 1998).

Variables de Clima	Variables de Suelo	Variables de Manejo	Variables Experimentales
<ul style="list-style-type: none"> - Radiación Solar diaria (MJ/m²-día) - Temperatura máxima y mínima (°C) - Precipitación (mm) 	<ul style="list-style-type: none"> - Clasificación del Suelo (pendiente, color, permeabilidad, clases de drenaje, perfil del suelo) - Profundidad de los horizontes (cm) - Contenido de arcilla, limo y arena - Densidad Aparente carbono orgánico - pH del suelo - contenido volumétrico de agua a capacidad de campo y marchites permanente 	<ul style="list-style-type: none"> - Fecha de Siembra - Densidad de Siembra (plantas/m²) - Espacio entre hilera - Profundidad de siembra (cm) - Coeficientes genéticos - Tipo de riego (días, cantidad) - Prácticas de fertilización 	<ul style="list-style-type: none"> - Crecimiento del cultivo - Medidas de agua y fertilidad de suelo - Crecimiento - Rendimiento - N del tejido y el suelo - H₂O en el Suelo

4. Materiales y Métodos

4.1 Descripción del área experimental

El proyecto se estableció en la Subestación Experimental Agrícola de Lajas de la Universidad de Puerto Rico, Recinto Universitario de Mayagüez. El clima de la zona es seco, con una precipitación de 762 a 889 milímetros de lluvia por año (Lugo López, 1995). Los suelos son fértiles, profundos, con un alto contenido de arcillas expandibles 2:1 (vermiculita: montmorillonita) (Carte, 1965). El suelo donde se localizó el

experimento pertenece a la serie Fraternidad (*Typic Haplustert*). La preparación del suelo consistió de una aradura y un rastrillado.

4.2 Descripción del experimento

4.2.1 Experimento 2004

Se establecieron dos siembras experimentales donde la primera siembra se sembró el 19 de febrero de 2004. La distancia entre plantas fue de 0.28 metros y 0.91 metros entre hileras. La densidad de siembra fue de 3.6 plantas/m², esta densidad permite que cada planta exprese su potencial genético al máximo. Para el control de malezas se aplicó el herbicida preemergente pendimetalina a razón de 0.817g ia/m². Se utilizó riego por goteo. Se instaló un hidrante con laterales de perforaciones a 30 cm al cual se le conectó una manga de polietileno de 5 cm de diámetro. El agua de riego se aplicó a una presión de 1.74 kPa.

Se aplicó la cantidad de fertilizante recomendada de acuerdo al Conjunto Tecnológico del Maíz a razón de 225 kg/ha para nitrógeno y potasio y 113 kg/ha para fósforo utilizando la formulación 10-10-08 granulado postsiembra. La primera aplicación del abono fue granulada. Se aplicó la formulación de abono recomendada de acuerdo al Conjunto Tecnológico del Maíz (Beaver, 200_sin publicar). Esta se realizó dos semanas después de que la planta germinó, aplicando el 40% de la dosis recomendada. El restante 60% del abono, se aplicó en cuatro fertigaciones a intervalos de dos semanas después de la primera aplicación, hasta los 55 días después de la siembra. Las fuentes solubles fueron urea, ácido fosfórico y sulfato de potasio para N, P₂O₅ y K₂O, respectivamente. Las fechas de fertigación correspondientes fueron; 10 de marzo, 24 de marzo, 7 de abril y 21 de abril del 2004.

El área de siembra ocupó 615 m², con 144 plantas en parcelas de 33 m² cada una. El diseño experimental consistió de cuatro bloques completamente aleatorizados, con parcelas divididas. La parcela principal representaba las variedades y la parcela dividida el tiempo.

4.2.2 Experimento 2005

La segunda siembra se realizó el 2 de marzo de 2005. Se mantuvo la misma densidad de siembra que en el 2004. Se fertilizó la misma razón que en el año 2004 utilizando la formulación 15-05-10 granulado postsiembra. Todas las aplicaciones del abono fueron en forma granulada. La primera aplicación se realizó dos semanas después de que la planta germinó, aplicando el 40% de la dosis recomendada. A diferencia de la siembra del 2004 la segunda aplicación del 60% del abono fue a los 55 días después de emergencia. La forma de aplicar el abono se cambió de fertigado a granulado por que durante el 2004 llovió mucho y tuvimos que aplicar con el suelo muy mojado, posiblemente causando que el abono fertigado se perdiera por escorrentía y/o lixiviación. El área de siembra ocupó un área de 963 m², con 90 plantas en parcelas de 25 m². Lo demás se quedó igual al año 2004.

4.3 Descripción de los tratamientos

Para ambas siembras se utilizaron cuatro genotipos de maíz, las variedades “Mayorbela”, “Chulo”, “Diente de Caballo” y un híbrido alterado genéticamente con *Bacillus thuringiensis*, el RX8284G 1769 WCV”AF, cual pertenece a la compañía Pionner. La variedad ‘Mayorbela’ fue desarrollada a partir de la raza Coastal Tropical Flint y cruzada con líneas de Estados Unidos (López, 1994). Esta variedad se recomienda como alimento para gallos de pelea y su rendimiento de grano seco fluctúa

entre los 6,259 hasta 7,397 kg/ha. La mazorca es de tamaño mediano y puede producir entre 27,000 hasta 30,000 mazorcas por hectárea (Beaver, 200_ sin publicar). La variedad “Chulo” tiene el grano pequeño de color amarillo pálido y también se recomienda para gallos de pelea (Sotomayor, 1984). La misma no se recomienda para consumo fresco pues su mazorca es delgada (Beaver, 200_ sin publicar). La variedad “Diente de Caballo” tiene un grano dentado y es desarrollado a partir de las razas caribeñas con integración de germoplasma procedente de Estados Unidos (López, 1994). La planta es medianamente alta y puede producir hasta dos mazorcas. La producción por hectárea es entre 35,000 hasta 40,000 mazorcas para consumo fresco (Beaver, 200_ sin publicar). Las variedades “Mayorbela”, “Chulo” y “Diente de Caballo” fueron mejoradas genéticamente por la Estación Experimental de Agricultura Tropical (TARS, USDA). Estas variedades se adaptan muy bien a las condiciones de clima de Puerto Rico y son tolerantes a la roya del maíz.

4.4 Descripción y determinación de las variables bajo estudio

Una vez establecidas las siembras se verificaron y midieron las variables necesarias para cuantificar los coeficientes genéticos. La primera variable a medir fue la fecha en que germinó la planta. Esta fecha se identifica observando la aparición de la primera hoja de la planta (la cual es ovalada). Se determinó la fecha de germinación, cuando el 50% de las plantas, para cada parcela, habían germinado.



Figura 4.1. Ilustración de la primera hoja de la planta de maíz; muestra como se identifica la germinación.

Para cada siembra se realizaron medidas de área foliar ($\text{cm}^2/\text{planta}$), biomasa (g/planta) y número de hojas total de las plantas. El área foliar se determinó seleccionando plantas al azar de los bordes de todas las parcelas de cada tratamiento. Se utilizó el instrumento Li 3100 para determinar el área foliar en cm^2 (Figura 4.2). Para el primer experimento (2004) se tomaron dos plantas/parcela y para el segundo experimento (2005) una planta/parcela. Para el año 2005 el número de parcelas fue el doble en comparación al año 2004. Por tanto con una sola muestra por parcela en el año 2005 se obtenía el mismo número de muestras que en el año 2004. Se obtenían ocho muestras en total para ambos experimentos.



Figura 4.2. Instrumento utilizado para medir área foliar (Li 3100).

Para la determinación de biomasa (g materia seca/planta) se utilizaron las plantas a las que se le midió el área foliar. Estas plantas se secaron por 94 horas en un horno, a 60 °C, hasta alcanzar un peso uniforme, igual o menor a 14% de humedad. Para la primera siembra, se utilizó un diseño de bloques completamente aleatorizados con cuatro repeticiones. Se realizó un análisis de varianza con un diseño de parcelas divididas en donde la variedad era la parcela entera y el tiempo la subparcela (SAS 9.1.3 Copyright® 2002 to 2003). Para el segundo experimento el diseño fue de bloques completos al azar con ocho repeticiones. Se realizó un análisis de varianza utilizando el número de plantas como covariable debido a que el número de plantas variaba entre parcelas por que la germinación fue deficiente. Las medias se separaron utilizando la prueba de diferencia mínima significativa, con un 5% de probabilidad del error.

El conteo de hojas se realizó en plantas tomadas al azar de los bordes de las parcelas. Las plantas seleccionadas para el muestreo se marcaron con una bandera y se les marcó la hoja número cinco y diez completamente desarrolladas. Una vez la planta terminó su desarrollo morfológico, se realizó el conteo total de hojas a partir de la hoja número 10.



Figura 4.3. Planta seleccionada para el muestreo de número de hojas total.

Otra variable determinada fue la diferenciación de la yema apical. Esta etapa ocurre dentro del tallo de la planta y no se puede ver sin disectar la misma. Para poder determinar la fecha, primeramente se determina la etapa V6 en plantas con seis hojas completamente desarrolladas. En este momento se realiza una disección a la planta de maíz y utilizando un microscopio de disección 'estereoscopio', se determina si hay

diferenciación de la yema apical. Cuando esto ocurre la planta deja de producir hojas para producir la inflorescencia masculina. Se continuó con el muestreo hasta observar la diferenciación de la yema apical en el 50% de las plantas seleccionadas para cada variedad (Figura 4.4). Se obtuvo el coeficiente genético P1 al determinar el tiempo termal desde germinación hasta cuatro días antes de la diferenciación de la yema apical aplicando la ecuación [1].



Figura 4.4. Fotografía de la yema apical de maíz diferenciada observada a través de un estereoscopio. Tomada de Ritchie et al. (1992).

Para determinar la fecha de florecida masculina se observa que el 50% de las plantas en el campo presenten la formación de la inflorescencia masculina (Figura 4.5). Luego entre tres hasta cuatro días de la florecida masculina se espera comiencen a desarrollarse las flores femeninas. Esta fecha se determina al observar que el 50% de las plantas en el campo presentan la formación de la inflorescencia femenina (Figura 4.6).



Figura 4.5. Fotografía de inflorescencia masculina de maíz.



Figura 4.6. Fotografía de inflorescencia femenina de maíz.

Una vez comenzó a desarrollarse la mazorca, se realizó el muestreo, para determinar el crecimiento lineal del grano (G3). A las plantas muestreadas para área foliar se les tomó dos mazorcas por parcela en el 2004 y una mazorca por parcela en el 2005 para cada variedad siendo un total de ocho mazorcas muestreadas para determinar G3. De cada mazorca se tomaron 20 semillas del centro y se secaron en el horno a 60 °C, se tomó su peso seco y se dividió el peso seco entre el número de granos para determinar el peso promedio por semilla (Duncan y Hotfield, 1964) (Figura 4.7). Este procedimiento se realizó semanalmente hasta que la planta alcanzó la madurez fisiológica. Se realizó un análisis de regresión lineal, entre la acumulación de materia seca del grano y el tiempo que pasó hasta llegar a la fecha de madurez fisiológica. La pendiente de esta regresión es un estimado de la acumulación de

materia seca en mg/día (G3), eliminando los datos donde la acumulación no es lineal (Tsuji et al., 1994).



Figura 4.7. Fotografía de granos recolectados para la determinación de G3.

La fecha de madurez fisiológica se determinó realizando disecciones del grano hasta observarse la formación de la línea negra en el grano de maíz (Nielsen et al., 2002). Esta línea negra debe observarse en el 50% de las mazorcas muestreadas (Figura 4.8). Una vez obtenida la fecha de aparición de la flor femenina y la fecha de madurez fisiológica se determinó el coeficiente genético P5 según explicado anteriormente en el Cuadro 3.1.



Figura 4.8. Semillas de maíz donde se observa la línea negra que identifica la madurez fisiológica.

El número potencial de granos/mazorca (G2) se determinó cuantificando el número total de granos/mazorca de una muestra de 25 mazorcas por parcela. Estas mazorcas se tomaron de las dos hileras del centro de cada parcela, cuales se mantuvieron intactas durante el experimento. El valor de G2 se obtuvo utilizando el promedio del 95% del valor máximo de granos/mazorca/parcela obtenido.

Para determinar el rendimiento se cosecharon las mazorcas de las hileras del centro de cada parcela y se obtuvo su peso seco en (kg/ha). Se realizó un análisis de la varianza de rendimientos (kg/ha) para cada variedad y las medias se separaron utilizando la diferencia mínima significativa con un 5% de probabilidad de error.

4.5. Validación del Modelo CERES-Maize

El modelo se validó utilizando variables de distintos experimentos obtenidos de la literatura, incluyendo las dos siembras realizadas en nuestra investigación (Cuadro 4.1). Para validar el modelo CERES-Maize se añadieron todos los insumos relacionados a las variables de fecha de siembra, época de siembra, densidad de siembra, número de semillas que emergen, fertilización y variedades utilizadas (Cuadro 3.2). Se prepararon los archivos de suelo utilizando el programa "Sbuild", añadiendo los diferentes datos de los suelos pertenecientes a las series de Fraternidad, Pozo Blanco y Coto para Lajas, Guánica e Isabela, respectivamente. Para este se utilizó la caracterización de los catastros de suelo de Puerto Rico para el área oeste y el Valle de Lajas (Gierbolini, 1975; Carte, 1965). Se prepara el archivo de clima utilizando el programa "Weatherman", utilizando los parámetros descritos en el Cuadro 3.1. La precipitación y la temperatura fueron estimadas de las unidades meteorológicas ubicadas en las Subestaciones Experimentales de Lajas e Isabela. La radiación solar se estimó a través de un método publicado en la Revista de Agricultura de la Universidad de Puerto Rico por Harmsen et al. (2002). DSSAT utiliza el programa "Xbuild", donde se seleccionan los archivos de clima y suelo preparados para cada experimento en particular y se añade la descripción experimental. Una vez realizados todos los archivos requeridos por DSSAT se realizaron las simulaciones de los diferentes experimentos con el modelo CERES-Maize.

Se validó el modelo para las variables de rendimiento, número de granos/mazorca, número de hojas total, índice de área foliar, fecha de florecida, biomasa y fecha de madurez fisiológica. Se realizó un análisis de regresión 1:1 y se

estimó el R^2 siendo los datos reales la variable dependiente (x) versus los datos simulados la variable dependiente (y). Para los experimentos bajo estudio se utilizaron los coeficientes genéticos obtenidos en Lajas durante el año 2004 para simular los datos del año 2005 y los coeficientes obtenidos durante 2005 para simular los datos del año 2004, (simulación con coeficientes de años contrarios). Para los datos estimados en Lajas se simuló además los datos estimados en los años 2004 y 2005 utilizando los coeficientes genéticos correspondientes al mismo año de siembra. Para todos los demás experimentos se utilizaron ambos coeficientes estimados en el año 2004 y 2005 realizando dos simulaciones con las variables antes mencionadas.

Cuadro 4.1. Referencias utilizadas para validar el modelo CERES-Maize.

Referencias	Publicaciones Citadas para Validar CERES-Maize	Variabes a Validar
Sotomayor-Ríos et al., 1980	Performance of twelve corn hybrids and selections in three consecutive crops.	Rendimiento
Badillo-Feliciano et al., 1979	Influence of cultivars, N levels and time of N application on plant characters	Rendimiento
Sotomayor-Ríos et al., 1979	Effect on plant density on yield and plant characters and selections.	Rendimiento
Flores et al., 2001	Comportamiento de 13 híbridos de maíz amarillo y la variedad "Mayorbela" en Isabela Puerto Rico.	Rendimiento, Florecida, # granos/mazorca
Rodríguez-Cuevas y Román-Paoli, 2005	Evaluación de tres variedades locales de maíz en la costa Sur de Puerto Rico.	Rendimiento
Tesis de Maestría Esteves-Nieves, 2007 Medidas de los coeficientes genéticos durante 2004 y 2005 en Lajas P.R.	Determinación de los coeficientes genéticos en maíz para ser utilizados en el modelo CERES-Maize.	Rendimiento, # hojas total, área foliar, biomasa, madurez fisiológica, Florecida, # granos/mazorca

5. Resultados y Discusión:

5.1. Primer Experimento: (febrero-junio 2004)

La variedad “Chulo” tuvo problemas para germinar, por lo que se resembró el 8 de marzo del 2004. Debido a la diferencia en la fecha de siembra, las etapas de desarrollo del “Chulo” no fueron a la par con los demás genotipos. Por tal razón las variables para el Chulo se determinaron y analizaron independientemente de las demás variedades.

Se observó que el híbrido Bt y la variedad M germinaron primero el 25 de febrero del 2004, lo que corresponde a seis días después de la siembra (DDS), seguido por Ch con 7 DDS y DC con 8 DDS (Cuadro 5.1). El maíz se sembró a una profundidad no mayor de 2.54 cm. Para lograr una germinación rápida y uniforme. La emergencia de la planta puede tardar entre cuatro hasta cinco DDS; este tiempo aumenta al aumentar la profundidad de siembra (Ritchie et al., 1992). Al observar nuestros resultados se entiende que la germinación fue un poco tardía, entre 6 hasta 8 DDS.

La diferenciación de la yema apical se determinaron los días 13 de marzo (24 DDS), 15 de marzo (26 DDS), 17 de marzo (27 DDS) y 9 de abril del 2004 (31 DDS), para Bt, M, DC y Ch, respectivamente (Cuadro 5.1).

Las fechas en las cuales apareció la inflorescencia masculina corresponden al 10 de abril (51 DDS), al 15 de abril (56 DDS), al 20 de abril (61 DDS) y al 7 de mayo del 2004 (59 DDS), para las variedades de Bt, M, DC y Ch, respectivamente. Las fechas en las cuales apareció la inflorescencia femenina corresponden al 15 de abril, al 17 de abril, al 22 de abril y al 9 de mayo del 2004, para los tratamientos de Bt, M y DC, Ch, respectivamente. Estos valores corresponden a 56, 58, 63 y 61 DDS para los

tratamientos de Bt, M, DC, y Ch, respectivamente (Cuadro 5.1). Se esperaba hubiese una diferencia entre dos hasta tres días después de la formación de la inflorescencia masculina para que se formara la inflorescencia femenina (Ritchie et al., 1992).

Una vez la planta acumula el máximo de materia seca en el grano, forma una línea negra en la borla del grano indicando la fecha de madurez fisiológica. La fecha de madurez fisiológica ocurrió el 25 de mayo (93 DDS), 29 de mayo (98 DDS), 30 de mayo (100 DDS), y 1 de junio, del 2004 (83 DDS), para los tratamientos de Bt, M y DC y Ch, respectivamente (Cuadro 5.1).

Cuadro 5.1. Etapas fenológicas de las variedades de maíz sembradas durante 2004 en Lajas, P.R.

Variedades	Germinación		Diferenciación		Inflorescencia Masculina		Inflorescencia Femenina		Madurez Fisiológica	
	DDS	fecha	DDS	fecha	DDS	fecha	DDS	Fecha	DDS	fecha
“Mayorbela”	6	25 feb.	26	15 mar.	56	15 abr.	58	17 abr.	98	29 may.
‘Diente de Caballo’	8	27 feb.	27	17 mar.	61	20 abr.	63	22 abr.	100	30 may.
Bacillus thuringiensis’	6	25 feb.	24	13 mar.	51	10 abr.	56	15 abr.	93	25 may.
Chulo	7	15 mar.	31	9 abr.	59	7 may.	61	9 mayo	83	1 jun.

Se determinó el número total de hojas para las diferentes variedades. La variedad DC obtuvo el mayor número de hojas, con 25 hojas. La variedad M produjo un total de 24 hojas. El menor número de hojas lo produjo el híbrido Bt con 23 hojas en total. No se obtuvo el número total de hojas para la variedad Chulo, porque se perdió

la hoja marcada número cinco en las plantas seleccionadas para el muestreo. Una planta de maíz puede llegar a tener hasta treinta hojas (Paliwal y Granados, 2001). La cantidad de hojas fue significativamente diferente entre las variedades y el híbrido Bt (Figura 5.1).

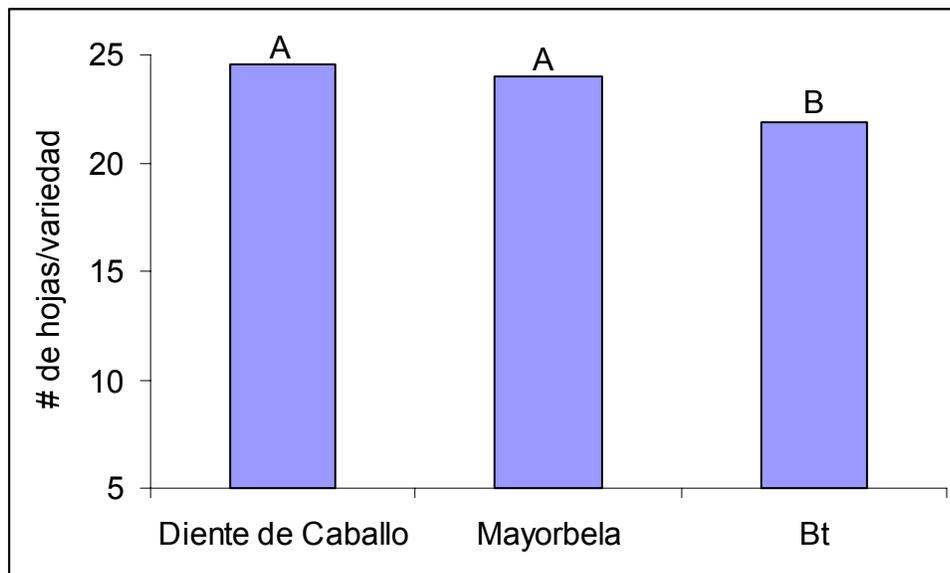


Figura 5.1. Número de hojas total para las variedades de maíz sembradas durante 2004 en Lajas P.R.

Se determinaron los coeficientes genéticos más importantes para todas las variedades. Una planta en etapa juvenil crece vegetativamente y es insensible al fotoperíodo (Kiniry et al., 1983). Trabajos realizados en años anteriores muestran que para regiones tropicales el P1 puede estar entre 260 hasta 350 unidades termales (Td) y el P5 entre 600 hasta 900 (Td) (Ritchie et al., 1986). Los resultados para P5 muestran que se mantuvieron dentro de los valores reportados previamente para otras variedades observándose entre 691 hasta 757 (Td). Excepto para la variedad Chulo

que obtuvo un P5 bajo de 413 (Td). Se obtuvieron valores bajos para P1, entre 219 hasta 252 (Td) para las variedades M, DC y “Bt”. Sin embargo, la variedad Ch se mantuvo dentro del valor esperado con P1 igual a 362 (Td) (Cuadro 5.2).

Cuadro 5.2. Estimados de coeficientes genéticos de las variedades de maíz sembradas en Lajas durante 2004.

Variedades	P1 (Td)	P5 (Td)	G2 (#granos/mazorca)	G3 (mg/día)
“Mayorbela”	253	757	566	6.7
“Híbrido Bt”	219	715	616	7.7
“Diente de Caballo”	252	691	533	5.7
“Chulo”	362	413	529	3.7

Se realizó un análisis de regresión lineal para determinar el valor del coeficiente genético G3. Este se obtiene del valor de la pendiente de la regresión lineal entre la acumulación de biomasa de la semilla y días después de la florecida, en unidades de mg/día (Figura 5.2). Se observó que la mayor acumulación la obtuvo el híbrido (Bt) con 7.7 mg/día, luego M con 6.7 mg/día, seguido por el DC con 5.7 mg/día y por último y con una muy baja acumulación de materia seca el Ch con 3.7 mg/día. Los R^2 muestran una regresión lineal confiable con valores cercanos a uno observando valores de 0.918, 0.912, 0.838 y 0.762 para M, Bt, DC y Ch, respectivamente. En la Figura 5.2 se observan los puntos de los datos que forman parte de la regresión lineal. Los puntos que se encuentran arriba de la línea forman parte de la etapa lenta de crecimiento del grano de maíz y los puntos que se encuentran debajo de la línea muestran la etapa de

crecimiento decreciente. Estos datos no se incluyeron en el análisis de regresión. Antes de los cuarenta días después de la florecida, todas las variedades habían completado la fase lineal de acumulación de materia seca en el grano, excepto M que tardó 42 días después de florecida (Figura 5.2).

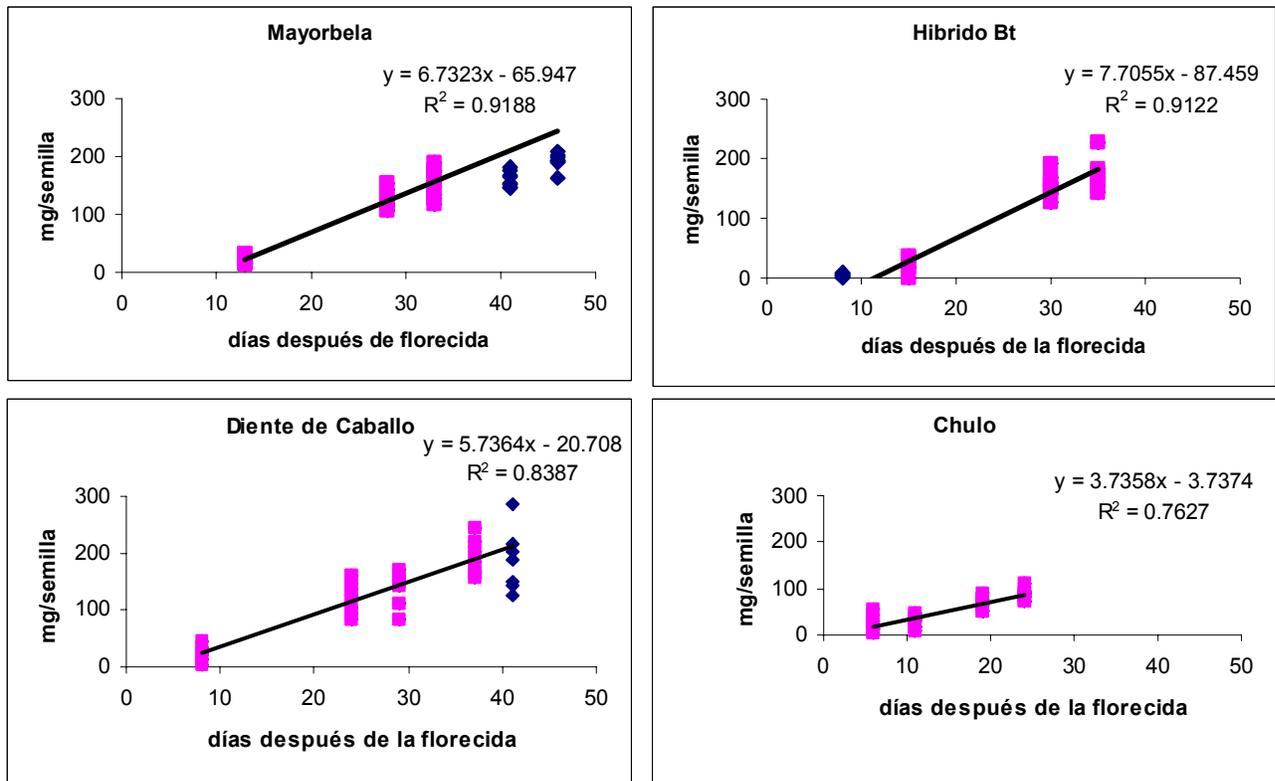


Figura 5.2 Análisis de Regresión entre días después de la fecha de florecida y peso de la semilla donde la pendiente de la recta es un estimado de G3 (2004).

El híbrido “Bt” obtuvo el mayor número de granos con 616 granos/mazorca, seguido por la variedad M con 566 granos/mazorca, la variedad DC con 533 granos/mazorca y la variedad Ch con 529 granos/mazorca. El “Chulo” se sembró cuando ya las otras variedades estaban establecidas, por lo que se mantuvo más

pequeño durante su desarrollo, siendo el estimado de G2 el más bajo. El coeficiente genético G2 fue significativamente diferente entre las variedades (Figura 5.3).

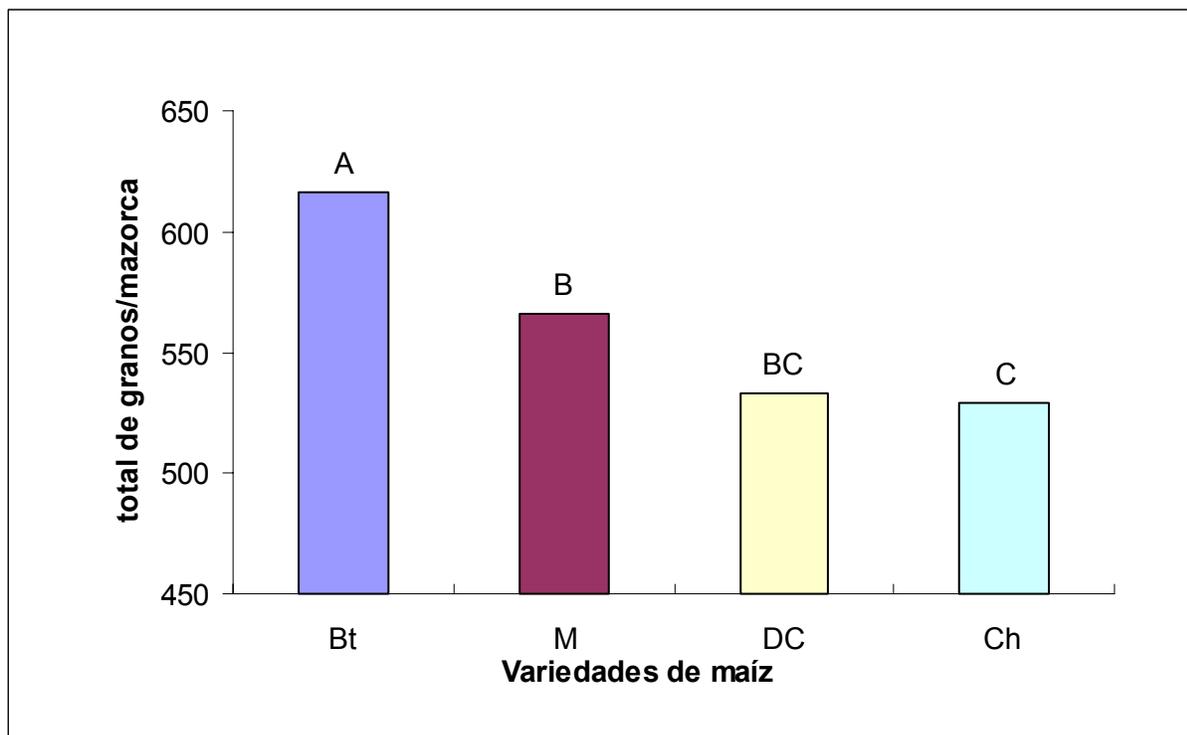


Figura 5.3. Número potencial de granos por mazorca (G2) para cada variedad de maíz sembrado durante 2004 en Lajas, P.R.

El índice de área foliar (IAF) varía a través del tiempo, para cada variedad (Figura 5.4). El análisis de varianza muestra que existe una interacción tiempo por variedad significativa (Cuadro 5.3). Se obtuvo interacción entre el bloque y la variedad. El índice de área foliar aumentó a través del tiempo. No se obtuvo diferencia significativa para el área foliar para las variedades evaluadas.

Cuadro 5.3. Anova para el índice de área foliar obtenido en Lajas durante 2004.

Fuente de Variación	Gl	Suma cuadrados	Cuadrado Medio	Valor F	Pr > F
Bloque	3	30.12	0.04	0.19	0.9011
Variedad	2	0.34	0.17	0.76	0.5085
Bloque x variedad	6	1.35	0.22	2.9	0.0113
Tiempo	5	95.70	19.14	245.91	<.0001
variedad x tiempo	10	2.21	0.22	2.84	0.0034
Error	45	10459701.1	232437.8		
Total	71	280235317.9			

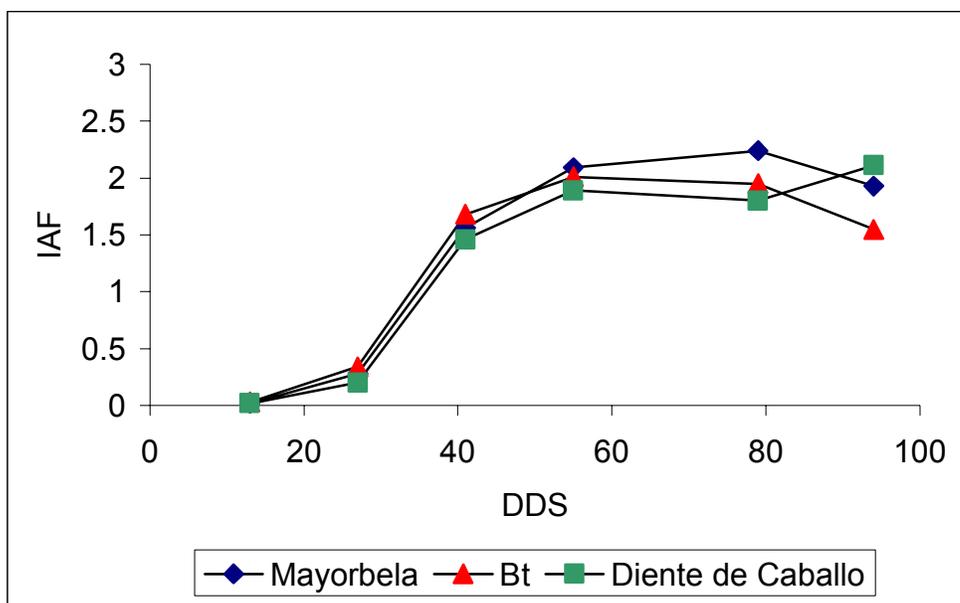


Figura 5.4. Índice de área foliar para las variedades M, “Bt” y DC sembradas en Lajas, durante 2004.

No se obtuvo diferencia significativa en biomasa para las variedades M, DC y el híbrido Bt. La acumulación de biomasa fue similar a través del tiempo para todas las variedades y el híbrido Bt. No existe interacción entre la biomasa y el tiempo. La biomasa aumenta a través del tiempo (Figura 5.5). No se obtuvo diferencia significativa entre bloques y no hubo interacción entre el bloque y la variedad.

Cuadro 5.4. Anova para la biomasa obtenida en Lajas durante 2004

Fuente Variación	Gl	Suma Cuadrados	Cuadrado Medio	Valor F	Pr > F
Bloque	3	23583.3998	7861.1333	1.27	0.2944
Variedad	2	15097.8560	7548.9280	1.22	0.3036
Bloque x variedad	6	38703.5131	6450.5855	1.05	0.4087
Tiempo	5	382770.1978	76554.0396	12.42	<.0001
Tiempo x variedad	10	60465.6818	6046.5682	0.98	0.4734
Error	45	277457.6581	6165.7257		
Total	71	798078.3066			

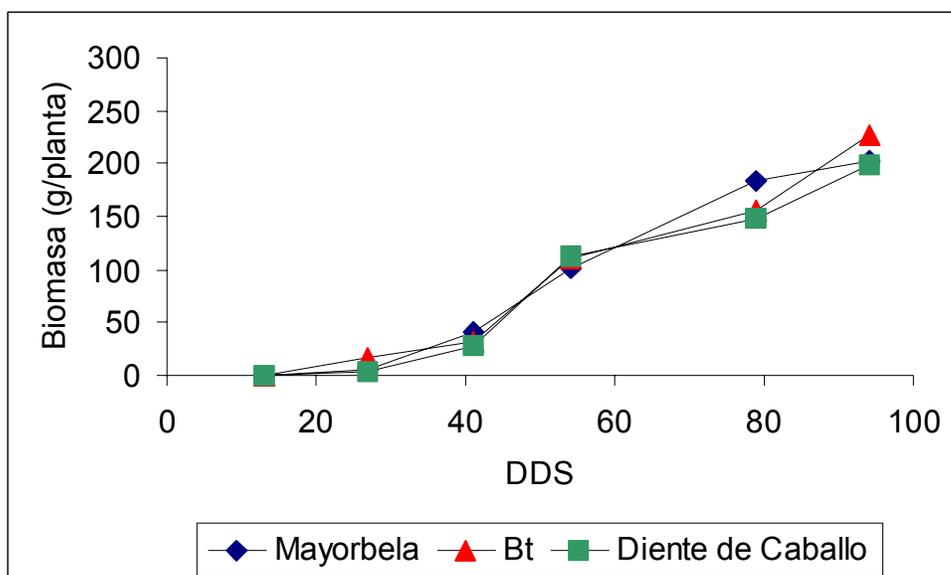


Figura 5.5. Biomasa acumulada para las variedades M, “Bt” y DC sembradas en Lajas, durante 2004.

Se esperaban rendimientos más altos para las variedades M, “Bt” y DC. Se ha reportado que la variedad de maíz “Chulo” tiene un ciclo de cultivo entre 105 hasta 110 días (Meneses Ojeda, 1992). La variedad Ch obtuvo un rendimiento más bajo de 2,176 kg/ha en comparación a las otras variedades. Para esta siembra el ciclo de vida de esta variedad se completó en solo 83 días. Posiblemente esto se debió a una mayor competencia por agua y luz resultando en un rendimiento más bajo. Los resultados demuestran que la variedad M obtuvo un rendimiento de 4,148 kg/ha, seguido por el híbrido “Bt” con un rendimiento de 3,986 Kg/ha. El DC tuvo un rendimiento de 3,396 Kg/ha. El ANOVA muestra que existe diferencia significativa entre las variedades evaluadas para rendimiento (Figuras 5.6, Cuadro 5.5). El híbrido se afectó con roya alrededor de los 60 entre 65 DDS durante la época de siembra 2004. Lo que pudo causar que el rendimiento fuera menor a la variedad M.

Cuadro 5.5. Anova para el rendimiento de las variedades DC, “Bt”, M y Ch sembradas en 2004.

FV	Gl	SC	CM	F	Pr>F
Variedades	3	9595119.98	3198373.29	18.26	0.0004
bloque	3	1926966.36	642322.12	3.67	0.0526
Error	9	1576309.26	22182593		
Total	15	13098395.50	175145.47		

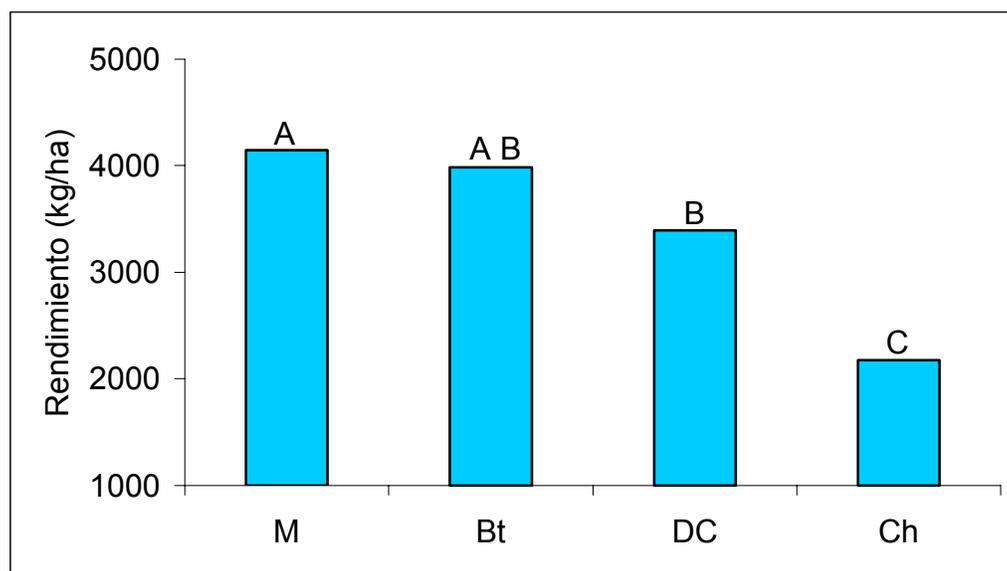


Figura 5.6. Rendimiento obtenido para las variedades de maíz M, “Bt”, Ch y DC sembradas en Lajas durante 2004.

5.2. Segundo Experimento: (marzo-junio 2005)

Se sembraron las mismas variedades que en el experimento anterior. La variedad “Diente de Caballo” tuvo un porcentaje bajo de germinación, por lo que no se consideró para las variables de rendimiento, área foliar y biomasa.

La fecha de germinación para el híbrido con “Bt” fue el 6 de marzo del 2005, lo que corresponde a cuatro días después de la siembra (DDS). La variedad M germinó el 7 de marzo del 2005 (5 DDS). La variedad DC germinó el 9 de marzo del 2005 (7 DDS). La variedad de Ch germinó el 8 de marzo del 2005 (6 DDS). La germinación ocurrió durante el rango de tiempo esperado (Cuadro 5.6).

Se determinó la diferenciación de la yema apical para las diferentes variedades bajo estudio. Para el híbrido con “Bt” se determinó la fecha de diferenciación el 30 de marzo del 2005 (28 DDS). La diferenciación de la variedad M se logró visualizar el 4 de abril del 2005 (32 DDS). La variedad DC completo su diferenciación el 9 de abril del 2005 (31 DDS). La diferenciación para la variedad Ch ocurrió el 4 de abril del 2005 (32 DDS) (Cuadro 5.6).

Las fechas de aparición de la inflorescencia masculina corresponden al 21 de abril (49 DDS), 26 de abril (54 DDS), 24 de abril del 2005 (52 DDS), para los tratamientos de “Bt”, M y DC, Ch, respectivamente. Las fechas en que se formó la inflorescencia femenina corresponden al 24 de abril (52 DDS), 29 de abril (57 DDS), 27 de abril (55 DDS) y 27 de abril del 2005 (55 DDS), para los tratamientos de “Bt”, M y DC, Ch, respectivamente (Cuadro 5.6). La fecha de madurez fisiológica de las plantas ocurrió el 2 de junio (90 DDS), 7 de junio (98 DDS), 7 de junio (95 DDS), y 6 de junio del 2004 (94 DDS), tratamientos de “Bt”, M y DC y Ch, respectivamente (Cuadro 5.6).

Cuadro 5.6. Etapas fenológicas de las variedades de maíz sembradas durante 2005.

Tratamientos	Germinación		Yema Apical		Inflorescencia Masculina		Inflorescencia Femenina		Madurez Fisiológica	
	DDS	fecha	DDS	fecha	DDS	fecha	DDS	fecha	DDS	fecha
“Mayorbela”	5	7 mar.	32	4 abr.	54	26 abr.	57	29 abr.	95	7 jun.
“Diente de Caballo”	8	9 mar.	31	9 abr.	52	24 abr.	55	27 abr.	95	7 jun.
“Bacillus thuringiensis”	4	6 mar.	28	30 mar.	49	21 abr.	52	24 abr.	90	2 jun.
“Chulo”	6	8 mar.	32	4 abr.	52	24 abr.	55	27 abr.	94	6 jun.

Se determinó el número de hojas total para las diferentes variedades y el híbrido Bt. La variedad M obtuvo el mayor número de hojas, con 19 hojas en total. Las variedades DC y Ch obtuvieron 18 hojas en total. El menor número de hojas se obtuvo con el híbrido Bt con un total de 16 hojas. Este número de hojas es menor en comparación al año 2004 ya que las plantas para este año no llegaron a 20 hojas. Para el año 2004 fue mayor de 20 hojas para los tratamientos de DC, M y “Bt”. El número de hojas resultó significativamente para las variedades y el híbrido Bt.

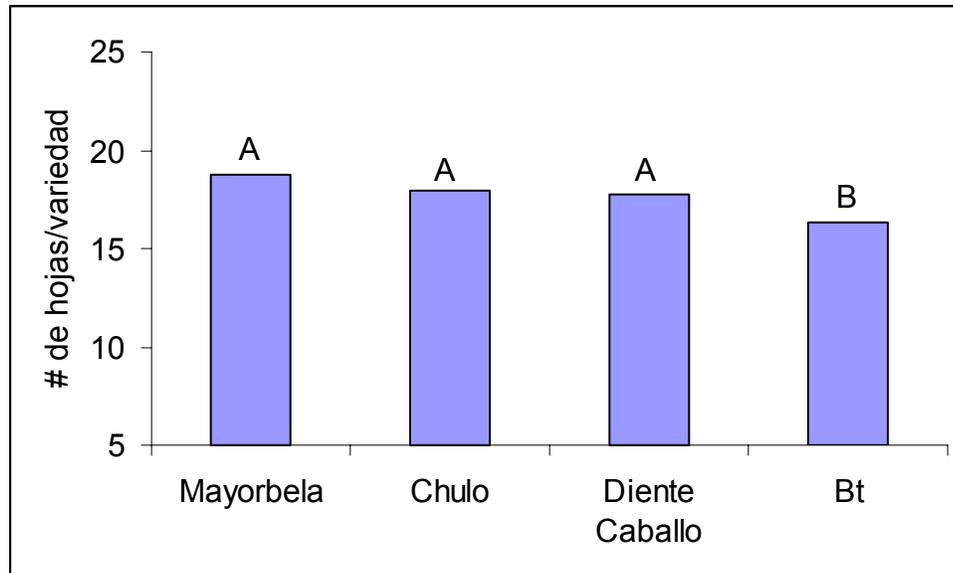


Figura. 5.7. Número de hojas total para las variedades M, Ch, “Bt” y DC sembradas en Lajas durante 2005.

Se determinaron los coeficientes genéticos más importantes para los tratamientos bajo estudio. Los valores de P1 fueron mayores a los estimados en el año 2004, con 422, 352 479 y 405 (Td) para los tratamientos M, “Bt”, DC y Ch, respectivamente (Cuadro 5.7). Los valores de P5 se mantuvieron dentro de los valores esperados (Ritchie et al., 1992). Estos con 755, 756,795 y 777 para los tratamientos M, “Bt”, DC y Ch, respectivamente (Cuadro 5.7).

Cuadro 5.7. Coeficientes genéticos de las variedades de maíz sembradas en Lajas durante 2005.

Coeficientes genéticos				
Variedades	P1 (Td)	P5 (Td)	G2 (#granos/mazorca)	G3 (mg/día)
“Mayorbela”	422	755	558	6.9
“Híbrido Bt”	352	756	590	8.5
“Diente de Caballo”	479	795	Dato perdido	9.6
“Chulo”	405	777	561	7.1

La variedad DC obtuvo la mayor acumulación de materia seca con 9.6 mg/día, seguido por el híbrido Bt con 8.5 mg/día. La acumulación de materia seca Ch fue menor con 7.1 mg/día seguido por la variedad M con 6.9 mg/día. Los R^2 muestran una regresión lineal confiable con valores cercanos a uno, aunque menores a los obtenidos en el 2004. Se obtuvieron valores de 0.882, 0.828, 0.913 y 0.875 para los tratamientos M, “Bt”, DC y Ch, respectivamente. Al observar la Figura 5.8 se observan los datos que no forman parte de la regresión lineal. Antes de los cuarenta días después de la florecida todas las variedades habían completado la fase lineal de acumulación de materia seca en el grano, excepto la variedad M que tardó 42 días después de florecida (Figura 5.8). Las variedades Ch y DC obtuvieron un G3 mayor en el año 2005. Esto se atribuye a que durante este año el Ch no tuvo problemas de germinación y su desarrollo fue a la par con las otras variedades sembradas en el campo. Por otra parte, la variedad DC tuvo deficiencias para germinar afectándose la densidad de

siembra y permitiéndole a la planta mayor espacio y mejor intercepción de luz lo que contribuye a mayor acumulación de materia seca por la planta.

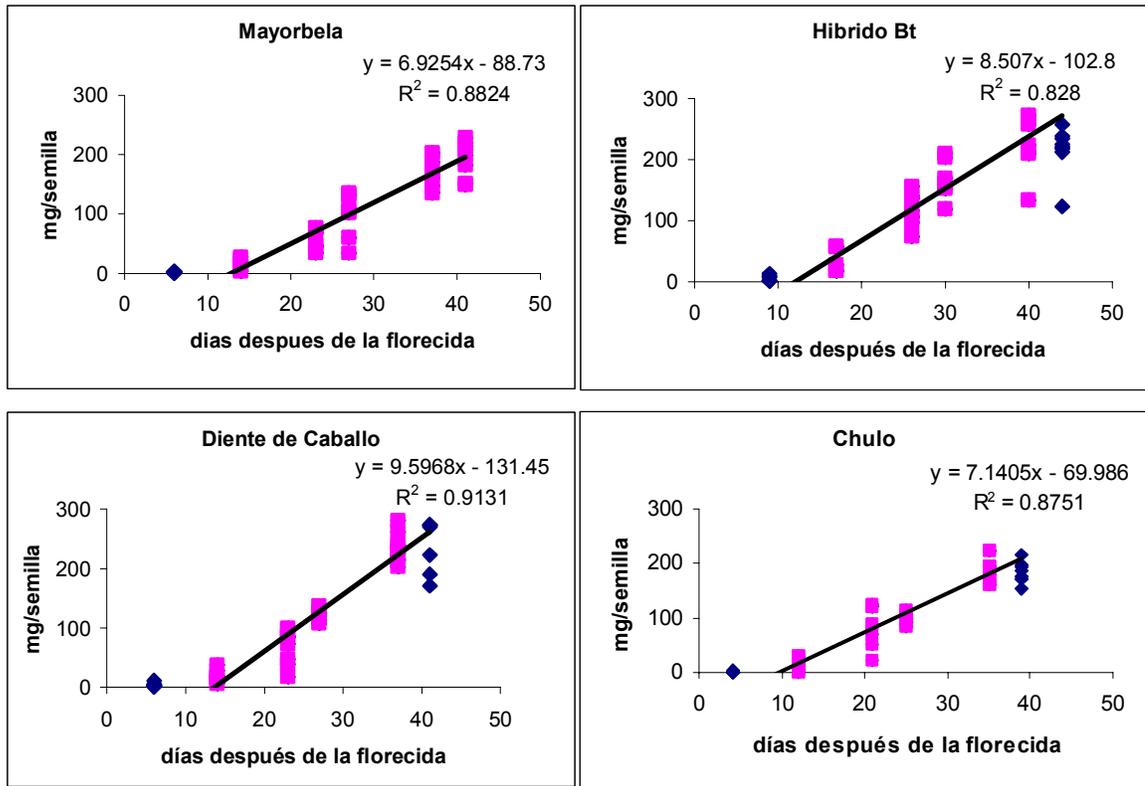


Figura 5.8. Análisis de regresión lineal entre días después de la fecha florecida y peso de la semilla donde la pendiente de la recta es un estimado de G3 (2005).

Para determinar el número potencial de granos por mazorca se tomaron 25 mazorcas al azar de las diferentes parcelas. En el Cuadro 5.7 se observa el número de granos con 590, 561 y 558 granos/mazorca, para el híbrido Bt y las variedades Ch y M, respectivamente (Figura 5.9). Se realizó un análisis de varianza donde no se obtuvo diferencia significativa entre las variedades para el número de granos/mazorca. La variedad DC tuvo problemas de germinación,

por lo tanto no habían suficientes mazorcas para muestrear y determinar el coeficiente G2. El G2 se mantuvo dentro de los valores esperados determinando un buen estimado para el número de granos/mazorca para las variedades M, DC, Ch y el híbrido Bt en ambos años de siembra y las condiciones de clima en Lajas.

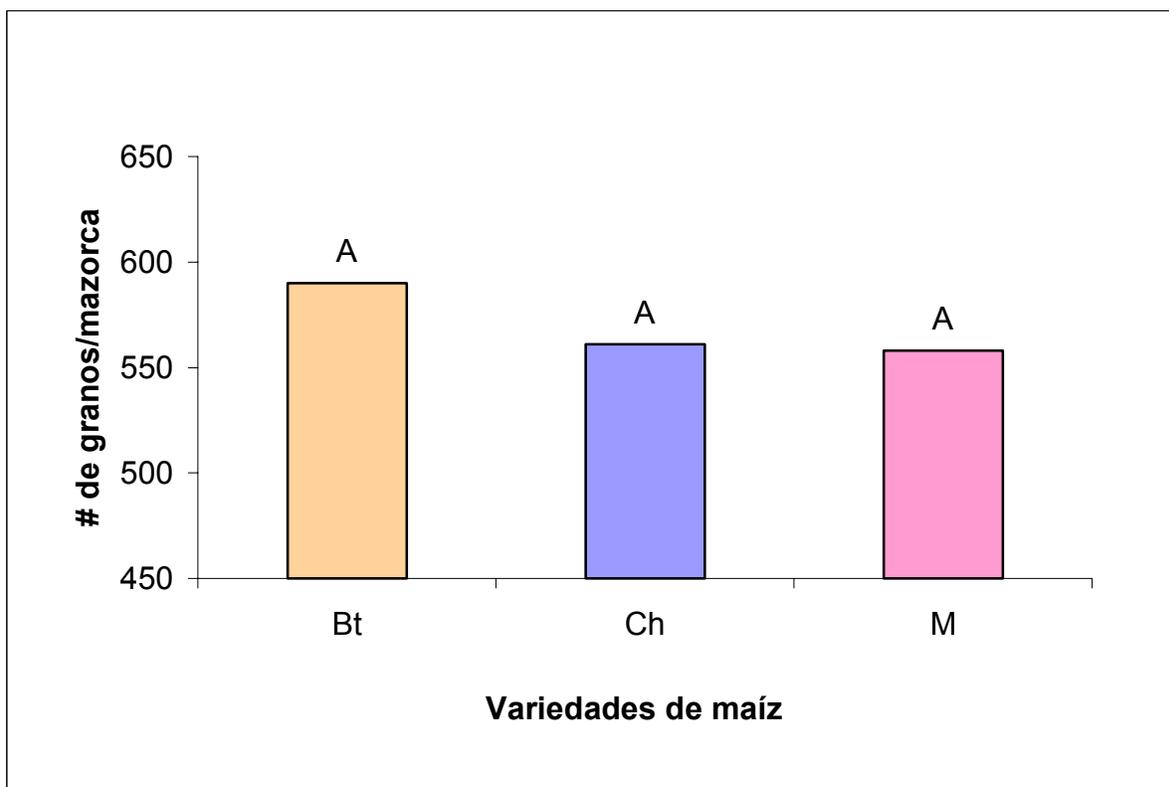


Figura 5.9. Número potencial de granos por mazorca para cada variedad sembrada en Lajas durante 2005.

En el caso de IAF el análisis de varianza demostró que hay interacción significativa entre los tratamientos y el tiempo de muestreo (Cuadro 5.8). El aumento en área foliar demostró que no hubo diferencia significativa entre las variedades Ch, M

y el híbrido Bt (Figura 5.10). La acumulación del índice área foliar varió a través del tiempo para cada tratamiento.

Cuadro 5.8. ANOVA para el índice de área foliar obtenido durante 2005.

Fuente Variación	GI	Suma Cuadrados	Cuadrado Medio	Valor F	Pr > F
Variedad	2	0.016	0.0082	0.17	0.8505
Parcela x variedad	3	0.14	0.048	1.01	0.3908
Tiempo	4	13.23	3.31	69.90	<.0001
Tiempo x variedad	8	1.12	0.14	2.96	0.0052
Error	100	4.73	0.47		
Total	117	19.68			

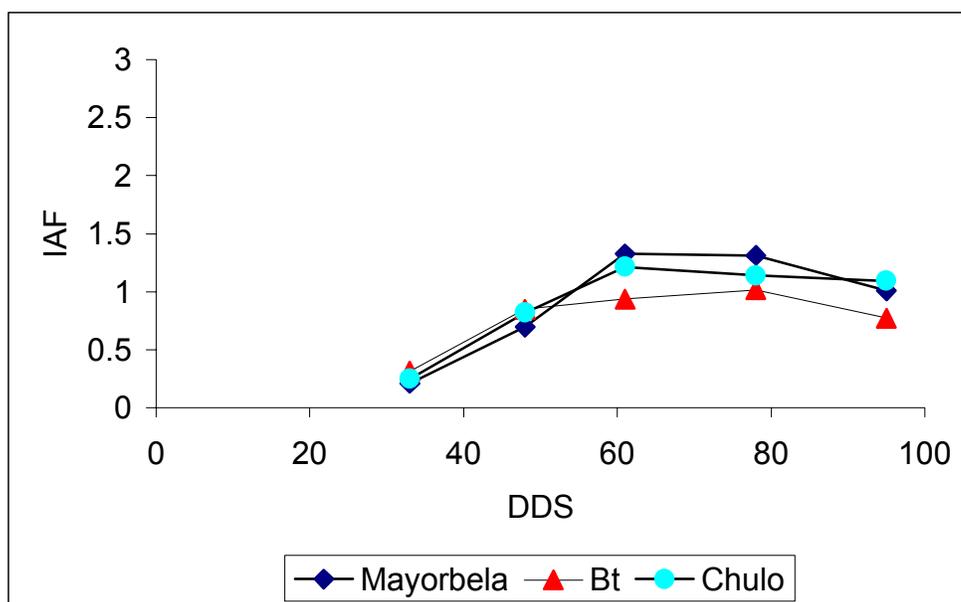


Figura 5.10. Índice de Área foliar para las variedades (M), (“Bt”) y (Ch) sembradas en Lajas durante 2005.

Los resultados del análisis de la varianza muestran que no hubo diferencia significativa entre las variedades Ch, M y el híbrido Bt en cuanto a la biomasa en Lajas obtenida durante 2005 (Cuadro 5.9). No hay interacción entre la biomasa y el tiempo. Sin embargo, el tiempo es significativo para la acumulación de biomasa. La acumulación de biomasa va aumentando, a través del tiempo, y luego de alcanzar una máxima acumulación, se reduce (Figura 5.11). No se obtuvo diferencia significativa en la acumulación de biomasa entre las distintas parcelas.

Cuadro 5.9. Anova para la biomasa obtenida durante 2005.

Fuente Variación	Gl	Suma Cuadrados	Cuadrado Medio	Valor F	Pr > F
Variedad	2	1342 .89	671 .443	1 .88	0 .2955
Parcela x variedad	3	1070 .73	356 .91	0 .15	0 .9280
Tiempo	6	1360967 .52	226827 .92	96 .9	< .0001
Tiempo x variedad	12	49099 .03	4091 .59	1 .75	0 .0625
Error	144	337070 .134	2340 .765		
Total	167	1759823 .516			

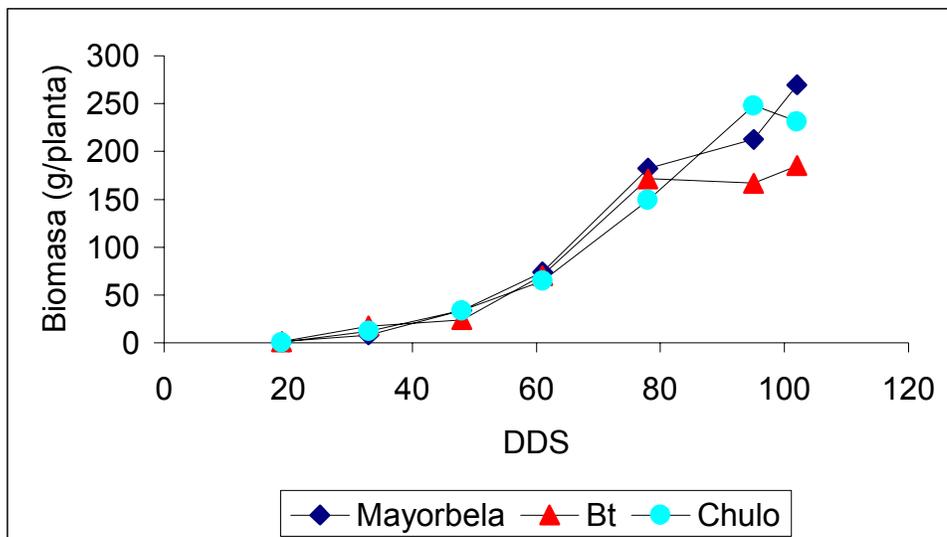


Figura 5.11. Biomasa para las variedades M, “Bt” y Ch sembradas en Lajas durante 2005.

Los resultados demuestran que el híbrido “Bt” obtuvo el rendimiento más alto con 3,845 kg/ha, seguido por M, con 3,313 Kg. /ha y el Ch con 3,098 Kg. /ha (Figura 5.12). Un análisis de ANOVA demostró que hay diferencia significativa entre los tratamientos para la biomasa estimada (Cuadro 5.10). El rendimiento obtenido fue menor para las variedades y el híbrido en comparación al año 2004 con excepción de la variedad Ch (Figura 5.12).

Cuadro. 5.10. Anova para el rendimiento de las variedades DC, “Bt” y M, sembradas durante 2005.

Fuente de Variación	Gl	SC	CM	F	p-valor
Variedad	2	1.2	0.6	4.71	0.0211
# plantas (covariable)	1	3.86	3.86	30.3	<0.0001
Error	20	2.55	0.13		
Total	23	12.47			

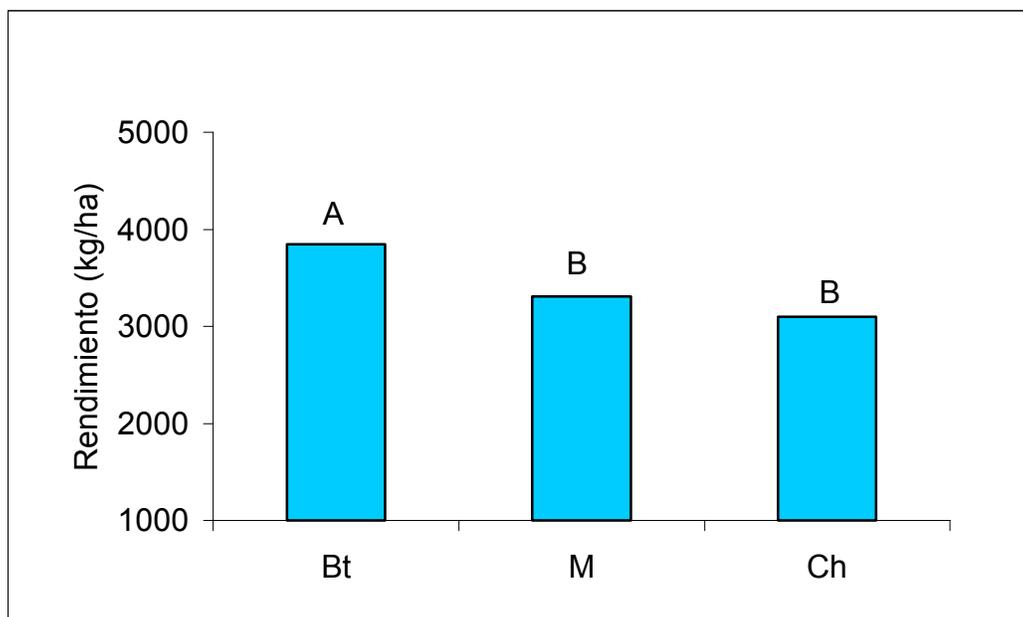


Figura 5.12. Rendimiento obtenido para la variedades de maíz Ch, M, y “Bt” obtenido durante 2005.

5.3. Validación del modelo CERES-Maize utilizando coeficientes de años contrarios.

El modelo CERES-Maize se validó para las variables de rendimiento, fecha de florecida, número de granos/mazorca, fecha de madurez fisiológica, Índice de Área Foliar y número de hojas total. La validación se realizó a través de un análisis de regresión lineal utilizando los datos observados en el campo versus los datos simulados a través del modelo CERES-Maize. Se usa una línea 1:1 en las figuras para visualizar mejor la comparación entre datos simulados y medidos. Aquellos puntos que se encuentren sobre la línea 1:1 son sobreestimados por el modelo o sea el modelo simuló valores mayores. Aquellos puntos que se encuentran debajo de la línea se dice que el modelo los subestimó, o sea, que el modelo predijo valores menores a los medidos. Los puntos representan el valor medido versus el valor simulado. Si estos

puntos están cerca o en la línea 1:1 se establece que el modelo simuló correctamente la variable propuesta. Una buena simulación por parte del modelo es aquella en que la relación lineal entre medidos y simulados tiene un R^2 cercano a uno y un intercepto lo más cerca de cero.

El modelo determina el rendimiento basándose en el número potencial de granos por mazorca (G2), la acumulación lineal de materia seca en el grano (G3) y la densidad de siembra. Se realizó un análisis de regresión lineal comparando el rendimiento obtenido en Lajas durante 2004 con los simulados por CERES-Maize utilizando los coeficientes determinados en el 2005. También se simuló el rendimiento obtenido en el 2005 utilizando los coeficientes determinados en el 2004. Se añadieron en el mismo gráfico todos los datos de rendimiento de las publicaciones citadas en el Cuadro 4.1, con el fin de ver todos los resultados simulados en CERES-Maize para validar rendimiento (Figura 5.13 y 5.14). Los R^2 para el rendimiento al utilizar los coeficientes determinados fueron de 0.076 y 0.004 en el 2004 y 2005, respectivamente (Figura 5.13 y 5.14).

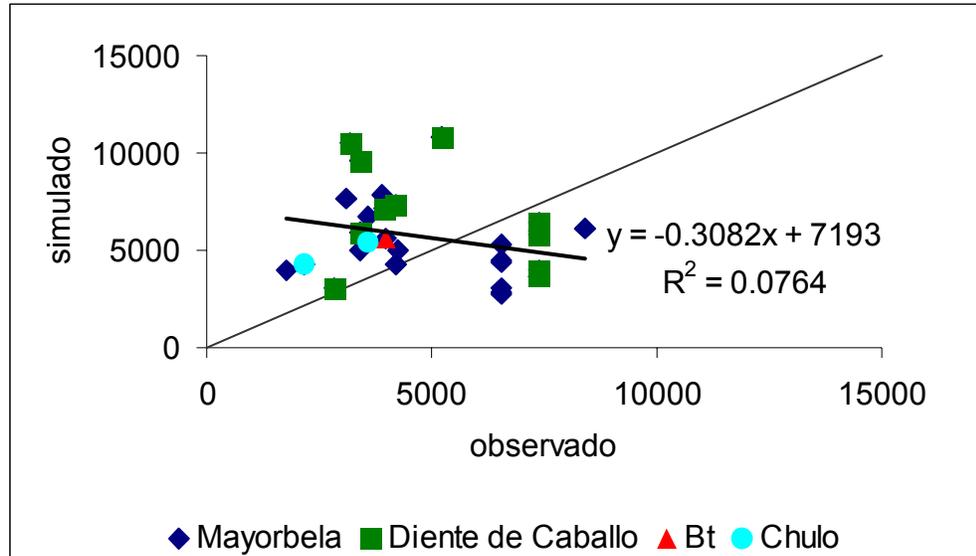


Figura 5.13. Validación de CERES-Maize para el rendimiento obtenido en Lajas durante 2004 y las publicaciones citadas en el Cuadro 4.1 utilizando los coeficientes genéticos estimados en Lajas en el año 2005.

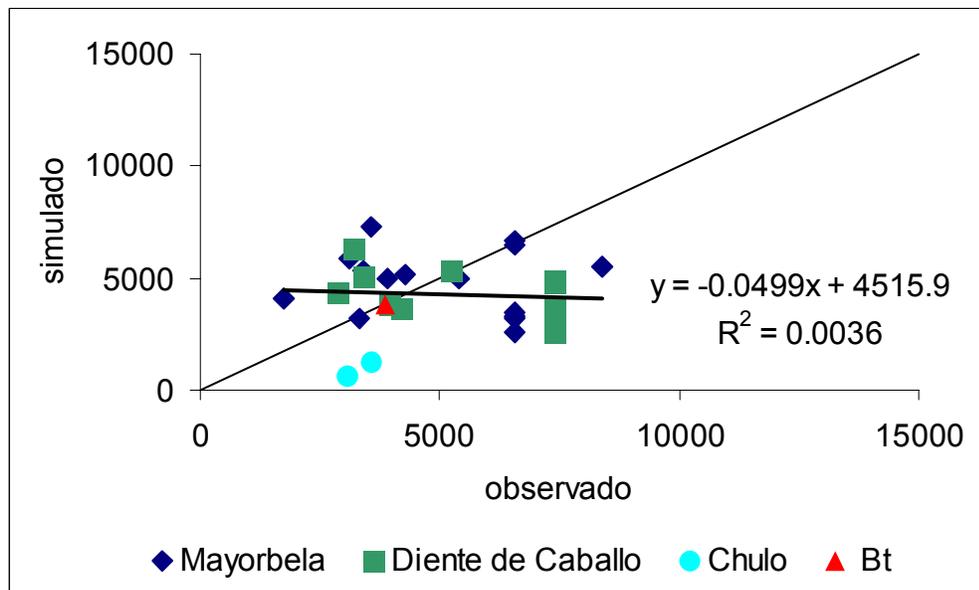


Figura 5.14. Validación de CERES-Maize para el rendimiento obtenido en Lajas durante 2005 y las publicaciones citadas en el en el Cuadro 4.1 utilizando los coeficientes genéticos estimados en Lajas en el año 2004.

Para facilitar el estudio de la validación se separaron las simulaciones de los rendimientos obtenidos en Lajas durante 2004 y 2005 de los experimentos citados en el Cuadro 4.1. Al obtener un R^2 de 0.085, se observa que no existe una relación lineal entre los datos simulados y medidos para los tratamientos M, DC, Ch y "Bt" (Figura 5.15). CERES-Maize simuló mejor la variedad M para ambos años con los coeficientes de años contrarios. La simulación de M logra mantener los puntos sobre la línea 1:1, observándose una diferencia de solo 128 kg/ha sobreestimados por CERES-Maize para ambos años simulados. Los rendimientos para los tratamientos DC, Ch y "Bt" fueron sobreestimados entre 1,600 Kg/ha y 2,495 kg/ha para los rendimientos obtenidos en Lajas durante 2004 (Figura 5.15). La simulación para el híbrido Bt mejoró durante 2005 al simular por una diferencia de 3 kg/ha menor al valor simulado (Figura 5.16). La variedad Ch se subestimó al utilizar los coeficientes obtenidos en Lajas durante el 2005 y se sobreestimó con los coeficientes del 2004 por 2,443 kg/ha y 2,126 kg/ha, respectivamente (Figuras 5.15 y 5.16). Los coeficientes G3 y P5 para la variedad Ch fueron bajos con 413 Td y 3.7 mg de materia seca/mazorca por planta durante la época de siembra 2004. Esto a su vez logra que el modelo simule que el Ch acumuló poca materia seca durante un corto período de tiempo. Aunque la predicción no fue tan certera, el modelo predijo que el rendimiento de la variedad Ch sería más bajo que los demás rendimientos como se observó en los datos medidos u obtenidos. No se simuló el rendimiento para DC durante 2005 debido a que no había suficientes mazorcas para medir el rendimiento. El modelo coincidió con el orden ascendente de los valores del rendimiento durante ambas épocas de siembra al utilizar coeficientes de años contrarios para las variedades M, DC, Ch y el híbrido Bt.

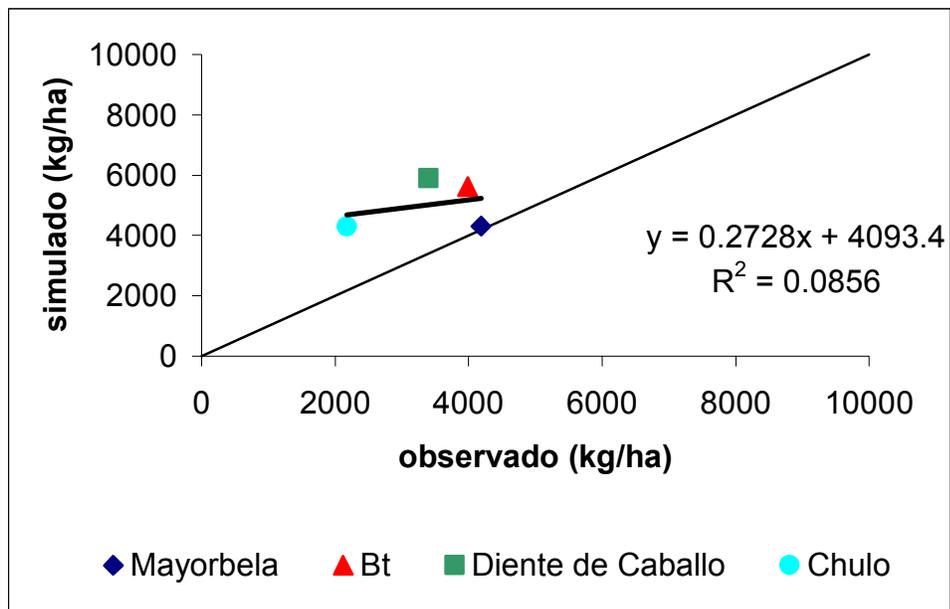


Figura 5.15. Validación de CERES-Maize para el rendimiento obtenido en Lajas durante 2004 utilizando los coeficientes genéticos estimados en Lajas en el año 2005.

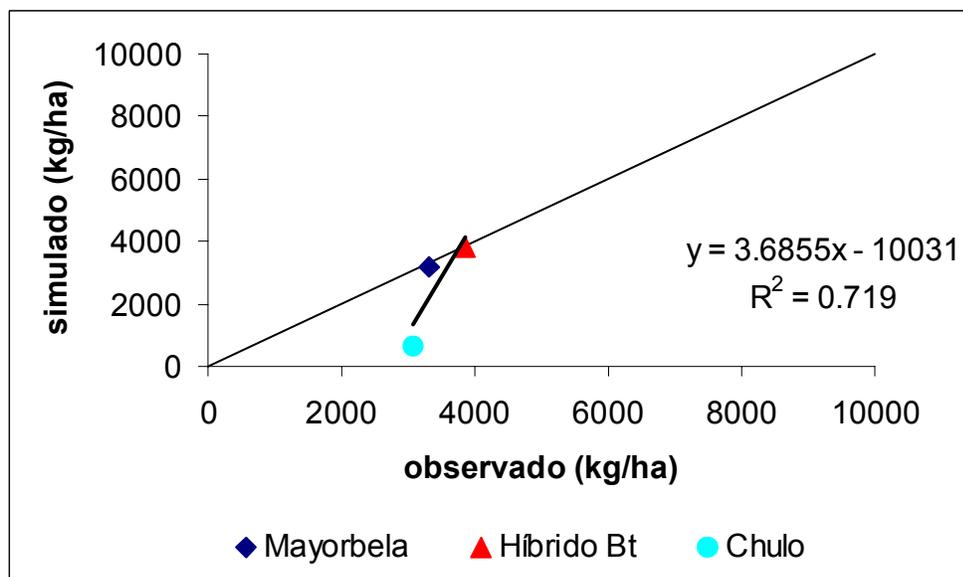


Figura 5.16. Validación de CERES-Maize para el rendimiento obtenido en Lajas durante 2005 utilizando los coeficientes genéticos estimados en Lajas en el año 2004.

Se simuló el rendimiento para las publicaciones citadas en el Cuadro 4.1. Se observó que no hubo relación lineal entre las variedades simuladas. Se obtuvieron R^2 de 0.051 y 0.122 para el rendimiento obtenido durante 2004 y 2005, respectivamente (Figuras 5.17 y 5.18).

Se simularon los rendimientos reportados por Sotomayor Ríos et al. (1980), incluyendo datos de rendimiento para las variedades M y DC sembradas en Isabela en tres épocas de siembra; 5 de noviembre de 1975, 21 de abril de 1976 y 13 de agosto de 1976. Se utilizaron los coeficientes genéticos obtenidos en Lajas durante 2004 y 2005 (Figura 5.17 y 5.18). El modelo CERES-Maize sobreestimó el rendimiento para las diferentes épocas de siembra por más de 1,000 kg/ha. El modelo simuló mejor la variedad DC con una diferencia promedio de 89 kg/ha sobreestimado para la época de siembra de 5 de noviembre de 1975 al utilizar los coeficientes genéticos estimados en el año 2004 (Figura 5.17). Se observaron los mismos resultados al utilizar los coeficientes genéticos durante 2005 para la época de siembra del 13 de agosto de 1976 para DC con una diferencia de 163 kg/ha (Figura 5.18). El modelo fue certero en simular en cual época de siembra se obtuvo el mayor rendimiento en comparación con los datos obtenidos en el campo. Lo que corresponde a las épocas de siembra del 5 de noviembre de 1975, 21 de abril de 1976 y 13 de agosto de 1976.

Se simularon los rendimientos obtenidos por Badillo et al. (1979), incluyendo datos de rendimiento para las variedades M y DC sembradas también en Isabela. La siembra se realizó en 5 de junio de 1975 hasta el 24 de septiembre de 1975. Se evaluaron dos diferentes niveles de Nitrógeno, 67 y 134 kg/ha a tres tiempos de aplicación; todo en la siembra (1), 1/3 en la siembra (2) y 3/4 un mes después, todo un

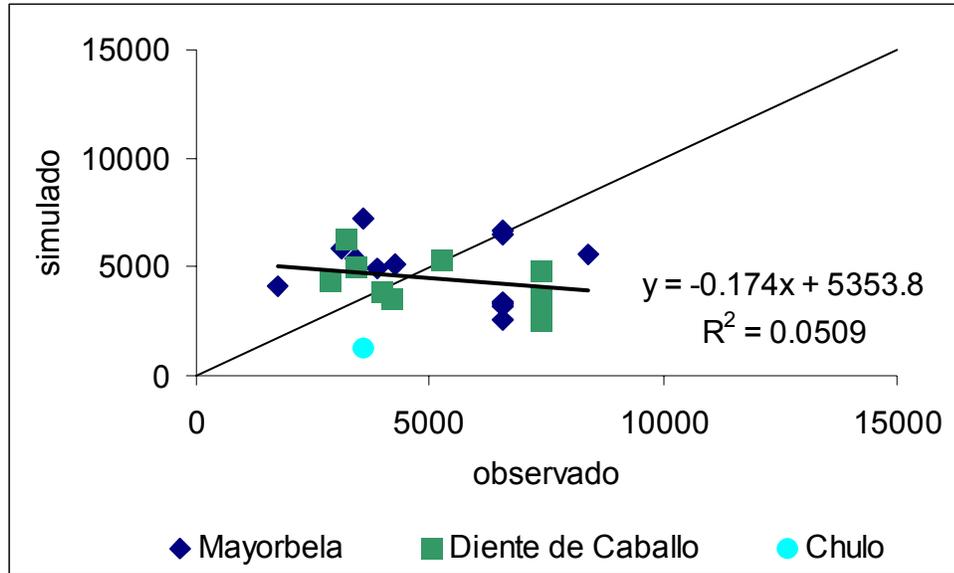


Figura 5.17. Validación de CERES-Maize para el rendimiento obtenido de las publicaciones citadas en el Cuadro 4.1 utilizando los coeficientes genéticos estimados en Lajas en el año 2004.

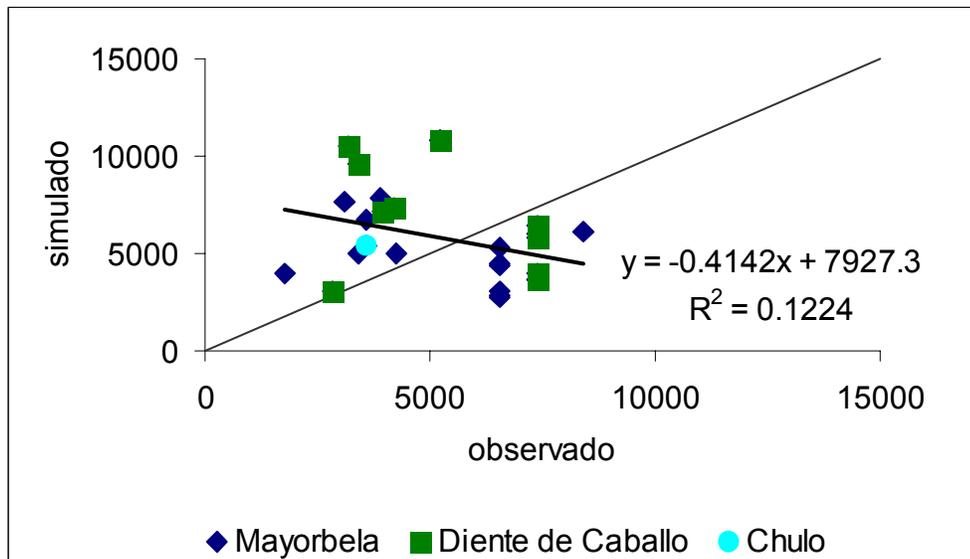


Figura 5.18. Validación de CERES-Maize para el rendimiento obtenido de las publicaciones citadas en el Cuadro 4.1 utilizando los coeficientes genéticos estimados en Lajas en el año 2005.

mes después de la siembra (3). El modelo subestimó el rendimiento para la mayoría de los datos simulados con excepción de M a 134 kg/ha de N y el tiempo de aplicación (2) mejorando la simulación con una diferencia de rendimiento sobreestimado por 91 kg/ha (Figura 5.17). El rendimiento simulado para las variedades M y DC resultó más alto al aplicar 134 kg/ha de N y el tiempo de aplicación (2), con los coeficientes observados en el 2004 (Figura 5.17). El modelo mejoró la simulación además para la variedad M para el tratamiento de 134 kg/ha el tiempo de aplicación (1) subestimando los resultados por solo 80 kg/ha con los coeficientes observados en el 2004 (Figura 5.17).

El modelo subestimó el rendimiento para las variedades M y DC entre más de 1,200 kg/ha hasta 3,450 kg/ha para ambos niveles de N utilizando los coeficientes del 2005 a los tiempos de aplicación (1), (2) y (3) (Figura 5.18). Por otra parte el modelo simuló mayores rendimientos al aplicar 134 kg/ha al tiempo de aplicación (3) para las variedades M y DC al utilizar los coeficientes del 2005 (Figura 5.18). El modelo tuvo conflicto con los datos obtenidos en el campo. Los resultados medidos muestran que no hubo diferencia significativa en el rendimiento a los diferentes niveles de N y los diferentes tiempos de aplicación. Los rendimientos obtenidos en el campo para la variedad M y DC fueron 6,554 y 7,387 kg/ha, respectivamente para las diferentes cantidades de N (134 y 67 kg/ha) y a los tres tiempos de aplicación. Por el contrario, el modelo simuló que a diferentes niveles de N y tiempos de aplicación, sí se afecta el rendimiento.

Se simularon los rendimientos reportados por Sotomayor Ríos et al. (1979), el 8 de julio de 1977 en Isabela. Se incluyeron datos de rendimiento para las variedades M

y DC sembradas a dos densidades de siembra 45,000 y 90,000 plantas/ha. El modelo sobreestimó el rendimiento para la variedad M entre 750 kg/ha hasta 3,678 kg/ha a distintas densidades de siembra con coeficientes de los años 2004 y 2005 (Figuras 5.17 y 5.18). De igual forma, el modelo sobreestimó el DC entre 1,600 kg/ha hasta 6,225 kg/ha a distintas densidades de siembra con coeficientes de ambos años 2004 y 2005 (Figuras 5.17 y 5.18). El modelo subestimó la variedad DC por 590 kg/ha al utilizar coeficientes del año 2004 y una densidad de siembra de 45,000 plantas/ha (Figura 5.17). El modelo CERES-Maize simuló rendimientos mayores para las variedades M y DC al utilizar una densidad de siembra de 90,000 plantas/ha (Figuras 5.17 y 5.18). El modelo simuló mejor la variedad DC al utilizar los coeficientes en el año 2004 (Figura 5.17). Por el contrario, el modelo mejoró la simulación para la variedad M al utilizar los coeficientes en el 2005 (Figura 5.18). Los datos medidos muestran que el mayor rendimiento lo obtuvo la variedad M a una densidad de 45,000 plantas/ha, con un rendimiento 5,050 kg/ha. El modelo redujo el rendimiento a una densidad de 45,000 plantas/ha y simuló valores acercándose más a los datos reales para ambas variedades simuladas con una diferencia promedio de 650 kg/ha.

Se simularon los rendimientos obtenidos por Flores et al. (2001), en una siembra llevada a cabo el 15 de noviembre de 2001 también en Isabela, P.R., donde se evaluaron 13 híbridos amarillos de maíz y la variedad local de polinización abierta M. El modelo subestimó el rendimiento al utilizar los coeficientes 2004 y 2005 (Figuras 5.17 y 5.18). El rendimiento medido fue 8,387 kg/ha para el 2004 mientras que el modelo predijo un rendimiento menor de 5,544 kg/ha y para 2005 6,141 kg/ha, constituyendo una diferencia de más de 2,800 kg/ha.

Se simularon los rendimientos obtenidos por Rodríguez-Cuevas, y Román-Paoli, (2004) en una siembra realizada en una finca privada en Guánica. Estos establecieron la siembra en verano de 2004 en un suelo de la serie Pozo Blanco cual pertenece al orden de suelo Molisol, con el fin de evaluar las variedades M, DC y Ch. El modelo sobreestimó el rendimiento para la mayoría de las variedades simuladas hasta por más de 3,000 kg/ha al utilizar los coeficientes genéticos obtenidos en Lajas durante 2004 y 2005 (Figuras 5.17 y 5.18). Además el modelo subestimó el rendimiento para la variedad Chulo por 2,354 kg/ha al utilizar los coeficientes genéticos estimados en Lajas durante 2004 (Figura 5.17). CERES-Maize mejoró la simulación para la variedad DC al utilizar los coeficientes genéticos obtenidos en el año 2004, en el cuál se observó una diferencia de 94 kg/ha mayor para el modelo. El modelo concordó con los datos medidos en predecir que la variedad DC obtendría el mayor rendimiento seguido por las variedades Ch y M (Figura 5.17). El modelo además predijo que M obtendría el mayor rendimiento al utilizar los coeficientes obtenidos en el 2004 (Figura 5.18).

Para el modelo CERES-Maize, se presume que la inflorescencia femenina ocurre cuando la última hoja esta completamente desarrollada (Jones y Kiniry, 1986). La planta de maíz posee hojas embrionarias. Las hojas embrionarias constituyen las primeras hojas que emergen del suelo. El modelo determina la fecha de florecida en unidades termales, desde que la planta germina hasta que completa la formación de la última hoja vegetativa, sumando seis hojas embrionarias. Existe controversia en el número de hojas embrionarias que puede tener una planta de maíz. Algunos científicos piensan que el número de hojas embrionarias puede ser menor o mayor de seis. Se validó el modelo CERES-Maize para la fecha de florecida en días después de

la siembra (DDS). No se observó una relación lineal entre las variables medidas versus simuladas para la fecha de florecida, obteniendo un R^2 de 0.345 y 0.427 para las fechas de florecidas simuladas durante 2004 y 2005, respectivamente (Figura 5.19 y 5.20). El modelo sobreestimó la fecha de florecida entre 20 hasta 30 DDS al utilizar los coeficientes genéticos durante 2005 (Figura 5.19). Cuando se utilizó con los coeficientes de 2004, el modelo sobreestimó la fecha de florecida para las variables de M, Ch y el híbrido Bt por más de 9 DDS hasta 19 DDS y subestimó el DC por 8 DDS (Figura 5.20).

Se añadió la fecha de florecida del experimento citado en el Cuadro 4.1 de Flores et al. (2001) con el fin de crear una gráfica con todas las variables de fecha de florecida simuladas por CERES-Maize. Los resultados indican que no hubo relación lineal entre las fechas de florecida simuladas al añadir los datos de fecha de florecida de Flores et al. (2001), utilizando los coeficientes obtenidos durante 2004 y 2005 (Figuras 5.19 y 5.20). Los R^2 se redujeron a 0.160 y 0.129 para los años 2004 y 2005, respectivamente (Figuras 5.19 y 5.20), en comparación con los gráficos de fecha de florecida donde no se añadieron los datos de Flores et al. (2001). La fecha de florecida obtenida por Flores et al. (2001) fue sobreestimada por el modelo por 19 DDS al utilizar los coeficientes estimados en Lajas durante 2005 (Figura 5.21). Sin embargo el modelo mejoró la simulación al predecir la fecha de florecida medida por Flores et al. 2001 por 4 DDS menores de diferencia al utilizar los coeficientes obtenidos durante 2004. (Figura 5.22).

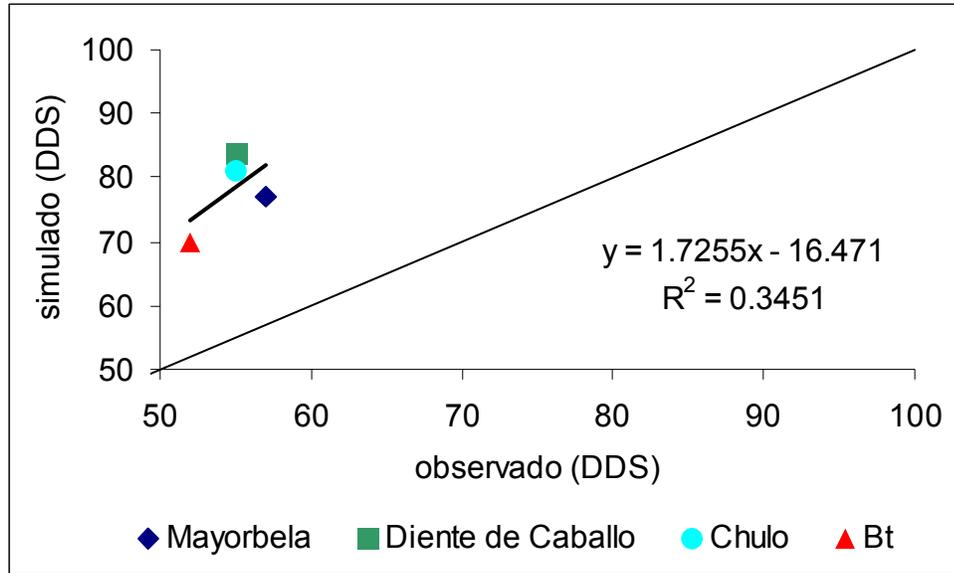


Figura 5.19. Validación de CERES-Maize para la fecha de florecida obtenida durante 2004 utilizando los coeficientes genéticos estimados en Lajas en el año 2005.

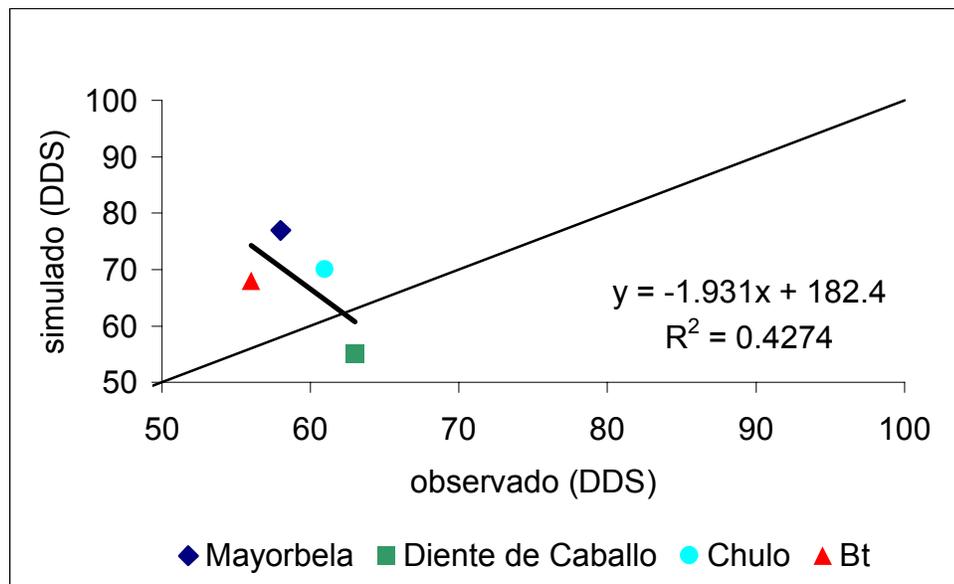


Figura 5.20. Validación de CERES-Maize para la fecha de florecida obtenida durante 2005 utilizando los coeficientes genéticos estimados en Lajas en el año 2004.

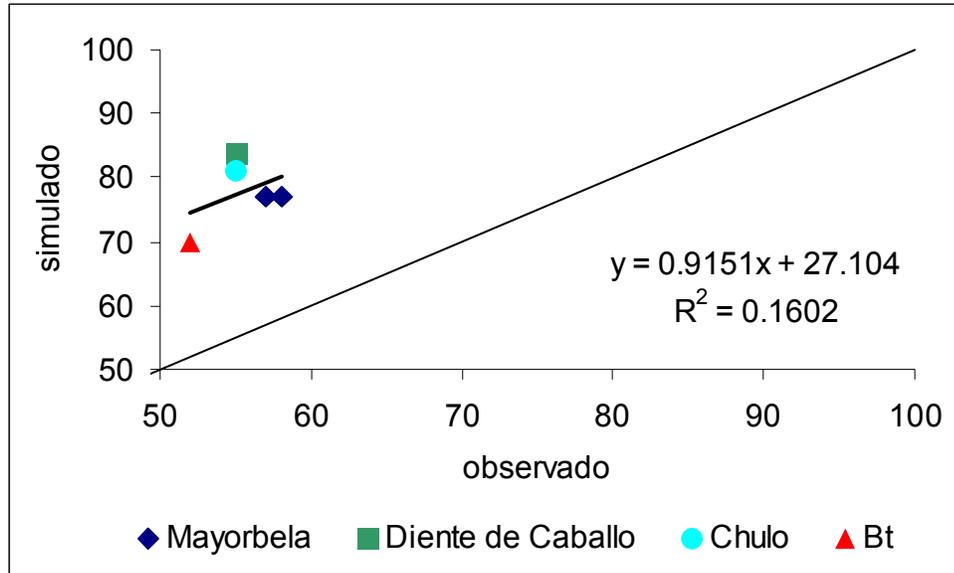


Figura 5.21. Validación de CERES-Maize para la fecha de florecida obtenida durante 2004 utilizando los coeficientes genéticos estimados en Lajas en el año 2005, añadiendo los datos de Flores et al. (2001).

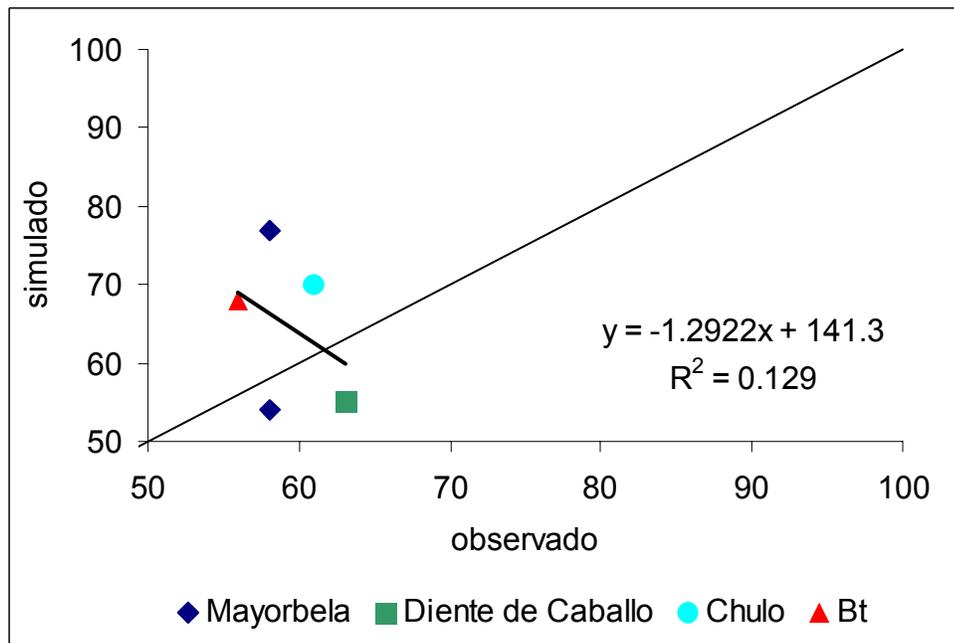


Figura 5.22. Validación de CERES-Maize para la fecha de florecida obtenida durante 2005 utilizando los coeficientes genéticos estimados en Lajas en el año 2004, añadiendo los datos de Flores et al. (2001).

Se simuló el número de hojas total para validar el modelo CERES-Maize utilizando los coeficientes obtenidos en Lajas durante 2004 y 2005 (Figuras 5.23 y 5.24). Se observa un R^2 de 0.785 y un intercepto mayor de uno para las variedades M, Ch y el híbrido Bt al utilizar los coeficientes obtenidos en Lajas durante 2004 (Figura 5.23). El R^2 a 0.189 se obtuvo al utilizar los coeficientes obtenidos en el 2005, observándose que no existe relación lineal entre las variables simuladas para el número de hojas total (Figuras 5.23 y 5.24). El modelo sobreestimó el número de hojas total para las variedades M, DC y el híbrido Bt por tres hojas adicionales al utilizar los coeficientes obtenidos en Lajas durante 2004 (Figura 5.23). Sin embargo, el modelo sobreestimó el número de hojas total entre seis hasta 10 hojas al utilizar los coeficientes obtenidos en Lajas durante 2005 (Figura 5.24). Si el número de hojas se sobreestima, se sobreestima el área foliar, la intercepción de luz y la acumulación de materia seca (Birch, 1996).

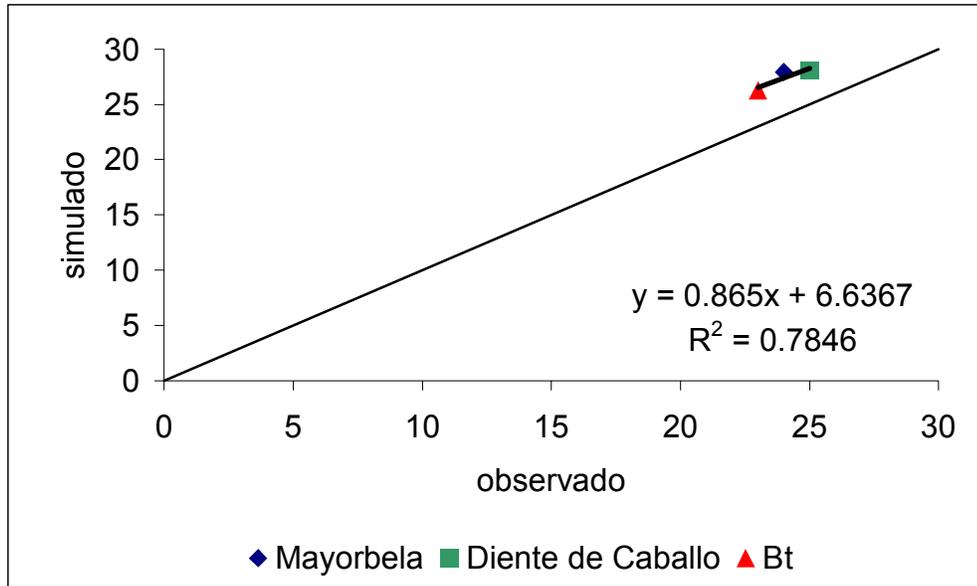


Figura 5.23. Validación de CERES-Maize para el número de hojas total obtenido durante 2004 utilizando los coeficientes genéticos estimados en Lajas en el año 2005.

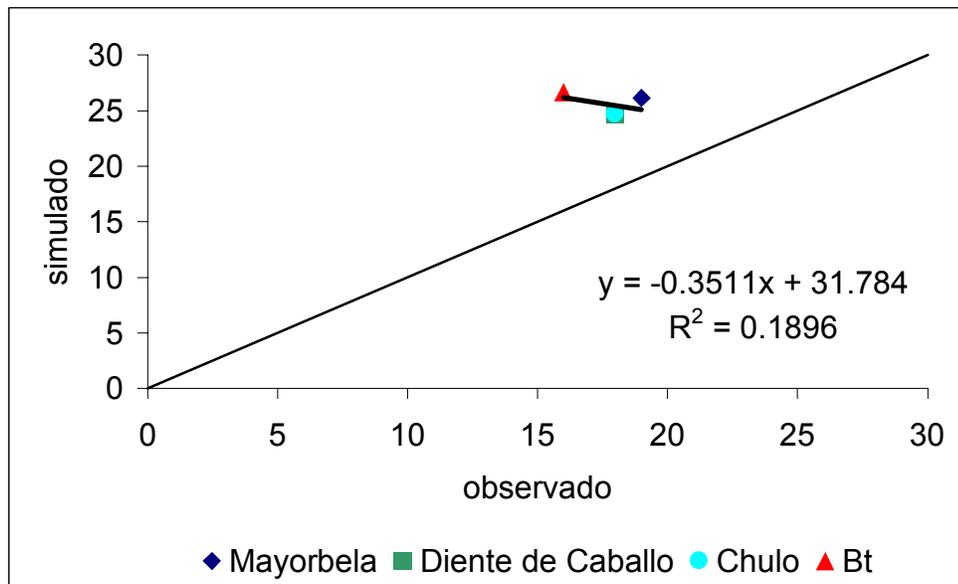


Figura 5.24. Validación de CERES-Maize para el número de hojas total obtenido durante 2005 utilizando los coeficientes genéticos estimados en Lajas en el año 2004.

El crecimiento diario del área foliar se calcula basado en el número de hojas completamente desarrolladas, las hojas que emergen diariamente y el estrés de agua en la planta. Se determinó el índice de área foliar (IAF) desde dos semanas DDS hasta la fecha de madurez fisiológica incluyendo los datos obtenidos durante la cosecha. Para la simulación se utilizó el IAF máximo medido para las variedades M, DC, Ch y el híbrido "Bt" en Lajas durante 2004 y 2005. Una planta alcanza su potencial genético cuando logra un IAF igual o mayor a tres. Las diferentes variedades sembradas en Lajas no alcanzaron este IAF en el campo por lo que se puede decir que la planta no expresó realmente el potencial genético. El modelo simuló IAF superiores a los observados por lo que los resultados simulados muestran que las plantas expresaron su potencial, lo cual no es real. El modelo CERES-Maize sobreestima el IAF por una diferencia entre dos hasta tres IAF mayor a los medidos para ambos años simulados (Figuras 5.25 y 5.26). El R^2 calculado para el IAF se considera bajo con 0.121 y 0.104 para 2004 y 2005, respectivamente, en lo que resulta que no hubo relación lineal entre las variedades simuladas para determinar IAF (Figura 5.25 y 5.26).

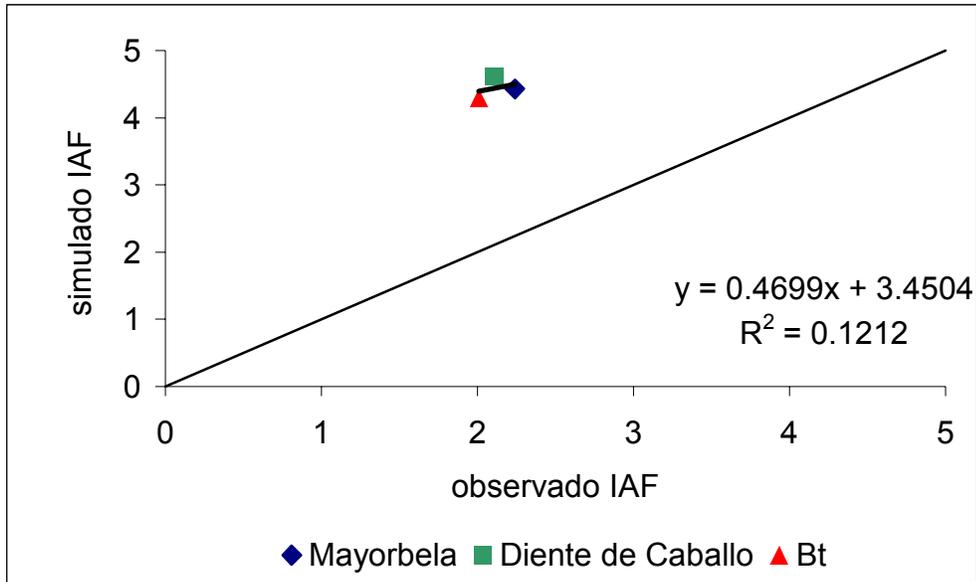


Figura 5.25. Validación de CERES-Maize para la índice de área foliar obtenido durante 2004 utilizando los coeficientes genéticos estimados en Lajas en el año 2005.

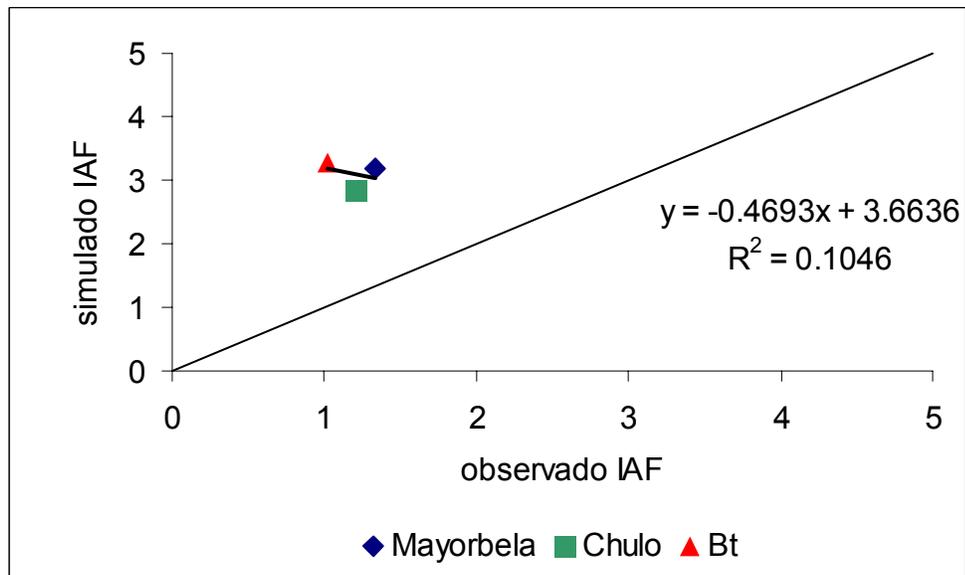


Figura 5.26. Validación de CERES-Maize para el índice de área foliar obtenido durante 2005 utilizando los coeficientes genéticos estimados en Lajas en el año 2004.

El modelo CERES-Maize no incorpora los efectos de las altas temperaturas en la viabilidad del polen en el maíz (Herrero y Johnson, 1980). La temperatura óptima para el llenado del grano por el modelo es de 26°C (Carberry, 1989). Además, el modelo no considera daños por plagas y enfermedades ocurridas durante el desarrollo de la mazorca. Se observa que no existe relación lineal entre las variedades simuladas para determinar el número de granos/mazorca. El modelo subestimó el número de granos/mazorca para el híbrido Bt durante 2004. Las variedades M y DC se mantuvieron cerca y/o sobre de la línea 1:1 (Figura 5.27). El modelo estimó un número mayor de granos/mazorca para la variedad Ch por 32 granos/mazorca, mejorando la simulación para M y DC al obtener una diferencia mayor entre tres hasta ocho granos/mazorca, respectivamente (Figura 5.27). No se determinó el número de granos/mazorca para el DC durante el 2005 debido a que la germinación fue deficiente y no habían suficientes mazorcas para obtener los datos (Figura 5.28). El modelo subestimó el número de granos/mazorca por 59 granos/mazorca para la variedad Ch (Figura 5.28). Sin embargo el modelo sobreestimó el número de granos/mazorca para el híbrido Bt por 58 granos/mazorca al utilizar los coeficientes obtenidos en Lajas durante 2004 (Figura 5.28). El modelo mejoró la simulación para la variedad M al obtener una diferencia mayor de solo cinco granos/mazorca (Figura 5.28).

El R^2 mejoró al incluir los datos obtenidos por Flores et. al (2001). Para el 2005 se obtuvo un R^2 de 0.932 y para 2004 de 0.910 (Figuras 5.29 y 5.30). Sin embargo, un intercepto lejos de cero demuestra que no se obtuvo relación lineal entre las variables simuladas para el número de granos/mazorca para los datos obtenidos en Lajas durante 2004 y 2005 junto a la simulación de número de granos/mazorca de Flores et

al. (2001) (Figuras 5.29 y 5.30). El modelo CERES simuló valores mayores para el número de granos/mazorca entre 20 hasta 65 granos/mazorca para la variedad M obtenida en Flores et. al. (2001), al utilizar los coeficientes obtenidos en Lajas durante 2005 y 2004, respectivamente (Figuras 5.29 y 5.30).

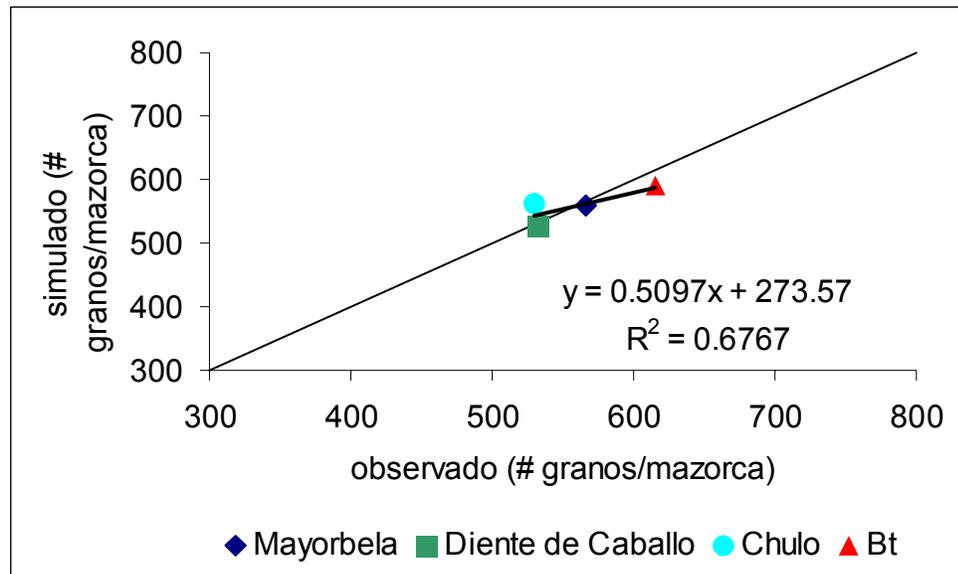


Figura 5.27. Validación de CERES-Maize para el número de granos por mazorca obtenidos durante 2004 utilizando los coeficientes genéticos estimados en Lajas en el año 2005.

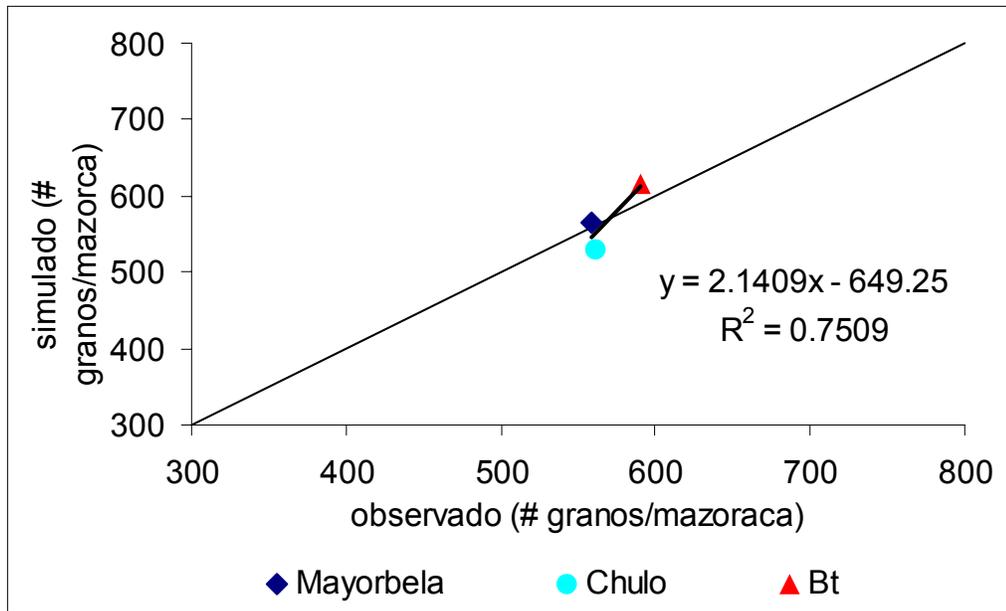


Figura 5.28. Validación de CERES-Maize para el número de granos por mazorca obtenidos durante 2005 utilizando los coeficientes genéticos estimados en Lajas en el año 2004.

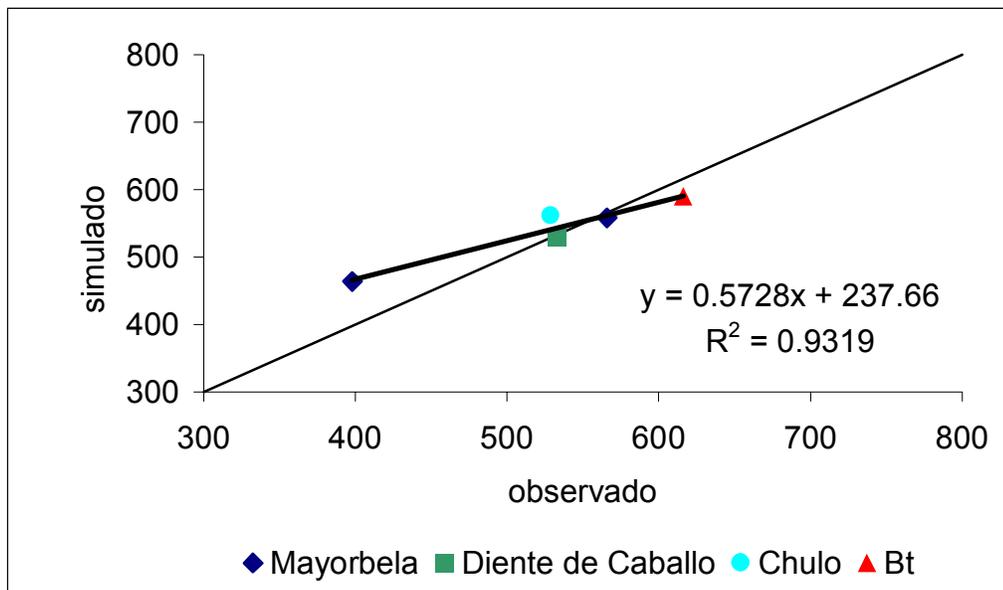


Figura 5.29. Validación de CERES-Maize para el número de granos por mazorca obtenido durante 2004 utilizando los coeficientes genéticos estimados en Lajas en el año 2005, añadiendo los datos del experimento de Flores et. al, (2001).

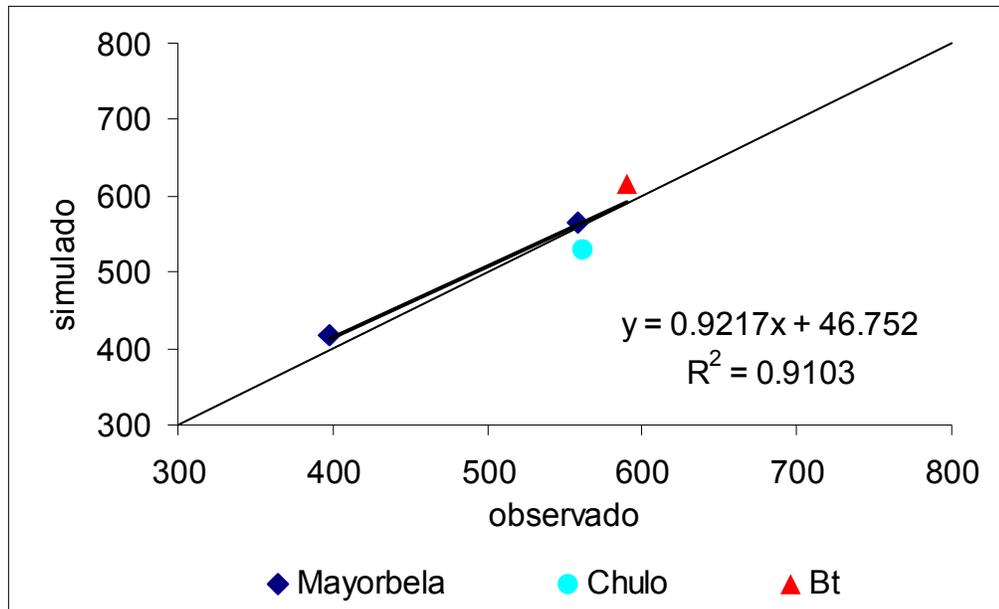


Figura 5.30. Validación de CERES-Maize para el número de granos por mazorca obtenido durante 2005 utilizando los coeficientes genéticos estimados en Lajas en el año 2004, añadiendo los datos del experimento de Flores et al. (2001).

La fecha de madurez fisiológica de la planta depende de la fecha de florecida. Por tanto, si el modelo sobreestima la fecha de florecida se podría esperar que el modelo sobreestime la fecha de madurez fisiológica. Esto se observó para el experimento en el 2004 al utilizar los coeficientes del año 2005 (Figura 5.31). El modelo sobreestimó la fecha de madurez fisiológica por 18, 23, 24 y 37 DDS para los tratamientos M, "Bt", DC, Ch, respectivamente (Figura 5.31). El modelo mejoró la simulación al utilizar los datos de fecha de madurez fisiológica obtenidos durante 2005. Esto al utilizar los coeficientes del 2004 subestimando los datos por 2, 4, 4 y 3 DDS para la madurez fisiológica de las variedades M, Bt, DC y Ch, respectivamente (Figura 5.32). Se obtuvo un R2 de 0.009 y 0.924 para la madurez fisiológica obtenida en 2004 y 2005, respectivamente, al utilizar coeficientes de años contrarios (Figuras 5.31 y

5.32). Un intercepto lejos de uno muestra que no existe relación lineal para las variedades simuladas con coeficientes del año 2004 (Figura 5.32).

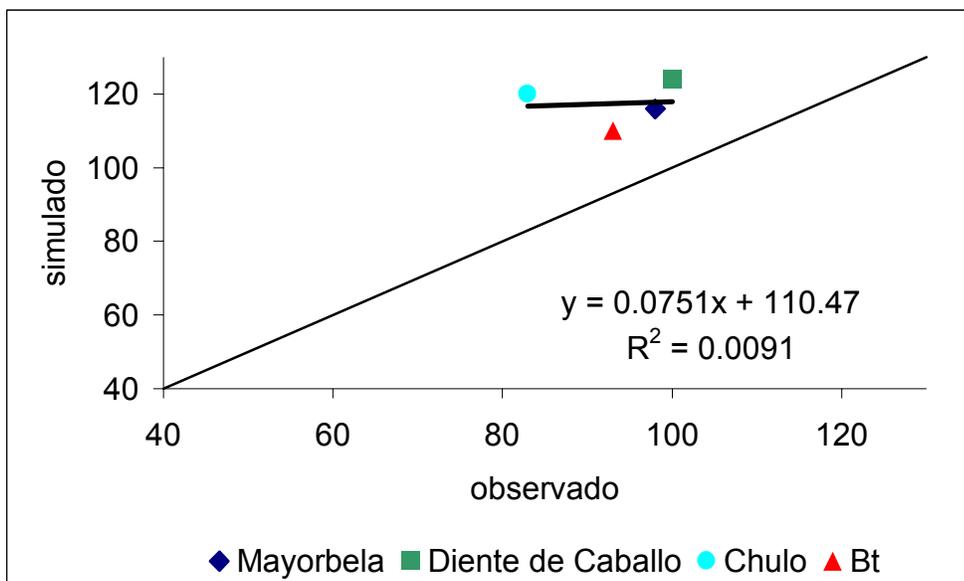


Figura 5.31. Validación de CERES-Maize para la fecha de madurez fisiológica obtenida durante 2004 utilizando los coeficientes genéticos estimados en Lajas en el año 2005.

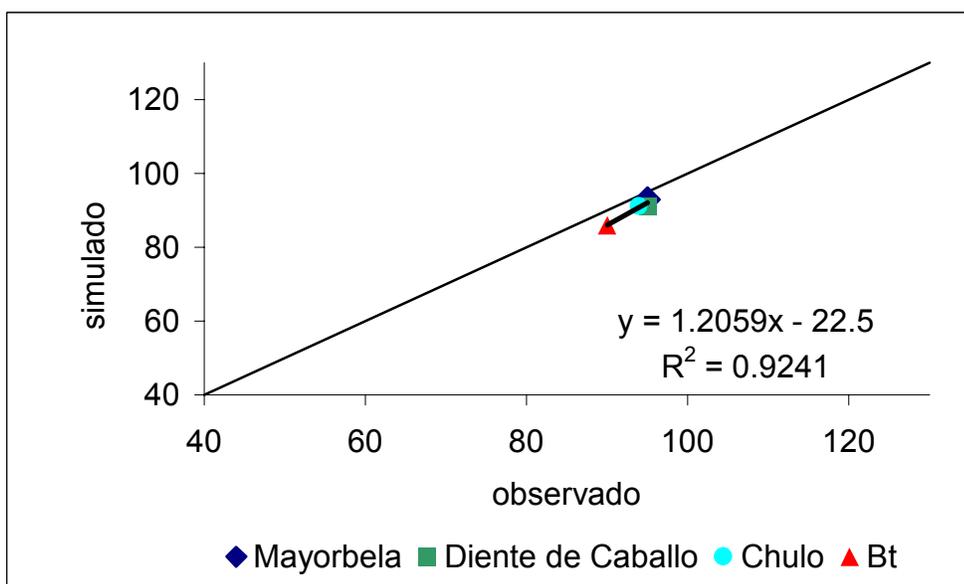


Figura 5.32. Validación de CERES-Maize para la fecha de madurez fisiológica obtenida durante 2005 utilizando los coeficientes genéticos estimados en Lajas en el año 2004.

Una vez la planta alcanza la florecida, el modelo limita la acumulación de biomasa en aquellas partes de la planta que no produzcan granos con excepción de la raíz. Otegui et al. (1996) observaron que luego de la florecida de la planta de maíz el valor del área foliar estimado por el modelo era mayor. Por tanto, la intercepción de luz por la copa estimada por el modelo sería mayor. Se validó el modelo CERES-Maize para la biomasa obtenida en Lajas de la planta, completa sin incluir las raíces durante 2004 y 2005. Se observa que no existe relación lineal para los tratamientos M, Bt, DC y Ch con R^2 de 0.311 y 0.056 para 2004 y 2005, respectivamente. El modelo sobreestimó por más de 600 hasta 6,815 kg/ha la biomasa para las variedades M, DC y el híbrido “Bt” para ambos años (Figuras 5.33 y 5.34). Sin embargo el, modelo subestimó la biomasa para la variedad Ch por 1,288 kg/ha durante 2005 al utilizar los coeficientes genéticos obtenidos es Lajas durante 2004 (Figura 5.34).

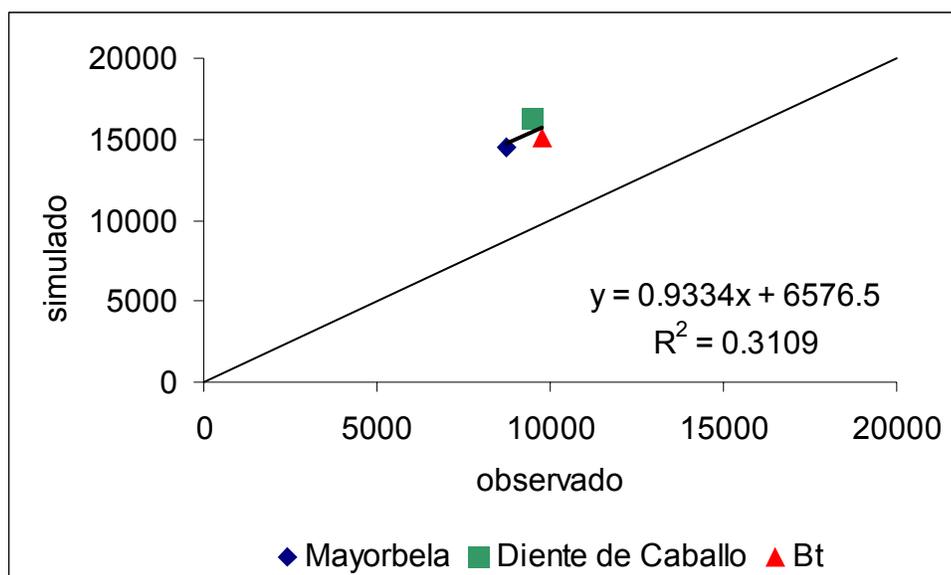


Figura 5.33. Validación de CERES-Maize para la biomasa obtenida durante 2004 utilizando los coeficientes genéticos estimados en Lajas en el año 2005.

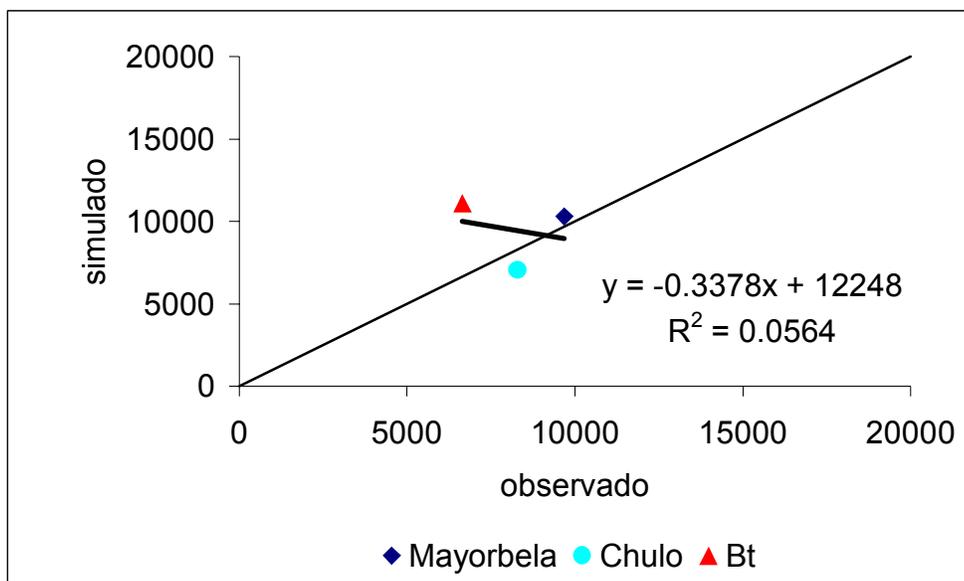


Figura 5.34. Validación de CERES-Maize para la biomasa obtenida durante 2005 utilizando los coeficientes genéticos estimados en Lajas en el año 2004.

5.4. Validación del modelo CERES utilizando los coeficientes del mismo año:

Esta simulación se realizó utilizando los coeficientes genéticos del mismo año; año 2004 con coeficientes del año 2004 y año 2005 con coeficientes del año 2005. Se observó que el rendimiento obtuvo un R^2 mayor a la simulación realizada con coeficientes de años contrarios para ambos años de siembra (Figura 5.35 y 5.36). Para el año 2004 se determinó un R^2 de 0.939 y para el 2005 se determinó un R^2 de 0.775 (Figuras 5.35 y 5.36). Sin embargo, se obtuvo un intercepto lejos de cero por lo que se puede decir que no existe relación lineal entre las variables simuladas para el rendimiento utilizando coeficientes del mismo año. Por otra parte se observa que los puntos están cerca y/o sobre la línea 1:1, para ambos años de siembra. El modelo sobreestimó la variedad M y el híbrido Bt por 366 y 1,326 kg/ha, respectivamente, durante 2004 (Figura 5.35). CERES-Maize subestimó las variedades DC y Ch por 236

y 1,315 kg/ha durante 2004 (Figura 5.35). El modelo mejoró la simulación durante 2005, sobreestimando el rendimiento para la variedad Ch y el híbrido Bt por 217 y 137 kg/ha, y subestimó el rendimiento de M por 310 kg/ha (Figura 5.36). El modelo simuló un mayor rendimiento para el híbrido Bt para ambas épocas de siembra. El mayor rendimiento observado lo obtuvo la variedad M durante 2004 y Bt en el 2005 con 4,148 kg/ha y 3,845 kg/ha, respectivamente. El modelo predice mayores valores para el híbrido Bt ya que el G3 es mayor por 1 mg de acumulación de materia seca diaria en comparación a la variedad M.

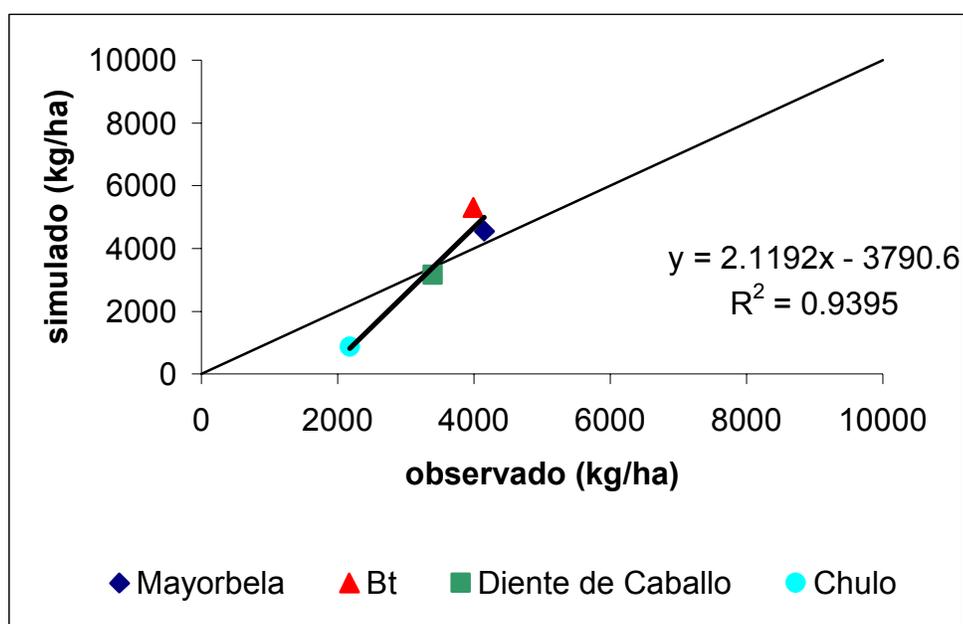


Figura 5.35. Validación de CERES-Maize para el rendimiento obtenido en 2004 utilizando los coeficientes genéticos estimados en Lajas en el año 2004.

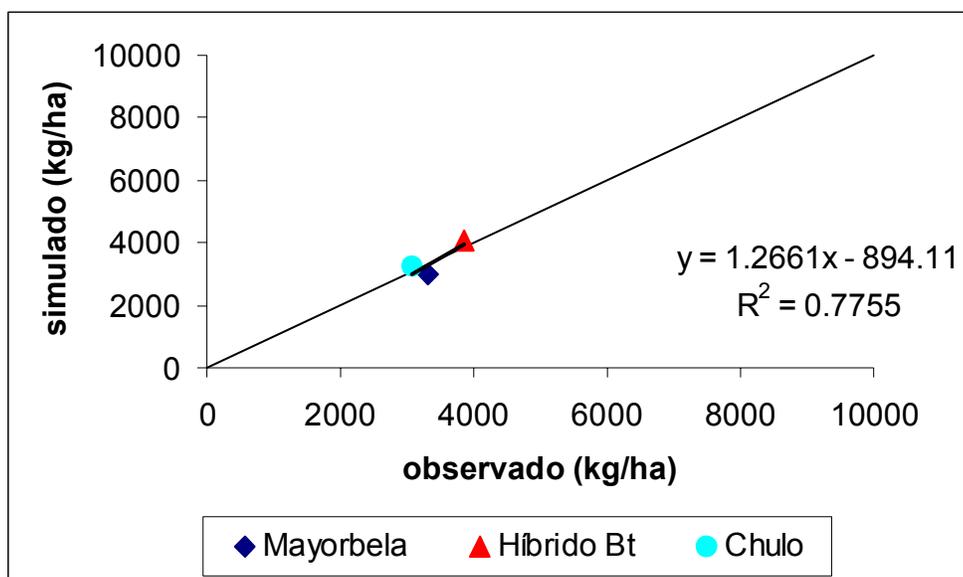


Figura 5.36. Validación de CERES-Maize para el rendimiento obtenido en 2005 utilizando los coeficientes genéticos estimados en Lajas en el año 2005.

Se validó el modelo CERES-Maize para la fecha de florecida utilizando los coeficientes del mismo año. Se obtuvo un R^2 de 0.138 y 0.939 para los datos de fecha de florecida observados durante 2004 y 2005 al utilizar coeficientes del mismo año (Figura 5.37 y 5.38). Sin embargo, un intercepto lejos de cero demuestra que no existe una relación lineal entre las variedades M, DC, Ch y el híbrido Bt, para los datos simulados de fecha de florecida (Figura 5.37). El modelo sobreestimó la variedad Ch para la fecha de florecida por 17 DDS al utilizar los coeficientes obtenidos en Lajas durante 2004 y 2005 (Figuras 5.37 y 5.38). El modelo mejoró la simulación de fecha de florecida al sobreestimar el DC por dos DDS y subestimar las variedades M y Bt entre uno hasta dos DDS, respectivamente, al utilizar los coeficientes obtenidos en Lajas durante 2004 (Figura 5.37). El modelo sobreestimó la fecha de florecida entre ocho

hasta 17 DDS para las variedades M, DC, Ch y el híbrido Bt durante 2005 (Figura 5.38).

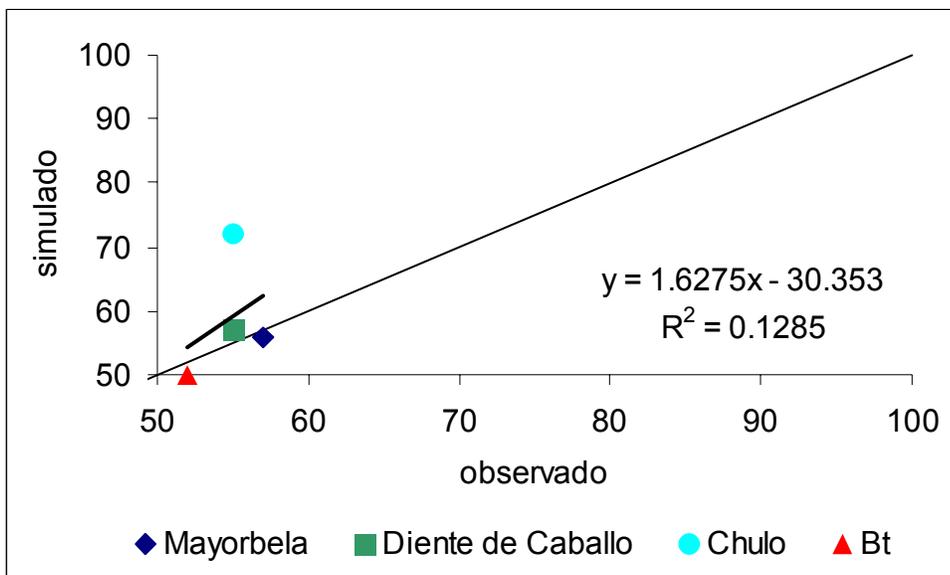


Figura 5.37. Validación de CERES-Maize para la fecha de florecida obtenida durante 2004 utilizando los coeficientes genéticos estimados en Lajas en el año 2004.

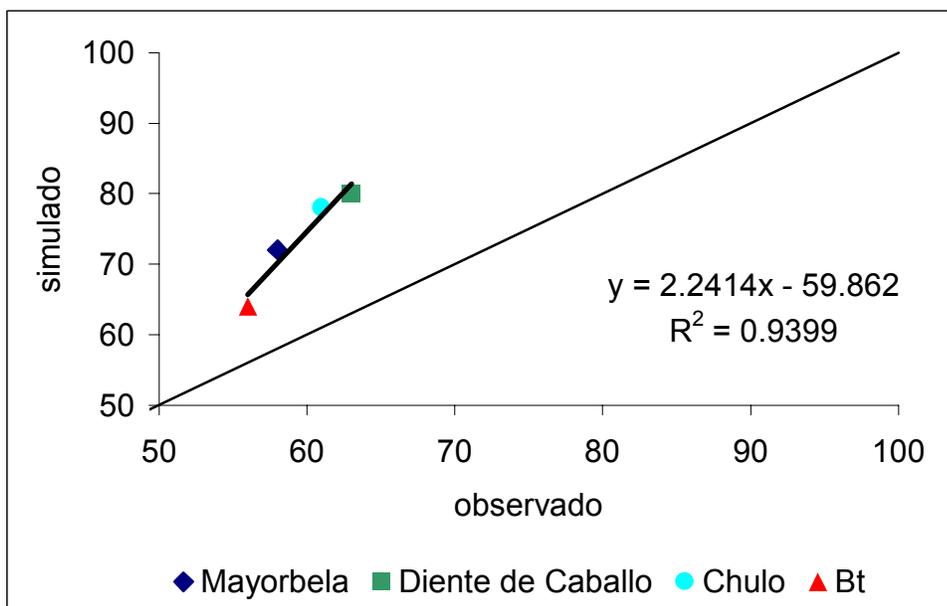


Figura 5.38. Validación de CERES-Maize para la fecha de florecida obtenida durante 2005 utilizando los coeficientes genéticos estimados en Lajas en el año 2005.

Se simuló el número de hojas para los años 2004 y 2005 utilizando coeficientes del mismo año (Figuras 5.39 y 5.40). No hubo relación lineal entre los tratamientos simulados para el número de hojas durante 2004 y 2005 utilizando coeficientes del mismo año (Figuras 5.39 y 5.40). El R^2 aumentó a 0.750 al utilizar los datos de número de hojas durante 2004 (Figura 5.39). La regresión lineal se desplaza hacia DC, logrando que la pendiente de la regresión sea negativa donde el intercepto está lejos de cero (Figura 5.39). Se obtuvo un R^2 de 0.541 para el año 2005 (Figura 5.40). El modelo simuló mejor el número de hojas durante 2004 al utilizar los coeficientes de su mismo año (Figura 5.39). El modelo sobreestimó el número de hojas por una hoja para la variedad M y el híbrido Bt, y subestimó el DC por dos hojas (Figura 5.39). El modelo sobreestimó el número de hojas entre nueve hasta 12 hojas/planta al utilizar los datos de número de hojas obtenidos en Lajas durante 2005 (Figura 5.40).

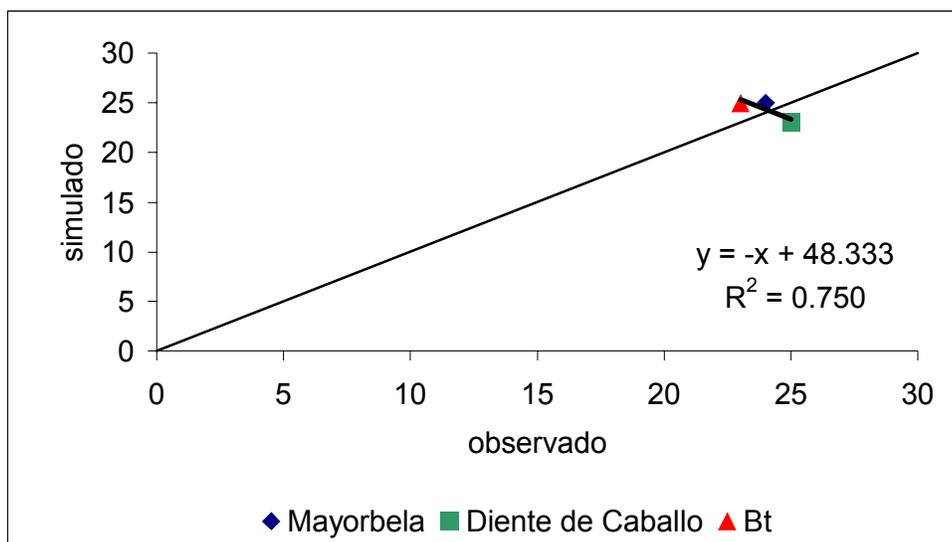


Figura 5.39. Validación de CERES-Maize para el número de hojas obtenido durante 2004 utilizando los coeficientes genéticos estimados en Lajas en el año 2004.

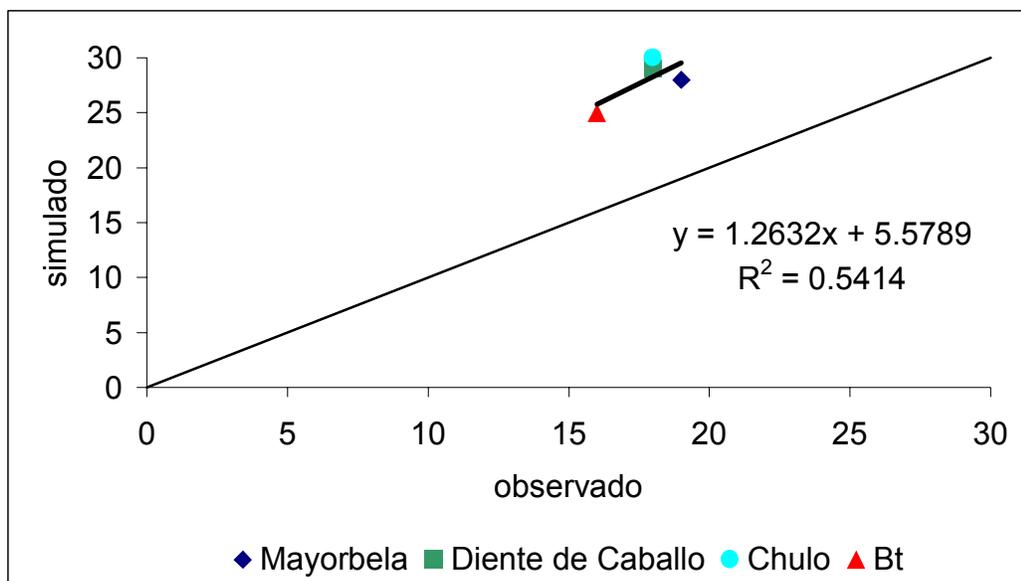


Figura 5.40. Validación de CERES-Maize para el número de hojas total obtenido durante 2005 utilizando los coeficientes genéticos estimados en Lajas en el año 2005.

Se utilizó el modelo para validar el IAF máximo que obtuvieron las variedades M, DC, Ch y el híbrido Bt durante 2004 y 2005 (Figuras 5.41 y 5.42). Se observa que el modelo sobreestimó el IAF entre dos hasta tres, al igual que los datos simulados con coeficientes de años contrarios (Figuras 5.41 y 5.42). Se obtuvo un R^2 de 0.132 y 0.311 para los datos de IAF simulados durante 2004 y 2005, respectivamente (Figuras 5.41 y 5.42). No hubo relación lineal entre las variedades simuladas para IAF (Figuras 5.41 y 5.42).

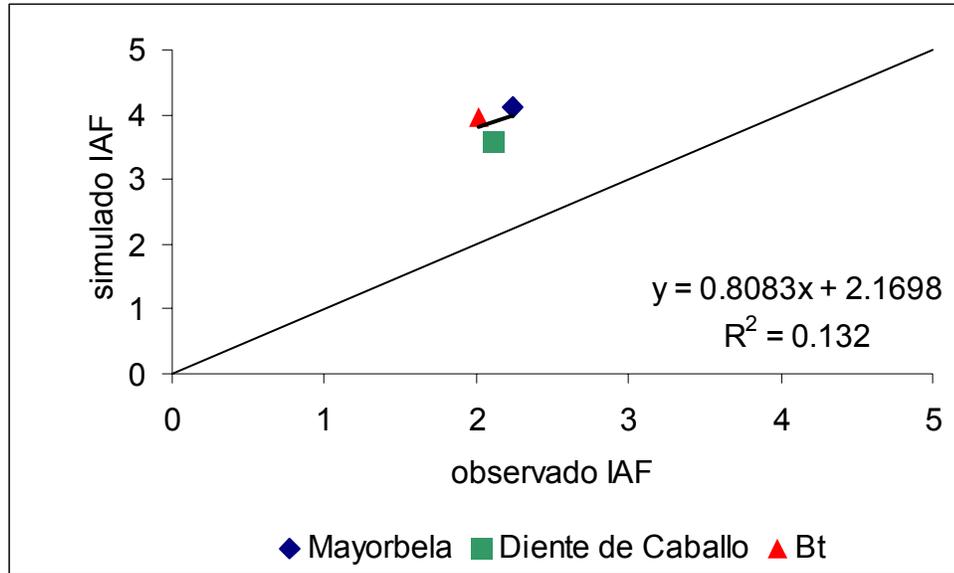


Figura 5.41. Validación de CERES-Maize para la índice de área foliar obtenido durante 2004 utilizando los coeficientes genéticos estimados en Lajas en el año 2004.

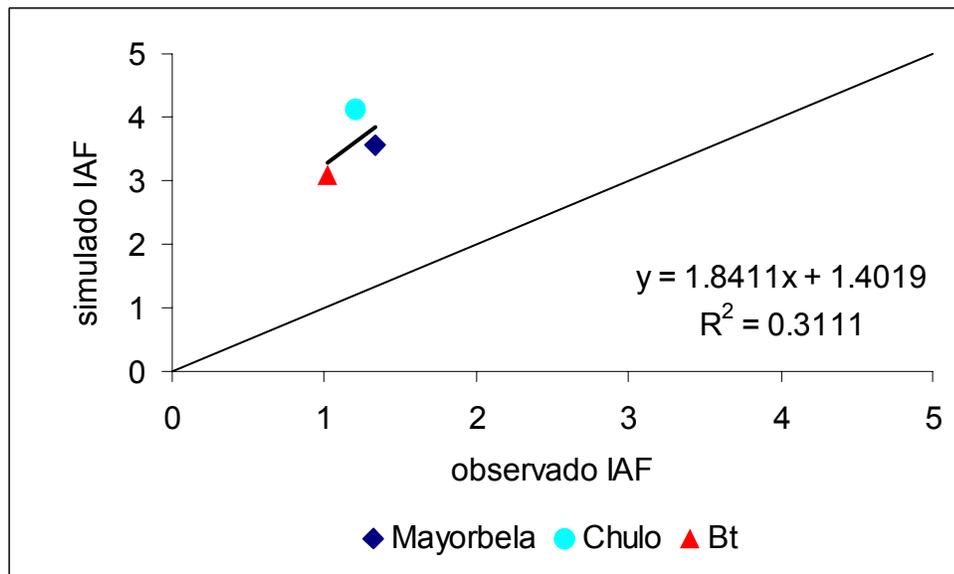


Figura 5.42. Validación de CERES-Maize para el índice de área foliar obtenido durante 2005 utilizando los coeficientes genéticos estimados en Lajas en el año 2005.

El modelo mejoró la simulación para el número de granos/mazorca para las variedades M, Ch, DC y el híbrido Bt al utilizar los coeficientes del mismo año. Un R^2 igual a uno demuestra que existe una relación lineal entre las variedades y el híbrido simulados para el número de granos/mazorca obtenido durante 2004 y 2005, respectivamente (Figuras 5.43 y 5.44). El modelo predijo valores exactos a los medidos realizando un análisis de regresión 1:1 para el año 2004 y 2005 (Figura 5.43 y 5.44). El valor de G2 añadido al modelo para la validación es el número potencial de granos/mazorca. El modelo no predice el número de granos/mazorca. El valor simulado para el número de granos/mazorca es el G2 añadido al modelo para crear la simulación. Esto puede haber ocurrido por que no se utilizó el modelo de agua y de N para crear la simulación.

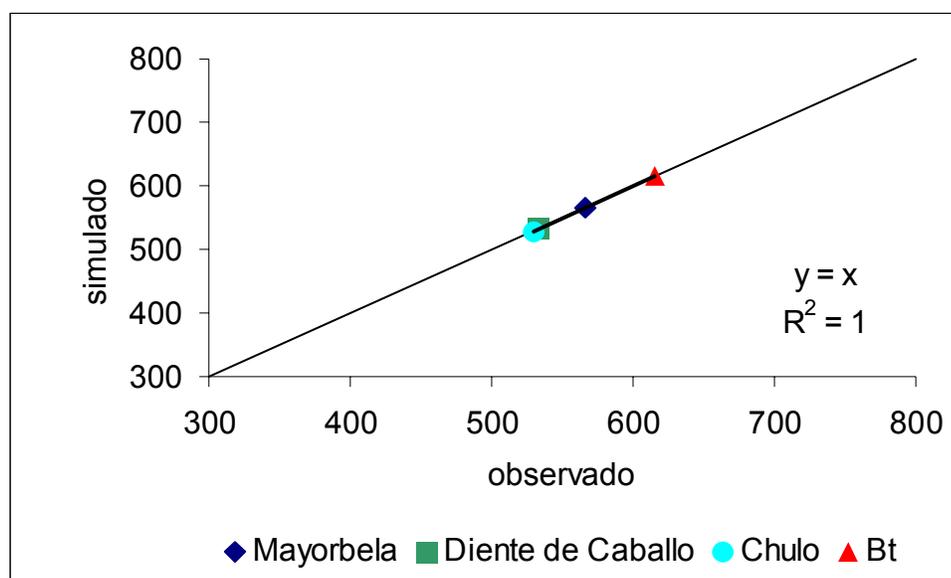


Figura 5.43. Validación de CERES-Maize para el número de granos por mazorca obtenido durante 2004 utilizando los coeficientes genéticos estimados en Lajas en el año 2004.

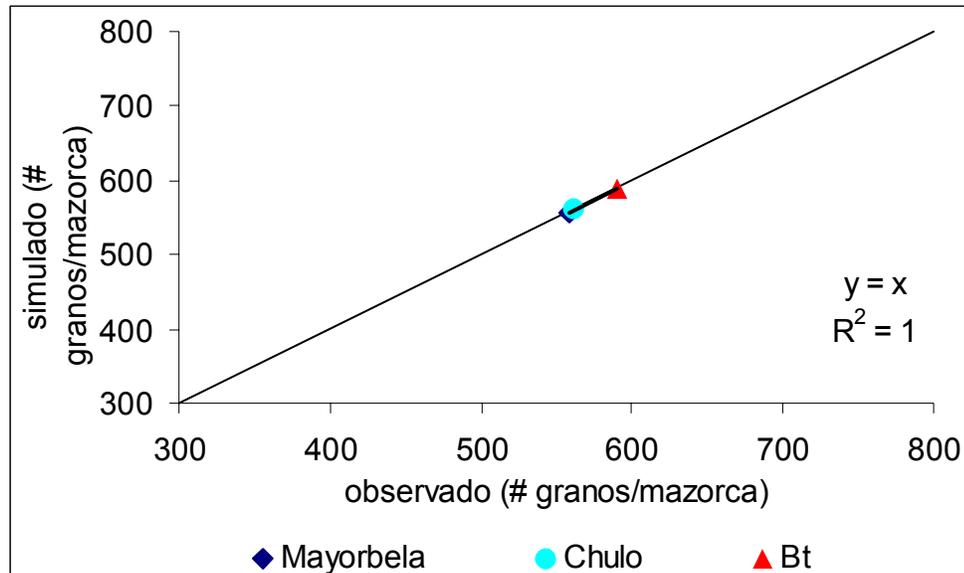


Figura 5.44. Validación de CERES-Maize para el número de granos por mazorca obtenido durante 2005 utilizando los coeficientes genéticos estimados en Lajas en el año 2005.

Se validó el modelo CERES-Maize para la fecha de madurez fisiológica obtenida durante 2004 y 2005 utilizando coeficientes del año determinado. Se observan R^2 mayores a los obtenidos en las simulaciones creadas utilizando coeficientes de años contrarios. El R^2 fue menor durante 2004, con 0.018 y aumentó con los datos simulados en el año 2005 a 0.628 (Figura 5.45 y 5.46). Esto indica que no existe una relación lineal entre los tratamientos determinados para simular madurez fisiológica. El modelo subestimó la fecha de madurez fisiológica para la variedad DC por seis DDS y sobreestimó Ch por 12 DDS (Figura 5.45). El modelo mejoró la simulación al subestimar dos DDS para el híbrido Bt y simular el valor exacto para M al utilizar los coeficientes obtenidos en Lajas durante 2004 (Figura 5.45). La fecha de madurez fisiológica fue sobreestimada entre 12 hasta 24 DDS al utilizar los coeficientes obtenidos en Lajas durante 2005 (Figura 5.46).

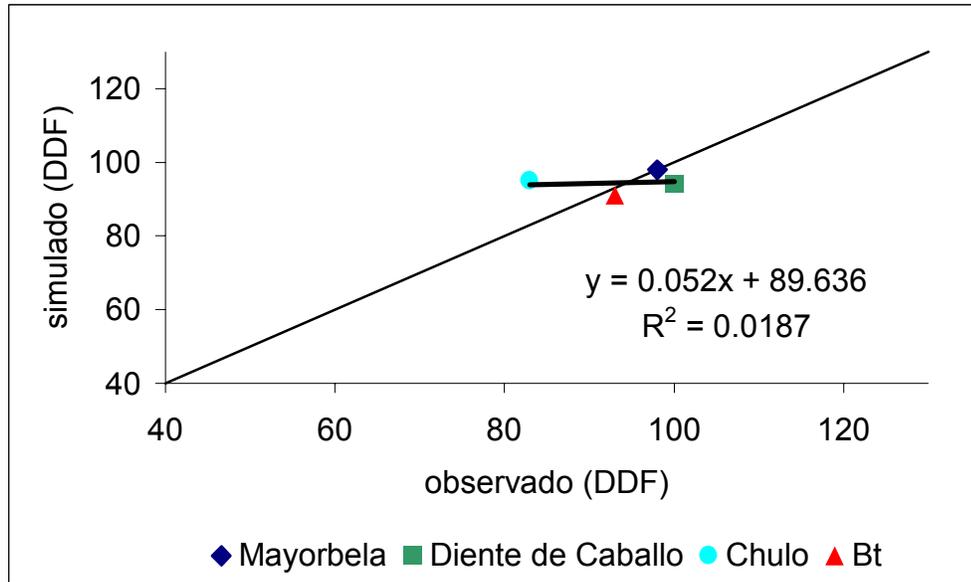


Figura 5.45. Validación de CERES-Maize para fecha de madurez fisiológica obtenida durante 2004 utilizando los coeficientes genéticos estimados en Lajas en el año 2004.

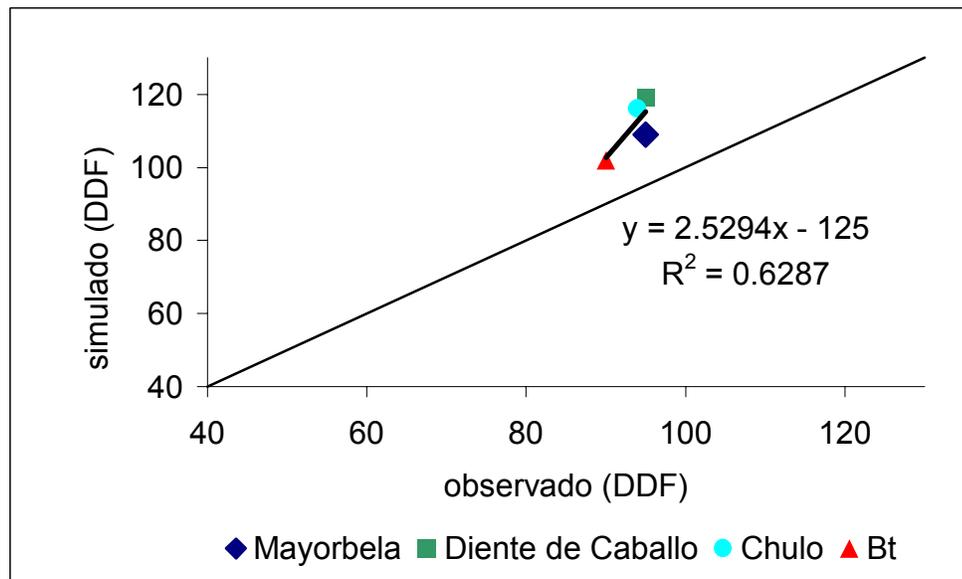


Figura 5.46. Validación de CERES-Maize para la fecha de madurez fisiológica obtenida durante 2005 utilizando los coeficientes genéticos estimados en Lajas en el año 2005.

Se validó el modelo CERES-Maize para la biomasa obtenida durante 2004 y 2005 en Lajas P.R. (Figura 5.47 y 5.48). Se observa que no existe una relación lineal entre los tratamientos simulados para validar biomasa al obtener un R^2 de 0.002 para 2004 y 2005 (Figura 5.47 y 5.48). El modelo sobreestimó la biomasa entre 1,200 hasta 4,414 kg/ha para M, Bt, Ch y DC, incluyendo la biomasa final durante ambas épocas de siembra al utilizar los coeficientes del mismo año.

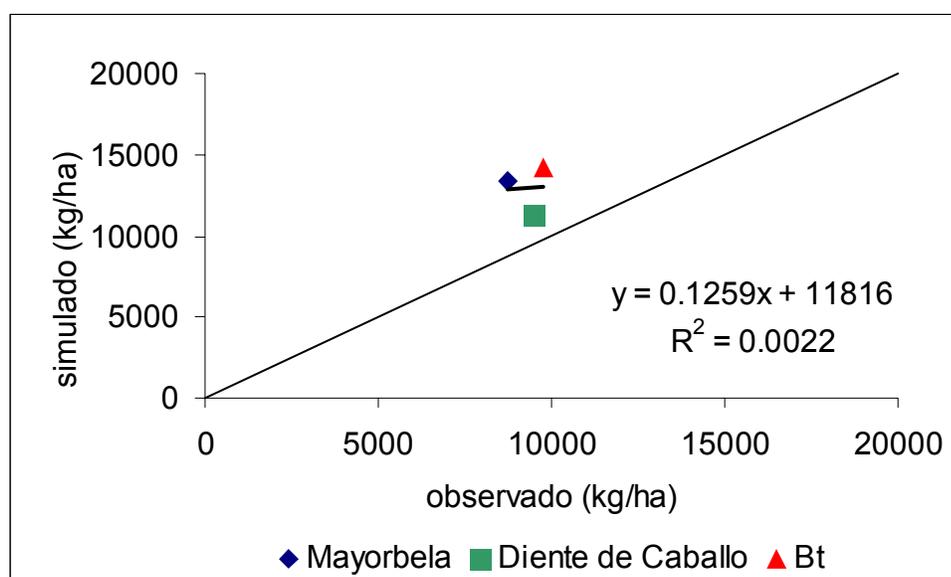


Figura 5.47. Validación de CERES-Maize para la biomasa obtenida durante 2004 utilizando los coeficientes genéticos estimados en Lajas en el año 2004.

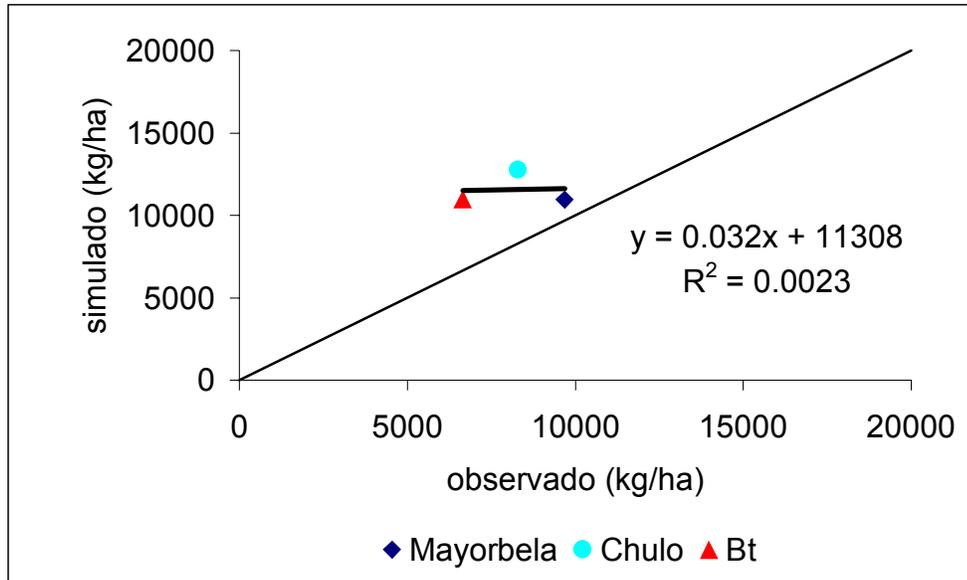


Figura 5.48. Validación de CERES-Maize para la biomasa obtenida durante 2005 utilizando los coeficientes genéticos estimados en Lajas en el año 2005.

6. Conclusión

- 1- La variedad M se adaptó mejor a las condiciones de clima de Lajas.
- 2- Las variedades M y DC sembradas en Lajas durante 2004 y 2005 obtuvieron un rendimiento promedio de 3,500 kg/ha lo cual son aceptables considerando que la densidad de siembra fue baja.
- 3- Los valores obtenidos en la simulación se consideran 30% más bajos y 70% más altos que los medidos.
- 4- El modelo varía en predecir el rendimiento de acuerdo a los insumos añadidos. Por esta razón es importante añadir correctamente los insumos que requiere el modelo para crear la simulación.
- 5- CERES-Maize simuló mejor el rendimiento en comparación a las otras variables aunque el modelo no es certero cuantitativamente en predecir el rendimiento.
- 6- El modelo predice menor rendimiento si se reduce el valor de los coeficientes P5 y G2 a una misma densidad de siembra bajo las mismas condiciones de clima y suelo.
- 7- Entre las publicaciones citadas el modelo simuló mejor el experimento de épocas de siembra realizado por Sotomayor et al. (1980).
- 8- El modelo resultó ser sensible a los cambios en niveles de Nitrógeno y tiempos de aplicación.
- 9- No existe documentación disponible de simulaciones en maíz para validar el modelo CERES-Maize bajo condiciones de Puerto Rico.

- 10- La validación realizada en este estudio es la única documentada bajo las condiciones de Puerto Rico.
- 11- La mayoría de los insumos utilizados para preparar el modelo han sido estimados en condiciones de clima templado. Lo que puede considerarse un margen de error para predecir el rendimiento en un clima tropical.

7. Recomendaciones:

- 1- Mejorar la compatibilidad del modelo con otros programas de uso común.
- 2- Se necesitan más trabajos de validación bajo nuestras condiciones de clima para determinar rendimiento a diferentes niveles de Nitrógeno y densidades de siembra.
- 3- Que se realice más investigación para que las ecuaciones del modelo apliquen mejor a condiciones tropicales.
- 4- Debe incorporarse al modelo los efectos en la planta por daños causados por enfermedades y plagas.
- 5- Que se ajuste la ecuación para determinar el número de hojas.
- 6- Recomiendo el utilizar la variedad “Mayorbela” por parte de los agricultores del área de Lajas, Puerto Rico.
- 7- Es necesario que se amplíe la recopilación de datos meteorológicos para otras localidades en adición a las registradas en las subestaciones de la UPR, que incluya radiación solar.

8. Literatura Citada

Badillo-Feliciano J., L. López y T. W. Scott. 1979. Influence of cultivars, N levels and time of N application on plant characters, leaf composition, and yield of corn grown on an Oxisol. *Agri. Univ. P.R.* Vol. 53. 3: 273-280.

Beaver, James. 2006. *Variedades en Conjunto Tecnológico para la Producción de Maíz*. Estación Experimental Agrícola, Río Piedras, Puerto Rico. (Sometido a la junta editora) pp. 11-12.

Birch, C.J. 1996. Modeling crop ontogeny, leaf area and dry matter accumulation and distribution in diverse cultivars of maize. PhD. thesis. The University of Queensland. pp. 95

Carberry, P.S., R.C. Muchow, R.L. McCown. 1989. Testing the CERES-Maize simulation model in semi-arid tropical environment. *Field Crops Res.*, 20: 297-315.

Carte. 1965. Soil Survey of Lajas Valley Area of South P.R. United State Department of Agriculture, Soil Conservation Services; incorporation with the University of PR; College of Agriculture Science. Washington DC. Pp. 93-96 &110-112.

Duncan W.G., Hatfield A. L., 1964. A method for measuring the daily growth of corn kernels. *Crop Science.*, 63: 10-16.

(DSSAT). The Decision Support System for Agrotechnology Transfer and International Benchmark Project Sites Network for Agrotechnology. 1998. Página de la información de DSSAT, IBSNAT, <http://www.icasanet.org/dssat/index.html>

Figueroa, E. 1983. Ciclo de vida y enemigos naturales de *Heliothis zea* (Boddie) Lepidóptero: Noctuidae en Puerto Rico. Tesis de M.S. Universidad de Puerto Rico, Recinto Universitario de Mayagüez, Departamento de Protección de Cultivos. Pp. 109.

Flores C. A., E. Acevedo, J. Beaver, A. Armstrong, W. Almodovar. 2001. Comportamiento de 13 híbridos de maíz amarillo y la variedad Mayorbela en Isabela Puerto Rico. Programas Nacionales de Investigación. Programa Regional del Maíz. CIMMYT.

Freebaim, D., M. Littleboy, G. Wockner. 1993. Understanding simulation models - a tool to study cropping systems. Agricultural Production System series: Number 1. CSIRO Australia. Pp. 2.

Gierbolini, E. Roberto. 1975. Soil Survey of Mayagüez Area of Western P.R. United State Department of Agriculture, Soil Conservation Services; incorporation with the University of PR; College of Agriculture Science. Washington DC. Pp. 2-45.

Harmsen, E.W., R.G Royal, S. Torres-Justiniano. 2002. Estimating evapotranspiration in Puerto Rico. J. Agric. Univ. P.R. 86(1-2):35-54

Herrero, M.P., R.R. Johnson. 1980. High-temperature stress and pollen viability of maize. Crop Sci., 20: 796-106.

Hunt, L.A., S. Parajasingham, J.W. Jones, G. Hoogenboom, D. Imamura, and R.M. Ogoshi. 1993. Gencalc: Software to facilitate the use of crop models for analyzing field experiments. Agron. J. 85:1090-1094.

IBSNAT. International Benchmark Project Sites Network for Agrotechnology Transfer. 1993. The IBSNAT decade. Department of Agronomy and Soil Science, College of Tropical Agriculture and Human Resources, University of Hawaii, Honolulu, Hi.

Jones, C.A., J.R. Kiniry. 1986. CERES-Maize: A simulation model of maize growth and development, Texas A&M Univ. Press, College Station, pp. 113-144.

Kiniry, J. R., J.T. Ritchie, R.L. Musser, E. P. Flint and W.C. Iwig. 1983. The Photoperiod Sensitive Interval in Maize. Agron. J. 75:686-691.

López F., Roberto M. 1994. Progreso de selección recurrente recíproca en cuatro poblaciones de maíz y su comportamiento agronómico en relación al gusano de la mazorca y el cogollero (Lepidóptero: noctuidae). Tesis de Maestría. Universidad de Puerto Rico en Mayagüez. Pp.9-20.

Lugo López, M.A. 1995. El Valle de Lajas: 50 años después. Acta Científica 9(57-69):1.

Meneses-Ojeda, A. Ademir. 1992. Aceptabilidad y efecto de niveles de Nitrógeno y densidades poblacionales en la variedad de maíz, *Zea Mays*, Chulo. Tesis de Maestría. Universidad de Puerto Rico en Mayagüez. Pp.33-82.

Nielsen R. L., P. R. Thomison, G. A. Brown, A. L. Halter, J. Wells and K. L. Wuethrich. 2002. Delayed planting effects on flowering and grain maturation of dent corn. *Agron. J.* 94:549-558.

Ogoshi, R.M., L.A. Hunt, J.W. Jones, G.Y. Tsuji. 1989. Determination and application of field derived genetic coefficients for CERES-Maize crop model. Annual Meetings. American Society of Agronomy. Crop Science Society of America. Las Vegas, Nevada. October 15-20, 1989. *Agronomy Abs.* Pp. 20.

Ortega, A., & C. De León. 1974. Maize insects and diseases. In: Proc. Symp. On worldwide maize improvement in the 70' sands the role of CIMMYT, El Batán, and Mexico. pp 327.

Ortega, A., S.K. Vasal, J.A. Mihm, & C. Hershey. 1980. Breeding for insect resistant maize for the third world: Proceedings of the International Symposium on Methodologies for developing host plant resistance to maize insects. CIMMYT, El Batán, México. pp. 327.

Paliwal, L., G. Granados. 2001. El maíz en los trópicos: Mejoramiento y Producción. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. Pp. 376.

Ritchie, S. W., J.J. Hanway, G.O. Benson. 1992. How a Corn plant develops. Special Report, No.48. Iowa State University of Science and Technology Cooperative Extension Service Ames, Iowa. Reprinted June 1993. pp. 11-32.

Ritchie, J.T., J.R. Kiniry, C.A. Jones, P.T. Dyke. 1986. Model Inputs. CERES-Maize: A Simulation Model of Maize Growth and Development. Texas A & M University Press, College Station, pp. 113-144.

Ritchie, J.T., D.C. Godwin, U. Singh. 1989. The CERES models of crop growth and yield. Annual Meetings. American Society of Agronomy. Crop Science Society of America. Las Vegas, Nevada. October 15-20, 1989. *Agronomy Abs.* Pp. 21.

Rodríguez Cuevas J.J., E. Román Paoli. 2005. Evaluación de tres variedades locales de maíz en la costa Sur de Puerto Rico. Primera Jornada Científica para sub-graduados; Recinto Universitario de Mayagüez. Colegio de Ciencias Agrícolas. Pp. 1-8

Román-Paoli, E, S. Welch, R. Vanderlip. 2000. Comparing genetic coefficients estimation methods using the CERES-Maize model. *Agric. Sys.* 65:29-47.

Sotomayor Ríos A., Torres C., Ellis M. 1980. Performance of twelve corn hybrids and selections in three consecutive crops on three same sites in the same year. *J. Agri. Univ. P.R.* p. 170-179.

Sotomayor Ríos A., C. Torres, M. Ellis. 1979. Effect of Plant Density on Yield and Plant Characters of Twelve Corn Hybrids and Selections. *J. Agri. Univ. P.R.* p. 407-413.

Thorton, P.K., J.B. Dent, Z. Bacsi. 1991. A Framework for Crop Growth Simulation Model Applications. *Agricultural Systems.*, 37:327-340.

Tsuji G.Y., G. Uehara, S. Balas. 1994. Decision Support System for Agrotechnology Transfer. Version 3.0. Crop simulation software. Univ. of Hawaii, Honolulu. Annual Meetings. American Society of Agronomy. Crop Science Society of America. Seattle, Washington. November 13-18, 1994. *Agronomy Abs.* Pp. 99.

Wiseman, B.R. 1989. Technological advances for determining resistance in maize to *Heliothis zea*. In: Toward insect resistance maize for the third world: Proceedings of the International Symposium on Methodologies for developing host plant resistance to maize insects. CIMMYT, El Batán, México. pp. 327.

8. Apéndices:

Apéndice 8.1. Medias obtenidas para la biomasa y el IAF para las variedades M, "Bt" y DC estimadas en Lajas, P.R. durante 2004.

Fechas de Medidas	Variedades	Biomasa (g/planta)	Índice de área foliar
4 marzo	M	0.422	0.024
4 marzo	Bt	0.486	0.027
4 marzo	DC	0.412	0.017
18 marzo	M	5.596	0.285
18 marzo	Bt	16.521	0.347
18 marzo	DC	3.032	0.197
1 abril	M	41.905	1.562
1 abril	Bt	32.296	1.676
1 abril	DC	28.641	1.461
15 abril	M	101.729	2.088
15 abril	Bt	111.145	2.013
15 abril	DC	113.378	1.886
29 abril	M	183.305	2.244
29 abril	Bt	156.318	1.949
29 abril	DC	147.440	1.796
14 mayo	M	202.540	1.930
14 mayo	Bt	227.691	1.554
14 mayo	DC	199.516	2.111

Apéndice 8.2. Medias obtenidas para la biomasa y el IAF para las variedades M, “Bt” y DC estimadas en Lajas P.R. durante 2005.

Fechas de medidas	Variedades	Biomasa(g/planta)	Índice de área foliar
21 marzo	Bt	0.903	0.348
21 marzo	Ch	0.778	0.219
21 marzo	M	1.096	0.219
4 abril	Bt	17.313	0.890
4 abril	Ch	11.875	0.815
4 abril	M	8.063	0.701
20 abril	Bt	23.875	0.970
20 abril	Ch	33.750	1.209
20 abril	M	25.000	1.334
2 mayo	Bt	70.345	1.048
2 mayo	Ch	64.436	1.134
2 mayo	M	73.839	1.319
19 mayo	Bt	171.336	0.805
19 mayo	Ch	149.141	1.089
19 mayo	M	182.334	1.014
6 junio	Bt	166.970	
6 junio	Ch	247.963	
6 junio	M	212.686	
13 junio	Bt	185.209	
13 junio	Ch	231.506	
13 junio	M	269.606	

Apéndice 8.3. Rendimiento (kg/ha) observado vs. simulado para las variedades M, DC, Ch y Bt obtenido durante 2004 y 2005 en Lajas, P.R. utilizando los coeficientes genéticos de años contrarios y del mismo año.

Experimentos utilizados para validar CERES-Maize	Variedades	Observado	Simulado 05	Simulado 04	
EEA, Lajas 2005	M	3313	3003	3185	
	Bt	3845	4062	3842	
	CH	3089	3226	768	
EEA, Lajas 2004	M	4184	4312	4551	
	Bt	3986	6872	5312	
	DC	3396	5891	3160	
	CH	2176	4302	861	
Rodríguez et. al 2005	M	3414	5010	5356	
	DC	3954	7157	4130	
	CH	3594	5374	1240	
Sotomayor et al., 1979 (Densidad de siembra)	M 4.5	4267	5025	5119	
	DC 4.5	4186	7313	3804	
	M 9.0	3591	6745	7269	
	DC 9.0	3398	9624	5367	
Badillo et al., 1979 (Niveles de Nitrógeno (kg/ha) y Tiempos de aplicación)	M (67, 1)	6554	2788	3299	
	M (67, 2)	6554	2809	3428	
	M (67, 3)	6554	3047	3175	
	M (134,1)	6554	4538	6474	
	M (134,2)	6554	4390	6645	
	M (134,3)	6554	5273	2576	
	DC (67, 1)	7387	3673	3699	
	DC (67, 2)	7387	3699	3957	
	DC (67, 3)	7387	3957	3673	
	DC (134,1)	7387	6032	6032	
	DC (134,2)	7387	5829	5829	
	DC (134,3)	7387	6475	6475	
	Sotomayor et al., 1980 (Época de siembra)	M noviembre	3886	7895	15850
		M abril	3109	7659	8428
M agosto		1753	4008	5894	
DC noviembre		5223	10794	5312	
DC abril		3180	10493	6294	
DC agosto		2848	3011	4380	
Flores et al., 2001	M	8386	6144	5544	

Apéndice 8.4. Números de granos por mazorca observado vs. simulado obtenidos durante 2004 y 2005 en Lajas, P.R. utilizando coeficientes de años contrarios 2005 y 2004, respectivamente.

Experimentos utilizados para validar CERES-Maize	Variedades	Observado	Simulado 04	Simulado 05
EEA, Lajas 2005	M	590	566	
	Bt	558	616	
	CH	551	529	
EEA, Lajas 2004	M	616		558
	Bt	566		590
	DC	533		529
	CH	529		561
Flores et al., 2001	M	397	417	463

Apéndice 8.5. Fecha de madurez fisiológica observada vs. simulada obtenida durante 2004 y 2005 en Lajas, P.R. utilizando coeficientes de años contrarios 2005 y 2004, respectivamente.

Experimentos utilizados para validar CERES-Maize	Variedades	Observado	Simulado
EEA, Lajas 2005	M	95	93
	Bt	90	86
	DC	95	91
	CH	94	91
EEA, Lajas 2004	M	98	116
	Bt	93	110
	DC	100	124
	CH	83	120

Apéndice 8.6. Índice de área foliar observado vs. simulado obtenido durante 2004 y 2005 en Lajas, P.R. utilizando coeficientes de años contrarios 2005 y 2004, respectivamente.

Experimentos utilizados para validar CERES-Maize	Variedades	Observado	Simulado
EEA, Lajas 2005	M	0.92	3.19
	Bt	0.81	3.28
	Ch	0.89	2.85
EEA, Lajas 2004	M	1.36	4.43
	Bt	1.26	4.3
	DC	1.24	4.61

Apéndice 8.7. Número de hojas total simuladas vs. observadas obtenidos durante 2004 y 2005 en Lajas, P.R. utilizando coeficientes de años contrarios 2005 y 2004, respectivamente.

Experimentos utilizados para validar CERES-Maize	Variedades	Observado	Simulado
Esteves Nieves et. al 2005	M	19	26.14
	Bt	16	26.68
	DC	18	24.70
Esteves Nieves et. al 2004	CH	18	24.69
	M	24	27.92
	Bt	23	26.27
	DC	25	28.00

Apéndice 8.8. Biomasa (kg/ha) observada vs. simulada obtenida durante 2004 y 2005 en Lajas, P.R. utilizando coeficientes de años contrarios 2005 y 2004, respectivamente.

Experimentos utilizados para validar CERES-Maize	Variedades	Observado	Simulado
EEA, Lajas 2005	M	9679	10304
	Bt	6649	11093
	Ch	8311	7145
EEA, Lajas 2004	M	8709	14436
	Bt	9791	16372
	DC	9455	16270

Apéndice 8.9. Números de granos por mazorca observado vs. simulado utilizando los coeficientes genéticos obtenidos durante 2004 y 2005 en Lajas, P.R. con el mismo año de siembra.

Experimentos utilizados para validar CERES-Maize	Variedades	Observado	Simulado
EEA, Lajas 2005	M	558	558
	Bt	590	590
	CH	561	561
EEA, Lajas 2004	M	616	616
	Bt	566	566
	DC	533	533
	CH	529	529

Apéndice 8.10. Fecha de madurez fisiológica observada vs. simulada utilizando los coeficientes genéticos obtenidos durante 2004 y 2005 en Lajas, P.R. con el mismo año de siembra.

Experimentos utilizados para validar CERES-Maize	Variedades	Observado	Simulado
EEA, Lajas 2005	M	95	109
	Bt	90	102
	DC	95	119
EEA, Lajas 2004	CH	94	116
	M	98	98
	Bt	93	91
	DC	100	94
	CH	83	95

Apéndice 8.11. Índice de área foliar máximo observado vs. simulado utilizando los coeficientes genéticos obtenidos durante 2004 y 2005 en Lajas, P.R. con el mismo año de siembra.

Experimentos utilizados para validar CERES-Maize	Variedades	Observado	Simulado
EEA, Lajas 2005	M	1.33	3.55
	Bt	1.02	3.09
	Ch	1.21	4.12
EEA, Lajas 2004	M	2.24	4.10
	Bt	2.01	3.95
	DC	2.11	3.60

Apéndice 8.12. Número de hojas total observadas vs. simuladas utilizando los coeficientes genéticos obtenidos durante 2004 y 2005 en Lajas, P.R. con el mismo año de siembra.

Experimentos utilizados para validar CERES-Maize	Variedades	Observado	Simulado
EEA, Lajas 2005	M	19	28
	Bt	16	25
	DC	18	29
	CH	18	31
EEA, Lajas 2004	M	24	25
	Bt	23	25
	DC	25	23

Apéndice 8.13. Biomasa (kg/ha) observada vs. simulada utilizando los coeficientes genéticos obtenidos durante 2004 y 2005 en Lajas, P.R. con el mismo año de siembra.

Experimentos utilizados para validar CERES-Maize	Variedades	Observado	Simulado
EEA, Lajas 2005	M	9679	10973
	Bt	6649	10990
	Ch	8311	12748
EEA, Lajas 2004	M	8709	13433
	Bt	9791	14205
	DC	9455	11328

Apéndice 8.14. Medias para el Rendimiento (kg/ha) obtenido en Lajas durante 2004.

Variedades	Rendimiento	Medias
M	4148	A
Bt	3986	AB
DC	3396	B
Ch	2176	C

Apéndice 8.15. Medias para el Rendimiento (kg/ha) obtenido en Lajas durante 2005.

Variedades	Rendimiento	Medias
Bt	3845	A
M	3313	B
Ch	3098	B

Apéndice 8.16. Análisis de varianza para el número de hojas obtenido en Lajas durante 2004.

F.V.	Gl	SC	CM	F	Pr > F
Variedades	2	15.08	7.54	4.67	0.0233
bloque	3	0.79	0.26	0.16	0.9197
Error	18	29.08	1.62		
Total	23	44.96			

Apéndice 8.17. Medias para el número de hojas obtenido en Lajas durante 2004.

Variedades	Número de hojas	Medias
DC	24.50	A
M	24.00	A
Bt	22.93	B

Apéndice 8.18. Análisis de varianza para el número de hojas obtenido en Lajas durante 2005.

F.V.	Gl	SC	CM	F	Pr > F
Variedad	3	25.84	8.61	4.36	0.0122
Error	28	55.38	1.98		
Total	31	81.22			

Apéndice 8.19. Medias para el número de hojas obtenido en Lajas durante 2005.

Variedades	Número de hojas	Medias
M	18.75	A
Ch	17.88	A
DC	17.75	A
Bt	16.25	B

Apéndice 8.20. Análisis de varianza para el número de granos/mazorca obtenido en Lajas durante 2004.

F.V.	Gl	SC	CM	F	Pr > F
Variedades	3	21303.25	7101.08	4.25	0.0396
bloque	3	132.75	44.25	0.03	0.9938
Error	19	15031.75	1670.19		
Total	15	36467.75			

Apéndice 8.21. Medias para el número de granos/mazorca obtenido en Lajas durante 2004. (Incluye el 100% de los datos).

Variedades	Número de granos/mazorca	Medias
Bt	648.00	A
M	595.50	B
DC	556.75	BC
Ch	536.25	C

Apéndice 8.22. Análisis de varianza para el número de granos/mazorca obtenido en Lajas durante 2005.

F.V.	Gl	SC	CM	F	Pr > F
Variedades	2	5769.75	2884.88	0.61	0.5509
Error	21	98763.88	4703.04		
Total	23	104533.63			

Apéndice 8.23. Medias para el número de granos/mazorca obtenido en Lajas durante 2005. (Incluye el 100% de los datos)

Variedades	Número de granos/mazorca	Medias
Bt	621.50	A
Ch	590.00	A
M	587.38	A