

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NAYARIT

**POSGRADO EN CIENCIAS BIOLÓGICO
AGROPECUARIAS Y PESQUERAS**



**“APTITUD COMBINATORIA Y HETEROSIS EN UN
CRUZAMIENTO DIALÉLICO EN JAMAICA
(*Hibiscus sabdariffa* L.)”**

**TESIS
QUE PARA OBTENER EL GRADO DE:**

**MAESTRO EN CIENCIAS
ÁREA DE CIENCIAS AGRÍCOLAS**

PRESENTA:

PABLO GERMÁN RUELAS HERNÁNDEZ

TUTOR:

M. C. FRANCISCO DE JESÚS CARO VELARDE

ASESORES:

DR. ROBERTO VALDIVIA BERNAL

DR. RUBÉN PÉREZ GONZÁLEZ

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NAYARIT



SISTEMA DE BIBLIOTECAS

DR. ARTURO AGUIRRE HERNÁNDEZ
COORDINADOR DEL CBAP
POSGRADO EN CIENCIAS BIOLÓGICO-AGROPECUARIAS
P R E S E N T E

Los suscritos C. M.C. Francisco de Jesús Caro Velarde, Dr. Rubén Pérez González, Dr. Roberto Valdivia Bernal, integrantes del consejo tutelar para revisar, ordenar y asesorar la tesis de Maestría en Ciencias del Posgrado en Ciencias Biológico-Agropecuarias, titulada "Aptitud combinatoria y heterosis en un cruzamiento dialélico en jamaica (*Hibiscus sabdariffa* L.)".

Que presenta ante el honorable jurado calificador el C.

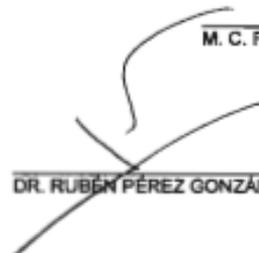
PABLO GERMÁN RUELAS HERNÁNDEZ

Comparecemos para manifestar que después de revisar su presentación y contenido no existe inconveniente para continuar con los trámites legales de este proceso de obtención de Maestría en el área de Ciencias Agrícolas, por estar de acuerdo en los aspectos de forma y contenido

ATENTAMENTE
CONSEJO TUTELAR



M. C. FRANCISCO DE JESUS CARO VELARDE



DR. RUBÉN PÉREZ GONZÁLEZ



DR. ROBERTO VALDIVIA BERNAL

DEDICATORIA

Con cariño para:

Karol y Karen Michelle

AGRADECIMIENTOS

Al Posgrado en Ciencias Biológico y Agropecuarias (CBAP) de la Universidad Autónoma de Nayarit por haberme brindado la oportunidad de cursar mi carrera de maestría y la de lograr la meta de seguir superándome tanto en mi carrera profesional como en mi vida personal.

Al M. C. Francisco de Jesús Caro Velarde tutor del trabajo de investigación por todos los apoyos que he recibido a lo largo de estos años en que inicié con este proyecto en mi carrera profesional.

Al Dr. Roberto Valdivia Bernal y al Dr. Rubén Pérez González asesores del presente trabajo por todos los aportes y sugerencias brindadas en la elaboración de esta tesis.

A la Unidad Académica de Agricultura de la Universidad Autónoma de Nayarit por los apoyos brindados por el uso de sus instalaciones para el desarrollo de esta investigación.

Al Patronato de la Universidad Autónoma de Nayarit por su aportación económica que recibí como apoyo de estudiante de maestría.

Al Consejo de Ciencia y Tecnología del Estado de Nayarit (COCYTEN) por las aportaciones recibidas como apoyo para la realización de esta tesis.

A todos aquellos que de manera directa e indirecta participaron en alguna forma para que pudiera culminar esta meta.

ÍNDICE

	Pág.
ÍNDICE	i
ÍNDICE DE CUADROS	viii
ÍNDICE DE FIGURAS	xi
RESUMEN	xix
SUMMARY	xxi
I. INTRODUCCIÓN	1
II. REVISIÓN DE LITERATURA	3
2.1 Taxonomía y botánica	3
2.1.1 Taxonomía	3
2.1.2 Características botánicas	4
2.1.3 Condiciones ambientales y de cultivo	6
2.2 Origen	6
2.3 Importancia del cultivo	7
2.3.1 Nacional	7
2.3.2 Estatal	10
2.4 Usos de la planta de jamaica	13
2.4.1 Alimentación	13
2.4.2 Medicina	14
2.4.3 Industria	16

2.5	Heterosis	17
2.6	Diseños dialélicos	20
2.7	Aptitud combinatoria	22
2.8	Mejoramiento genético de la especie	28
III.	EVALUACIÓN DE CARACTERÍSTICAS AGRONÓMICAS DE PROGENITORES Y CRUZAS	28
3.1	INTRODUCCIÓN	28
3.2	MATERIALES Y MÉTODOS	30
3.2.1	Generación de tratamientos	30
3.2.1.1	Localización del sitio	30
3.2.1.2	Material genético	30
3.2.1.3	Siembra	31
3.2.1.4	Labores de cultivo	31
3.2.1.5	Formación de híbridos	31
3.2.1.6	Periodos de floración y polinización	31
3.2.1.7	Emasculación	34
3.2.1.8	Polinización artificial	36
3.2.1.9	Obtención de semilla	37
3.2.2	Evaluación de características agronómicas de progenitores y cruas	37
3.2.2.1	Sitio de estudio	37
3.2.2.2	Tratamientos	38

3.2.2.3	Siembra	38
3.2.2.4	Manejo del experimento	38
3.2.2.5	Diseño experimental	39
3.2.2.6	Variables de respuesta	39
3.2.2.7	Análisis estadístico	40
3.3	RESULTADOS	41
3.3.1	Análisis de varianza	41
3.3.2	Comparación de medias para progenitores y cruzas	41
3.3.2.1	Días a floración	43
3.3.2.2	Altura de planta	44
3.3.2.3	Número de ramas por planta	45
3.3.2.4	Número de frutos de la rama principal	46
3.3.2.5	Número de frutos por planta	47
3.3.2.6	Diámetro del cáliz	48
3.3.2.7	Longitud del cáliz	49
3.3.2.8	Peso de fruto fresco	50
3.3.2.9	Peso de cáliz fresco	51
3.3.2.10	Peso de cáliz seco	52
3.4	DISCUSIÓN	53
3.4.1	Características entre progenitores y cruzas	53

3.4.2	Características entre progenitores	53
3.4.3	Características entre cruzas	53
3.5	CONCLUSIONES	55
IV.	ESTIMACIÓN DE APTITUD COMBINATORIA Y HETEROSIS	56
4.1	INTRODUCCIÓN	56
4.2	MATERIALES Y MÉTODOS	58
4.2.1	Tratamientos	58
4.2.2	Variables de respuesta	58
4.2.3	Análisis estadístico para aptitud combinatoria	60
4.2.4	Relación de ACG : ACE	61
4.2.5	Estimación de heterosis (H) y heterobeltiosis (HB)	61
4.3	RESULTADOS	62
4.3.1	Aptitud combinatoria general (ACG) y aptitud combinatoria específica (ACE)	62
4.3.1.1	Análisis de varianza	62
4.3.1.2	Relación de aptitud combinatoria general y aptitud combinatoria específica (ACG/ACE)	63
4.3.1.3	Efectos de aptitud combinatoria general (AGC) y comparación de medias	65
4.3.1.3.1	Días a floración	67
4.3.1.3.2	Altura de planta	68

4.3.1.3.3	Número de ramas por planta	69
4.3.1.3.4	Número de frutos por planta	70
4.3.1.3.5	Número de frutos de la rama principal	71
4.3.1.3.6	Diámetro del cáliz	72
4.3.1.3.7	Longitud del cáliz	73
4.3.1.3.8	Peso de fruto fresco	74
4.3.1.3.9	Peso de cáliz fresco	75
4.3.1.3.10	Peso de cáliz seco	76
4.3.1.3.11	Contenido de antocianinas totales (ácido trifluoroacético)	77
4.3.1.3.12	Contenido de antocianinas totales (agua destilada)	78
4.3.1.3.13	Sólidos solubles totales (grados Brix)	79
4.3.1.3.14	Grado de acidez (pH)	80
4.3.1.4	Efectos de aptitud combinatoria específica (ACE) y comparación de medias	80
4.3.1.4.1	Días a floración	82
4.3.1.4.2	Altura de planta	83
4.3.1.4.3	Número de ramas por planta	84
4.3.1.4.4	Número de frutos por planta	85
4.3.1.4.5	Número de frutos de la rama principal	86
4.3.1.4.6	Diámetro del cáliz	87

4.3.1.4.7	Longitud del cáliz	88
4.3.1.4.8	Peso de fruto fresco	89
4.3.1.4.9	Peso de cáliz fresco	90
4.3.1.4.10	Peso de cáliz seco	91
4.3.1.4.11	Contenido de antocianinas totales (ácido trifluoroacético)	92
4.3.1.4.12	Contenido de antocianinas Totales (agua destilada)	93
4.3.1.4.13	Sólidos solubles totales (grados Brix)	94
4.3.1.4.14	Grado de acidez (pH)	95
4.3.2	Evaluación de heterosis (H) y heterobeltiosis (HB)	96
4.3.2.1	Días a floración	97
4.3.2.2	Altura de planta	98
4.3.2.3	Número de ramas por planta	99
4.3.2.4	Número de frutos de la rama principal	100
4.3.2.5	Número de frutos por planta	101
4.3.2.6	Diámetro del cáliz	102
4.3.2.7	Longitud del cáliz	103
4.3.2.8	Peso de fruto fresco	104
4.3.2.9	Peso de cáliz fresco	105
4.3.2.10	Peso de cáliz seco	106
4.3.2.11	Contenido de antocianinas totales (ácido trifluoroacético)	107
4.3.2.12	Contenido de antocianinas totales (agua destilada)	108

4.3.2.13	Grado de acidez (pH)	109
4.3.2.14	Sólidos solubles totales	110
4.4	DISCUSIÓN	111
4.4.1	Análisis de varianza de ACG y ACE	111
4.4.2	Relación de ACG : ACE	112
4.4.3	Efectos de aptitud combinatoria general	112
4.4.4	Efectos de aptitud combinatoria específica	113
4.4.5	Estimación de heterosis (H) y heterobeltiosis (HB)	114
4.5	CONCLUSIONES	116
V.	LITERATURA CITADA	117

INDICE DE CUADROS

Cuadro		Pág.
1.	Superficie cosechada (hectáreas) de flor de jamaica en México, en el periodo comprendido de 2000 a 2005.	7
2.	Volumen de la producción de flor de jamaica (toneladas) en México, en el periodo comprendido de 2000 a 2005.	8
3.	Rendimiento (toneladas / hectárea) de flor de jamaica en México, en el periodo comprendido de 2000 a 2005.	8
4.	Precio medio rural (pesos / tonelada) de flor de jamaica en México, en el periodo comprendido de 2000 a 2005.	9
5.	Valor de la producción (miles de pesos) de la flor de jamaica en México, en el periodo comprendido de 2000 a 2005.	9
6.	Valor nutritivo de diferentes partes de la planta de jamaica (<i>Hibiscus sabdariffa</i> L.).	14
7.	Diseño del cruzamiento dialélico (3x3) y progenitores empleados, ciclo de temporal del año 2003.	31
8.	Progenitores y cruza evaluados en el ciclo de temporal 2004 en la Unidad Académica de Agricultura.	38
9.	Análisis de varianza aplicado a las variables en estudio para ocho genotipos obtenidos en el cruzamiento dialélico en jamaica PV – 2004.	41
10.	Promedios de las variables en estudio y comparación de medias (Tukey, 0.05) de progenitores y cruza en la evaluación realizada en la Unidad Académica de Agricultura de la UAN, ciclo PV – 2004.	42

11.	Progenitores y cruzas empleadas en el análisis dialélico modelo I método II (Griffing, 1956).	58
12.1	Análisis de varianza aplicado para siete características de tres variedades de jamaica y sus tres cruzas dialélicas directas, evaluadas en la Unidad Académica de Agricultura, PV – 2004.	62
12.2	Análisis de varianza aplicado a siete características de tres variedades de jamaica y sus tres cruzas dialélicas, evaluadas en la Unidad Académica de Agricultura, PV – 2004.	63
13.	Relación de aptitud combinatoria general y aptitud combinatoria específica (ACG / ACE) de los cuadrados medios obtenidos en el análisis de varianza para catorce características de tres variedades de jamaica y sus tres cruzas dialélicas directas, evaluadas en la Unidad Académica de Agricultura, PV – 2004.	64
14.	Efectos de aptitud combinatoria general (ACG), significancias y prueba de medias (Tukey, 0.05) aplicado para 14 características en el cruzamiento dialélico entre tres variedades de jamaica, evaluadas en la Unidad Académica de Agricultura, PV – 2004.	66
15.	Valores de las diferencias mínimas significativas (DMS) para efectos de aptitud combinatoria general (ACG).	66
16.	Efectos de aptitud combinatoria específica (ACE), significancia y prueba de medias (Tukey, 0.05) aplicado para catorce características en el cruzamiento dialélico entre tres variedades de jamaica, evaluadas en la Unidad Académica de Agricultura, PV – 2004.	81
17.	Valores de las diferencias mínimas significativas (DMS) para efectos de aptitud combinatoria específica (ACE).	81

- | | | |
|-----|--|----|
| 18. | Heterosis (%) para 14 características en un cruzamiento dialélico en jamaica (<i>Hibiscus sabdariffa</i> L.) | 96 |
| 19. | Heterobeltiosis (%) para 14 características en un cruzamiento dialélico en jamaica (<i>Hibiscus sabdariffa</i> L.). | 96 |

INDICE DE FIGURAS

Figura		Pág.
1.	Superficie sembrada y cosechada del cultivo de jamaica en el estado de Nayarit en el periodo de 1996 a 2005 (SEDER, 2006).	10
2.	Rendimiento medio por hectárea obtenido en el cultivo de jamaica en el estado de Nayarit, en el periodo de 1996 a 2005 (SEDER, 2006).	11
3.	Volumen de la producción del cultivo de jamaica en el estado de Nayarit, en el periodo de 1996 a 2005 (SEDER, 2006).	11
4.	Comportamiento del precio medio rural de flor de jamaica en el estado de Nayarit, en el periodo de 1996 a 2005 (SEDER, 2006).	12
5.	Valor de la producción de flor de jamaica en el estado de Nayarit, en el periodo de 1996 a 2005 (SEDER, 2006).	13
6.	Duración del periodo vegetativo y de floración en tres genotipos de jamaica empleados en el cruzamiento dialélico, ciclo PV – 2003.	32
7.	Flor de jamaica al iniciar el día, los pétalos se abren presentando un color blanco, al centro se observa el estilo, estigma y anteras.	33
8.	Flor de jamaica al atardecer los pétalos se tornan color púrpura, se cierran para gradualmente posteriormente desprenderse.	33

9.	Botón de la flor de jamaica un día antes de la apertura floral en la cual los cálices se inician abriéndose ligeramente.	35
10.	Flor de jamaica en donde han sido separados parte del cáliz y pétalos en donde se muestran las anteras.	35
11.	Flor de jamaica en donde han sido separados los pétalos, sépalos y las anteras en donde se muestra el tubo del estigma.	36
12.	Polinización artificial de la flor de jamaica, las anteras de la planta macho son frotadas en el estigma para depositar en él los granos de polen.	37
13.	Comparación de medias (Tukey, 0.05) para la variable días a floración.	43
14.	Comparación de medias (Tukey, 0.05) para la variable altura de planta.	44
15.	Comparación de medias (Tukey, 0.05) para la variable número de ramas por planta.	45
16.	Comparación de medias (Tukey, 0.05) para la variable número de frutos de la rama principal.	46
17.	Comparación de medias (Tukey, 0.05) para la variable número de frutos por planta.	47
18.	Comparación de medias (Tukey, 0.05) para la variable diámetro del cáliz.	48
19.	Comparación de medias (Tukey, 0.05) para la variable longitud del cáliz.	49
20.	Comparación de medias (Tukey, 0.05) para la variable peso de fruto fresco.	50

21.	Comparación de medias (Tukey, 0.05) para la variable peso de cáliz fresco	51
22.	Comparación de medias (Tukey, 0.05) para la variable peso de cáliz seco.	52
23.	Relación de porcentajes obtenidos en ACG / ACE para 14 características obtenidas en el cruzamiento dialélico entre tres genotipos de jamaica.	65
24.	Efectos de ACG y prueba de medias (Tukey, 0.05) para la variable días a floración obtenida en el cruzamiento dialélico entre tres genotipos de jamaica.	67
25.	Efectos de ACG y prueba de medias (Tukey, 0.05) para la variable altura de planta obtenida en el cruzamiento dialélico entre tres genotipos de jamaica.	68
26.	Efectos de ACG y prueba de medias (Tukey, 0.05) para la variable numero de ramas por planta obtenida en el cruzamiento dialélico entre tres genotipos de jamaica.	69
27.	Efectos de ACG y prueba de medias (Tukey, 0.05) para la variable numero de frutos por planta obtenida en el cruzamiento dialélico entre tres genotipos de jamaica.	70
28.	Efectos de ACG y prueba de medias (Tukey, 0.05) para la variable numero de frutos de la rama principal obtenida en el cruzamiento dialélico entre tres genotipos de jamaica.	71
29.	Efectos de ACG y prueba de medias (Tukey, 0.05) para la variable diámetro del cáliz obtenida en el cruzamiento dialélico entre tres genotipos de jamaica.	72

30.	Efectos de ACG y prueba de medias (Tukey, 0.05) para la variable longitud del cáliz obtenida en el cruzamiento dialélico entre tres genotipos de jamaica.	73
31.	Efectos de ACG y prueba de medias (Tukey, 0.05) para la variable peso de fruto fresco obtenida en el cruzamiento dialélico entre tres genotipos de jamaica.	74
32.	Efectos de ACG y prueba de medias (Tukey, 0.05) para la variable peso de cáliz fresco obtenida en el cruzamiento dialélico entre tres genotipos de jamaica.	75
33.	Efectos de ACG y prueba de medias (Tukey, 0.05) para la variable peso de cáliz seco obtenida en el cruzamiento dialélico entre tres genotipos de jamaica.	76
34.	Efectos de ACG y prueba de medias (Tukey, 0.05) para la variable contenido de antocianinas (AAT) obtenida en el cruzamiento dialélico entre tres genotipos de jamaica.	77
35.	Efectos de ACG y prueba de medias (Tukey, 0.05) para la variable contenido de antocianinas (AAD) obtenida en el cruzamiento dialélico entre tres genotipos de jamaica.	78
36.	Efectos de ACG y prueba de medias (Tukey, 0.05) para la variable sólidos solubles totales obtenida en el cruzamiento dialélico entre tres genotipos de jamaica.	79
37.	Efectos de ACG y prueba de medias (Tukey, 0.05) para la variable grado de acidez (pH) obtenida en el cruzamiento dialélico entre tres genotipos de jamaica.	80
38.	Efectos de ACE y prueba de medias (Tukey, 0.05) para la variable días a floración obtenida del cruzamiento dialélico entre tres genotipos de jamaica.	82

39.	Efectos de ACE y prueba de medias (Tukey, 0.05) para la variable altura de planta obtenida del cruzamiento dialélico entre tres genotipos de jamaica.	83
40.	Efectos de ACE y prueba de medias (Tukey, 0.05) para la variable número de ramas por planta obtenida del cruzamiento dialélico entre tres genotipos de jamaica.	84
41.	Efectos de ACE y prueba de medias (Tukey, 0.05) para la variable número de frutos por planta obtenida del cruzamiento dialélico entre tres genotipos de jamaica.	85
42.	Efectos de ACE y prueba de medias (Tukey, 0.05) para la variable número de frutos de la rama principal obtenida del cruzamiento dialélico entre tres genotipos de jamaica.	86
43.	Efectos de ACE y prueba de medias (Tukey, 0.05) para la variable diámetro del cáliz obtenida del cruzamiento dialélico entre tres genotipos de jamaica.	87
44.	Efectos de ACE y prueba de medias (Tukey, 0.05) para la variable longitud del cáliz obtenida del cruzamiento dialélico entre tres genotipos de jamaica.	88
45.	Efectos de ACE y prueba de medias (Tukey, 0.05) para la variable peso de fruto fresco obtenida del cruzamiento dialélico entre tres genotipos de jamaica.	89
46.	Efectos de ACE y prueba de medias (Tukey, 0.05) para la variable peso de cáliz fresco obtenida del cruzamiento dialélico entre tres genotipos de jamaica.	90
47.	Efectos de ACE y prueba de medias (Tukey, 0.05) para la variable peso de cáliz seco obtenida del cruzamiento dialélico entre tres genotipos de jamaica.	91

48.	Efectos de ACE y prueba de medias (Tukey, 0.05) para la variable contenido de antocianinas (AAT) obtenida del cruzamiento dialélico entre tres genotipos de jamaica.	92
49.	Efectos de ACE y prueba de medias (Tukey, 0.05) para la variable contenido de antocianinas (AAD) obtenida del cruzamiento dialélico entre tres genotipos de jamaica.	93
50.	Efectos de ACE y prueba de medias (Tukey, 0.05) para la variable sólidos solubles totales obtenida del cruzamiento dialélico entre tres genotipos de jamaica.	94
51.	Efectos de ACE y prueba de medias (Tukey, 0.05) para la variable grado de acidez (pH) obtenida del cruzamiento dialélico entre tres genotipos de jamaica.	95
52.	Promedio del valor de los progenitores y el de una craza para la variable de días a floración.	97
53.	Promedio del valor de una craza y el progenitor de mayor valor para la variable de días a floración.	97
54.	Promedio del valor de los progenitores y el de una craza para la variable de altura de planta.	98
55.	Promedio del valor de una craza y el progenitor de mayor valor para la variable de altura de planta.	98
56.	Promedio del valor de los progenitores y el de una craza para la variable de número de ramas por planta.	99
57.	Promedio del valor de una craza y el progenitor de mayor valor para la variable de número de ramas por planta.	99
58.	Promedio del valor de los progenitores y el de una craza para la variable de número de frutos de la rama principal.	100

59.	Promedio del valor de una craza y el progenitor de mayor valor para la variable de número de frutos de la rama principal.	100
60.	Promedio del valor de los progenitores y el de una craza para la variable de número de frutos por planta.	101
61.	Promedio del valor de una craza y el progenitor de mayor valor para la variable número de frutos por planta.	101
62.	Promedio del valor de los progenitores y el de una craza para la variable de diámetro del cáliz.	102
63.	Promedio del valor de una craza y el progenitor de mayor valor para la variable de diámetro del cáliz.	102
64.	Promedio del valor de los progenitores y el de una craza para la variable de longitud del cáliz.	103
65.	Promedio del valor de una craza y el progenitor de mayor valor para la variable de longitud del cáliz.	103
66.	Promedio del valor de los progenitores y el de una craza para la variable de peso de fruto fresco.	104
67.	Promedio del valor de una craza y el progenitor de mayor valor para la variable de peso de fruto fresco.	104
68.	Promedio del valor de los progenitores y el de una craza para la variable de peso de cáliz fresco.	105
69.	Promedio del valor de una craza y el progenitor de mayor valor para la variable de peso de cáliz fresco.	105
70.	Promedio del valor de los progenitores y el de una craza para la variable de peso de cáliz seco.	106

71.	Promedio del valor de una crusa y el progenitor de mayor valor para la variable de peso de cáliz seco.	106
72.	Promedio del valor de los progenitores y el de una crusa para la variable de contenido de antocianinas totales (AAT).	107
73.	Promedio del valor de una crusa y el progenitor de mayor valor para la variable de contenido de antocianinas totales (AAT).	107
74.	Promedio del valor de los progenitores y el de una crusa para la variable de contenido de antocianinas totales (AAD).	108
75.	Promedio del valor de una crusa y el progenitor de mayor valor para la variable contenido de antocianinas totales (AAD).	108
76.	Promedio del valor de los progenitores y el de una crusa para la variable de grado de acidez (pH).	109
77.	Promedio del valor de una crusa y el progenitor de mayor valor para la variable de grado de acidez (pH).	109
78.	Promedio del valor de los progenitores y el de una crusa para la variable de sólidos solubles totales (° Brix).	110
79.	Promedio del valor de una crusa y el progenitor de mayor valor para la variable de sólidos solubles totales (° Brix).	110

RESUMEN

En un programa de mejoramiento genético, es importante tener en cuenta el conocimiento de parámetros genéticos como la aptitud combinatoria así como los efectos heteróticos de caracteres de interés económico. La jamaica (*Hibiscus sabdariffa* L.) es un cultivo alternativo en nuestro estado poco estudiado en el aspecto genético, el propósito de la presente investigación fue la de estimar los efectos genéticos y heteróticos de caracteres de interés agronómico asociados con el rendimiento y calidad en el cultivo, y a partir de estos, inferir sobre los métodos de mejoramiento genético más apropiados para esta especie. El estudio se realizó en el municipio de Xalisco, Nayarit en terrenos de la Unidad Académica de Agricultura, se utilizaron como progenitores las tres variedades que comúnmente se cultivan en el estado de Nayarit, siendo estas la variedad China, Reina y Criolla de Huajicori. Los híbridos se obtuvieron durante el ciclo de temporal 2003 donde se realizó un cruzamiento dialélico, realizando cruzamientos directos y recíprocos, como resultado se obtuvieron solo cinco híbridos quienes junto con los progenitores formaron ocho genotipos. La evaluación de los tratamientos se llevó a cabo en el ciclo agrícola 2004, los tratamientos fueron sembrados como bloques completos al azar con tres repeticiones, las unidades experimentales constaron de tres surcos de seis metros de longitud y separación entre surcos de 1 metro cada parcela se formó por 36 plantas, para la muestra se tomaron 10 plantas del surco central mismas que fueron tomadas como parcela útil. Las variables en estudio fueron: días a floración, altura de planta, número de ramas por planta, número de frutos por planta, número de frutos de la rama principal, diámetro del cáliz, longitud del cáliz, peso de fruto fresco, peso de cáliz fresco, peso de cáliz seco, contenido de antocianinas totales utilizando como medio de extracción ácido trifluoroacético (AAT) y agua destilada (AAD), sólidos solubles totales y grado de acidez. Las 10 primeras variables se utilizaron para evaluar las características agronómicas de los progenitores y el total de cruzas obtenidas siendo en total ocho genotipos (capítulo III) por medio del ANOVA y la prueba de comparaciones múltiples (Tukey, 0.05). Para determinar la aptitud combinatoria, heterosis y heterobeltiosis (capítulo IV), solo se emplearon las

tres cruza directas y progenitores, se utilizaron las 14 variables obtenidas, las cuales fueron evaluadas de acuerdo al modelo I método II (Griffing, 1956). Las variables fueron procesadas utilizando el programa DIALLEL para computadoras (Burrow y Coors, 1993). Los análisis realizados arrojaron diferencias entre todos los genotipos evaluados, los análisis de aptitud combinatoria general (ACG) y específica (ACE) mostraron los efectos aditivos y no aditivos que fueron importantes. Los efectos aditivos que tuvieron mayor importancia fueron para días a floración (74: 1), altura de planta (10: 1), número de ramas por planta (2: 1), diámetro del caliz (73: 1), longitud del cáliz (25: 1), peso de fruto fresco (1.3: 1), peso de cálices frescos (1.06: 1), contenido de antocianinas totales (AAT) (8: 1) y (AAD) (10: 1), sólidos solubles totales (2: 1) y grado de acidez (9: 1). Los efectos no-aditivos tuvieron mayor importancia para número de frutos por planta (0.07: 1), número de frutos de la rama principal (0.67: 1) y peso de cálices secos (0.5: 1). En ACG el progenitor Reina expresó los mayores efectos en longitud el cáliz (-0.4, 0.5), número de frutos por planta (-9.9, 11.0), número de frutos de la rama principal (-2.5, 1.5), peso de fruto fresco (-5.8, 3.9), peso de cálices frescos (-3.1, 1.9) y peso de cálices secos (-0.3, 0.1); China para diámetro del caliz (-0.2, 0.2), peso de fruto fresco (-5.8, 3.2), peso de cálices frescos (-3.1, 1.9), peso de cálices secos (-0.3, 0.1), contenido de antocianinas totales (AAT) (-1848.7, 3127.8) (AD) (-657.5, 1131.9); Criolla para días a floración (-9.8, 11.2), altura de planta (-13.4, 17.9), número de ramas por planta (-2.5, 2.3), sólidos solubles totales (-0.1, 0.1) y grado de acidez (-0.1, 0.06). En ACE las cruza Criolla x Reina y Criolla x China sobresalieron en altura de planta (-0.9, 12.7), número de frutos por planta (-37.4, 101.7), número de frutos de la rama principal (-1.9, 7.7), peso de fruto fresco (-5.5, 10.5), peso de cálices frescos (-3.8, 6.1) y peso de cálices secos (-0.4, 0.8). Hubo efectos altos de heterosis, con relación al progenitor de mayor valor; la cruza Criolla x Reina sobresalió para número de ramas por planta (27 %), número de frutos por planta (96 %), número de frutos de la rama principal (46 %), peso de fruto fresco (15 %), peso de cálices frescos (14 %) y peso de cálices secos (36 %). Para el mejoramiento genético de la especie, se pueden emplear tanto métodos de mejoramiento por selección así como por hibridación para la explotación de las características agronómicas de interés económico del cultivo.

SUMMARY

In a program of genetic improvement, it's important to know of genetic parameters as the additive effects and heterosis of characters of economic interest. This is important to planning strategies in the selection and development of new improved varieties. The jamaica (*Hibiscus sabdariffa* L.) it is a species little studied on this aspect. The purpose of this research were to estimate the amount of heterosis, the GCA and SCA effects for fourteen traits among three different jamaica genotypes and to determine appropriate method of improvement genetics. The study was carried out in Xalisco, Nayarit in the Academic Unit of Agriculture. A diallel crossing among three jamaica cultivars was carried out during the fall season of 2003. The varieties or parents were China, Reina and Land Race of Huajicori; these varieties are commonly cultivated in Nayarit. The crossing included both direct and reciprocal crosses were obtained only five hybrids, one crossing failed. Thus with the three parents, eight genotypes were used in the evaluation. The experiment was carried out in the fall season 2004, it was used a design at random as complete blocks with three replications, the experimental units consisted of three rows of six meters of longitude and separation among rows of a meter and included 36 plants. Data were taken in 10 plants per plop from the central row. The variables in studied were: flowering days, height of plant, number of branches per plant, number of fruits per plant, number of fruits of the main branch, chalice diemeter, chalice longitude, fresh weight of fruit, fresh weight of chalice, dry weight of chalice, total anthocyanin content using two methods of extraction with trifluoroacetic acid (TA) and distilled water (DW), total solids soluble and acidity grade. The first 10 variables were used to evaluate the agronomic characteristics of the progenitors and the total of crosses obtained being in total eight genotypes (Chapter III) by means of the ANOVA and the test of multiple comparisons (Tukey, 0.05). To determine the combining aptitude, heterosis and heterobeltiosis (Chapter IV), only were used three crosses direct and parents, the 14 variables were evaluated according with the model I method II (Griffing, 1956). The variables were analysed using the program DIALLEL for computers (Burrow and Coors, 1993). The ANOVA detected significances in all treatments, the analyses for general combining ability (GCA)

and specific (SCA) showed that both additive and non-additive effects were important. The additive effects more important were for flowering days (74: 1), height of plant (10: 1), number of branches per plant (2: 1), chalice diameter (73: 1), chalice longitude (25: 1), fresh weight of fruit (1.3: 1), fresh weight of chalice (1.06: 1), total anthocyanin content (TA) (8: 1) and (DW) (10: 1), total soluble solids (2: 1) and acidity grade (9: 1). The effects non-additive with more importance were showed to number of fruits per plant number (0.07 : 1), number of fruits of the main branch (0.67: 1) and dry weight of chalice (0.5: 1). In GCA the parent Reina expressed the biggest effects to chalice longitude (-0.4, 0.5), number of fruits per plant (-9.9, 11.0), number of fruits of the main branch (-2.5, 1.5), fresh weight of fruit (-5.8, 3.9), fresh weight of chalice (-3.1, 1.9) and dry weight of chalice (-0.3, 0.1); China to chalice diameter (-0.2, 0.2), fresh weight of fruit (-5.8, 3.2), fresh weight of chalice (-3.1, 1.9), dry weight of chalice (-0.3, 0.1), total anthocyanin content (TA) (-1848.7, 3127.8) and (DW) (-657.5, 1131.9) ; Land race of Huajicori to flowering days (-9.8, 11.2), height of plant (-13.4, 17.9) , number of branches per plant (-2.5, 2.3), total soluble solids (-0.1, 0.1) and acidity grade (-0.1, 0.06). In SCA crosses Land race of Huajicori x Reina and Land race of Huajicori x China showed effects high to height of plant (-0.9, 12.7), number of fruit per plant (-37.4, 101.7), number of fruit of the main branch (-1.9, 7.7), fresh weight of fruit (-5.5, 10.5), fresh weight of chalice (-3.8, 6.1) and dry weight of chalice (-0.4, 0.8). Effects of high heterosis with relationship to the progenitor of more value, were showed between crosses Land race of Huajicori x Reina for number of branches per plant (27 %), number of fruit per plant (96 %), number of fruit of the main branch (46 %), fresh weight of fruit (15 %), fresh weight of chalice (14 %) and dry weight of chalice (36 %). The genetic improvement of the species can be used the methods of improvement by selection or hybridization for the exploitation of the agronomic characteristics of economic interest of the cultivation.

I. INTRODUCCIÓN

La jamaica (*Hibiscus sabdariffa* L.), es una planta autógena que pertenece a la familia de las malváceas, se originó en la región comprendida entre la India y Malasia, posteriormente fue llevada al África y actualmente se encuentra distribuida extensamente en los trópicos y subtropicos de ambos hemisferios, donde ha sido naturalizada (Morton, 1987).

China y Tailandia son los más grandes productores y los que controlan la demanda de este producto a nivel mundial, La jamaica de mejor calidad es la producida en el Sudan. Otros países como México, Egipto, Senegal, Tanzania, Mali y Jamaica también la producen pero a más baja escala, en donde por lo regular su producción es consumida por ellos mismos, los principales importadores de jamaica son Alemania y Estados Unidos de América (FAO, 2006).

En México el promedio nacional de la superficie sembrada en el periodo 2000 a 2005 fue de 17,700 hectáreas, con un rendimiento medio de 437.7 kg·ha⁻¹ el estado de Guerrero es el mayor productor de jamaica con el 81 % de la producción, seguido por Oaxaca con el 14 % y Michoacán con un 2.5 %, el resto es producido por otros estados del país. En Nayarit se siembran anualmente cerca de 300 hectáreas principalmente en el ciclo de temporal, siendo el municipio de Huajicorí el mayor productor (SEDER, 2005).

La jamaica es un producto catalogado como no tradicional por ser poco relevante en la producción nacional, en los últimos años la importancia de este cultivo se ha incrementado debido principalmente a las cualidades que se han demostrado en lo referente a sus propiedades medicinales que proporcionan los cálices de la flor de esta planta, que es la parte que se utiliza comúnmente como alimento en la preparación de bebidas refrescantes, aunque el potencial de su utilización es mayor por sus diversos usos en que puede ser empleada, como puede ser en la industria de colorantes alimenticios, en la alimentación animal o como fuente de fibras textiles como sustituto del cáñamo (Anónimo, 1999).

A pesar de que representa una buena opción de cultivo ya que su empleo en la alimentación es común en nuestro país y también es un producto que es apreciado en el extranjero. Para su producción su cultivo se lleva a cabo empleando técnicas rudimentarias con lo cual se obtienen bajos rendimientos por unidad de superficie, Una de las alternativas que se tienen para el mejoramiento del cultivo es por medio del mejoramiento genético, del cual se tienen pocos estudios acerca del mismo.

Uno de los primeros pasos en un programa de mejoramiento genético ya sea para la producción de híbridos o para mejorar un carácter de interés agronómico en particular es conocer parámetros genéticos, tales como los efectos aditivos o no aditivos; así como la heterosis. Esto se puede lograr mediante un cruzamiento dialélico; estos, son los sistemas de apareamiento más utilizados en la conducción de estas investigaciones, ya que permiten el conocimiento de las propiedades genéticas intrínsecas del material en estudio, y dan la posibilidad de destacar progenitores y cruzamientos superiores (Sprague y Tatum, 1942).

En virtud de lo antes expuesto, es importante desarrollar trabajos de investigación que permitan una mayor información y entendimiento de los procesos por lograr el mejoramiento del cultivo.

En el presente trabajo se plantean las siguientes hipótesis a comprobar:

1. Dado que los genotipos utilizados de jamaica presentan características contrastantes, es posible encontrar efectos de heterosis en los híbridos obtenidos entre ellos.
2. Los parámetros genéticos obtenidos pueden ser utilizados como referencia para programas de mejoramiento genético de la especie.

Para dar respuesta a las hipótesis descritas se planteó el siguiente objetivo:

1. Conocer los efectos aditivos y no aditivos en tres genotipos de jamaica para determinar el tipo de mejoramiento genético que se puede realizar en la obtención de variedades mejoradas de jamaica.

II. REVISION DE LITERATURA

2.1 Taxonomía y botánica

2.1.1 Taxonomía

La jamaica (*Hibiscus sabdariffa* L.) es una planta que pertenece a la familia de las malváceas, Según la enciclopedia Wiquipedia (2006) su clasificación en el reino vegetal queda comprendida de la siguiente forma:

Reino:	Vegetal
División:	Magnoliophyta
Clase:	Magnoliopsida
Orden:	Malvales
Familia:	Malvaceae
Genero:	Hibiscus
Especie:	sabdariffa

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NAYARIT



SISTEMA DE BIBLIOTECAS

El género *Hibiscus* se extiende a más de 400 especies, el cual está dividido en seis diferentes secciones: *Fularia*, *Alyogen*, *Abelmoschus*, *Ketmia*, *Calyphyllia* y *Azanza*. *Hibiscus sabdariffa* está clasificado taxonómicamente en la sección *Furcaria*, esta sección incluye alrededor de 40 a 50 especies (Su *et al.*, 2004; Edmonds, 1991).

Los caracteres morfológicos que delimitan esta sección han sido objeto de distintas interpretaciones a lo largo del tiempo, un criterio actual considera que las especies agrupadas en este taxón deben poseer la característica nerviación de los lóbulos del cáliz compuesta por tres nervios, dos marginales y uno central; siendo frecuente la presencia de brácteas del epicáliz surcadas y de un nectario prominente sobre el nervio central en muchas especies, aunque tales características no son constantes en la sección (Fuentes, 1992).

Estos grupos comprenden especies tropicales y subtropicales distribuidas en la región sureste de todos los continentes excepto la Antártica. En América, se extienden a México, el suroeste de los Estados Unidos, El Caribe y ciertas islas en el Océano Pacífico (Menzel *et al.*, 1983). Parientes cercanos a esta planta

que generan productos de importancia económica son el algodón (*Gossypium hirsutum* L.), okra (*Hibiscus esculentum* L.) y cáñamo (*Hibiscus cannabinus* L.) (Pal *et al.*, 1952).

En la sección *Furcaria* el número de cromosomas es un múltiplo de $n=18$ en donde además están presentes especies, triploides, tetraploides, exaploides, octaploides y decaploides (Wilson, 1994; Menzel *et al.*, 1986). La jamaica (*Hibiscus sabdariffa* L.) es una planta cuyo número cromosómico es de $2n=72$ (Wilson y Menzel, 1967; Shome, 1981; Remussi, 1956, citado por Acosta, 1994).

Esta planta consta de dos tipos distintos de la misma especie, el primer tipo es *Hibiscus sabdariffa* L. variedad *sabdariffa*, la cual es comestible, ramificada, rara vez alcanza alturas de más de 2 metros, la cual es cultivada por sus cálices comestibles, los cuales son usados en la preparación de mermelada, jalea, jugo y otras confecciones. El otro tipo es *Hibiscus sabdariffa* L. variedad *altissima*, planta fibrosa, no ramificada, erecta, espinosa, de crecimiento más alto que la tipo comestible, los cálices son fibrosos, espinosos y no comestibles, se emplea principalmente como planta textil (Sobhan y Husain, 1986).

En el mundo *Hibiscus sabdariffa* es conocida por diversos nombres, en regiones de habla inglesa se conoce como Roselle, Sorrel, Jamaica Sorrel, Indian Sorrel, Guinea Sorrel, Sour-Sorrel, Queenslan Jelly Okra, Lemon Bush y Florida Cranberry. En frances es llamada Roselle, Oseille Roungé y Osille de Guinée. En español, Chino del Quimbombó, Sereni, Rosa de Jamaica, Flor de Jamaica, Jamaica, Agría, Agrio de Guinea, Quetmia Acida, Viña y Viñuela. En portugués, Vinagreira, El Azeda de Guiné y Curucú Azédo. En Holandés, Zuring. En Africa del norte y el Cercano Oriente, Karkadé y en Senegal Bisap (Morton, 1974).

2.1.2 Características botánicas

Tallo

Los tallos son robustos, con frecuencia leñosos en su base y de color morado o verde, en su forma roja su altura es baja y ramificada en tanto que en la forma

verde es alta y delgada los portes que alcanza esta planta son de 0.5 a 3.0 m de altura (Ochse *et al.*, 1980).

Hojas

Las hojas son alternas de peciolo largos, variables en su forma, con estípulas deciduas de 0.5 a 0.8 cm de largo. Las hojas inferiores son ovaladas, no divididas o con tres a cinco lóbulos, con segmentos oblongos lanceolados, acuminados y marcadamente aserrados de 5 a 10 cm de largo y 1 a 2 cm de ancho. El lóbulo central es de 10 a 15 cm de largo y de 3 a 4 cm de ancho. Las hojas superiores y la de las ramas a los lados son lanceoladas oblongas, no divididas o con dos lóbulos cortos obtusos marcadamente aserrados, de 7 a 15 cm de largo y de 2 a 5 cm de ancho de color verde en ambos lados. El envés tiene una glándula característica en su base. El peciolo es rojo oscuro o verde con un ápice grueso y de 1.5 a 7 cm de largo (Ochse *et al.*, 1980).

Flor

Las flores son solitarias, en axilas foliares y tienen tallos pequeños. El caliz es rojo oscuro con forma regular y cinco lóbulos profundos de 1.5 a 2.5 cm de largo, adquiriendo características muy carnosas después de la antesis. Los segmentos son agudos con una nervadura central muy marcada, están cubiertos por una pubescencia fina en su lado interno. Las ocho o doce bractéolas están oblicuamente erectas, alevnadas y carnosas, fuertemente adheridas al caliz en su base y sin apéndice. La corola es amarillo pálido con un centro rojo oscuro cuando se trata de flores rojas, los pétalos son ovalados, carnosos en su base adherida por cierta longitud al tubo estamínico, redondeada en su ápice, de 3.5 a 5 cm de largo y de 2 a 3 cm de ancho. El tubo estamínico es erecto teniendo anteras casi desde su base, de color morado y de 1.5 a 2 cm de largo (Ochse *et al.*, 1980).

Fruto

Su fruto es una cápsula, las cuales son ovoides, obtusas, ligeramente pilosas con numerosas semillas y dehiscentes abriéndose en cinco partes cuando maduran y de 2 a 2.5 cm de largo (Ochse *et al.*, 1980).

Semilla

Cada fruto contiene de 3 a 4 semillas en cada celda, la cuales miden de 0.4 a 0.6 cm de largo y están cubiertas de escamas aserradas, cuando maduran adquieren un color oscuro (Ochse *et al.*, 1980).

2.1.3 Condiciones ambientales y de cultivo.

La jamaica es un cultivo que se adapta a condiciones tropicales y subtropicales, requiere para su desarrollo temperaturas de 22 °C, precipitación pluvial de 500 a 1000 milímetros, se adapta fácilmente a cualquier tipo de suelo y es resistente a la sequía (Solórzano y Macario, 2002).

Debido al fotoperiodismo crítico de 12 horas luz, el cultivo se limita a regiones inferiores a 25° de latitud. Para la reproducción requiere un periodo de oscuridad de 11½ horas como mínimo. La inducción floral ocurre con 12½ a 13½ horas luz/día, al mismo tiempo termina el crecimiento apical (Augstburger *et al.*, 2000).

La jamaica es considerada una planta de día corto que es afectada por el fotoperiodo, por lo que es un cultivo que no puede cultivarse sucesivamente durante todo el año (Morton, 1987).

En algunos países de Asia es una planta que se cultiva asociado con otras especies como son jamaica/soya, jamaica/ajonjolí, jamaica/arroz, etc. (Gupta, 1988). Una de las actividades en este cultivo que requiere el uso de una gran cantidad de mano de obra es la labor de cosecha de los cálizos de la flor de jamaica, en México se han desarrollado para esta labor máquinas que simplifican esta actividad. Al respecto Inzunza y Laríos (2002) mencionaron que la cosecha mecánica reduce en un 60% el número de jornales utilizados para la cosecha manual (125), representando una disminución de alrededor del 25% de los costos totales de producción.

2.2 Origen

Numerosas especies de *Hibiscus* son encontradas creciendo en muchos países del oeste de África. Para esta especie, el centro de la diversidad genética está situado en el sub-Sahara, África (Wilson, 1994). Técnicas de

laboratorio como las de ALFT (amplified fragment length polymorphism analysis) se han realizado para detectar las relaciones y origen de esta especie, en donde se le relaciona estrechamente con el kenaf (*Hibiscus cannabinus*). Además, se ha demostrado que su diseminación fue de África a través de Asia a Centro y Norte América (Zhou *et al.*, 2004).

Otros autores mencionan que su origen es en la región comprendida de la India a Malasia en donde es comúnmente cultivada y de donde fue llevada a África de donde ha sido distribuida extensamente en los trópicos y subtropicos de ambos hemisferios en donde ha sido naturalizada (Morton, 1987).

2.3 Importancia del cultivo

2.3.1 Nacional

A nivel nacional, el cultivo de jamaica representa el 0.09 % de la superficie sembrada. En el periodo comprendido de los años 2000 al 2005 el promedio de la superficie cosechada de jamaica (Cuadro 1) fue de 17700 hectáreas, el estado de Guerrero fue el principal productor con el 81.0 % de superficie cosechada seguido por los estados de Oaxaca con el 13.87 % y Michoacán con el 2.48 % quienes con conjunto producen el 97.28 %, el resto de la superficie 2.72 % la componen los estados de Nayarit, Colima, Morelos, Jalisco, Puebla, Quintana Roo, Sinaloa, Tabasco, Veracruz y Yucatán. El crecimiento de esta superficie ha sido de manera lenta, pues a partir del año 2000 al presente sólo ha aumentado el 4.59 %, siendo esto poco menos de 1000 hectáreas.

Cuadro 1. Superficie cosechada (hectáreas) de flor de jamaica en México, en el periodo comprendido de 2000 a 2005.

Guerrero	14652	14300	13177	14624	14346	14978
Oaxaca	2600	2500	2490	2325	2385	2434
Michoacán	168	262	292	430	479	1004
Colima	157	115	83	88	110	95
Morelos	46	24	0	22	0	0
Jalisco	9	4	21	12	36	14
Puebla	25	20	10	0	107	24

Fuente: SEDER, 2006.

En este mismo periodo de tiempo de seis años, el total del volumen de la producción nacional fue de 25550 toneladas en donde la aportación de la producción del estado de Guerrero fue del 72.3 %, Oaxaca con 19.32 % y Michoacán con 3.34 %. En este aspecto, el volumen de la producción ha tenido un incremento importante pues a partir del año 2000, en donde la producción fue de 3958 toneladas aumento a 5272 en el año del 2005 lo cual equivale a un 33.1 % de incremento.

Cuadro 2. Volumen de la producción de flor de jamaica (toneladas) en México, en el periodo comprendido de 2000 a 2005.

Guerrero	2698	2721	2481	3390	3151	4036
Oaxaca	910	875	872	766	740	744
Michoacán	51	62	81	173	175	312
Colima	78	72	38	53	50	47
Morelos	46	24	0	36	0	0
Jalisco	8	2	8	6	19	9
Puebla	3	15	3	0	0	5

Fuente: SEDER, 2006.

Los rendimientos por unidad de superficie (Cuadro 3) varían de un estado a otro, a nivel nacional la media de rendimiento por unidad de superficie en los últimos seis años fue de 437.7 kg·ha⁻¹, los estados que alcanzan los mayores rendimientos son Jalisco con un rendimiento medio de 556.3 kg·ha⁻¹, Colima con 523.5 kg·ha⁻¹ y Nayarit con 458.0 kg·ha⁻¹, el estado de Guerrero siendo el mayor productor es uno de los estados con los más bajos rendimientos en la producción de este cultivo pues su valor medio fue de 213.8 kg·ha⁻¹.

Cuadro 3. Rendimiento (toneladas / hectárea) de flor de jamaica en México, en el periodo comprendido de 2002 a 2005.

Guerrero	0.184	0.190	0.188	0.232	0.220	0.269
Oaxaca	0.35	0.350	0.350	0.329	0.310	0.305
Michoacán	0.307	0.237	0.278	0.402	0.366	0.310
Colima	0.498	0.629	0.461	0.600	0.453	0.500
Morelos	1.000	1.017	0.00	1.636	0.00	0.0
Jalisco	0.889	0.400	0.412	0.500	0.528	0.609
Puebla	0.12	0.750	0.250	0.0	0.320	0.198

Fuente: SEDER, 2006.

A nivel nacional existe una gran variación del precio medio rural de flor de jamaica (Cuadro 4), el cual varía año con año y de región en región, esto dependiendo de la producción, la calidad y la demanda, en el periodo de tiempo de los años 2000 al 2005 el promedio nacional fue de \$ 30655.7 por tonelada, el año en que ha alcanzado el mayor precio fue en 2004 con un valor de \$ 32864.3 por tonelada y contrariamente cuando ha tenido su valor más bajo fue en el 2001 con un valor de \$27065.4 por tonelada. Entre los estados que ofertan el mayor precio se encuentran Colima y Nayarit. En contraste, el estado de Guerrero oferta el precio más bajo.

Cuadro 4. Precio medio rural (pesos / tonelada) de flor de jamaica en México, en el periodo comprendido de 2000 a 2005.

Guerrero	26554.00	27551.00	25929.00	20397.00	8128.00	8841.00
Oaxaca	29500.00	30000.00	35000.00	30862.00	30000.00	30398.00
Michoacán	27797.00	28219.00	15451.00	33439.00	28758.00	25807.00
Colima	41418.00	39502.00	39608.00	46000.00	44900.00	44788.00
Morelos	20717.00	14934.00	0.00	8000.00	0.00	0.00
Jalisco	34850.00	20625.00	27337.00	40000.00	20905.00	26319.00
Puebla	45000.00	25000.00	45000.00	0.00	60000.00	30000.00

Fuente: SEDER, 2006.

El valor de la producción varía en base a la producción obtenida y al precio medio rural del producto, el promedio anual del valor de la producción en un periodo de tiempo de seis años (Cuadro 5) fue de \$ 88'804,333.33 en este mismo intervalo de tiempo el año en que ha alcanzado su más alto valor fue en el 2001 con un valor de \$ 105'813,000.00 y cuando ha tenido su menor valor ha sido en 2004 con un valor de 56'791,000.00.

Cuadro 5. Valor de la producción (miles de pesos) de la flor de jamaica en México, en el periodo comprendido de 2000 a 2006.

Guerrero	71651.0	74955.0	64332.0	69148.0	25614.0	35680.0
Oaxaca	28845.0	26250.0	30520.0	23626.0	22200.0	22603.0
Michoacán	1431.0	1762.0	1255.0	6786.0	4669.0	8044.0
Colima	3240.0	2856.0	1517.0	2429.0	2236.0	2116.0
Morelos	953.0	364.0	0.0	288.0	0.0	0.0
Jalisco	279.0	33.0	231.0	240.0	397.0	225.0
Puebla	135.0	375.0	113.0	0.0	2052.0	142.0

Fuente: SEDER, 2006.

2.3.2 Estatal

En el estado de Nayarit el promedio de los últimos 10 años de la superficie sembrada del cultivo de jamaica ha sido de 257 hectáreas anuales, tomando en cuenta la superficie sembrada a nivel nacional, el estado representa el 1.63 % del total de la superficie sembrada de este cultivo. En los últimos 10 años el incremento de la superficie se ha duplicado (Figura 1), tomando en consideración el año de 1996 en que se sembraron 134 hectáreas al año 2005 en que se cultivaron 268 hectáreas lo que equivale a un 100 % de incremento, el año en que se ha tenido la mayor superficie sembrada fue en 2001 con un total de 396 hectáreas. En cuanto a superficie cosechada se refiere, las diferencias han sido mínimas en relación con la superficie sembrada.

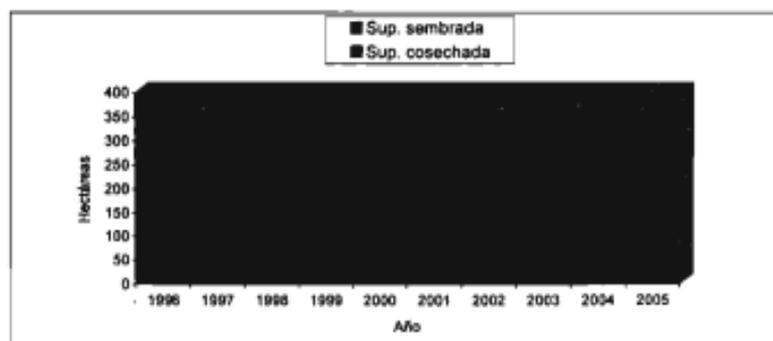


Figura 1. Superficie sembrada y cosechada del cultivo de jamaica en el estado de Nayarit en el periodo de 1996 a 2005 (SEDER, 2006)

Los rendimientos varían de acuerdo principalmente a las condiciones climáticas que se presenten en la temporada, al ser este un cultivo que está sujeto al temporal. En promedio el estado de Nayarit ha tenido un rendimiento medio de $430.5 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ de flor de jamaica, el cual casi es similar al rendimiento medio nacional de $437.7 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$, en los últimos 10 años (Figura 2) el incremento del rendimiento por unidad de superficie ha sido muy bajo, considerando el año de 1996 en el que los rendimientos obtenidos fueron de $410.0 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ al año 2005 en donde se obtuvieron rendimientos de $479.0 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$, apenas representa un 16.8 % de incremento. Lo anterior debido principalmente porque se siguen empleando las mismas prácticas de producción en este cultivo.

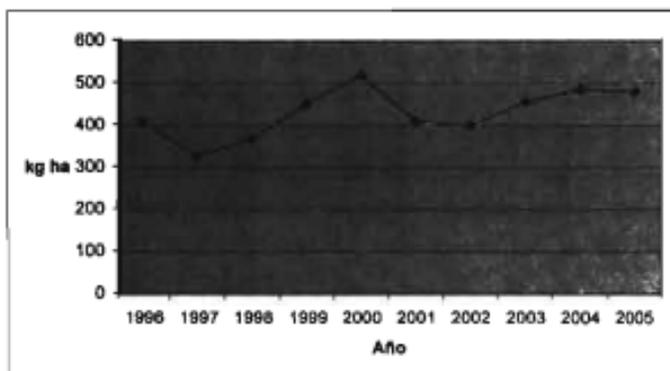


Figura 2. Rendimiento medio por hectárea obtenido en el cultivo de jamaica en el estado de Nayarit, en el periodo de 1996 a 2005 (SEDER, 2006).

En promedio el estado de Nayarit produce 107.8 toneladas de flor de jamaica anualmente lo que representa el 3.11 % del total de la producción nacional. Los mayores volúmenes de producción han sido en los años 2000 y 2001 con una producción de 164 y 162 toneladas respectivamente (Figura 3). El aumento del volumen de producción en el intervalo de tiempo de los años 1996 al 2005 ha sido de 55 a 128 toneladas respectivamente, lo que representa un incremento del 132 %, debido principalmente al aumento de superficie sembrada y cosechada de este cultivo en los últimos 10 años.

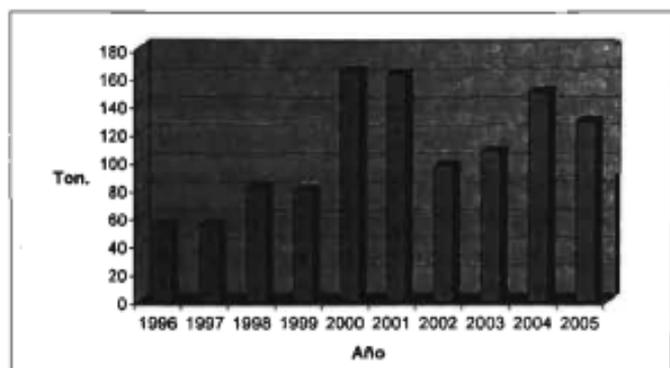


Figura 3. Volumen de la producción del cultivo de jamaica en el estado de Nayarit, en el periodo de 1996 a 2005 (SEDER, 2006).

Nayarit es uno de los estados que ofertan su producto a los más altos precios, debido principalmente a la alta calidad con que se produce. El promedio del precio medio rural del periodo comprendido 1996 – 2005 ha sido de \$32,622.00 por tonelada, el año en que se ha tenido el mayor incremento fue en 2003 en donde el producto alcanzó un valor de \$ 42,233.00 por tonelada (Figura 4). Considerando los años 1996 y 2005 en donde el precio medio rural fue de \$ 24,073.00 y \$ 35,218.00 por tonelada respectivamente, se ha tenido un incremento porcentual del 46.29%

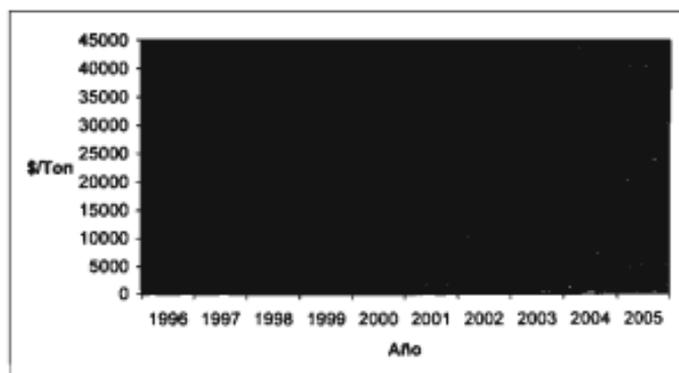


Figura 4. Comportamiento del precio medio rural de flor de jamaica en el estado de Nayarit, en el periodo de 1996 a 2005 (SEDER, 2006).

El valor de la producción depende principalmente del volumen de la producción obtenida y el precio medio rural vigente en el momento, en el estado de Nayarit su comportamiento ha sido algo errático (Figura 5) siendo una de las causas los diferentes volúmenes de producción obtenidos en los distintos años en que se han presentado estas fluctuaciones en donde los más altos valores han sido en los años 2000, 2001 y 2004 con valores de \$ 5'415,000.00, \$ 4'787,000.00 y \$ 5'865,000.00 respectivamente.

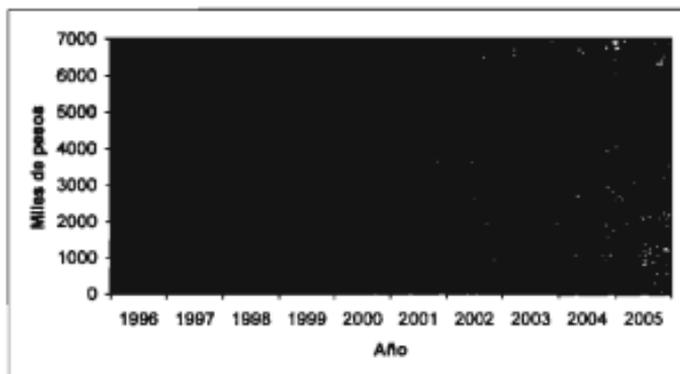


Figura 5. Valor de la producción de la flor de jamaica en el estado de Nayarit, en el periodo de 1996 a 2005 (SEDER, 2006).

2.4 Usos de la planta de jamaica

2.4.1 Alimentación

Los cálices de la planta de jamaica son de gran interés porque frescos o deshidratados son utilizados en el procesamiento en la preservación de frutas, jalea y gelatina por su rico contenido de pectina. Los cálices son además usados para preparar arándano como jugo y té por su contenido de ácido ascórbico, son también utilizados como ingredientes en muchas comidas para agregar color y sabor por su natural contenido de pigmento (Hsien *et al.*, 2005; Ruiz, 2002).

Las hojas y tallos jóvenes son consumidos crudos en ensaladas o cocinados solos o en combinación con otros vegetales, carne o pescado (Morton, 1987). En África es uno de los más populares alimentos, las hojas de jamaica verde son vendidas en grandes cantidades en Dakar, al oeste de este país (Fassil, 2000).

Las semillas son algo amargas, las cuales han sido utilizadas como fuente de alimento en África, tostadas son empleadas como un sustituto del café. Los residuos que permanecen después de la extracción de aceite son remojados

en recipientes por tres o cuatro días, después son depositadas para ser hervidas, son ingeridas en sopas o licuadas con harina de fríjol en croquetas de carne molida o pescado (FAO, 2006).

La planta de jamaica contiene una amplia gama de vitaminas, minerales y otras sustancias como se muestra en el Cuadro 6.

Cuadro 6. Valor nutritivo de diferentes partes de la planta de jamaica (*Hibiscus sabdariffa* L.)

Humedad	9.2 g	Humedad	12.9 %
Proteínas	1.145 g	Proteínas	3.29 %
Grasa	2.61 g	Aceite graso	12.9 %
Fibra	12.0 g	Celulosa	16.8 %
Cenizas	6.90 g	Pentosas	15.8 %
Calcio	1.263 mg	Almidón	11.1 %
Fósforo	273.2 mg		
Hierro	8.98 mg	Arginina	3.6 g
Tiamina	0.117 mg	Cisteína	1.3 g
Riboflavina	0.277 mg	Histidina	1.5 g
Niacina	3675 mg	Isoleucina	3.0 g
Acido ascórbico	6.7 mg	Leucina	5.0 g
		Lisina	3.9 g
		Metionina	1.0 g
		Fenilalanina	3.2 g
Proteína	1.7 - 3.2 %	Treonina	3.0 g
Grasa	1.1 %	Tirosina	2.2 g
Carbohidratos	10.0%	Valina	3.8 g
Cenizas	1.0 %	Acido aspártico	16.3 g
Calcio	0.18 %	Acido glutámico	7.2 g
Fósforo	0.04 %	Alanina	3.7 g
Hierro	0.0054 %	Glicina	3.8 g
Acido málico	1.25 %	Prolina	5.6 g
Humedad	86.2 %	Serina	3.5 g

Fuente: Morton, 1987.

2.4.2 Medicina

Los pigmentos rojos brillantes presentes en los cálices de la planta de jamaica se deben a la presencia de antocianinas (Du y Francis, 1973; Mazza y Miniati, 2000; citados por Mounigan y Badrie, 2006).

Las antocianinas son compuestos del grupo de los flavonoides que se caracterizan por presentar una coloración roja, azul y púrpura a los órganos de las plantas que las poseen. A menudo se encuentran confinadas en las células epidérmicas (Salisbury y Ross, 2002). Estos compuestos generalmente se localizan en las flores con colores brillantes, cuya función es la de atraer a los insectos, los característicos colores del follaje en otoño se deben a estos mismos (Bidwel, 2002).

Son compuestos hidrosolubles con características de glucósidos, se conocen aproximadamente 20, las antocianinas más importantes son la pelargonidina, delphinidina, cianidinina, petunidina, peonidina y malvidina, nombres que derivan de la fuente vegetal de donde se aislaron por primera vez. La combinación de éstas con los diferentes azúcares genera aproximadamente 150 antocianinas que abundan en la naturaleza (Badui, 1993).

En India, África y México partes de la planta de jamaica son valoradas como medicina nativa. Infusiones de las hojas o cálices son consideradas como diuréticos, vermífugos, además, controlan los niveles de colesterol y la hipertensión arterial, decreciendo la viscosidad de la sangre y estimulando el peristaltismo intestinal (Morton, 1987).

Las antocianinas muestran una gran capacidad para captar radicales libres causantes del estrés oxidativo, atribuyéndoles a su vez un efecto benéfico en la prevención de enfermedades cardiovasculares, circulatorias, cancerígenas y neurológicas (Kuskoski *et al.*, 2003; Hernández y Serna, 2003).

En estudios médicos realizados con el apoyo del IMSS y CONACYT, se ha demostrado plenamente el 100% de efectividad del agua de flor de jamaica en el tratamiento preventivo de la hipertensión. Además, se comprobó que disminuyó el colesterol maligno hasta un 35% y los triglicéridos hasta un 19%, lo anterior, en un 99% de las personas que tenían niveles muy altos de tales lípidos y que durante un año consumieron a discreción agua de flor de jamaica. Se concluyó que como medida preventiva o curativa, la flor de jamaica es igualmente efectiva en todos los casos que se presentan trastornos metabólicos caracterizados por la existencia de niveles elevados de lípidos en

la sangre, evitando el engrosamiento de las arterias (Hernández y Serna, 2003).

Herrera *et al.* (2004) compararon el efecto antihipertensivo entre extracto de cálices de jamaica y el medicamento captopril en pacientes de 30 a 80 años de edad con diagnóstico de hipertensión arterial. Los datos obtenidos confirmaron que el extracto de *Hibiscus sabdariffa* estandarizado a 9.6 mg de antocianinas totales y captopril 50 mg/día no mostraron diferencias relativas a su efectividad antihipertensiva.

La determinación del contenido de antocianinas totales se lleva a cabo por métodos de laboratorio. Se determinan por el método pH-diferencial, utilizando la fórmula:

$$A = (A_{\lambda \text{ vis-max}} - A_{\lambda \text{ vis-700}})_{\text{pH } 1} - (A_{\lambda \text{ vis-max}} - A_{\lambda \text{ vis-700}})_{\text{pH } 4.5}$$

Donde: $A_{\lambda \text{ vis-max}}$ = lectura del pico más alto a pH 1 y pH 4.5

$A_{\lambda 700}$ = lectura a 700 nm para pH 1 y pH 4.5

Para calcular la concentración en la muestra original se emplea la siguiente ecuación:

$$\text{Antocianinas (ml}^{-1}\text{)} = (A \cdot \text{peso molecular} \cdot \text{FD} \cdot 1000) / (\epsilon \cdot 1)$$

Donde: A = absorbancia, FD = factor de dilución y ϵ = coeficiente de extinción molar, el contenido del pigmento es calculado como cianadina-3-glucósido (Mollet, 1996).

2.4.3 Industria

Aunque es una planta que es utilizada en otros países como planta textil en la obtención de fibras vegetales o como fuente de colorantes alimenticios por su alto contenido de antocianinas, en nuestro país este uso no ha tenido importancia y sólo se limita a la producción de cálices de la flor de jamaica.

En años recientes numerosos estudios han sido llevados a cabo, con el objetivo de caracterizar las antocianinas de diferentes productos naturales con

el fin de usarlas como una alternativa al uso de colorantes sintéticos en la industria de los alimentos (Cedillo *et al.*, 2004).

Frente a la actual tendencia mundial de usar pigmentos naturales como una fuente de colorantes de alimentos, se ha demostrado que las antocianinas son colorantes naturales que pueden ser utilizados como alternativa en sustitución de colorantes sintéticos (Lima *et al.*, 2005).

2.5 Heterosis

La historia moderna de hibridación de plantas fue iniciada por Camerarius quien en 1694 especuló que podría ser posible fertilizar una planta hembra de una especie con polen de una planta masculina de otra especie. Los primeros escritos referentes a la hibridación espontánea de plantas fue encontrada en una carta escrita por Mather en 1716 en la que describe la natural ocurrencia de cruzamientos en plantas de maíz y calabaza (Rieseberg y Carney, 1998).

Shull (1908) presentó la primera teoría de heterosis designada como la estimulación fisiológica o hipótesis de la heterosigosis, la cual fue basada sobre la premisa de que la heterosigosis por si misma es la causa de heterosis.

La heterosis se ha reportado en un amplio rango de especies de cultivo donde se incluyen especies de autopolinización y polinización cruzada, la expresión de heterosis es grandemente influenciada por la magnitud de diferencias genéticas para algunos caracteres, pero no para otros (Moll y Stuber, 1971).

Vaidya (2000) indico que la jamaica es una planta autógena, es decir que los gametos que se unen para formar el cigoto proceden del mismo individuo (autofecundación). De la Loma (1963) mencionó que las especies que normalmente se autofecundan, no sufren ninguna alteración con las autofecundaciones continuas ya que esta es su manera normal de reproducirse y, por consiguiente, un individuo cualquiera es un homocigoto. Define además la heterosis como el fenómeno que se obtiene como resultado de cruzar dos individuos que difieren en una o más características y cuyo producto es notablemente más vigoroso que los individuos que lo originaron.

La heterosis es un fenómeno asociado con el incremento de la heterosis, cuando se cruzan dos líneas cada una altamente consanguínea, la descendencia híbrida muestra generalmente un vigor mayor medido en tales caracteres como crecimiento, supervivencia y fertilidad. A este incremento de la aptitud de los híbridos se le denomina vigor híbrido (Jenkins, 1986).

Las líneas frecuentemente son clasificadas dentro de grupos heteróticos en donde individuos de diferentes grupos cuando son cruzados muestran significativa heterosis, mientras, que las cruza entre individuos dentro de un grupo expresan poca o ausencia de heterosis (Walsh, 2006).

Cuando se cruzan individuos y estos son homocigotes no relacionados, es decir, genéticamente diferentes que pueden ser entre dos razas, dos variedades, dos líneas, etc., se produce un híbrido que es superior en tamaño, rendimiento o vigor general en relación con sus progenitores. A este fenómeno se le llama vigor híbrido o heterosis, y tiene su mayor manifestación en la primer cruza o F_1 (Reyes, 1985). Además el mismo autor mencionó que se ha encontrado heterosis cuando el cruzamiento se hace entre poblaciones heterocigóticas, aunque en menor grado y la F_1 es tan variable como cualquier progenitor. En la generación F_2 la variación es mayor y la heterosis disminuye. La manifestación de heterosis produce un estímulo general en la progénie o en el híbrido y afecta a las especies de diferente manera. En general se manifiesta por:

- Mayor rendimiento de grano, forraje o frutos.
- Madurez más temprana.
- Mayor resistencia a plagas o enfermedades.
- Plantas más altas.
- Aumento en el tamaño o número de ciertas partes u órganos de la planta.
- Incremento de algunas características internas de la planta.

Actualmente las bases biológicas de la heterosis permanecen desconocidas (Tsaftaris, 1995), sin embargo, se han propuesto dos líneas principales de pensamiento sobre este fenómeno que tratan de dar una explicación: a) la estimulación fisiológica (interacción alélica o sobredominancia) y b) factores

dominantes de crecimiento (dominancia), pero hasta ahora los resultados disponibles no favorecen a una sobre la otra (Hallauer y Miranda, 1981).

La hipótesis sobre la sobredominancia propuesta originalmente por Schull (1908), East y Hayes (1912), Hull (1945); menciona que los genotipos heterocigóticos son superiores a los homocigóticos. El heterocigótico produce un producto génico superior. La segunda hipótesis de heterosis fue presentada primeramente en forma matemática por Bruce (1910), en sus derivaciones presentó la inclusión de números de pares de genes, rangos de frecuencias de genes y niveles de dominancia, los rasgos sobresalientes de esta hipótesis fueron que la heterosis podría ocurrir si los padres defirieran en la frecuencia de genes la dominancia sería manifestada (Hallauer y Miranda, 1981).

Los que apoyan la hipótesis de la teoría de la dominancia, afirman que la consanguinidad lleva a un incremento de la homocigosis de genes recesivos deletéreos, mientras que la alogamia o la hibridación enmascaran a los recesivos por los alelos dominantes de las diferentes líneas consanguíneas. Aquí es el efecto de enmascaramiento por los genes dominantes lo que conduce a la heterosis. De acuerdo con la hipótesis de la sobredominancia, la raíz de la causa de la heterosis son los loci heterocigóticos o los recesivos enmascarados y no la sola presencia de los alelos dominantes superiores. La mayoría de los genéticos creen que hay algo de verdad en ambas hipótesis, pero la hipótesis de la dominancia parece explicar la mayoría de los ejemplos de heterosis (Jenkins, 1986).

La base genética de la heterosis tal vez sea más compleja de lo que pueda dar a entender cualquiera de las explicaciones aisladas propuestas hasta la fecha, ciertos principios genéticos como: (1) la acción complementaria de genes, (2) la epistasia ocultadora de genes recesivos deletéreos, (3) los efectos de alelos múltiples y (4) la súper dominancia (aventajamiento selectivo del heterocigoto en relación con ambos tipos homocigóticos) podrían intervenir en este proceso. En la actualidad parece evidente que sólo algunos genes producen heterosis cuando se encuentran en combinación heterocigótica. La ocurrencia de un

mayor vigor se podría deber a combinaciones químicas favorables controladas por determinados alelos (Gardner, 1982).

La endogamia es el fenómeno opuesto a la heterosis o vigor híbrido, cuando se cruzan líneas endogámicas, la progenie muestra un incremento en aquellos caracteres que previamente sufrieron una reducción por la endogamia. En términos generales, la pérdida de aptitud por la endogamia tiende a ser restaurada por el cruzamiento (Cubero, 1999).

La cantidad de heterosis producida por una cruce entre dos líneas particulares o dos poblaciones depende del cuadrado de la diferencia de las frecuencias génicas (y) entre las dos poblaciones. Si las poblaciones que se han cruzado no difieren en frecuencias génicas no habrá heterosis, y será máxima cuando un alelo este fijado en una población y el otro alelo en la otra. Mencionó, además, que esta puede ser medida como la diferencia de la F_1 o la F_2 con el valor del progenitor medio, la naturaleza de su medición puede ser negativa o positiva dependiendo del tipo de carácter (Falconer, 1972).

Para evaluar la manifestación de heterosis, Reyes (1985) describió que existen varias modalidades, aunque la fórmula que tiene mayor importancia para evaluar los caracteres de importancia económica es la siguiente:

Heterosis = ((valor del híbrido - valor del progenitor mayor) / valor progenitor mayor) X 100.

2.6 Diseños dialélicos

Un cruzamiento dialélico es un particular tipo de diseño de cruzamiento donde se requieren todos los posibles cruzamientos entre un número de genotipos que se utilizarán como padres (Kang, 1994; Hayman, 1954; Kempthorne, 1956).

Los diseños dialélicos son utilizados en una gran diversidad de cultivos en donde se desea producir híbridos, estos permiten el conocimiento de las propiedades genéticas intrínsecas del material en estudio, la evaluación de los progenitores y sus combinaciones híbridas con respecto a heterosis y las habilidades combinatorias (Rivas y Barriga, 2002; Vega y Bejarano, 1974; Cano *et al.*, 2000; Ruiz *et al.*, 2004).

El principal objetivo de los análisis dialélicos es el estudio del control genético de caracteres cuantitativos lo cual es esencial para planear y llevar a cabo un programa de mejoramiento (Viana *et al.*, 1999). Se han propuestos diferentes métodos para el análisis de diseños dialélicos entre otros se tienen: Jink y Hayman (1953), Hayman (1954), Dickson y Jink (1956), Griffing (1956), Gardner y Eberhart (1966), Kempthorne (1956).

La teoría de varianza de análisis dialélicos tiene el propósito principal de evaluar la variabilidad genética y medias de heterosis en dos grupos de padres, la información obtenida completa que provee el análisis dialélico incluye padres y sus híbridos F_1 o generación F_2 (Vianna *et al.*, 2000).

Hayman (1954,1958) presentó la teoría y análisis de cruza dialélicas basado en los valores genotípicos y fenotípicos de los padres, híbridos F_1 y generaciones F_2 .

Gardner y Eberhart (1966) presentaron un modelo para la estimación de efectos genéticos a partir de un cruzamiento dialélico y poblaciones emparentadas de un conjunto de apareamientos hechos al azar con frecuencia arbitraria de genes, dos alelos por locus y ausencia de epistasis.

El sistema de los cruces dialélicos es uno de los diseños genético-estadísticos más conocidos y uno de los que ofrece mayor información genética. Su uso comenzó con Schmidt (1919) para determinar los valores de cruzamiento de los progenitores lo que hoy se conoce como valor aditivo; a partir de 1940 se empezó a desarrollar este modelo, tanto en términos de acción génica (escuela inglesa), como de varianzas genéticas y aditivas (escuela norteamericana) y surgieron los conceptos de aptitud combinatoria general y aptitud combinatoria específica para expresar la varianza aditiva y la varianza por dominancia respectivamente (Cornide *et al.*, 1985; citado por Ruiz *et al.*, 2004).

Griffing (1956) presentó una clasificación de los cuatro posibles métodos experimentales de cruzamientos dialélicos, a los que considera como modelo de efectos fijos (modelo I) y el modelo de efectos aleatorios (modelo II). El diseño I comprende las p autofecundaciones, un grupo de $p(p-1)/2$ cruza F_1 y

las $p(p-1)/2$ cruzas recíprocas de las F_1 . Diseño 2, ensaya las p autofecundaciones y uno de los grupos de $p(p-1)/2$ cruzas F_1 . Diseño 3, un conjunto de $p(p-1)/2$ y sus recíprocos y el diseño 4, que comprende únicamente un grupo $p(p-1)/2$ cruzas F_1 .

2.7 Aptitud combinatoria

Los términos de aptitud combinatoria general y específica fueron originalmente definidos por Sprague y Tatum (1942), el primero se emplea para designar el comportamiento medio de una línea en combinaciones híbridas, el término de aptitud combinatoria específica se emplea para designar aquellos casos en los cuales ciertas combinaciones lo hacen relativamente mejor (o peor) de lo que podría esperarse, sobre la base del comportamiento promedio de las líneas involucradas (Martínez, 1983).

La aptitud combinatoria general se considera asociada a la acción génica de tipo aditivo y la aptitud combinatoria específica a la de tipo no aditivo (dominancia y sobredominancia), a través de la relación ACG/ACE se puede obtener una aproximación sobre la forma en que se hereda el carácter de estudio, lo que resulta importante para escoger el método de mejoramiento a seguir (Griffing, 1956; Falconer, 1972).

Los caracteres de interés se miden sobre los descendientes de las propias cruzas, en el modelo I método II se incorporan las componentes aleatorias de aptitud combinatoria general (ACG) y aptitud combinatoria específica (ACE), interpretando los resultados a través de un modelo lineal, este conduce a una tabla de análisis de varianza, cuyos cuadrados medios se analizan para establecer sus valores esperados estos se igualan con los cuadrados medios calculados, derivándose los estimadores mínimos cuadráticos de los componentes de la varianza, la interpretación en términos genéticos de los resultados obtenidos es el último paso en el procedimiento (Martínez, 1988).

2.8 Mejoramiento genético en la especie

Diversos han sido los estudios de mejoramiento genético en el género *Hibiscus* L. sección *Furcaria* DC. Las diversas características que poseen estas

especies como son sus delicadas flores empleadas como ornamento, por la calidad de sus fibras en la industria textil, cuando se emplea como alimento así como por sus propiedades medicinales hacen interesante el mezclar estas características entre las diversas especies de esta planta, este grupo muestra una notable cantidad de diversidad genética, lo cual fue mostrado por análisis citológicos de 140 combinaciones híbridas de aproximadamente 60,000 cruza (Wilson, 1993). De las 17 especies de *Furcaria* con las cuales cruzamientos interespecíficos han sido intentados *Hibiscus sabdariffa* L. ocupa el primer lugar en importancia seguida por *Hibiscus cannabinus* L. ya que las dos especies convergen morfológicamente en muchas de sus variedades (Menzel y Wilson, 1966).

Wilson y Menzel (1966) reportaron el cruzamiento exitoso entre *Hibiscus sabdariffa* ($2n=72$) x *Hibiscus cannabinus* ($2n=36$) del cual cinco plantas híbridas fueron producidas de la polinización de 4445 flores de kenaf con flores de roselle (jamaica), no fueron producidas plantas híbridas del cruzamiento recíproco. Una línea de roselle fue el padre de tres de los cinco híbridos y una línea de kenaf fue el padre de dos de los tres híbridos. Los híbridos (F_1) fueron triploides y variaron en vigor, hábitos de crecimiento y morfología, pero tuvieron flores similares, dos de los híbridos (F_1) mostraron alta fertilidad del polen, estos mismos produjeron una pequeña cantidad de semilla con las que se obtuvo una población F_2 de 22 plantas, estas tuvieron variaciones en vigor pero fueron morfológicamente iguales.

El interés en relación con las especies así como hibridaciones interespecíficas entre los parientes de *Hibiscus sabdariffa* L. y *Hibiscus cannabinus* L. ha sido estimulada por el potencial que las dos especies han tenido en la agricultura como fuentes de fibras vegetales (Menzel y Wilson, 1969).

Wilson y Adamson (1970) estudiaron la resistencia al nemátodo de la raíz de (*Meloidogyne incognita acrita* C.), híbridos obtenidos de *Hibiscus sabdariffa* L. x *Hibiscus cannabinus* L. mostraron resistencia intermedia entre la moderada resistencia del progenitor *Hibiscus sabdariffa* L. y el progenitor susceptible *Hibiscus cannabinus*.

Tejaswini y Sarma (1995) realizaron un estudio sobre heterosis en tres cruzamientos intervarietales de jamaica (variedad *altissima*) en las generaciones F_1 y F_2 encontrando efectos significativos de heterosis para las características días a floración, diámetro basal, peso de fibra, rendimiento de semilla y contenido de aceite.

Mukewar *et al.* (1997) realizaron una evaluación de ocho progenitores y sus 28 híbridos, los resultados mostraron el predominio de acción aditiva de genes para rendimiento de semilla y número de cápsulas por planta.

Hernández (2003) realizó un trabajo acerca de las técnicas empleadas para realizar cruzamientos en este cultivo, mencionó además, que la apertura floral está relacionada con la temperatura, ya que a menor temperatura la apertura se retrasa en ocasiones hasta medio día, mientras que en días calidos las flores se abren desde el inicio de la mañana e inicia la liberación de polen, por lo que se establece que el proceso de la apertura floral, polinización y fecundación ocurre en menos de 12 horas.

Sibhan y Husain (1986) realizaron cruzamientos sobre tres poblaciones de *Hibiscus sabdariffa* L. (variedad *sabdariffa* x variedad *altissima*) donde estudiaron su progenies en F_1 y F_2 . Se observó heterosis para altura de planta, diámetro de la base del tallo y longitud del fruto. Se encontró acción génica aditiva para altura de planta, mientras que otros caracteres exhibieron acción génica aditiva y de dominancia.

Thirthamallappa (1992) realizó estudios sobre aptitud combinatoria (variedad *altissima*) en un dialélico de 10 x 10, encontró efectos de ACG para altura de planta, número de ramas y días a floracion, para ACE se encontraron también efectos para días a floracion, diámetro basal del tallo, número de ramas y días a floración.

Flores (2002) evaluó la heterosis de un híbrido de jamaica como resultado del cruzamiento de la variedad Criolla de Huajicori con la variedad llamada China, utilizando el primero como progenitor hembra y el segundo como progenitor macho, encontró un efecto importante de heterosis en el rendimiento de cálices

frescos y secos con un valor de heterosis de 34% con respecto al mejor progenitor. También encontró efectos intermedios con respecto a sus progenitores en las características de días a floración, número de ramas por planta, altura de plantas, grado de acidez y contenido de antocianinas.

Adamson (1983) estudió la herencia del tipo de hoja de *Hibiscus sabdariffa* L., encontró que el tipo de hoja de lóbulos anchos en la jamaica comestible es un carácter recesivo, mientras que el lóbulo angosto es dominante en los tipos de *Hibiscus silvestres*.

Basu y Chakravarty, (1972) encontraron que dos tipos de genes son los que controlan la forma de la hoja, cuando ambos genes son homocigotos dominantes (LLWW) la hoja es larga, ancha y lobulada palmeada, los dobles recesivos (llww) expresan la característica de hojas cortas, anchas y parcialmente trifoliadas; LLww expresa una forma de hoja larga, estrecha y hoja palmeada-lobulada mientras que llWW produce una hoja corta, ancha y parcialmente trifoliada.

Shome (1981), realizó pruebas para inducir mutaciones en variedades de dos especies de *Hibiscus* (*H. cannabinus* y *H. sabdariffa*) las cuales fueron tratadas con radiaciones de rayos X a dosis de 1 kR a 6 kR, las dosis subletales de radiación defirieron entre variedades y especies, variedades tempranas de ambas especies fueron más sensibles que variedades tardías y variedades con semillas pequeñas fueron mas sensibles que las de mayor tamaño. *Hibiscus sabdariffa* fue más sensible que *Hibiscus cannabinus*. La dosis óptima para inducir mutación en todas las variedades de ambas especies fue en el rango de 1 kR a 2 kR.

Vaidya (1994) obtuvo un mutante de *Hibiscus sabdariffa* L. en jamaica verde, el cual fue encontrado al tratar semillas con una solución de etil metanosulfonato en concentraciones de 0.6 % y 0.08 % por un periodo de tiempo de seis horas. Las semillas fueron sembradas y las plantas sobrevivientes M₁ fueron autofecundadas, semillas de cada planta M₁ fueron recolectadas en forma separada, sembradas y autofecundadas nuevamente para formar la población M₂. Las mutaciones morfológicas de caracteres cualitativos fueron

encontradas en las flores de las plantas, presentando ausencia de estilo y estigma con presencia de óvulos, producción de anteras normales con polen funcional, el fenotipo mutante en jamaica fue designado como femenino estéril.

Vaidya (2000) estudió la polinización en cruzamientos naturales en jamaica, dos variedades locales de *Hibiscus sabdariffa* L., jamaica verde y jamaica roja fueron cultivadas para determinar la cantidad de polinización cruzada natural. El arreglo consistió en colocar alternativamente surcos de cada variedad así como alternar individuos por surco, se tuvieron también dos fechas de plantación con un mes de diferencia. Tallos con pigmentación roja (RR) contra tallos de pigmentación verde (rr) fue usada como un marcador genético para la estimación del cruzamiento. Semillas de cápsulas seleccionadas al azar de plantas de jamaica verde fueron sembradas para determinar la frecuencia de polinización cruzada. Estimaciones de cruzamientos por polinización natural tuvieron rangos de 0.20 +/- 0.09 a 0.68 +/- 0.34 %. El resultado fue un bajo rango de polinización cruzada en jamaica.

Jiménez (2002) describió la morfología de los granos de polen de diecinueve taxones incluyendo dos variedades que corresponden a seis géneros de la familia de las malváceas en Jalisco, México; para *Hibiscus sabdariffa* describió las particularidades en cuanto a tamaño, número de poros y diámetro de los granos de polen que caracterizan a esta especie.

Suvakanta *et al.* (2006) realizaron la identificación y caracterización entre dos especies de *Hibiscus* y 16 variedades de *Hibiscus rosa-sinensis* L. utilizando técnicas de RAPD (random amplified polymorphic markers), los grupos analizados mostraron distancias genéticas muy cercanas dentro de las variedades y entre las especies. La técnica empleada mostró el potencial para la identificación de especies y variedades así como su caracterización de variación genética dentro de las variedades siendo de gran utilidad en programas de crianza en *Hibiscus* y provee una alternativa en la conservación biológica.

Aliyu *et al.* (2005) realizaron un estudio acerca del potencial agronómico, variabilidad genética y heredabilidad en roselle (*Hibiscus sabdariffa* L.)

encontraron altas diferencias entre variedades en altura de planta, número de hojas, número de frutos, y rendimientos entre frutos, semillas y cálices. No encontraron diferencias entre el número de ramas por planta, para rendimiento de cálices se estimó una alta heredabilidad para este carácter.

III. EVALUACIÓN DE CARACTERÍSTICAS AGRONÓMICAS DE PROGENITORES Y CRUZAS

3.1 INTRODUCCIÓN

El objetivo que se busca con la hibridación es la obtención de ejemplares que presenten nuevas combinaciones o agrupaciones de caracteres o un mayor vigor, los resultados que puedan esperarse de la craza, en cuanto a la obtención de tipos mejorados, dependerá en gran medida del modo normal de reproducción de la especie de que se trate y del modo de herencia de los caracteres que se pretende reunir en el nuevo tipo (De la Loma, 1963).

Una de las formas de mejorar los rendimientos es a través del mejoramiento genético utilizándose la técnica de la hibridación, se han conseguido plantas mejor adaptadas a determinados ambientes, más productivas, resistentes o tolerantes a determinada plaga o enfermedad específica. En general se buscan plantas con caracteres agronómicos deseables para ser cultivadas comercialmente.

Inicialmente el presente trabajo se contempló realizarse como un cruzamiento dialélico completo (3x3), el cual incluye cruzas directas, recíprocas y progenitores, sin embargo, por razones ajenas no se logró obtener semilla de la craza de la variedad Reina (progenitor hembra) por Criolla (progenitor macho) obteniéndose sólo semilla de cinco cruzamientos, con lo cual no fue posible el realizar el análisis estadístico de un dialélico completo; con los híbridos obtenidos se consideró importante el evaluar las características de interés agronómico que se expresaron en cada uno de ellos, así como también las que distinguen a los progenitores que los originaron.

Con base a lo antes expuesto, se planteo la siguiente hipótesis:

1. El cruzamiento de genotipos con características contrastantes produce una progenie con características fenotípicas distintas a los progenitores que los formaron.

Para dar respuesta a la hipótesis expuesta se planteó el siguiente objetivo:

1. Describir las características de importancia agronómicas de cinco híbridos y la de sus progenitores que los formaron.

3.2 MATERIALES Y MÉTODOS

3.2.1 Generación de tratamientos

3.2.1.1 Localización del sitio

La fase de cruzamientos se llevó a cabo en el ciclo de temporal 2003 en los terrenos de la Unidad Académica de Agricultura de la Universidad Autónoma de Nayarit, la cual se ubica en el municipio de Xalisco, Nayarit.

3.2.1.2 Material genético

Se utilizaron tres variedades de jamaica mismas que comúnmente se siembran en el estado de Nayarit. Estas son conocidas por los nombres comunes de China, Reina y Criolla de Huajicori, las cuales cuentan con las siguientes características agronómicas:

Variedad China:

Es una variedad precóz, posee plantas vigorosas, sus hojas son grandes con tallo color morado oscuro, sus frutos y cálices son grandes, especialmente de su base, son de un color rojo oscuro, tiene buena adaptación en la zona, posee poca acidez pero gran contenido de pigmento, tiene buena producción, su semilla es grande y oscura.

Variedad Reina o de cáliz largo:

Es de ciclo intermedio, son plantas vigorosas pero sus tallos son más finos que la china, los lóbulos de las hojas son más definidos y alargados, tallos de color morado, no tan intenso y con gran cantidad de ahuates; en su mayor crecimiento sus tallos alcanzan gran longitud por lo que tienden al acame. Sus cálices son de gran longitud (hasta 8 cm), con una base más pequeña que la anterior variedad, su fruto es de forma ovoide, el color del cáliz es de un rojo intenso, tiene buena producción en la zona.

Variedad Criolla de Huajicori:

Es la más tardía (siete meses a cosecha), de crecimiento lento, son plantas no tan vigorosas, tallos delgados color morado no tan intenso, tiene hojas más pequeñas que las dos anteriores, con lóbulos bien definidos y aserrados, sus cálices son pequeños (4 cm de longitud por 3 cm de diámetro), tiene poca producción en la zona pero se distingue por su gran acidez, por lo que es la más preferida en el mercado.

3.2.1.3 Siembra

La siembra se realizó el día 22 de Julio del año 2003, se sembraron tres surcos para cada genotipo con una longitud de 20 metros por un metro de ancho, la distancia entre plantas fue de 50 centímetros, equivaliendo a una densidad de siembra de 20000 plantas por hectárea.

3.2.1.4 Labores de cultivo

El cultivo se mantuvo libre de malezas por medio de deshierbes manuales y con la aplicación de herbicidas de contacto en aplicación dirigida a la maleza.

3.2.1.5 Formación de híbridos

Se realizaron cruzamientos con base a un diseño dialélico (3 x 3) en donde se efectuaron cruzamientos directos y recíprocos (Cuadro 1).

Cuadro 7. Diseño del cruzamiento dialélico (3 x 3) y progenitores empleados ciclo de temporal del año 2003.

	China	Reina	Criolla
China	□	x	x
Reina	x	□	x
Criolla	x	x	□

□ = autofecundación, x = cruzamiento

3.2.1.6 Periodos de floración y polinización

Fue importante el conocimiento de los periodos de floración de la especie en estudio así como la morfología de sus flores, con respecto al tiempo de floración, los tres genotipos presentaron fechas distintas de floración, la más precóz fue la variedad China (90 días), la variedad Reina fue intermedia (115 días) y la más tardía fue la Criolla de Huajicori (120 días), la Figura 6 muestra el periodo de inicio de floración y su duración señalado con el color rojo en los que concuerdan en ciertos periodos de tiempo.

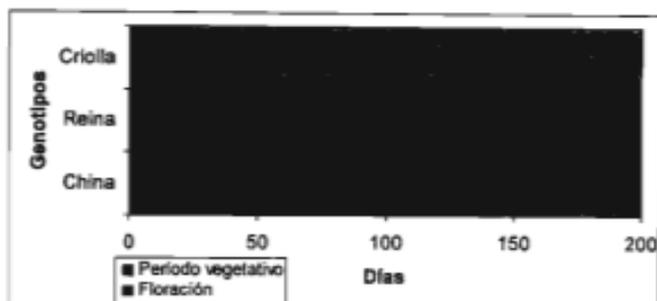


Figura 6. Duración de periodo vegetativo y de floración en tres genotipos de jamaica empleados en el cruzamiento dialéctico, ciclo PV - 2003.

Una exitosa y eficiente hibridación artificial es un importante aspecto en el mejoramiento de plantas, que requiere de conocimientos de la estructura reproductiva y desarrollo de las especies, las condiciones necesarias de floración y desarrollo de semillas, así como los procedimientos de emasculación y polinización ya que ambas son operaciones separadas, y estas deben ser apropiadamente sincronizadas para lograr el éxito esperado en el cultivo que se desee mejorar (Fehr, 1983).

Las flores de la planta de jamaica son hermafroditas por lo cual la autogamia está presente en esta especie, sin embargo, se puede presentar cierto porcentaje de polinización cruzada por la acción de los insectos que suelen posarse sobre las flores. El período de duración de la floración es esta planta es de aproximadamente un mes, donde las plantas desde el inicio abren de dos a tres flores diariamente, al inicio del día los pétalos de las flores son de color amarillo pero conforme pasa el día se van tornando a un color rosado y al atardecer se vuelven a cerrar (Figuras 7 y 8). La polinización ocurre en las primeras horas del día en donde la temperatura tiene un efecto sobre la liberación del polen, ya que al aumentar ésta, se inicia la apertura de las anteras (Hernández, 2003). Al respecto Ochse *et al.* (1980) mencionaron que las flores de jamaica se abren antes de que salga el sol y se cierran al medio día, solamente es funcional el pistilo al abrirse las flores y los estambres no son dehiscentes sino hasta muy poco tiempo antes de la salida del sol.



Figura 7. Flor de jamaica al iniciar el día, los pétalos se abren presentando un color blanco, al centro se observa el estilo, estigma y anteras.



Figura 8. Flor de jamaica al atardecer los pétalos se tornan color púrpura y se cierran gradualmente, para posteriormente desprenderse.

3.2.1.7 Emasculación

De la Loma (1963) mencionó acerca de lo que un hibridador debe tener en cuenta cuando se realicen cruzamientos artificiales:

- Hacer un estudio cuidadoso de las flores con que se va a operar.
- Determinar que flores dentro de cada planta son las que producen semillas más grandes, más sanas y en mayor número.
- Estudiar el modo normal de madurar de la flor, receptibilidad del estigma y la duración que conservan los granos de polen y su capacidad funcional
- Tener los utensilios necesarios para realizar un buen trabajo.
- Realizar la operación cuidadosamente sin dañar otros órganos de la flor.

La emasculación o castración consistió en separar de la flor las anteras antes de que estas maduraran y de esta forma evitar el derramamiento de polen, en las flores de la planta de jamaica esta se realizó de la manera siguiente, primeramente se seleccionaron por la tarde aquellos botones florales que al día siguiente fueran a tener su apertura floral (Figura 9), se tomaron un promedio de 25 botones por genotipo. Posteriormente, se procedió a separar la corola junto con parte de los sépalos para dejar al descubierto el androceo, el cual se encuentra dispuesto alrededor del estilo y eliminar los estambres con la ayuda de cualquier instrumento que sea útil para esta operación (Figuras 10 y 11). Finalmente, se procedió a tapar el botón emasculado con bolsas de papel con el tamaño adecuado con el fin de evitar contaminación con polen no deseado.



Figura 9. Botón de la flor de jamaica un día antes de la apertura floral en la cual los cálices se inician abriéndose ligeramente.



Figura 10. Flor de jamaica en donde han sido separados parte del cáliz y pétalos en donde se muestran las arteras.



Figura 11. Flor de jamaica en donde han sido separados los pétalos, sépalos y las anteras en donde se muestra el tubo del estigma.

3.2.1.8 Polinización artificial

A las primeras horas del día, con el incremento de la temperatura las flores se abren con la consiguiente liberación del polen, por lo que esta labor consistió en frotar los estigmas de las flores tratadas con las anteras de las plantas seleccionados como machos para posteriormente volver a cubrir los botones polinizados para evitar contaminación con polen de otras plantas y colocando la etiqueta con los datos correspondientes.



Figura 12. Polinización artificial de la flor de jamaica, las anteras de la planta macho son frotadas en el estigma para depositar en él los granos de polen.

3.2.1.9 Obtención de semilla

Las flores que fueron polinizadas artificialmente continuaron con su crecimiento normal cuando hubo fertilización. Cada flor tratada produjo entre 20 y 30 semillas.

Por razones ajenas no se produjo semilla para la crua efectuada entre Reina por Criolla de Huajicori, de los demás cruzamientos se cosechó semilla suficiente para la siguiente fase del trabajo de investigación.

3.2.2 Evaluación de características agronómicas de progenitores y cruza

3.2.2.1 Sitio de estudio

La evaluación del diseño dialélico se realizó en el ciclo de temporal 2004 en terrenos de la Unidad Académica de Agricultura dependiente de la Universidad Autónoma de Nayarit, situada en Xalisco, Nayarit, km 9 carretera N° 200 Tepic – Puerto Vallarta. Geográficamente se ubica en las coordenadas 21° 26" de latitud norte y 104° 53" de longitud oeste. Se encuentra a una altura de 920 msnm, cuenta con un clima subtropical.

3.2.2.2 Tratamientos

Como resultado de los cruzamientos efectuados se obtuvieron cinco híbridos que junto con sus progenitores formaron ocho tratamientos (Cuadro 8).

Cuadro 8. Progenitores y cruza evaluados en el ciclo de temporal 2004 en la Unidad Académica de Agricultura

China			
Reina			
Criolla de Huajicori	China	X	Reina
	Reina	X	China
	China	X	Criolla de Huajicori
	Criolla de Huajicori	X	China
	Criolla de Huajicori	X	Reina

3.2.2.3 Siembra

La siembra se efectuó el día 26 de Junio del 2004, se utilizaron charolas de unisel empleando como sustrato germinaza y vermicomposta en una proporción de 1:1, posteriormente se realizó el trasplante al terreno definitivo el día 14 de Julio del mismo año.

3.2.2.4 Manejo del experimento

Fertilización. Se fertilizó con la fórmula 100-50-20 empleado las fuentes de urea (46 %), superfosfato de calcio triple (46 %) y cloruro de potasio (60 %) dividida en dos aplicaciones, en la primera aplicación el total del fósforo y potasio con la mitad de nitrógeno y la segunda aplicación el resto del nitrógeno, las aplicaciones se realizaron en forma mateada, la primera a los 20 días de haber realizado el trasplante y la segunda un mes después de la primera aplicación.

Control de malezas. Se realizaron deshierbes manuales y dos aplicaciones de herbicidas de contacto en aplicación dirigida a la maleza.

Cosecha. Esta se realizó conforme los diferentes tratamientos fueron alcanzando el grado de madurez, se cosechó en forma manual empleando

tubos de cobre de ¼ pulgada para la separación de los cálices, posteriormente estos fueron secados al sol por un periodo de tres días en promedio.

3.2.2.5 Diseño experimental

Se utilizó un diseño de bloques completos al azar con tres repeticiones, las unidades experimentales constaron de tres surcos de 6 metros de longitud con una separación de un metro. La separación entre plantas fue de 50 centímetros con lo cual se obtuvo un total de 36 plantas por unidad experimental, lo cual corresponde a una densidad de población de 20000 plantas por hectárea. Se tomó como parcela útil el surco central tomando diez plantas por unidad experimental para la obtención de datos de las variables en estudio.

3.2.2.6 Variables de respuesta

Los datos agronómicos y muestras se tomaron de plantas en competencia completa, mismos que se describen a continuación:

1. Días a floración (DF), número de días transcurridos a partir de la emergencia hasta tener el 50 % de plantas con al menos una flor.
2. Altura de planta (AP), longitud tomada a partir de la base del tallo de la planta hasta la punta expresado en centímetros.
3. Número de ramas por planta (NRP), el número total de ramas encontradas en cada planta (rama principal y ramas secundarias).
4. Número de frutos de la rama principal (NFRP), número total de frutos encontrados en la rama principal.
5. Número de frutos por planta (NFP), total de frutos producidos por cada planta cosechada.
6. Diámetro del caliz (DC), se tomaron 10 cálices de cada planta cosechada, los cuales fueron medidos de la base con el auxilio de un vernier expresando la medida en centímetros.
7. Longitud del caliz (LC), medida de la longitud de cada uno de los 10 cálices de cada planta empleando un vernier, la longitud fue expresada en centímetros.
8. Peso de fruto fresco (PFF), peso total de frutos frescos por planta expresado en toneladas por hectárea.

9. Peso de cálices frescos (PCF), peso de cálices frescos por planta expresado en toneladas por hectárea.

10. Peso de cálices secos (PCS), Peso de cálices secos de cada planta expresado en toneladas por hectárea.

3.2.2.7 Análisis estadístico

Con el propósito de comparar y conocer si existían diferencias entre los tratamientos obtenidos, se realizó análisis de varianza para los ocho genotipos existentes, en base al diseño experimental en bloques aleatorizados completos (Steel y Torrie, 1993; Infante y Zarate, 2000) en donde el modelo lineal supuesto es:

$$Y_{ij} = \mu + t_i + b_j + e_{ij}; \quad j = 1, \dots, b; \quad i = 1, \dots, t.$$

Donde:

Y_{ij} = Respuesta de la j -ésima experimental con el tratamiento i -ésimo.

μ = Media general.

T_i = Efecto del i -ésimo tratamiento.

B_j = Efecto del j -ésimo bloque.

E_{ij} = Error en la j -ésima repetición del i -ésimo tratamiento.

Los datos obtenidos fueron analizados mediante el programa Statistical Analysis System descritos para su análisis por Rebolledo (2002), Martínez, (1988). En donde se encontraron diferencias significativas entre los tratamientos se procedió a realizar la prueba de medias (Tukey, 0.05).

3.3 RESULTADOS

3.3.1 Análisis de varianza

En el análisis de varianza aplicado a 10 de las variables en estudio (Cuadro 9) se encontraron diferencias altamente significativas ($Pr > F = 0.0001$) para los ocho tratamientos, lo que indica un comportamiento contrastante y diferencial entre los genotipos evaluados, lo que a su vez implica que las diferentes combinaciones de los genes de los progenitores provocó genotipos superiores en algunos de los cruzamientos. Por otra parte, en términos generales por los altos valores obtenidos en los coeficientes de determinación (R^2) así como los bajos valores obtenidos en el coeficiente de variación (CV) se supone un buen ajuste del modelo así como un buen manejo del mismo para todas las variables de respuesta estudiadas.

Cuadro 9. Análisis de varianza aplicado a las variables en estudio para ocho genotipos obtenidos en el cruzamiento dialélico en jamaica PV-2004.

Días a floración (n)	0.0001	0.99	0.66	121
Altura de planta (cm)	0.0001	0.97	1.92	213.67
Número de ramas por planta (n)	0.0001	0.93	7.26	19
Número de frutos de la rama principal (n)	0.0001	0.92	11.82	14
Número de frutos por planta (n)	0.0001	0.95	13.06	127
Diámetro del cáliz (cm)	0.0001	0.92	2.86	3.30
Longitud del cáliz (cm)	0.0001	0.96	2.68	5.31
Peso de fruto fresco ($t \cdot ha^{-1}$)	0.0001	0.95	10.77	23.2935
Peso de cáliz fresco ($t \cdot ha^{-1}$)	0.0001	0.96	10.70	12.9499
Peso de cáliz seco ($t \cdot ha^{-1}$)	0.0001	0.94	11.14	1.4861

Genotipos. Progenitores: China, Reina y Criolla de Huajicori, Híbridos: China x Reina y Reina x China, China x Criolla de Huajicori y Criolla de Huajicori x China, Criolla de Huajicori x Reina.

3.3.2 Comparación de medias para progenitores y cruzas

Los resultados de la prueba de comparaciones múltiples (Tukey, 0.05) aplicada a todas las variables evaluadas (Cuadro 10) indican las diferencias encontradas entre los genotipos para cada una de las variables.

Cuadro 10. Promedios de las variables en estudio y comparación de medias (Tukey, 0.05) de progenitores y cruzas en la evaluación realizada en la Unidad Académica de Agricultura de la UAN, ciclo PV-2004.

China ²	101 f	180.5 d	15 cd	16 b	116 cd	3.7 a	4.3 e	27.797 ab	15.13 abc	1.6592 bc
Reina	119 d	196.2 c	18 bc	14 b	118 cd	2.8 c	6.6 a	27.337 ab	15.83 abc	1.6033 bc
Criolla	146 a	236.8 a	20 b	4 c	32 e	2.7 c	4.8 cd	3.037 c	1.28 d	0.3230 d
1x2	114 e	205.1 c	14 d	11 b	99 d	3.5 ab	5.6 bc	21.680 b	11.67 c	1.3343 c
2x1	114 e	193.4 c	15 cd	15 b	100 d	3.4 b	5.2 bcd	23.793 b	12.340 bc	1.3484 c
1x3	123 c	236.0 a	17 bcd	14 b	148 bc	3.3 b	5.3 d	23.643 b	13.72 bc	1.6056 bc
3x1	123 c	223.8 b	20 b	16 b	170 b	3.2 b	4.9 de	27.627 ab	15.97 ab	1.8551 ab
3x2	129 b	237.5 a	26 a	21 a	231 a	3.0 c	5.5 b	31.434 a	17.66 a	2.1604 a
HSD	13.2	11.8	3.9	4.85	47.9	0.273	0.411	7.23	3.99	0.477

YDF: días a floración, AP: altura de planta, NRP: número de ramas por planta, NFRP: número de frutos de la rama principal, NFP: número de frutos por planta, DC: diámetro del cáliz, LC: longitud del cáliz, PFF: peso de fruto fresco, PCF: peso de cáliz fresco, PCS: peso de cáliz seco

1: China, 2: Reina, 3: Criolla de Huajicorral, HSD: diferencia significativa.

Valores señalados con la misma letra son estadísticamente iguales

3.3.2.1 Días a floración

Para esta característica (Figura 13) se presentan seis grupos claramente diferenciados por su valor, el valor más alto fue expresado por Criolla con 146 días siendo este el más tardío en lo que se refiere a su periodo vegetativo, en el mismo orden con valores más bajos 3x2 (Criolla x Reina) con 129 días, 1x3 (China x Criolla) y su recíproco 3x1 (Criolla x China) ambos con 123 días, Reina con 119 días, 1x2 (China x Reina) y su recíproco 2x1 (Reina x China) ambos con 114 días. Finalmente, China con 101 días siendo este el genotipo con mayor precocidad. En todos los casos los valores expresados por los híbridos fueron intermedios en relación con los valores de sus progenitores para esta variable.

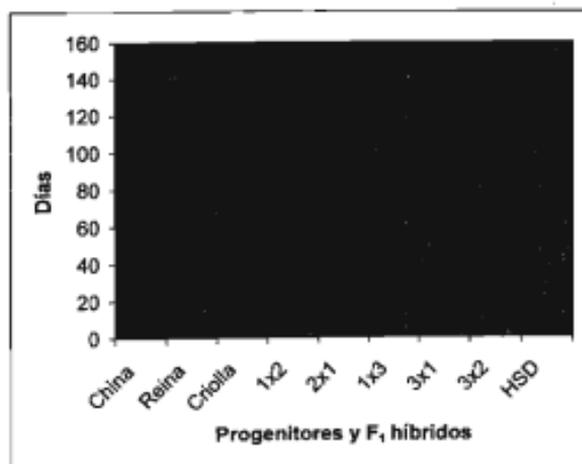


Figura 13. Comparación de medias (Tukey, 0.05) para la variable días a floración.

3.3.2.2 Altura de planta

El valor más alto fue de 237.5 cm (Figura 14) lo obtiene el genotipo obtenido de la cruce 3x2 (Criolla x Reina) siendo superior al valor obtenido al de su progenitor con mayor valor (Criolla, 236.8 cm) en donde es probable que los efectos de heterosis estén presentes, estadísticamente este genotipo resultó igual a los genotipos de la cruce 1x3 (China x Criolla) con 236.0 cm y Criolla, la cruce 3x1 (Criolla x China forma un segundo grupo con un valor de 223.8 cm. Por otra parte, se observan también efectos de heterosis para la cruce de 1x2 (China x Reina) al presentar valores más altos (205.1 cm) que los progenitores que lo formaron, aunque estadísticamente resultó igual a su recíproco, la cruce 2x1 (Reina x China) y Reina con alturas de 193.4 y 196.2 cm respectivamente para esta característica China presentó los valores más bajos con una altura promedio de 180.5 cm.

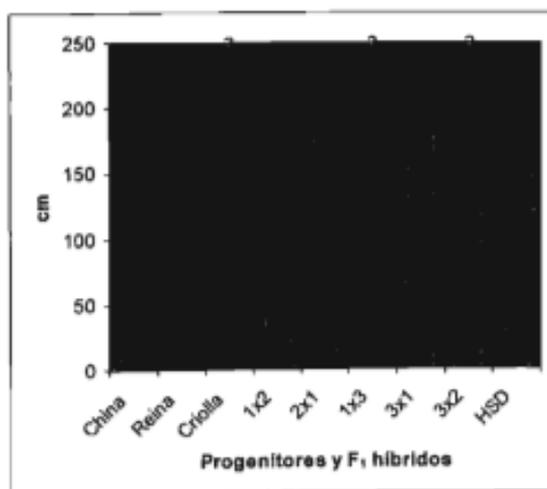


Figura 14. Comparación de medias (Tukey, 0.05) para la variable altura de planta.

3.3.2.3 Número de ramas por planta

Esta característica tuvo su mayor expresión en el genotipo 3x2 (Criolla x Reina) su valor medio obtenido fue de 26 ramas (Figura 15) el cual es superior al obtenido por su progenitor con mayor valor. Un segundo grupo con menores valores formado por los genotipos Criolla con 21 ramas, 3x1 (Criolla x China) con 20 ramas, Reina con 18 ramas y 1x3 (China x Criolla) con 17 ramas. Un tercer grupo formado por China, Reina, 2x1 (Reina x China) y 1x3 (China x Criolla) con valores de número de ramas de 15, 18, 15 y 17 respectivamente. Finalmente, un tercer grupo formado por los genotipos China, 1x2 (China x Criolla), 2x1 (Reina x China) y 1x3 (China x Criolla) con valores de 15, 14, 15 y 17 ramas por planta respectivamente. Los valores expresados por los híbridos son intermedios a los valores obtenidos por sus padres con excepción al híbrido 1x2 (China x Reina) que expresó valores más bajos al valor obtenido por sus progenitores que lo formaron.

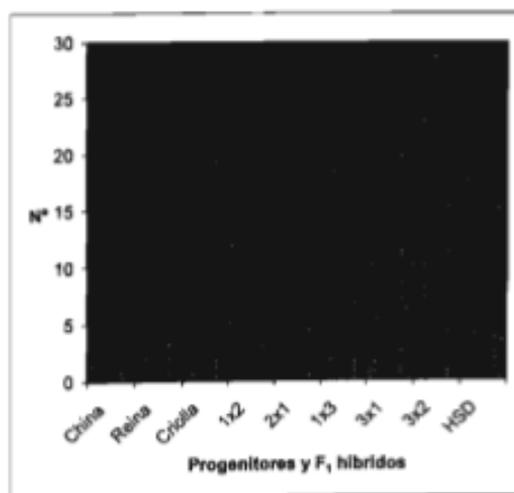


Figura 15. Comparación de medias (Tukey, 0.05) para la variable número de ramas por planta.

3.3.2.4 Número de frutos de la rama principal

Para esta variable la prueba de medias (Figura 16) forma tres grupos de genotipos que guardan igualdad estadística entre ellos. Primeramente el genotipo 3x2 formados por el cruzamiento de Criolla x Reina expresó el mayor valor con 21 frutos y en donde el valor obtenido por el híbrido es mayor al de sus progenitores, un segundo grupo con menores valores que el primero formado por las cruzas 1x2 (China x Reina), 2x1 (Reina x China), 1x3 (China x Criolla), 3x1 (Criolla x China) y los progenitores Reina y China, en donde los valores que expresaron fueron 11, 15, 14, 16, 14 y 16, por último con el valor más bajo se encontró al progenitor Criolla con un valor expresado de cuatro frutos en la rama principal.

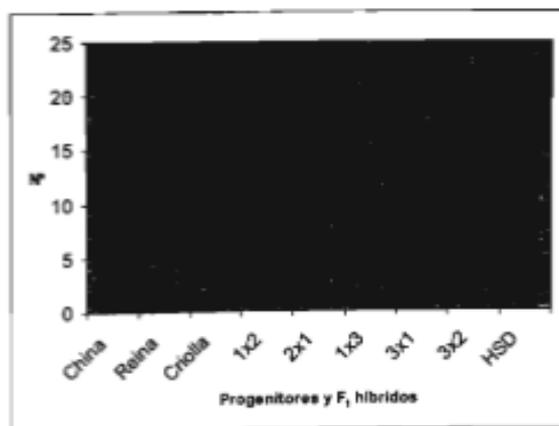


Figura 16. Comparación de medias (Tukey, 0.05) para la variable número de frutos de la rama principal.

3.3.2.5 Número de frutos por planta

En la prueba de medias efectuada para esta variable (Figura 17) el genotipo 3x2 (Criolla x Reina) expresó los más altos valores (231 frutos) el cual forma un primer grupo, un segundo grupo formado por los híbridos 3x1 (Criolla x China) y su recíproco 1x3 (China x Criolla) ambos resultaron ser estadísticamente iguales con valores de 170 y 148 frutos respectivamente, estos tres híbridos presentaron valores superiores a los expresados por sus progenitores que los formaron, lo cual indica un claro efecto de heterosis. El tercer grupo formado por los genotipos China con 116 frutos, Reina con 118 frutos y 1x3 (China x Criolla), un cuarto grupo formado por China, Reina y los híbridos formados por 1x2 (China x Reina) y su recíproco 2x1 (Reina x China) estos últimos genotipos quienes resultaron con valores de 99 y 100 frutos respectivamente y cuyos valores son inferiores al valor expresado por sus progenitores que los formaron. Finalmente, Criolla expresó los más bajos valores con 32 frutos por planta.

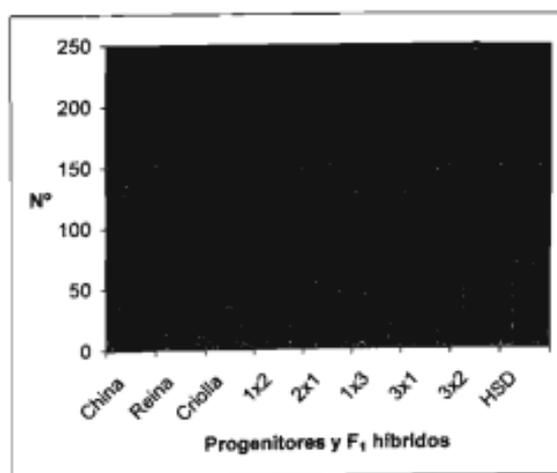


Figura 17. Comparación de medias (Tukey, 0.05) para la variable número de frutos por planta.

3.3.2.6 Diámetro del cáliz

Para esta característica (Figura 18) los mayores valores fueron expresados por el progenitor China con 3.7 cm y la cruce 1x2 (China x Reina) con 3.5 cm siendo estadísticamente iguales. Un segundo grupo formado por los genotipos 2x1 (Reina x China) con 3.4 cm, 1x3 (China x Criolla) con 3.3 cm, 3x1 (Criolla x China) con 3.2 cm y el híbrido 1x2 (China x Reina). Los valores más bajos fueron obtenidos por un tercer grupo formado por los genotipos Reina con un diámetro de 2.8 cm, Criolla con 2.7 cm y la cruce 3x2 (Criolla x Reina) con 3.0 cm, esta cruce presentó valores mayores a ambos progenitores expresando efectos de heterosis.

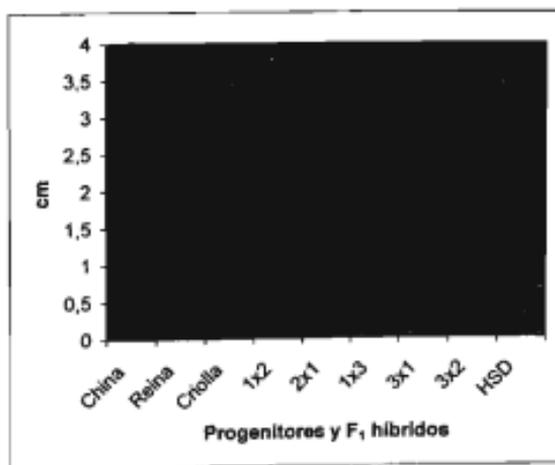


Figura 18. Comparación de medias (Tukey, 0.05) para la variable diámetro del cáliz.

3.3.2.7 Longitud del cáliz

Para esta variable la prueba de medias formó cinco grupos (Figura 19), en el primer grupo el mayor valor fue expresado por el progenitor Reina con 6.6 cm de longitud, en el segundo grupo ubicó a los híbridos 3x2 (Criolla x Reina) con 5.5 cm, 2x1 (Reina x China) con 5.2 cm y 1x2 (China x Reina) con 5.6 cm, un tercer grupo conteniendo a los genotipos Criolla con un valor de 4.8 cm y al híbrido 1x2 (China x Reina), en el cuarto grupo Criolla, 1x3 (China x Criolla) y su recíproco 3x1 (Criolla x China); estos dos últimos con 5.3 y 4.9 cm respectivamente. Finalmente en el quinto grupo con los valores más bajos 3x1 (Criolla x China) y China, este último con un valor de 4.3 cm. Se observa que los valores obtenidos por las cruzas son intermedios a los valores obtenidos por sus progenitores.

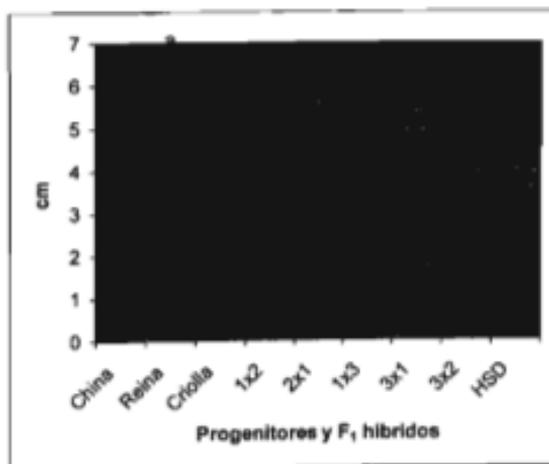


Figura 19. Comparación de medias (Tukey, 0.05) para la variable longitud del cáliz.

3.3.2.8 Peso de fruto fresco

La prueba de medias aplicada al rendimiento para esta variable (Figura 20) formó un primer grupo estadísticamente igual formado por los genotipos 3x2 (Criolla x Reina), 3x1 (Criolla x China), China y Reina con rendimientos de 31.434, 27.267, 27.979 y 27.337 t·ha⁻¹ respectivamente, la cruz 3x2 (Criolla x Reina) presentó valores superiores a los obtenidos por sus progenitores expresándose un efecto de heterosis. Un segundo grupo formado por los genotipos China, Reina, 3x1 (Criolla x China), 1x3 (China x Criolla), 2x1 (Reina x China) y su recíproco 1x2 (China x Reina) estos últimos tres genotipos con valores de 23.643, 23.793 y 21.680 t·ha⁻¹. El valor más bajo fue obtenido por Criolla con un rendimiento de 3.037 t·ha⁻¹. Los valores expresados por las cruza 1x2 (China x Reina) y su recíproco 2x1 (Reina x China), ambos valores fueron inferiores a los obtenidos por sus progenitores.

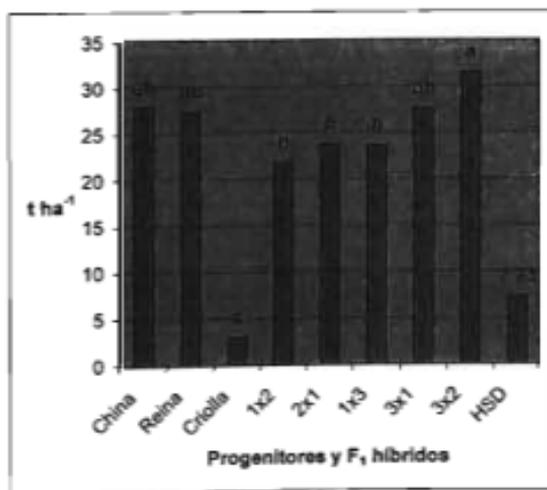


Figura 20. Comparación de medias (Tukey, 0.05) para la variable peso de fruto fresco.

3.3.2.9 Peso de cáliz fresco

Para esta variable (Figura 21) se expresaron los más alto valores en las cruzas 3x1 (Criolla x China), 3x2 (Criolla x Reina), así como en los progenitores China y Reina con rendimientos de 15.97, 17.86, 15.13 y 15.63 t·ha⁻¹ respectivamente mismos que forman un primer grupo siendo estadísticamente iguales. Los valores de estas cruzas expresan efectos de heterosis con rendimientos superiores a los obtenidos por sus progenitores sobresaliendo el progenitor Criolla en ambos cruzamientos. Un segundo grupo formado por China, Reina, 3x1 (Criolla x China), 1x3 (China x Criolla) y 2x1 (Reina x China) estos dos últimos con un rendimiento de 13.72 y 12.34 t·ha⁻¹ respectivamente. Un tercer grupo formado por 2x1 (Reina x China), 1x3 (China x Criolla), Reina, China y la cruz de 1x2 (China x Reina) este último con un rendimiento de 11.67 t·ha⁻¹. Los rendimientos más bajos fueron obtenidos por Criolla con 1.28 t·ha⁻¹. Los genotipos de las cruzas 1x2 (China x Reina) y su recíproco 2x1 (Reina x China) expresaron rendimientos menores a los obtenidos por sus progenitores.

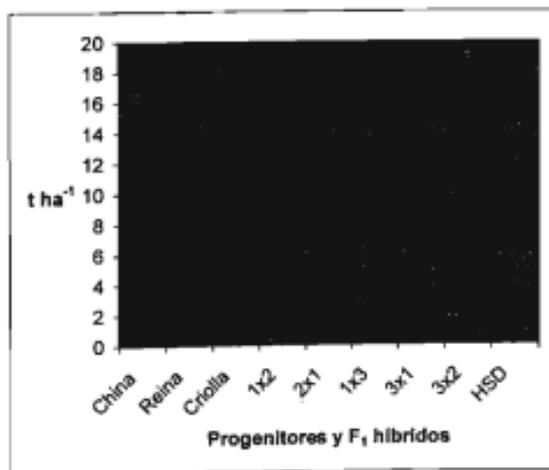


Figura 21. Comparación de medias (Tukey, 0.05) para la variable peso de cáliz fresco.

3.3.2.10 Peso de cáliz seco

Los resultados obtenidos son similares a la variable anterior (Figura 22), se encontraron los valores de rendimiento más altos para las cruzas 3x1 (Criolla x China) y 3x2 (Criolla x Reina) ambos cruzamientos son estadísticamente iguales con rendimientos obtenidos de 1.8551 y 2.1604 t·ha⁻¹ respectivamente, los cuales son mayores a los mostrados por sus progenitores por lo que se expresa un efecto importante de heterosis especialmente en el híbrido formado por la cruce de Criolla x Reina. Un segundo grupo formado por los genotipos 3x1 (Criolla x China), China, Reina y 1x3 (China x Criolla); estos últimos tres con rendimientos de 1.6592, 1.6033 y 1.6056 t·ha⁻¹ respectivamente. En el tercer grupo los genotipos Reina, China, 1x3 (China x Criolla), los híbridos 1x2 (China x Reina) y su recíproco 2x1 (Reina x China) estos últimos con rendimientos de 1.3343 y 1.3484 t·ha⁻¹. Por último, con los rendimientos más bajos Criolla con un valor de 0.3230 t·ha⁻¹. Los híbridos formados por los progenitores China y Reina en ambas cruzas (directa y recíproca) resultaron con valores inferiores a los expresados por sus padres.

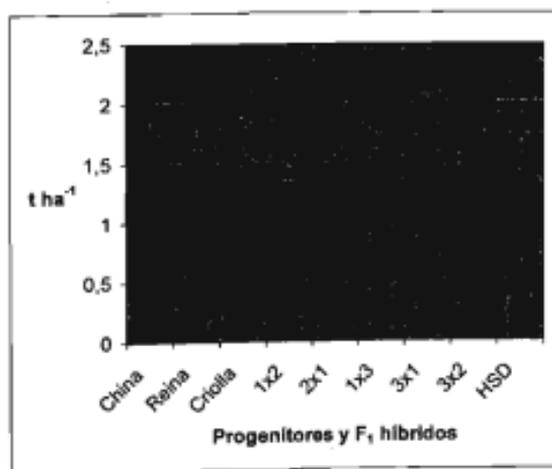


Figura 22. Comparación de medias (Tukey, 0.05) para la variable peso de cáliz seco.

3.4 DISCUSIÓN

De acuerdo a los datos arrojados en el análisis de varianza aplicado a los ocho genotipos se encontraron diferencias en las características agronómicas en estudio entre todos ellos, por la prueba de medias aplicada a los datos obtenidos se acepta que las diferentes características mostradas por los híbridos es en gran medida por las combinaciones de los diferentes fenotipos que caracterizan a sus progenitores.

3.4.1 Características entre progenitores y cruzas

Los progenitores mostraron los más altos valores en tres de las características, Criolla para DF con el más alto valor fue la más tardía, China en DC y Reina en LC, en donde los valores mostrados por los híbridos fueron intermedios. El híbrido 3x2 expresó los mas altos valores en las variables de AP, NRP, NFRP y NFP en donde las expresiones de heterosis fueron evidentes, en las variables de PFF y PCF esta craza expresó también los más altos valores resultando estadísticamente igual a la craza 3x1, China y Reina. En PCS los híbridos 3x2 y 3x1 resultaron con valores más altos a los mostrados por sus progenitores.

3.4.2 Características entre progenitores

Los tres progenitores mostraron diferencias en las variables de DF, AP y LC, los progenitores China y Reina resultaron estadísticamente iguales en las variables de NFRP, NFP, PFF, PCF y PCS, en la variable de DC Reina y Criolla resultaron estadísticamente iguales. Para la variable de NRP Reina y Criolla resultaron estadísticamente iguales así como Reina y China.

3.4.3 Características entre cruzas

No se encontraron diferencias entre las cruzas directas y reciprocas en donde participaron los mismos progenitores (2x1, 1x2 y 3x1, 1x3) a excepción en la variable AP en las cruzas de 1x3, por lo que resulta igual emplear a cualquiera de los progenitores como hembra o como macho para la obtención de híbridos entre estas variedades. Entre los híbridos obtenidos de diferentes progenitores en las variables de DF, AP y NFP se encontraron diferencias significativas entre ellos, en el resto de las variables las cruzas de 1x2 y 1x3 y sus cruzas

recíprocas resultaron estadísticamente iguales y ambas cruces diferentes a la cruce de 3x2.

3.5 CONCLUSIONES

Con base en los resultados obtenidos y a la discusión realizada, se puede llegar a las siguientes conclusiones.

1. Los genotipos en estudio expresaron diferencias en todas las variables evaluadas.
2. En la característica de días a floración la variedad China mostró la mayor precocidad y Criolla de Huajicori fue la más tardía.
3. Para altura de planta las mayores expresiones fueron presentadas por dos de los híbridos así como por la variedad Criolla de Huajicori, misma que participó como progenitor en ambas cruzas.
4. Para las variables de número de ramas por planta, número de frutos de la rama principal y número de frutos por planta la cruce de Criolla x Reina expresó los más altos valores rebasando los valores obtenidos por sus progenitores.
5. Para las variables diámetro y longitud del cáliz China expresó los más altos valores para el primero y Reina para el segundo.
6. En las variables de peso de fruto fresco y peso de cáliz fresco los tratamientos con los mayores rendimientos fueron expresados por los híbridos Criolla x Reina y Criolla x China, así como por los progenitores China y Reina.
7. Para la variable peso de cáliz seco las cruzas de Criolla x Reina y Criolla x China sobresalieron con los valores más altos lo que demuestra que mediante la hibridación se pueden obtener genotipos con un mayor potencial productivo.

IV. ESTIMACION DE APTITUD COMBINATORIA Y HETEROSIS

4.1 INTRODUCCION

Para iniciar cualquier trabajo de mejora de plantas, con el fin de obtener variedades o tipos de mayor valor, es necesario partir de un material ya existente, mismo que debe ser sometido a los diferentes métodos genéticos a fin de poder obtener parámetros que sirvan de referencia para su posterior mejoramiento. Este material puede consistir en variedades comerciales, variedades provenientes de otras regiones o países y tipos de la misma especie nativa de la región.

Los cruzamientos dialélicos, los cuales se componen de los cruces simples que pueden lograrse entre los elementos de un conjunto básico de líneas progenitoras, constituyen un procedimiento estándar de investigación en la genética vegetal (Martínez, 1988).

Se distinguen cuatro métodos experimentales diferentes de cruces dialélicos, los cuales varían dependiendo si ensayan o no las autofecundaciones o los cruces recíprocos de las F_1 . Se plantean, además, dos modelos: el modelo de efectos fijos (modelo I) y el modelo de efectos aleatorios (modelo II). Cuando los progenitores empleados en un dialélico son seleccionados o representativos, deberá ser usado para su análisis un modelo de efectos fijos (modelo I), para este caso solo son válidas las estimaciones de ACG y ACE (Griffing, 1956).

Para el presente trabajo inicialmente se había considerado realizar un dialélico completo, a causa de la no obtención de una cruce se optó por utilizar como método dialélico la forma $p(p - 1) / 2$, la cual incluye las cruces directas F_1 junto con sus progenitores. En la presente sección se estudiaron los parámetros genéticos de aptitud combinatoria general y específica así como los efectos de heterosis en características agronómicas del cultivo, mismos que pueden ser aprovechados en programas de mejoramiento genético del cultivo que permitan escoger los métodos de mejoramiento más apropiados de

selección o aprovechar la heterosis para que por medio de la hibridación obtener variedades híbridas con características de interés económico.

Para el presente trabajo de investigación se planteó la hipótesis a comprobar:

1. Las variedades de jamaica, en sus combinaciones, tienen suficientes efectos aditivos que pueden utilizarse en la mejora del cultivo.

Para dar respuesta a la hipótesis se plantearon los siguientes objetivos:

1. Estimar la aptitud combinatoria general y específica para diferentes características en jamaica (*Hibiscus sabdariffa* L.)
2. Evaluar la expresión de heterosis para las diferentes características de interés agronómico en los híbridos obtenidos.

4.2 MATERIALES Y MÉTODOS

4.2.1 Tratamientos

En la presente evaluación se emplearon tres progenitores y sus tres cruzas dialélicas directas (Cuadro 11) obtenidas en el ciclo de temporal 2003.

Cuadro 11. Progenitores y cruzas empleadas en el análisis dialélico modelo I método II (Griffing, 1956).

China			
Reina			
Criolla de Huajicori			
	Reina	X	China
	Criolla de Huajicori	X	China
	Criolla de Huajicori	X	Reina

4.2.2 Variables de respuesta

1. Días a floración (DF), número de días transcurridos a partir de la siembra hasta tener el 50% de plantas con al menos una flor.
2. Altura de planta (AP), longitud tomada a partir de la base del tallo de la planta hasta la punta expresado en centímetros.
3. Número de ramas por planta (NRP), el número total de ramas encontradas en cada planta (rama principal y ramas secundarias).
4. Número de frutos de la rama principal (NFRP), número total de frutos encontrados en la rama principal.
5. Número de frutos por planta (NFP), total de frutos producidos por cada planta cosechada.
6. Diámetro del cáliz (DC), se tomaron 10 cálizos de cada planta cosechada, los cuales fueron medidos de la base con el auxilio de un vernier expresando la medida en centímetros.
7. Longitud del cáliz (LC), medida de la longitud de cada uno de los 10 cálizos de cada planta empleando un vernier, la longitud fue expresada en centímetros.

8. **Peso de fruto fresco (PFF)**, peso total de frutos frescos por planta expresado en toneladas por hectárea.

9. **Peso de cálices frescos (PCF)**, peso de cálices frescos por planta expresado en toneladas por hectárea.

10. **Peso de cálices secos (PCS)**, Peso de cálices secos de cada planta expresado en toneladas por hectárea.

También se determinaron en el Laboratorio de Calidad del Campo Experimental Valle de México del INIFAP¹ las siguientes variables:

11. **Contenido total de antocianinas (AAT)**, las antocianinas se extrajeron a partir de 1 g de muestra con 20 ml de disolvente de ácido trifluoroacético (AT) al 1 % en metanol durante 24 horas bajo condiciones de refrigeración, posteriormente se realizaron dos extracciones sucesivas con el disolvente metanol:ácido acético:agua, (10:1:9 v/v) y fueron mantenidas en agitación durante 24 horas, se elaboro una curva patrón empleando pelargonidina clorada como estándar para realizar los cálculos de concentración de antocianinas, los datos fueron expresados en $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$.

12. **Contenido total de antocianinas en agua destilada (AAD)** se pesaron 10 g con base 12 % de humedad para compensar las diferencias en humedad que las muestras presentaban, la muestra se deposito en un baso de precipitado de 500 ml de agua destilada, la mezcla se colocó en una parrilla con un sistema de enfriamiento acoplado sobre la boca del vaso para evitar la pérdida de agua por evaporación. El tiempo se considero una vez que la muestra alcanzó la ebullición plena, se tuvo un tiempo de ebullición de 15 minutos, se realizaron tres extracciones sucesivas, los datos fueron expresados en $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$.

13. **Grado de acidez (pH)**, la medición del pH se realizó en el extracto obtenido después de la ebullición de los cálices de jamaica en agua destilada, se utilizó un potenciómetro marca Beckman, modelo 45. Los extractos se obtuvieron bajo condiciones de ebullición por un tiempo de 15 minutos.

14. **Sólidos solubles totales (SST)**, la determinación se realizó usando un refractómetro manual, se realizaron tres mediciones tomando el promedio como resultado final, se expresó en grados Brix.

¹ Instituto Nacional de Investigaciones Forestales Agrícolas y Pecuarias

4.2.3 Análisis estadístico para aptitud combinatoria

Para llevar a cabo los análisis de aptitud combinatoria general y aptitud combinatoria específica a causa del tratamiento faltante (cruza Reina por Criolla) la evaluación fue analizada como un apareamiento dialélico método II. A las variables se les analizó mediante el programa DIALLEL desarrollado para microcomputadoras por Burrow y Coors (1993). El programa desarrolla el modelo de cruzamiento dialélico modelo I método II, sugerido por Griffing (1956) el cual ensaya las p autofecundaciones y uno de los grupos de $p(p-1)$ cruza F_1 (Martínez, 1988).

El modelo se expresa en la forma:

$$X_{ijk} = U + g_i + g_j + S_{ij} + b_k + e_{ijk}$$

Donde:

X_{ijk} = valor observado de la unidad experimental

U = media de la población

g_i = efecto de aptitud combinatoria general (ACG) para el primer progenitor

g_j = efecto de la aptitud combinatoria general (ACG) para el segundo progenitor

S_{ij} = aptitud combinatoria específica (ACE) para la cruce con progenitores i y j

b_k = efecto de bloque o repetición

e_{ijk} = error

El modelo supone que no existen efectos significativos de epistasia y de la interacción de genotipo por ambiente. Se probaron las hipótesis nulas para los efectos de aptitud combinatoria general, $H_0: g_i = 0$; y para los efectos de aptitud combinatoria específica $H_0: S_{ij} = 0$.

En donde se encontraron valores de significancia para ACG y ACE se utilizó la prueba DMS ($P < 0.05$ y $P < 0.01$) con lo que se permitió separar las diferencias entre los efectos g_i y S_{ij} . Se utilizó la prueba de t de tal forma que si el valor calculado fue superior que el tabulado, entonces los valores estimados de g_i o S_{ij} fueron diferentes a cero al 5 % o al 1 % de probabilidad, por lo que se rechazó la hipótesis nula y se aceptó la hipótesis alternativa de que son diferentes a cero. Los grados de libertad utilizados para los valores de t de tablas fueron los del error experimental del cuadro de análisis de varianza del

ANOVA y los errores estándar los correspondientes para cada factor. Los cuales fueron estimados de acuerdo a lo descrito por Kang (1994).

$$\text{Var.}(g_i) = ((p - 1)\sigma_e^2) / bp (p + 2)$$

$$\text{Var.}(S_{ij}) = ((p^2 + p + 2)\sigma_e^2) / (b (p + 1) (p + 2))$$

Donde:

p = número de progenitores

b = repeticiones

σ_e^2 = cuadrado medio del error (CME)

Se realizó además la prueba de medias (Tukey, 0.05) con el propósito de tener una mayor información del comportamiento de cada una de las variables.

4.2.4 Relación de ACG:ACE

La proporción de ACG/ACE fue estimada para estudiar el desempeño de los efectos y medir la importancia relativa a los efectos génicos aditivos y no aditivos, lo que indica que efecto tiene mayor importancia en la expresión de un carácter. (Griffing, 1956; Falconer, 1972)

4.2.5 Estimación de heterosis (H) y Heterobeltiosis (HB)

Para la estimación de heterosis (H) y Heterobeltiosis (HB) de las variables en estudio, se emplearon para el primer caso en base al promedio de la cruce y al promedio de los progenitores, para el segundo en base al promedio de la cruce y el promedio del valor más alto obtenido de uno de los progenitores empleados, de acuerdo a lo descrito por Reyes (1985):

$$H = ((F_1 - P_m) / P_m) * 100$$

$$HB = ((F_1 - P_s) / P_s) * 100$$

Donde:

$$P_m = (P_1 + P_2) / 2$$

P_s = progenitor con el mayor valor

4.3 RESULTADOS

4.3.1 Aptitud combinatoria general (ACG) y aptitud combinatoria específica (ACE).

4.3.1.1 Análisis de varianza

El análisis de varianza (Cuadros 12.1 y 12.2) aplicado a las variables en estudio mostró diferencias estadísticas para cada una de ellas, lo que permitió particionar la suma de cuadrados correspondiente a cada tratamiento de acuerdo al modelo I, método II de efectos fijos propuesto por Griffing (1956). Se encontraron valores significativos para cruza, aptitud combinatoria general (ACG) y aptitud combinatoria específica (ACE), lo que significa que tanto la acción génica aditiva y no aditiva están involucradas en la expresión de las variables en estudio.

Cuadro 12.1. Análisis de varianza aplicado para siete características de tres variedades de jamaica y sus tres cruza dialélicas directas, evaluadas en la Unidad Académica de Agricultura, PV-2004.

Fuente de variación	G.L.	Cuadros cuadrados						
		OP	AP	NRP	NFP	NFRP	DC	LC
Repeticiones	2	2.6	32.0	1.84	573.0	0.02	0.009	0.03
Cruzas	5	684.0 **	1792.2 **	57.29 **	13662.8 **	95.66 **	0.268 **	1.57 **
ACG	2	1675.8 **	3900.7 **	86.35 **	1557.9 *	74.03 **	0.856 **	3.70 **
ACE	3	22.8 **	386.5 **	37.92 **	21732.7 **	110.08 **	0.009 ns	0.14 *
Error	10	0.6	10.6	2.46	333.7	3.32	0.004	0.01
Total	17							
R ²		0.99	0.98	0.92	0.95	0.93	0.97	0.98
C. V.		0.66	1.5	7.9	14.2	12.5	1.9	2.1

²GL: grados de libertad, (DF): días a floración, (AP): altura de planta, (NRP): número de ramas por planta, (NFP): número de frutos por planta, (NFRP): número de frutos de la rama principal, (DC): diámetro del cáliz, (LC): longitud del cáliz.

**Altamente significativo (p<0.01), *significativo (p<0.05) y ns = no significativo

Cuadro 12.2. Análisis de varianza aplicado a siete características de tres variedades de jamaica y sus tres cruzas dialélicas directas, evaluadas en la Unidad Académica de Agricultura, PV-2004.

Fuente de variación	G.L.	Cuadros medios						
		PFF	PCF	PCS	A(TFA)	A(AD)	pH	SST
Repeticiones	2	32.0	13.2	0.09	8889.8	2732.8	0.096	0.021
Cruzas	5	319.1 **	108.9 **	1.20 **	52801624.5 **	6666667.7 **	0.074 **	0.143 **
ACG	2	376.8 **	112.8 **	0.76 **	111280734.4 **	14538779.9 **	0.159 **	0.182 **
ACE	3	280.7 **	106.4 **	1.49 **	13815551.2 **	1418659.7 **	0.017 *	0.118 *
Error	10	8.3	2.4	0.03	12992.1	2308.2	0.003	0.008
Total	17							
R ²		0.95	0.95	0.94	0.99	0.99	0.92	0.90
C. V.		12.3	11.6	12.8	1.74	1.57	2.67	1.3

²GL: grados de libertad, (PFF): peso de fruto fresco, (PCF): peso de cáliz fresco, (PCS): peso de cáliz, A(TFA): contenido de antocianinas totales (ácido trifluoroacético), A(AD): contenido de antocianinas totales (agua destilada), (pH): grado de acidez, (SST): sólidos solubles totales.

**Altamente significativo ($p < 0.01$) y significativo ($p < 0.05$).

4.3.1.2 Relación de aptitud combinatoria general y aptitud combinatoria específica (ACG/ACE).

Para conocer que efectos génicos tienen mayor importancia para cada una de las variables estudiadas, se realizó la relación de ACG/ACE en donde se observa (Cuadro 13 y Figura 23) que la aptitud combinatoria general predomina para los caracteres de días a floración (73: 1), altura de planta (10: 1), número de ramas por planta (2.3: 1), diámetro del cáliz (73: 1), longitud del cáliz (25: 1), contenido de antocianinas totales (AAT) (8: 1), contenido de antocianinas totales (AAD) (10: 1), sólidos solubles totales (1.5: 1) y grado de acidez (9: 1), los porcentajes que presentaron para estas variables son altos lo que significa que los efectos génicos aditivos para la expresión de estos caracteres son de mayor importancia, por lo que los métodos de mejoramiento genético por selección pueden ser utilizados para la formación de nuevas variedades con estas características.

En la relación para aptitud combinatoria específica (ACE) predominaron los efectos para las variables número de frutos por planta (0.07: 1), número de frutos de la rama principal (0.7: 1) y para peso de cáliz seco (0.5: 1), lo que

manifiesta que los efectos génicos no aditivos (dominancia y sobredominancia) tienen una mayor importancia para la manifestación de estos caracteres, en donde por medio de la hibridación se puede explotar el fenómeno de heterosis para estas características.

Para las variables de peso de fruto fresco y peso de cáliz fresco la relación obtenida no resultó con valores diferenciados (1.3: 1 y 1: 1 respectivamente) por lo que para estas dos variables ambos efectos génicos tienen importancia para la manifestación de estas características, para este caso ambos métodos de mejoramiento genético (selección e hibridación) se pueden utilizar para la formación de nuevas variedades con estas características.

Cuadro 13. Relación de aptitud combinatoria general y aptitud combinatoria específica (ACG/ACE) de los cuadrados medios obtenidos en el análisis de varianza para catorce características de tres variedades de jamaica y sus tres cruzas dialélicas directas, evaluadas en la Unidad Académica de Agricultura, PV-2004.

Días a floración	1675.8	22.8	73.5 : 1	98/2
Altura de planta	3900.7	386.5	10.09 : 1	90/10
Número de ramas por planta	86.3	37.9	2.28 : 1	69/31
Número de frutos por planta	1557.9	21732.7	0.071 : 1	7/93
Número de frutos de la rama principal	74.0	110.0	0.67 : 1	40/60
Diámetro del cáliz	0.6564	0.0096	72.8 : 1	98/2
Longitud del cáliz	3.70	0.14	24.8 : 1	96/4
Peso de fruto fresco	376.8	280.7	1.34 : 1	57/43
Peso de cáliz fresco	112.8	106.4	1.06 : 1	51/49
Peso de cáliz seco	0.766	1.494	0.51 : 1	34/66
Contenido de antocianinas totales (AAT)	111280734.4	13815551.2	8.05 : 1	89/11
Contenido de antocianinas totales (AAD)	14538679.9	1418659.7	10.24 : 1	91/9
Sólidos solubles totales (* Brix)	0.1820	0.1181	1.54 : 1	60/40
Grado de acidez (pH)	0.159715	0.017537	9.10 : 1	90/10

Los valores de ACG/ACE se dan en relación directa y en porcentaje (%).

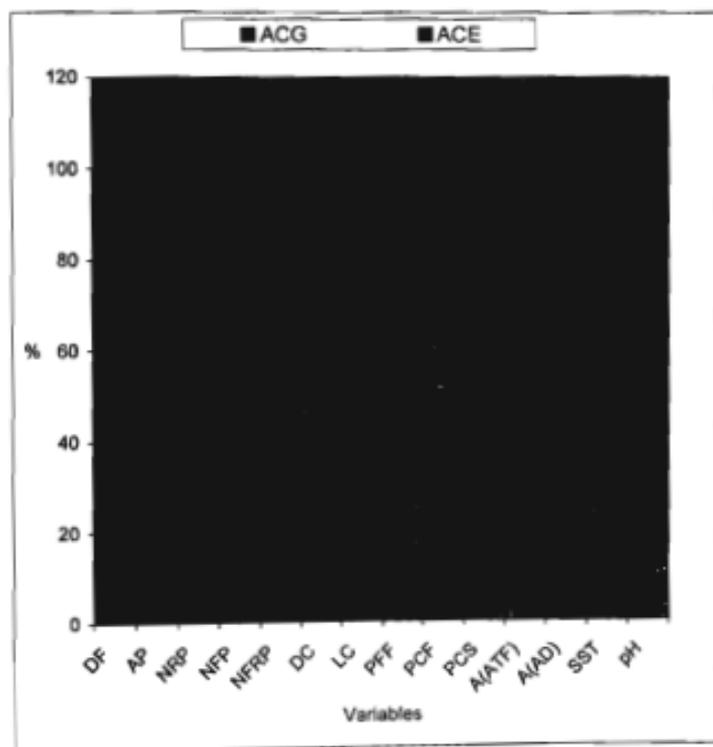


Figura 23. Relación de porcentajes obtenidos en ACG/ACE para 14 características obtenidas en el cruzamiento dialéctico en tres genotipos de jamaica.

4.3.1.3 Efectos de aptitud combinatoria general (ACG) y comparación de medias.

Los efectos de aptitud combinatoria general se presentan en el cuadro 14, en donde se registran los valores que tuvieron significancia, así como la comparación de medias (Tukey, 0.05) aplicada a los valores obtenidos por los progenitores.

Cuadro 14. Efectos de aptitud combinatoria general (ACG), significancias y prueba de medias (Tukey, 0.05) aplicado a 14 características en el cruzamiento dialélico entre tres variedades de jamaica, PV – 2004.

Altura a floración (n)	101.00 c	-9.8 **	118.66 b	-1.4 **	145.66 a	11.2 **	1.3262
Altura de planta (cm)	180.53 c	-13.43 **	186.24 b	-4.44 **	236.80 a	17.88 **	4.9903
Número de ramas por planta (n)	15.00 b	-2.50 **	18.49 ab	0.21 ns	21.33 a	2.28 **	5.3236
Número de frutos por planta (n)	116.83 a	-1.78 ns	118.25 a	10.96 *	32.47 b	-9.18 *	40.81
Número de frutos de la rama principal (n)	16.2 a	1.08 *	14.62 a	1.47 **	4.13 b	-2.55 **	4.6585
Diámetro del cáliz (cm)	3.72 a	0.238 **	2.90 c	-0.153 **	3.08 b	-0.085 **	0.1876
Longitud del cáliz (cm)	4.53 c	-0.425 **	6.63 a	0.546 **	5.11 b	-0.121 **	0.3347
Peso de fruto fresco (t ha ⁻¹)	27.8 a	2.59 **	27.3 a	3.18 **	3.0 b	-5.77 **	8.748
Peso de cáliz fresco (t ha ⁻¹)	15.1 a	1.28 **	15.6 a	1.86 **	1.3 b	-3.14 **	5.436
Peso de cáliz seco (t ha ⁻¹)	1.6 a	0.112 *	1.6 a	0.148 **	0.323 b	-0.260 **	0.617
Contenido de antocianinas totales (AAT)	14891.4 a	3127.8 **	4990.5 b	-1279.1 **	3055.1 c	-1848.7 **	468.72
Contenido de antocianinas totales (AAD)	5829.5 a	1131.9 **	2428.2 b	-474.3 **	1602.9 c	-657.5 **	137.09
Sólidos solubles totales (° Brix)	7.08 a	0.006 ns	6.66 b	-0.113 **	7.2 a	0.106 **	0.194
Grado de acidez (pH)	2.26 a	0.06 **	2.29 a	0.05 **	1.96 b	-0.11 **	0.1749

**Altamente significativo (p<0.01), *significativo (p<0.05) y ns = no significativo. Valores con la misma letra son estadísticamente iguales

Cuadro 15. Valores de las diferencias mínimas significativas (DMS) para efectos de aptitud combinatoria general (ACG).

0.05	0.3634	1.533	0.755	8.580	0.857	0.0286	0.0528	13.566	0.7552	0.09	53.53	22.56	0.0428	0.0268
0.01	0.545	2.180	1.048	12.204	1.219	0.0408	0.0751	1.929	10.457	0.128	76.15	32.097	0.0609	0.0362

Para abreviaturas ver Materiales y Métodos.

4.3.1.3.1 Días a floración

El progenitor Criolla de Huajicori presentó los más altos valores significativos positivos para esta variable (Figura 24) así como también en la prueba de medias obtuvo el más alto valor (145 días) siendo estadísticamente superior a los dos restantes, lo que lo ubica como el progenitor más tardío para la expresión de esta característica. Por otra parte, se presentaron valores altos negativos y altamente significativos para el progenitor China, ubicándose también para la prueba de medias en el último grupo con 101 días a floración lo que lo ubica como el progenitor más precóz. El progenitor Reina se ubica con valores intermedios para la prueba de medias con 118 días y con valores negativos y altamente significativos, pero con valores inferiores al progenitor China.

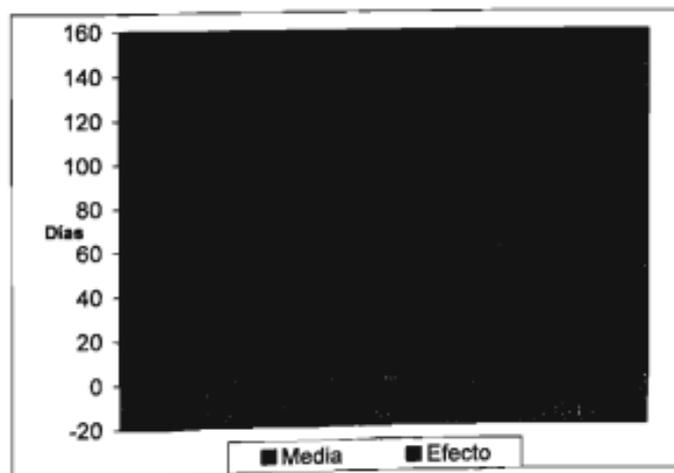


Figura 24. Efectos de ACG y prueba de medias (Tukey, 0.05) para la variable días a floración obtenida del cruzamiento dialélico entre tres genotipos de jamaica.

4.3.1.3.2 Altura de planta

Se presentó la misma tendencia que en la variable anterior, el progenitor Criolla de Huajicori obtuvo los más altos valores positivos altamente significativos (Figura 25), en la prueba de comparaciones múltiples reflejó el más alto valor con 236.8 centímetros de altura, ubicándose estadísticamente como el de mayor valor.

La prueba también arrojó los más altos valores negativos y altamente significativos para el progenitor China así como en la prueba de medias obtuvo un valor de 180.5 centímetros, lo que lo ubica como el de menor porte. El progenitor Reina reflejó valores intermedios con una media de 196.2 centímetros de altura.

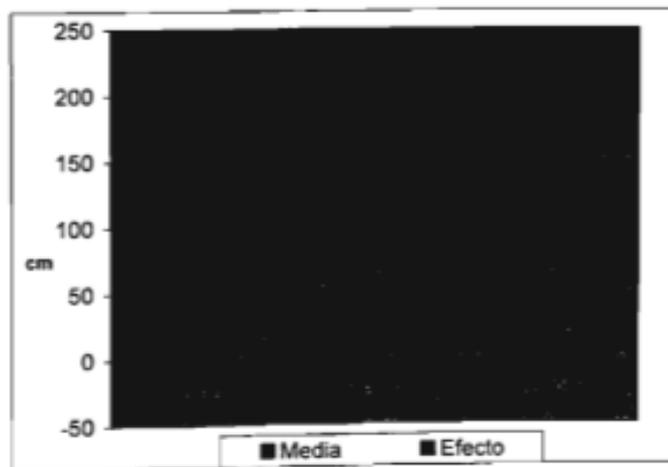


Figura 25. Efectos de ACG y prueba de medias (Tukey, 0.05) para la variable altura de planta obtenida del cruzamiento dialéctico entre tres genotipos de jamaica.

4.3.1.2.3 Número de ramas por planta

Para esta variable el progenitor Criolla de Huajicori presentó los más altos valores positivos y altamente significativos (Figura 26), así mismo en la prueba de medias manifestó el mayor valor (21 ramas). En contraste, el progenitor China obtuvo para esta característica los más altos valores negativos y altamente significativos así como también ocupó el último lugar en la prueba de medias con un valor de 15 ramas. Reina no presentó valores significativos, aunque estadísticamente en la prueba de medias es igual que el progenitor China.

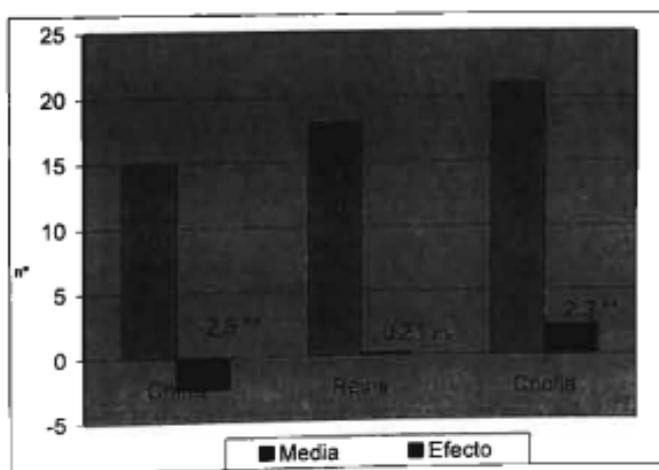


Figura 26. Efectos de ACG y prueba de medias (Tukey, 0.05) para la variable número de ramas por planta obtenida del cruzamiento dialéctico entre tres genotipos de jamaica.

4.3.1.3.4 Número de frutos por planta

El progenitor Reina presentó los más altos valores significativos positivos valor que concuerda con los obtenidos en la prueba de medias la cual lo ubicó con el primer lugar con una media de 118 frutos (Figura 27), al progenitor China lo ubicó en este mismo lugar por lo que estadísticamente son iguales. Sin embargo, no presentó valores significativos. En contraparte la variedad Criolla de Huajcori manifestó valores negativos y significativos, así como en la prueba de medias reflejó los mínimos valores con una producción de 32 frutos por planta.

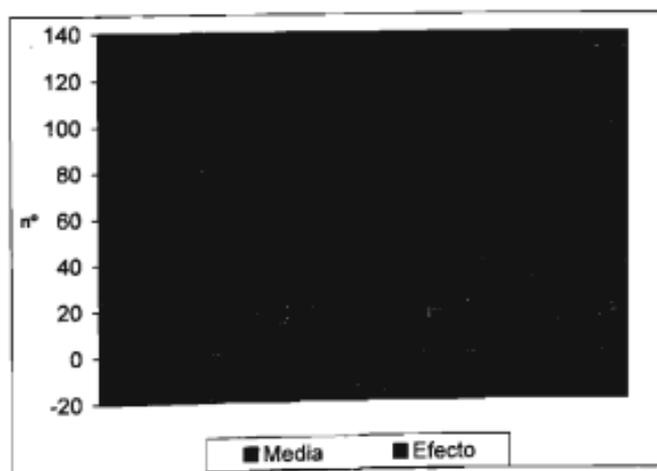


Figura 27. Efectos de ACG y prueba de medias (Tukey, 0.05) para la variable número de frutos por planta obtenida del cruzamiento dialélico entre tres genotipos de jamaica.

4.3.1.3.5 Número de frutos de la rama principal

Para esta variable el progenitor Reina reflejó los más altos valores positivos altamente significativos, siendo estadísticamente igual a la variedad China (Figura 28), pero solo con valores significativos. Así mismo, la prueba de medias los ubicó en un mismo grupo con valores medios de 14 y 16 frutos respectivamente. Por otra parte el progenitor Criolla de Huajicori presentó valores negativos y altamente significativos. La prueba de medias lo situó en el último lugar con una media de cuatro frutos en la rama principal.

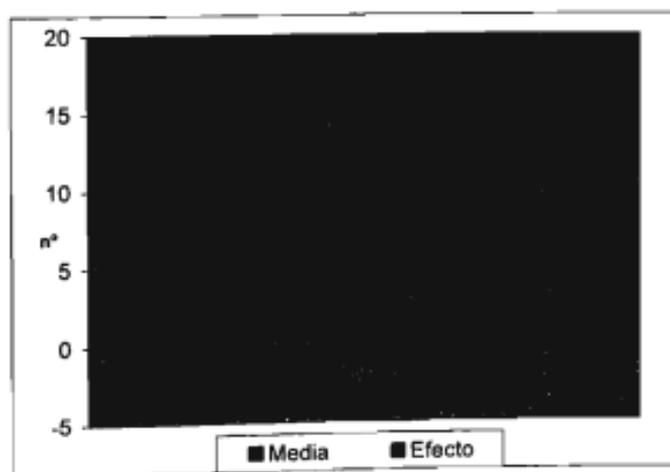


Figura 28. Efectos de ACG y prueba de medias (Tukey, 0.05) para la variable número de frutos de la rama principal obtenida del cruzamiento dialélico entre tres genotipos de jamaica.

4.3.1.3.6 Diámetro del cáliz

Los progenitores China y Criolla de Huajicori (Figura 29) expresaron los más altos valores altamente significativos en contraste con el progenitor Reina el cual expresó valores negativos y altamente significativos. En la prueba de medias los tres progenitores resultaron ser diferentes para esta variable, ocupando el primer lugar China con un valor medio de 3.72 cm, posteriormente Criolla de Huajicori con 3.08 cm y por último Reina con 2.9 cm de diámetro respectivamente.

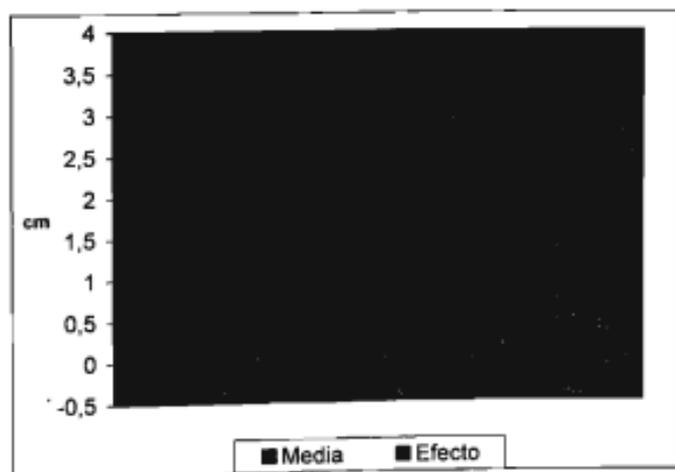


Figura 29. Efectos de ACG y prueba de medias (Tukey, 0.05) para la variable diámetro del cáliz obtenida del cruzamiento dialélico entre tres genotipos de jamaica.

4.3.1.3.7 Longitud del cáliz

El progenitor Reina expresó los más altos valores positivos con significancia para la expresión de este carácter (Figura 30), valores negativos fueron expresados por China y Criolla de Huajicori. La prueba de medias señaló diferencias estadísticas entre los tres genotipos obteniendo los valores más altos el progenitor Reina con un valor medio de 6.63 cm, en segundo lugar se ubicó al progenitor Criolla de Huajicori con un valor medio de 5.11 cm y en último lugar se encontró al progenitor China con un valor medio de 4.53 cm.

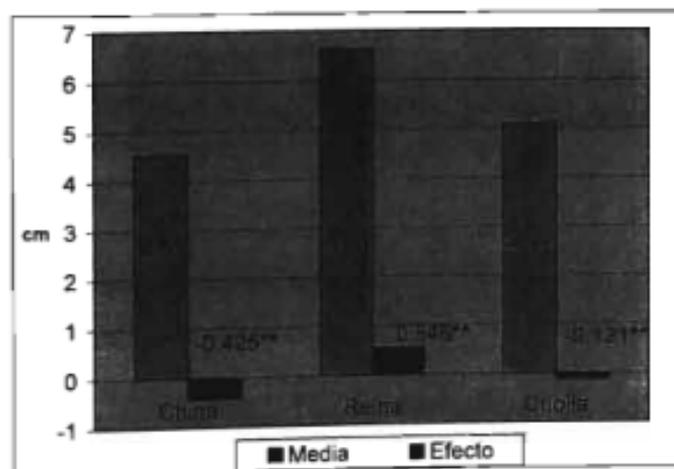


Figura 30. Efectos de ACG y prueba de medias (Tukey, 0.05) para la variable longitud del cáliz obtenida del cruzamiento dialélico entre tres genotipos de jamaica.

4.3.1.3.8 Peso de fruto fresco

Para esta variable de rendimiento los progenitores China y Reina expresaron los mayores valores positivos y altamente significativos (Figura 31). En la prueba de medias ambos genotipos resultaron ser estadísticamente iguales con valores medios de rendimiento de 27.979 y 27.354 t·ha⁻¹ respectivamente. En contraste el progenitor Criolla de Huajicori arrojó valores negativos y significativos. La prueba de medias lo situó en un segundo grupo con valores medios de producción de 3.042 t·ha⁻¹.

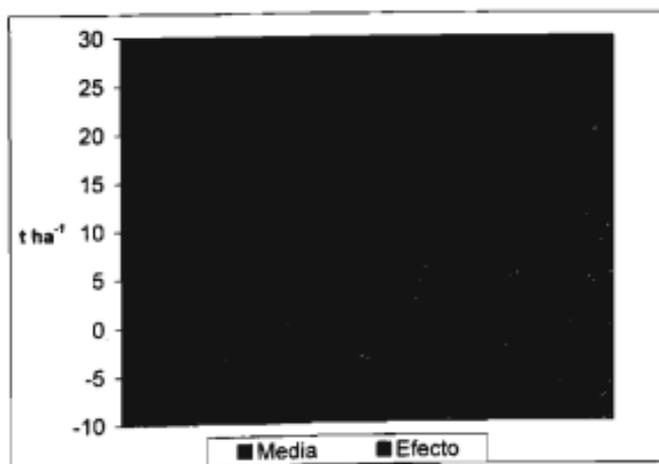


Figura 31. Efectos de ACG y prueba de medias (Tukey, 0.05) para la variable peso de fruto fresco obtenida del cruzamiento dialélico entre tres genotipos de jamaica.

4.3.1.3.9 Peso de cáliz fresco

Se reflejó la misma tendencia que la variable anterior, en cuanto a los efectos se ubican a los progenitores China y Reina (Figura 32) con valores positivos y significativos. En la prueba de medias se observa que los valores medios de producción fueron de 15.130 y 15.629 $t\ ha^{-1}$ respectivamente. Contrariamente el progenitor Criolla de Huajicori expresó valores negativos y significativos. En la prueba de medias se observa que tuvo un valor medio de 1.283 $t\ ha^{-1}$, ubicándose en un segundo grupo.

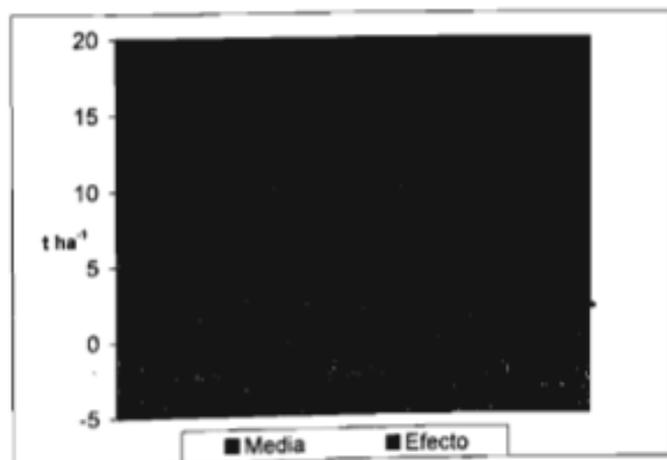


Figura 32. Efectos de ACG y prueba de medias (Tukey, 0.05) para la variable peso de cáliz fresco obtenida del cruzamiento dialélico entre tres genotipos de jamaica.

4.3.1.3.10 Peso de cáliz seco

Para esta variable los progenitores China y Reina expresaron efectos con valores positivos significativos, (Figura 33). Estos mismos genotipos resultaron en la prueba de medias como estadísticamente iguales con rendimientos medios de 1.65 y 1.60 t·ha⁻¹ respectivamente. Contrariamente, la variedad Criolla de Huajicori mostró en sus efectos valores negativos con significancia estadística. Este mismo genotipo en la prueba de medias obtuvo rendimientos de 0.32 t·ha⁻¹ ubicándose muy por debajo de los anteriores genotipos.

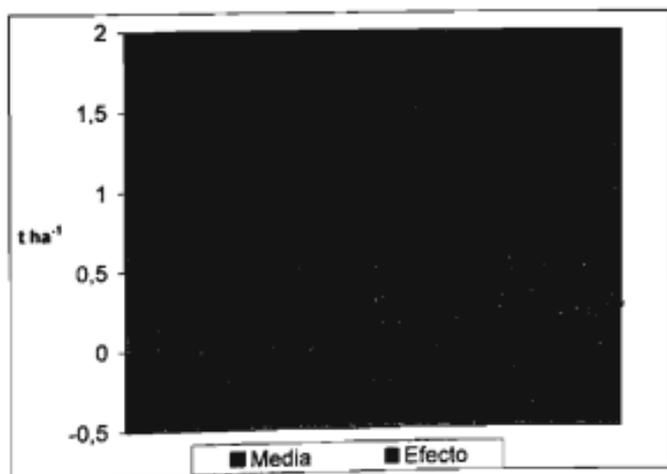


Figura 33. Efectos de ACG y prueba de medias (Tukey, 0.05) para la variable peso de cáliz seco obtenida del cruzamiento dialélico entre tres genotipos de jamaica.

4.3.1.3.11 Contenido de antocianinas totales (ácido trifluoroacético)

Para esta variable el progenitor China fue el que mostró los mayores efectos positivos y significativos (Figura 34). Contrariamente, las variedades Reina y Criolla de Huajicorí expresaron en sus efectos valores negativos y altamente significativos. La prueba de medias los clasificó en tres grupos bien diferenciados por sus valores respectivos, en primer lugar ubicó a China con una media de $14691.4 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ de contenido de antocianinas, seguido por Reina con $4991.5 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ finalmente en el último grupo ubicó a la variedad Criolla con un valor medio de $3055.1 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ de contenido del pigmento.

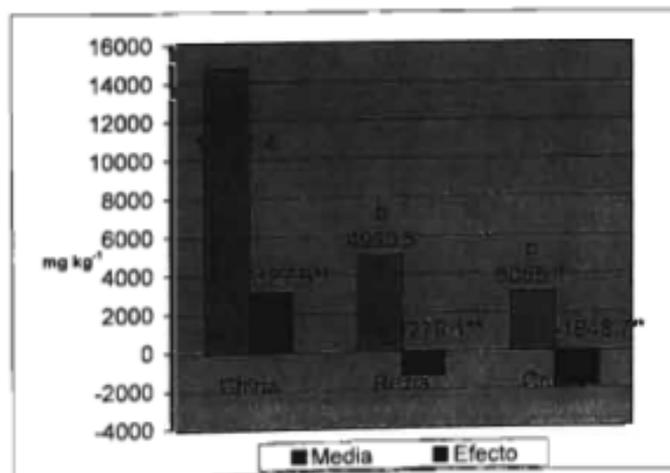


Figura 34. Efectos de ACG y prueba de medias (Tukey, 0.05) para la variable contenido de antocianinas (AAT) obtenida del cruzamiento dialélico entre tres genotipos de jamaica.

4.3.1.3.12 Contenido de antocianinas totales (agua destilada)

Para esta característica se observó la misma tendencia de la variable anterior pero con valores más bajos debido al método de extracción empleado (Figura 35). La variedad China se ubicó con los más altos valores positivos y altamente significativos. En la prueba de medias encabeza el primer grupo con un valor medio de $5829.5 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ de contenido del pigmento. Por otra parte, las variedades Reina y Criolla expresaron efectos negativos y altamente significativos. Estos progenitores obtuvieron 2428.2 y $1602.9 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ de contenido de antocianinas respectivamente, ubicándose en grupos diferentes.

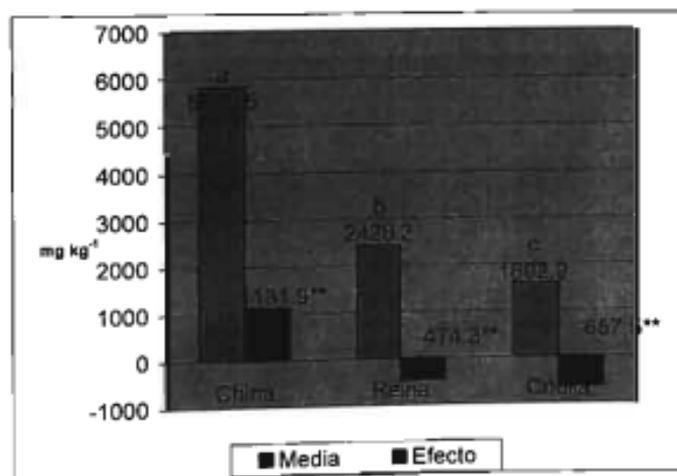


Figura 35. Efectos de ACG y prueba de medias (Tukey, 0.05) para la variable contenido de antocianinas totales (AAD) obtenida del cruzamiento dialélico entre tres genotipos de jamaica.

4.3.1.3.13 Sólidos solubles totales (grados Brix)

Para sólidos solubles totales (Figura 36) la variedad Criolla de Huajicori expresó efectos positivos y altamente significativos, contrariamente a lo presentado por la variedad Reina que resultó con efectos negativos y altamente significativos. En el caso de la variedad China, estos efectos no resultaron significativos. Por otra parte, la prueba de medias ubicó los tratamientos en dos grupos, el primero formado por las variedades Criolla y China, con valores medios de 7.2 y 7.06 °Brix respectivamente, y en último lugar, con los valores más bajos, el progenitor Reina con un contenido medio de 6.66 °Brix.

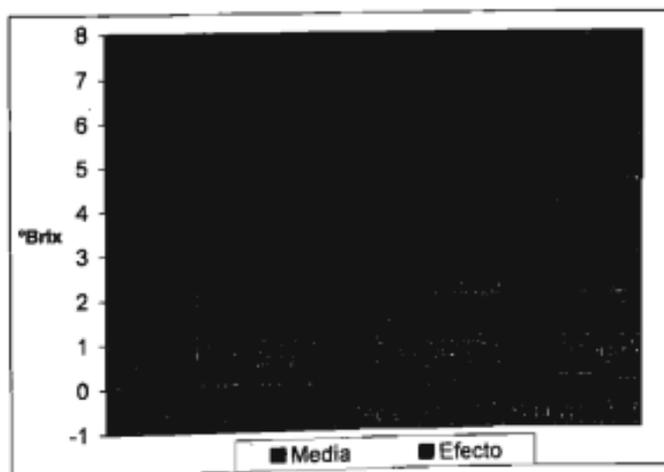


Figura 36. Efectos de ACG y prueba de medias (Tukey, 0.05) para la variable sólidos solubles totales obtenida del cruzamiento dialélico entre tres genotipos de jamaica.

4.3.1.3.14 Grado de acidez (pH)

Para esta variable los tres progenitores expresaron efectos con valores altamente significativos (Figura 37). Las variedades China y Reina con signo positivo, y la variedad Criolla con un valor negativo. Por otra parte, la prueba de medias ubica a los tratamientos en dos grupos, el primero formado por los de mayor valor en donde se ubican las variedades China y Reina con valores de pH de 2.26 y 2.29. la variedad Criolla de Huajicori obtuvo un valor medio de pH de 1.96 siendo el genotipo con una mayor acidez en los cálices.

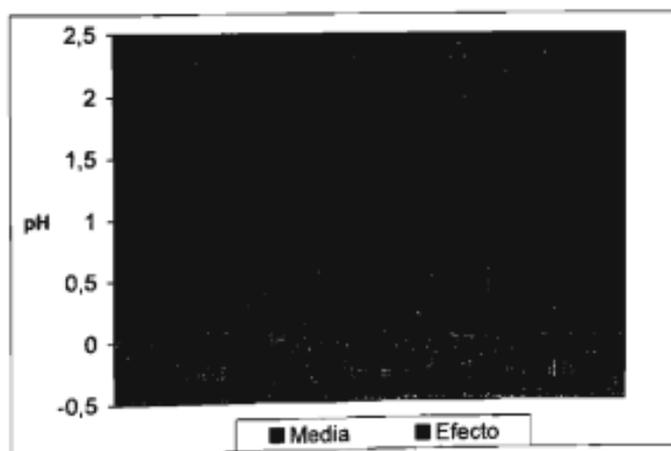


Figura 37. Efectos de ACG y prueba de medias (Tukey, 0.05) para la variable grado de acidez obtenida del cruzamiento dialélico entre tres genotipos de jamaica.

4.3.1.4 Efectos de aptitud combinatoria específica (ACE) y comparación de medias.

Los efectos de aptitud combinatoria específica se presentan en el cuadro 16, en donde se registran los valores que tuvieron significancia, así como la comparación de medias (Tukey, 0.05) aplicada a los valores obtenidos por las cruas.

Cuadro 16. Efectos de aptitud combinatoria específica (ACE), significancias y prueba de medias (Tukey 0.05) aplicado para catorce características en el cruzamiento dialélico entre tres variedades de jamaica, evaluadas en la Unidad Académica de Agricultura, PV-2004.

Días a floración (n)	114 c	3.2 **	123 b	-0.40 ns	130 a	-2.80 **	3.36
Altura de planta (cm)	193.40 c	-0.09 ns	223.83 b	8.01 **	237.46 a	12.65 **	11.4
Número de ramas por planta (n)	15.73 c	-1.62 ns	20.33 b	0.90 ns	26.98 a	4.84 **	2.6085
Número de frutos por planta (n)	100.2 b	-37.41 **	170.93 ab	53.46 **	231.97 a	101.74 **	72.421
Número de frutos de la rama principal (n)	15.33 b	-1.83 ns	16.13 b	2.99 **	21.28 a	7.74 **	4.2348
Diámetro del cáliz (cm)	3.40 a	0.06 ns	3.37 a	-0.03 ns	3.05 b	0.03 ns	0.1795
Longitud del cáliz (cm)	5.21 ab	-0.23 **	4.92 b	0.13 *	5.58 a	-0.17 **	0.4565
Peso de fruto fresco (t·ha ⁻¹)	23.8 a	-5.49 **	27.6 a	7.30 **	31.4 a	10.52 **	8.266
Peso de cáliz fresco (t·ha ⁻¹)	12.3 b	-3.84 **	15.9 ab	4.80 **	17.8 a	6.10 **	4.244
Peso de cáliz seco (t·ha ⁻¹)	1.3 b	-0.402 **	1.8 ab	0.512 **	2.2 a	0.781 **	0.617
Contenido de antocianinas (AAT) mg·kg ⁻¹	5657.17 b	-2711.7 **	6680.13 a	-1119.2 **	4046.77 c	654.4 **	165.8
Contenido de antocianinas (AAD) mg·kg ⁻¹	2752.80 b	-964.7 **	3487.23 a	-47.0 ns	2258.83 c	330.8 **	38.65
Sólidos solubles totales (*Brix)	6.70 a	-0.07 ns	6.73 a	-0.26 **	6.93 a	0.05 ns	0.3497
Grado de acidez (pH)	2.29 a	0.03 ns	2.06 b	-0.02 ns	1.97 b	-0.10 **	0.1851

**Altamente significativo ($p < 0.01$), *significativo ($p < 0.05$) y ns = no significativo. Valores con la misma letra son estadísticamente iguales

Cuadro 17. Valores de las diferencias mínimas significativas (DMS) para efectos de aptitud combinatoria específica (ACE).

0.05	0.879	3.513	1.689	19.65	1.964	0.0657	0.1210	31.085	1.684	0.2062	122.67	51.706	0.0982	0.0615
0.01	1.249	4.997	2.40	27.96	2.794	0.0934	0.1722	44.213	2.396	0.2933	174.48	73.54	0.1397	0.0875

Para abreviaturas ver Materiales y Métodos.

4.3.1.4.1 Días a floración

La cruce 2x1 (Reina x China) expresó efectos positivos y altamente significativos, contrariamente la cruce 3x2 (Criolla x Reina) expresó los mismos efectos pero con signo negativo. Finalmente, la cruce 3x1 (Criolla x China) no expresó significancia (Figura 38). La prueba de medias ubicó a los tratamientos en tres grupos distintos, el mayor promedio obtenido fue para la cruce 3x2 (Criolla x Reina) con 130 días siendo la más tardía, los menores valores fueron expresados por la cruce 2x1 (Reina x China) con 114 días y el híbrido 3x1 (Criolla x China) expresó un valor de 123 días a floración.

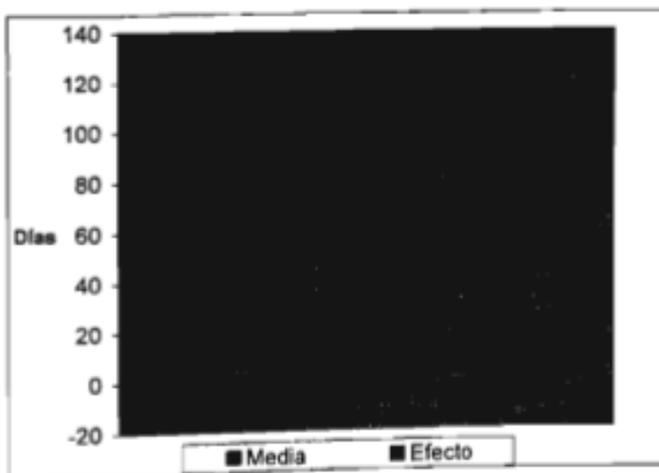


Figura 38. Efectos de ACE y prueba de medias (Tukey, 0.05) para la variable días a floración obtenida del cruzamiento dialéctico entre tres genotipos de jamaica.

4.3.1.4.2 Altura de planta

Para esta variable los efectos positivos con mayor valor fueron aportados por la cruce 3x2 (Criolla x Reina) en el mismo sentido se expresó la cruce 3x1 (Criolla x China) y la cruce 2x1 (Reina x China) resultó con efectos negativos y no significativos (Figura 39). Por otra parte, la prueba de medias ubicó a las tres cruces en tres diferentes grupos en donde la cruce que expresó el mayor valor fue la 3x2 (Criolla x Reina) con una altura media de 237.5 centímetros, posteriormente la cruce 3x1 (Criolla x China) con una altura media de 223.8 centímetros y en tercer sitio la cruce 2x1 (Reina x China) con una altura de 193.4 centímetros. El progenitor más sobresaliente es la variedad Criolla de Huajicori al aparecer en los dos cruzamientos con mayor valor.

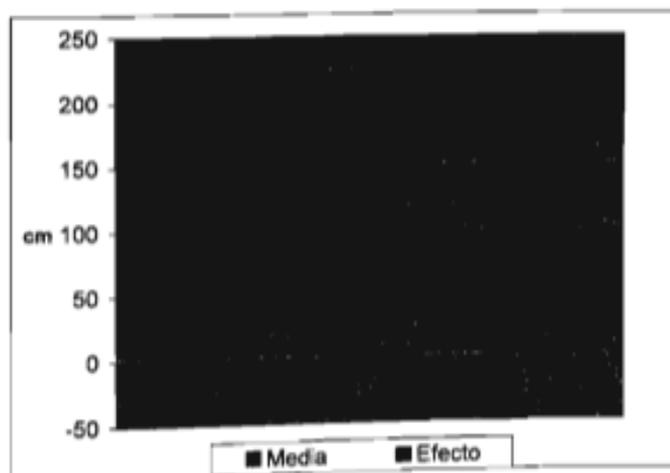


Figura 39. Efectos de ACE y prueba de medias (Tukey, 0.05) para la variable altura de planta obtenida del cruzamiento dialéctico entre tres genotipos de jamaica.

4.3.1.4.3 Número de ramas por planta

Para este carácter el efecto con mayor valor resultó de la cruce 3x2 (Criolla x Reina) el cual se expresó con signo positivo y altamente significativo, valores no significativos fueron expresados por las cruces 3x1 (Criolla x China) y 2x1 (Reina x China). La prueba de medias ubicó a los tres genotipos como diferentes (Figura 40) en donde la cruce que aportó el mayor valor fue 3x2 (Criolla x Reina) con 26 ramas por planta, seguida de la cruce 3x1 (Criolla x China) con un valor medio de 20 ramas por planta y en último sitio a la cruce 2x1 (Reina x China) con 15 ramas por planta.

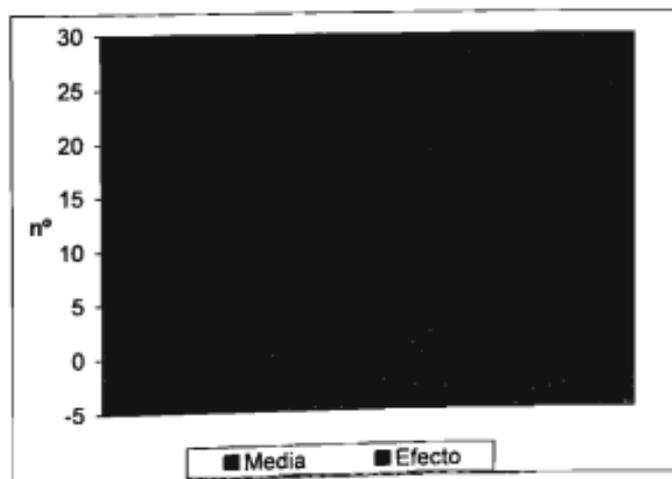


Figura 40. Efectos de ACE y prueba de medias (Tukey, 0.05) para la variable número de ramas por planta obtenida del cruzamiento dialéctico entre tres genotipos de jamaica.

4.3.1.4.4 Número de frutos por planta

Las cruzas que aportaron efectos positivos y altamente significativos fueron las formadas por las cruzas 3x2 (Criolla x Reina) y 3x1 (Criolla de x China). En sentido opuesto, la cruz 2x1 (Reina x China) aportó los efectos con mayor valor negativo y altamente significativo (Figura 41). La prueba de medias ubicó a las cruzas 3x2 (Criolla x Reina) y 3x1 (Criolla x China) como estadísticamente iguales con valores medios de 231 y 170 frutos por planta respectivamente. En igual forma, ubicó a las cruza 3x1 (Criolla x China) y 2x1 (Reina x China) como estadísticamente iguales, esta última con un valor medio de 100 frutos por planta. En la expresión de este carácter, el progenitor Criolla de Huajicori aparece en los cruzamientos con los valores más altos.

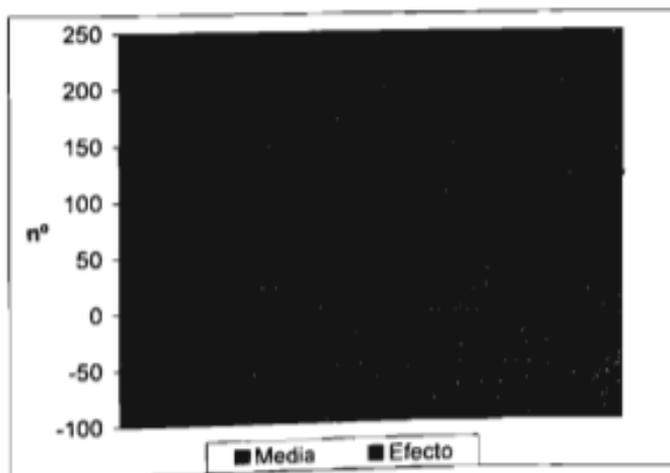


Figura 41. Efectos de ACE y prueba de medias (Tukey, 0.05) para la variable número de frutos por planta obtenida del cruzamiento dialélico entre tres genotipos de jamaica.

4.3.1.4.5 Número de frutos de la rama principal

Para esta variable, la cruce 3x2 (Criolla x Reina) es la que expresó el efecto con mayor valor positivo y altamente significativo. De igual forma, la cruce 3x1 (Criolla x China) expresó efectos en el mismo sentido pero con un menor valor y la cruce 2x1 expresó efectos no significativos (Figura 42). En la prueba de medias la cruce de 3x2 (Criolla x Reina) resultó en un grupo único con los valores más altos de 21 frutos en la rama principal, las cruces 3x1 (Criolla x China) y 2x1 (Reina x China) se ubicaron en un segundo grupo siendo estadísticamente iguales con valores de 16 y 15 frutos respectivamente.

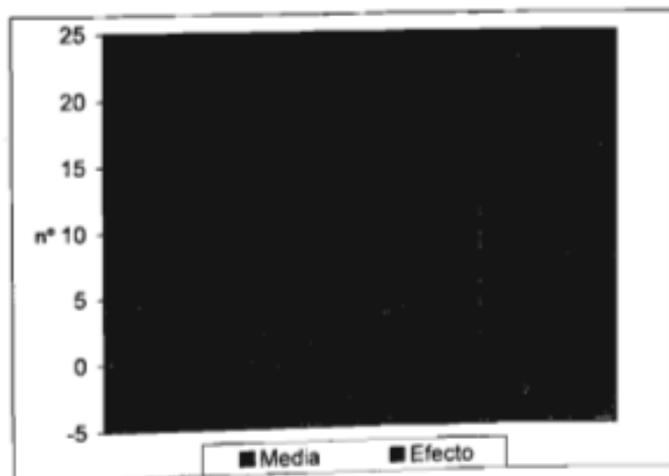


Figura 42. Efectos de ACE y prueba de medias (Tukey, 0.05) para la variable número de frutos de la rama principal obtenida del cruzamiento dialélico entre tres genotipos de jamaica.

4.3.1.4.6 Diámetro del cáliz

Esta variable no presentó valores significativos para efectos para aptitud combinatoria específica (Figura 43). La prueba de medias ubicó a dos de las cruzas en un primer grupo 2x1 (Reina x China) con un valor de 3.4 cm y 3x1 (Criolla x China) con un valor de 3.37 cm. El valor más bajo presentó la crusa 3x2 (Criolla x Reina) con 3.05 cm.

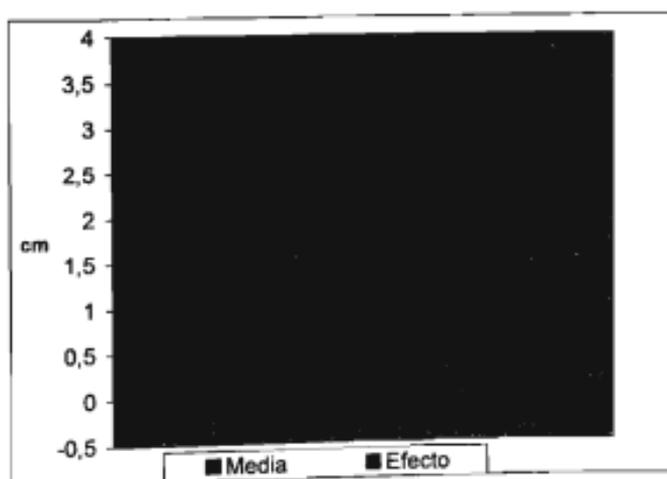


Figura 43. Efectos de ACE y prueba de medias (Tukey, 0.05) para la variable diámetro del cáliz obtenida del cruzamiento dialélico entre tres genotipos de jamaica.

4.3.1.4.7 Longitud del cáliz

Para esta variable, los híbridos 2x1 (Reina x China) y 3x2 (Criolla x Reina) expresaron efectos con valores negativos y altamente significativos. La cruce 3x1 (Criolla x China) presentó efecto positivo y significativo (Figura 44). La prueba de medias ubicó a las cruces en dos grupos estadísticamente iguales, los híbridos 3x2 (Criolla x Reina) y 2x1 (Reina x China) en un primer grupo con valores de 5.58 y 5.21 centímetros de longitud del cáliz respectivamente. Un segundo grupo está compuesto por las cruces 2x1 (Reina x China) y 3x1 (Criolla x China), éste último con un valor de 4.92 centímetros de longitud.

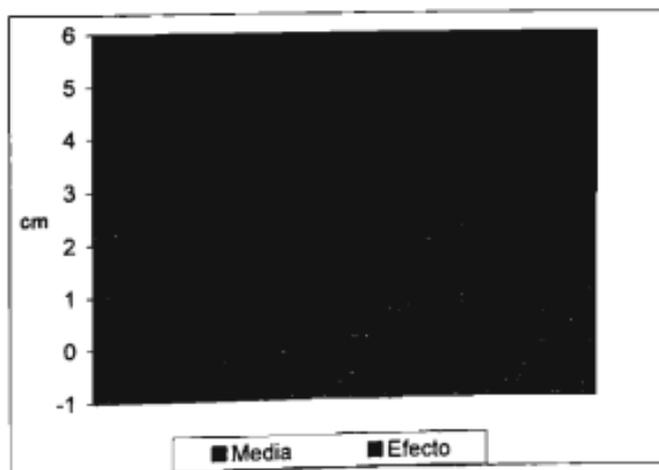


Figura 44. Efectos de ACE y prueba de medias (Tukey, 0,05) para la variable longitud del cáliz obtenida del cruzamiento dialéctico entre tres genotipos de jamaica.

4.3.1.4.8 Peso de fruto fresco

Para esta variable de rendimiento, las cruzas 3x2 (Criolla x Reina) y 3x1 (Criolla x China) expresaron efectos positivos y altamente significativos; contrariamente la cruz 2x1 (Reina x China) expresó efectos similares pero con signo negativo (Figura 45). La prueba de medias no expresó diferencias entre los tratamientos, mismos que resultaron con los siguientes rendimientos, 2x1 (Reina x China) 23.8 t·ha⁻¹, 3x1 (Criolla x China) 27.6 t·ha⁻¹ y 3x2 (Criolla x Reina) 31.4 t·ha⁻¹ de fruto fresco.

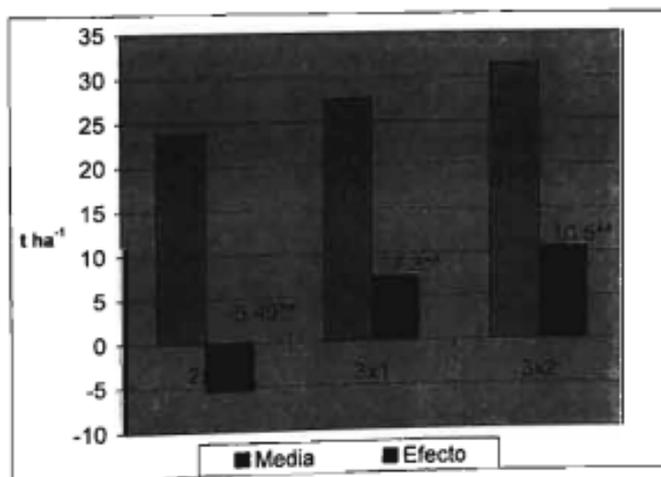


Figura 45. Efectos de ACE y prueba de medias (Tukey, 0.05) para la variable peso de fruto fresco obtenida del cruzamiento dialélico entre tres genotipos de jamaica.

4.3.1.4.9 Peso de cáliz fresco

Esta variable presentó la misma tendencia que la anterior en cuanto a los efectos, las cruzas 3x2 (Criolla x Reina) y 3x1 (Criolla x China) expresaron efectos positivos y altamente significativos. Por otra parte, la cruce 2x1 (Reina x China) presentó efectos negativos y altamente significativos (Figura 46). La prueba de medias ubicó a las cruzas 3x2 (Criolla x Reina) y 3x1 (Criolla x China) como estadísticamente iguales con valores de 17.8 y 15.9 t·ha⁻¹ de cáliz fresco. Un segundo grupo quedó compuesto por las cruzas 3x1 (Criolla x China) y 2x1 (Reina x China), este último tratamiento con un rendimiento de 12.3 t·ha⁻¹ de cáliz fresco.

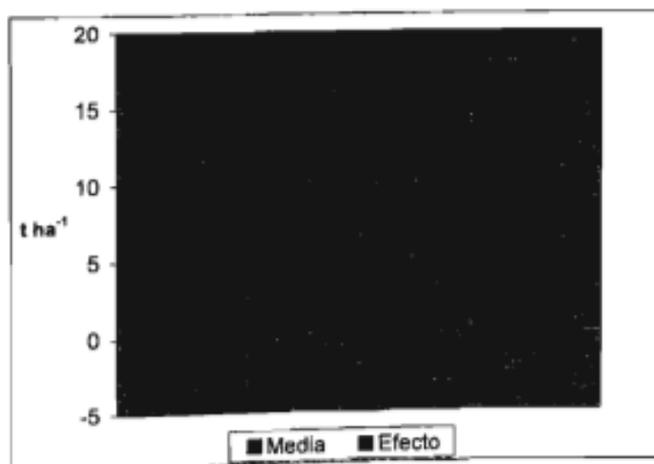


Figura 46. Efectos de ACE y prueba de medias (Tukey, 0.05) para la variable peso de cáliz fresco obtenida del cruzamiento dialélico entre tres genotipos de jamaica.

4.3.1.4.10 Peso de cáliz seco

Los híbridos 3x2 (Criolla x Reina) y 3x1 (Criolla x China) presentaron efectos positivos y altamente significativos para la expresión de este carácter. La cruza 2x1 (Reina x China) expresó efectos negativos y altamente significativos (Figura 47). La prueba de medias ubicó a los tratamiento en dos grupos, el primero compuesto por las cruza 3x2 (Criolla x Reina) y 3x1 (Criolla x China) con rendimientos de 2.16 y 1.85 t·ha⁻¹ de cálices secos respectivamente. Un segundo grupo formado por la cruza 3x1 (Criolla x China) y 2x1 (Reina x China), éste último con un rendimiento de 1.34 t·ha⁻¹ de cálices secos.

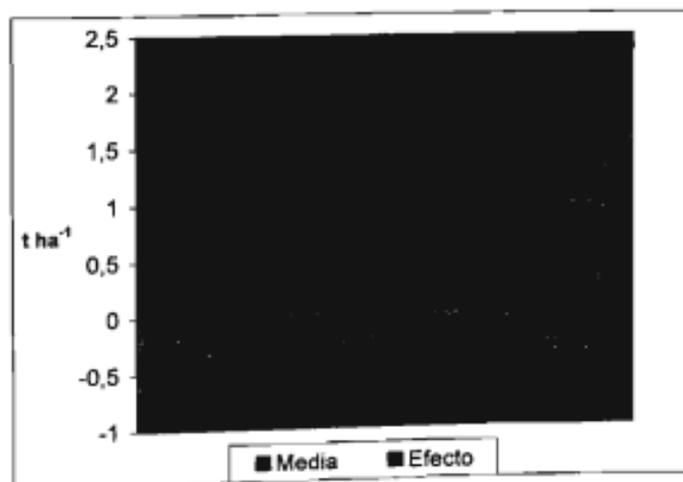


Figura 47. Efectos de ACE y prueba de medias (Tukey, 0.05) para la variable peso de cáliz seco obtenida del cruzamiento dialélico entre tres genotipos de jamaica.

4.3.1.4.11 Contenido de antocianinas (ácido trifluoroacético)

Para esta variable los híbridos 2x1 (Reina x China) y 3x1 (Criolla x China) expresaron efectos negativos y altamente significativos. La cruza 3x2 (Criolla x Reina) resultó con efectos positivos y altamente significativos (Figura 48). La prueba de medias ubicó a los tratamientos como diferentes. Los más altos valores fueron aportados por la cruza 3x1 (Criolla x China) con $6680 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$, con valores más bajos la cruza 2x1 (Reina x China) con $5657 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ y por último la cruza 3x2 (Criolla x Reina) con $4046 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ de contenido de antocianinas totales, utilizando el ácido trifluoroacético como fuente de extracción.

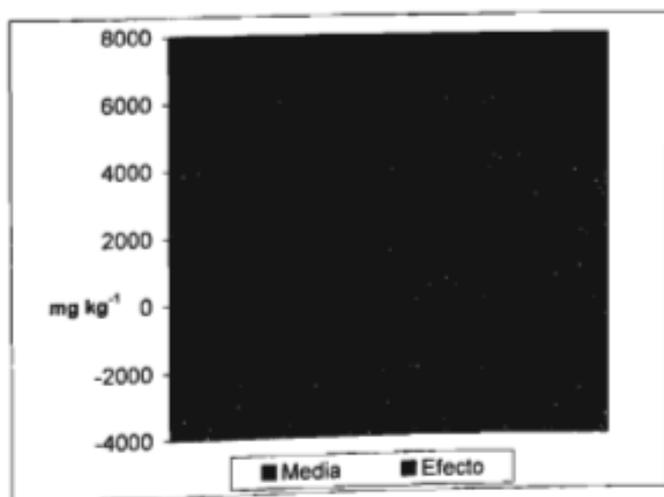


Figura 48. Efectos de ACE y prueba de medias (Tukey, 0.05) para la variable contenido de antocianinas totales (AAT) obtenida del cruzamiento dialélico entre tres genotipos de Jamaica.

4.3.1.4.12 Contenido de antocianinas (agua destilada)

La craza 2x1 (Reina x China) expresó efectos negativos y altamente significativos, el híbrido 3x2 (Criolla x Reina) resultó con efectos positivos y altamente significativos y el híbrido 3x1 (Criolla x China) no expresó diferencias significativas (Figura 49). La prueba de medias encontró diferencias entre los genotipos. Los más altos valores fueron expresados por la cruza 3x1 (Criolla x China) con $3487 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$, 2x1 (Reina x China) con $2752 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ y 3x2 (Criolla x Reina) con $2258 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ de contenido de antocianinas totales utilizando como método de extracción agua destilada.

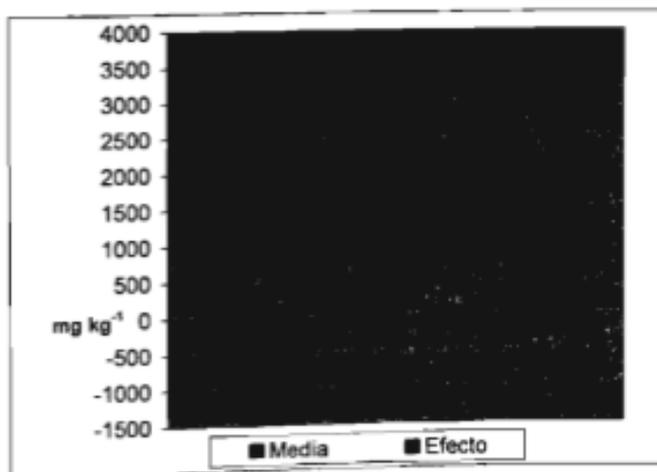


Figura 49. Efectos de ACE y prueba de medias (Tukey, 0.05) para la variable contenido de antocianinas totales (AAD) obtenida del cruzamiento dialélico entre tres genotipos de jamaica.

4.3.1.4.13 Sólidos solubles totales

Para esta variable se encontraron efectos negativos y altamente significativos y para la cruce 3x1 (Criolla x China). En los dos cruzamientos restantes no se encontraron diferencias significativas (Figura 50). La prueba de medias no encontró diferencias significativas entre los tratamientos, lo que significa que los tres híbridos son estadísticamente iguales en su contenido de azúcares.

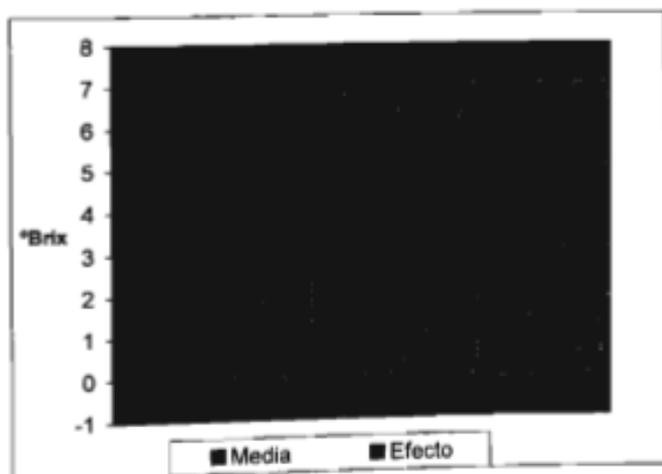


Figura 50. Efectos de ACE y prueba de medias (Tukey, 0.05) para la variable sólidos solubles totales (* Brix) obtenida del cruzamiento dialélico entre tres genotipos de jamaica.

4.3.1.4.14 Grado de acidez

En esta variable, la cruce 3x2 (Criolla x Reina) expresó efectos negativos y altamente significativos. En las dos cruces restantes no se encontraron efectos significativos (Figura 51). La prueba de medias ubicó a los tratamientos en dos grupos, un primer grupo con los valores más altos, en el cual el híbrido 2x1 (Reina x China) obtuvo un valor de pH 2.29, un segundo grupo está formado por las cruces 3x1 (Criolla x China) y 3x2 (Criolla x Reina) con valores de pH de 2.06 y 1.97 respectivamente. El valor obtenido por el híbrido 3x2 (Criolla x Reina) situó a esta cruce con el mayor grado de acidez, con un valor de 1.97.

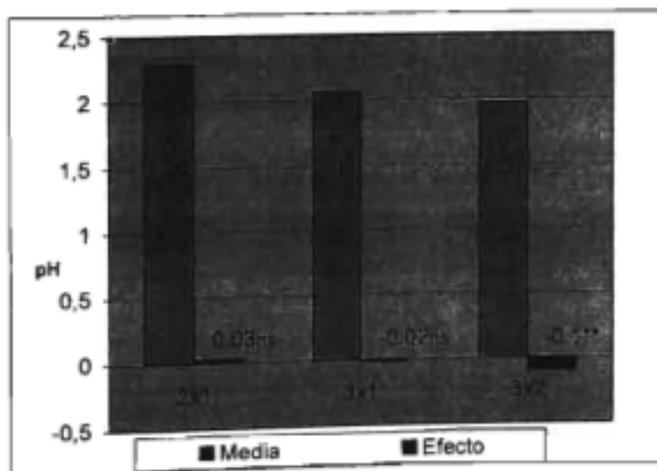


Figura 51. Efectos de ACE y prueba de medias (Tukey, 0.05) para la variable grado de acidez (pH) obtenida del cruzamiento dialélico entre tres genotipos de jamaica.

4.3.2 Evaluación de heterosis (H) y heterobeltiosis (HB)

Para todas las características se estimaron la heterosis (H) y heterobeltiosis (HB). Los valores estimados se enlistan en los Cuadros 18 y 19, donde se describen cada una de ellas. Valores de heterosis negativos es indicativo de que no se expresó un efecto de heterosis.

Cuadro 18. Heterosis (%) para 14 características en un cruzamiento dialélico en jamaica (*Hibiscus sabdariffa* L.)

Días a floración (n)	3.64	-0.40	-2.64
Altura de planta (cm)	2.67	7.27	10.39
Número de ramas por planta (n)	-5.97	11.94	35.64
Número de frutos por planta (n)	-14.73	129.00	207.92
Número de frutos de la rama principal (n)	-0.45	58.75	127.13
Diámetro del cáliz (cm)	2.71	-0.88	2.00
Longitud del cáliz (cm)	-8.63	1.86	-0.34
Peso de fruto fresco (t ha ⁻¹)	-13.71	79.23	106.91
Peso de cáliz fresco (t ha ⁻¹)	-19.71	94.75	111.24
Peso de cáliz seco (t ha ⁻¹)	-16.6	86.9	127.4
Contenido antocianinas t. (AAT) (mg kg ⁻¹)	-42.5	-24.7	0.6
Contenido antocianinas t. (AAD) (mg kg ⁻¹)	-33.3	-6.7	12.07
Sólidos solubles totales (° Brix)	-1.5	-5.6	0.0
Grado de acidez (pH)	0.88	-2.36	-7.07

1: China, 2: Reina, 3: Criolla de Huajicori

Cuadro 19. Heterobeltiosis (%) para 14 características en un cruzamiento dialélico en jamaica (*Hibiscus sabdariffa* L.)

Característica	Cruzamiento		
	1	2	3
Días a floración (n)	-4.20	-15.75	-11.64
Altura de planta (cm)	-1.43	-5.48	0.28
Número de ramas por planta (n)	-14.78	-4.68	26.48
Número de frutos por planta (n)	-15.22	46.30	96.24
Número de frutos de la rama principal (n)	-5.37	-0.43	45.61
Diámetro del cáliz (cm)	-8.60	-9.40	-0.97
Longitud del cáliz (cm)	-21.42	-3.91	-15.84
Peso de fruto fresco (t ha ⁻¹)	-14.4	-0.61	14.91
Peso de cáliz fresco (t ha ⁻¹)	-21.04	5.55	14.27
Peso de cáliz seco (t ha ⁻¹)	-18.67	12.12	35.84
Contenido antocianinas t. (AAT) (mg kg ⁻¹)	-61.5	-54.5	-18.9
Contenido antocianinas t. (AAD) (mg kg ⁻¹)	-52.8	-40.9	-6.9
Sólidos solubles totales (° Brix)	-4.3	-6.94	-4.2
Grado de acidez (pH)	0.0	-8.8	-13.9

1: China, 2: Reina, 3: Criolla de Huajicori

4.3.2.1 Días a floración

Valores positivos para heterosis (H) fueron expresados para la cruce 2x1 (Reina x China) con un valor de 3.6 %, las dos cruces restantes (3x1 y 3x2) resultaron con valores negativos (Figura 52). Para heterobeltiosis (HB) todas las cruces expresaron valores negativos (Figura 53).

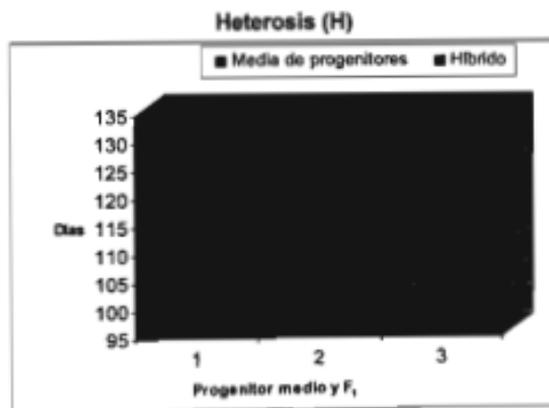


Figura 52. Promedio del valor de los progenitores y el de una cruce para la variable días a floración.

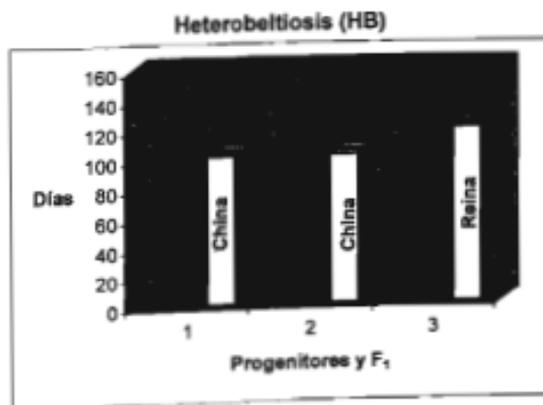


Figura 53. Promedio del valor de una cruce y el progenitor de mayor valor para la variable días a floración.

4.3.2.2 Altura de planta

Para esta variable las cruzas 2x1 (Reina x China), 3x1 (Criolla x China) y 3x2 (Criolla x Reina) expresaron valores positivos de heterosis (H) con 2.7 %, 7.3 % y 10.4 % respectivamente (Figura 54). Para Heterobeltiosis (HB) sólo se obtuvieron valores positivos para la cruz 3x2 (Criolla x Reina) con un porcentaje del 0.28 (Figura 55).

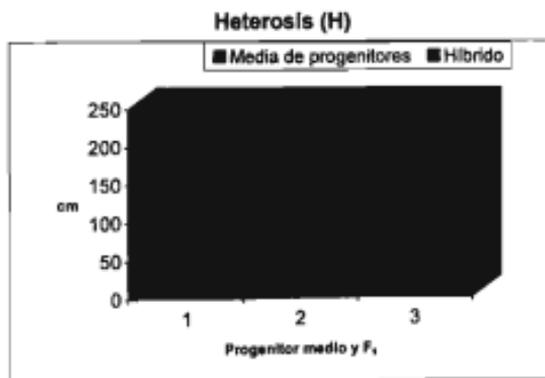


Figura 54. Promedio del valor de los progenitores y el de una cruz para la variable altura de planta.

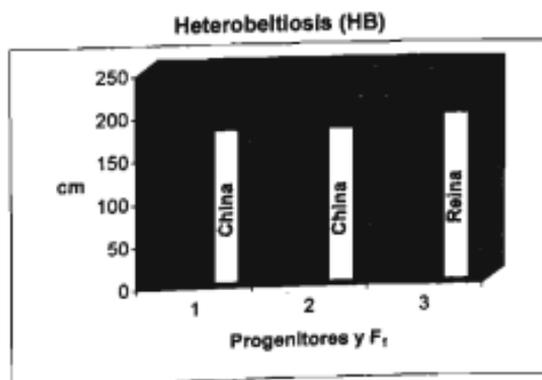


Figura 55. Promedio del valor de una cruz y el progenitor de mayor valor para la variable altura de planta.

4.3.2.3 Número de ramas por planta

Valores positivos de heterosis (H) fueron expresados por los cruzamientos 3x1 (Criolla x China) y 3x2 (Criolla x Reina) con porcentajes de 11.9 y 35.6 respectivamente (Figura 56). Para heterobeliosis (HB), destaca la cruce 3x2 (Criolla x Reina) que obtuvo un valor de 26.5 % (Figura 57).

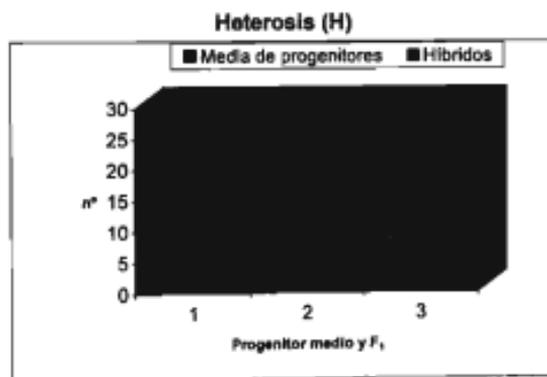


Figura 56. Promedio del valor de los progenitores y el de una cruce para la número de ramas por planta.

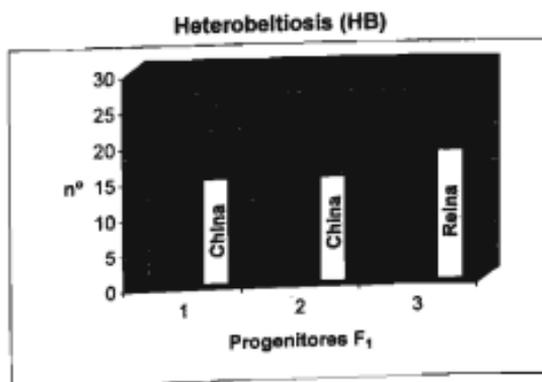


Figura 57. Promedio del valor de una cruce y el progenitor de mayor valor para la variable número de ramas por planta.

4.3.2.4 Número de frutos de la rama principal

Las cruza 3x1 (Criolla x China) y 3x2 (Criolla x Reina) resultaron con valores superiores al valor medio de los progenitores expresando valores de heterosis (H) de 58.7 % y 127.1 % respectivamente (Figura 58). Para heterobeltiosis (HB) la cruz 3x2 (Criolla x Reina) expresó un porcentaje de 45.6 % (Figura 59).

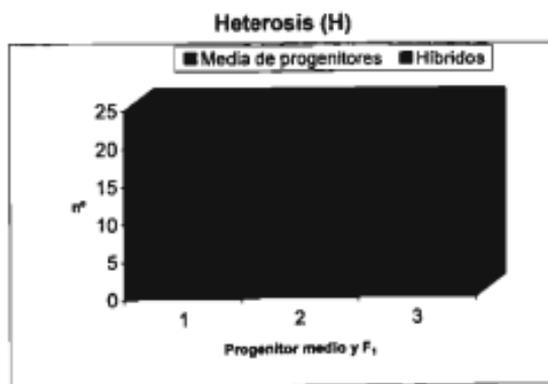


Figura 58. Promedio del valor de los progenitores y el de una cruz para la variable número de frutos de la rama principal.

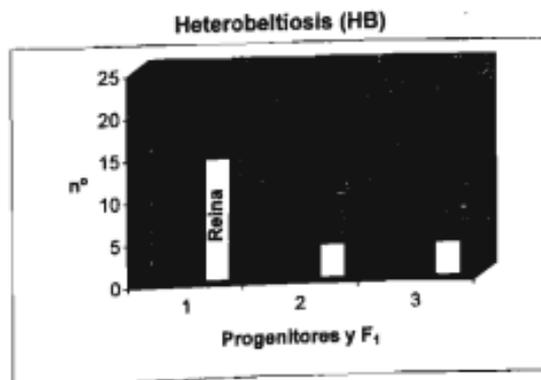


Figura 59. Promedio del valor de una cruz y el progenitor de mayor valor para la variable número de frutos de la rama principal.

4.3.2.5 Número de frutos por planta

Para esta variable las cruzas 3x1 (Criolla x China) y 3x2 (Criolla x Reina) expresaron valores de heterosis (H) de 129.0 % y 207.9 %, respectivamente (Figura 60). Para heterobeltiosis (HB) los mismos híbridos expresaron porcentajes de 96.2 % y 46.3 % en el mismo orden anterior (Figura 61).

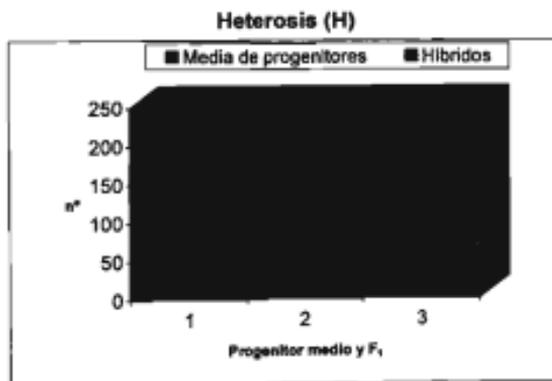


Figura 60. Promedio del valor de los progenitores y el de una cruce para la variable número de frutos por planta.

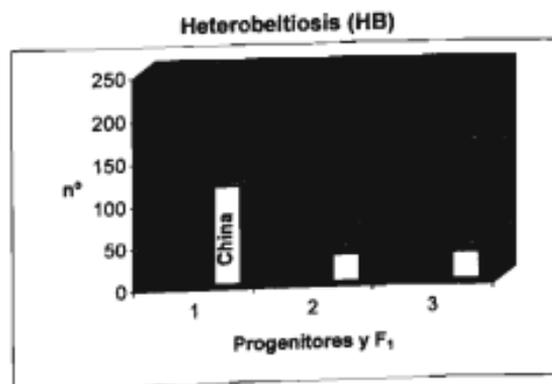


Figura 61. Promedio del valor de una cruce y el progenitor de mayor valor para la variable número de frutos por planta.

4.3.2.6 Diámetro del cáliz

La cruce 3x2 (Criolla x Reina) resultó con un valor de heterosis (H) del 2.7 %, las dos restantes expresaron valores negativos (Figura 62). Para heterobeltiosis (HB) las tres cruces expresaron resultados negativos (Figura 63).

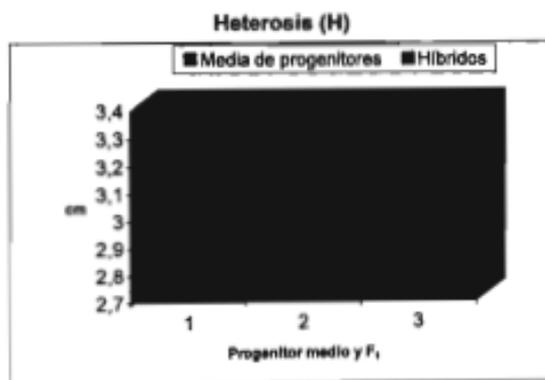


Figura 62. Promedio del valor de los progenitores y el de una cruce para la variable diámetro del cáliz.

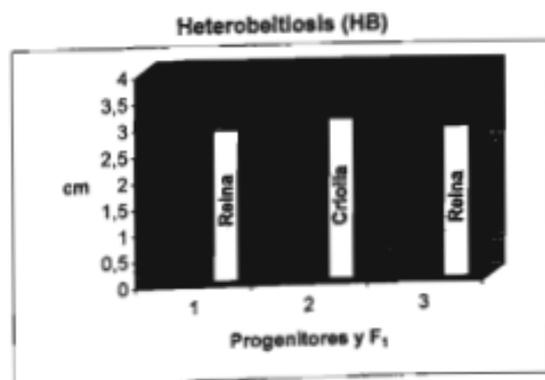


Figura 63. Promedio del valor de una cruce y el progenitor de mayor valor para la variable diámetro del cáliz.

4.3.2.7 Longitud del cáliz

Para esta variable la cruce 3x1 (Criolla x China) expresó un porcentaje de heterosis (H) del 1.86 % (Figura 64). Para heterobeltiosis (HB) las tres cruces expresaron valores negativos (Figura 65).

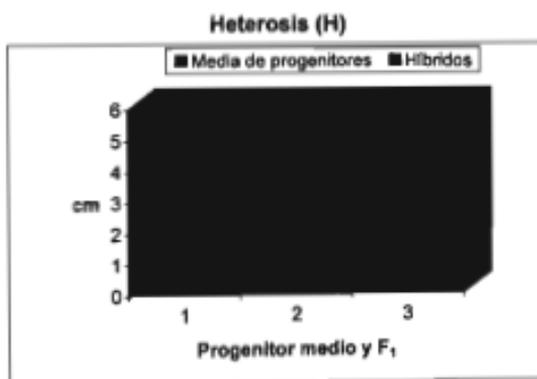


Figura 64. Promedio del valor de los progenitores y el de una cruce para la variable longitud del cáliz.

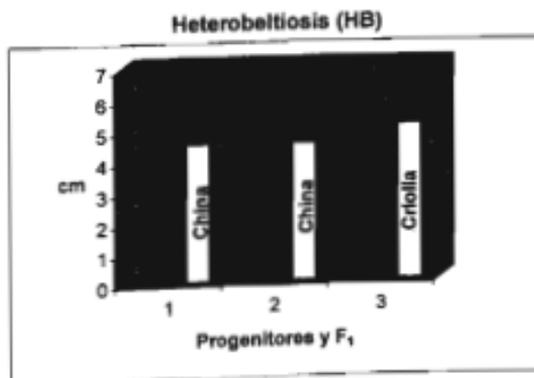


Figura 65. Promedio del valor de una cruce y el progenitor de mayor valor para la variable longitud del cáliz.

4.3.2.8 Peso de fruto fresco

Las cruzas 3x1 (Criolla x China) y 3x2 (Criolla x Reina) expresaron para heterosis (H) porcentajes de 79.2 y 106.9 respectivamente (Figura 66). Para heterobeltiosis (HB) la cruz 3x2 (Criolla x Reina) resultó con un porcentaje de 14.9 (Figura 67).

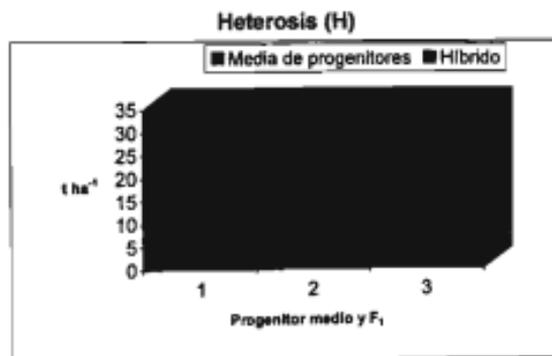


Figura 66. Promedio del valor de los progenitores y el de una cruz para la variable peso de fruto fresco.

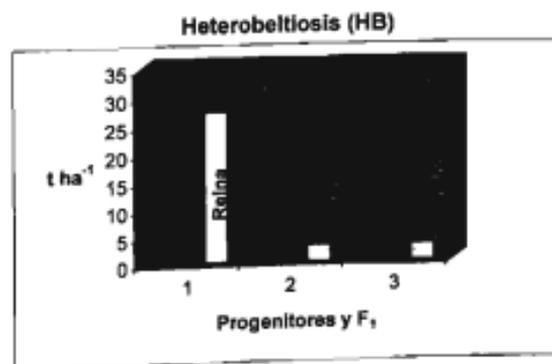


Figura 67. Promedio del valor de una cruz y el progenitor de mayor valor para la variable peso de fruto fresco.

4.3.2.9 Peso de cáliz fresco

Para heterosis (H) las cruzas 3x1 (Criolla x China) y 3x2 (Criolla x Reina) expresaron valores de 94.7 % y 111.2 % respectivamente (Figura 68). Los híbridos 3x1 (Criolla x China) y 3x2 (Criolla x Reina) resultaron con valores de 5.5 % y 14.3 % en el mismo orden anterior (Figura 69).

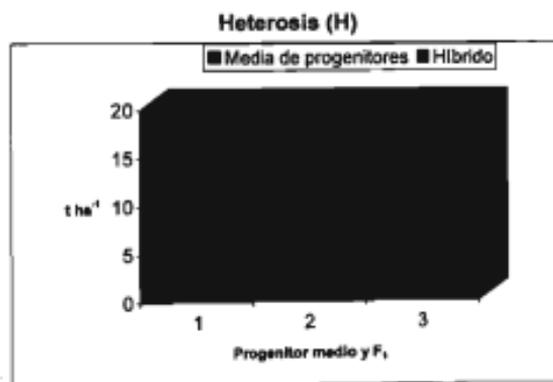


Figura 68. Promedio del valor de los progenitores y el de una cruce para la variable de peso de cáliz fresco.

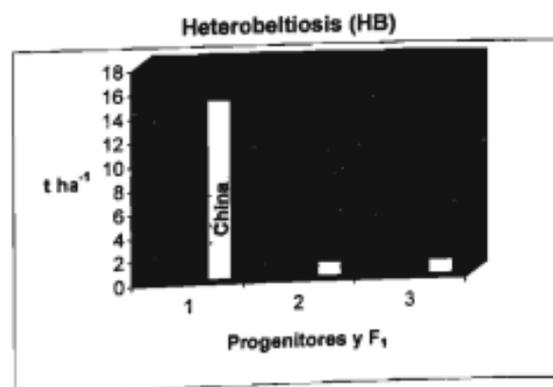


Figura 69. Promedio del valor de una cruce y el progenitor de mayor valor para la variable de peso de cáliz fresco.

4.3.2.10 Peso de cáliz seco

Las cruzas 3x1 (Criolla x China) y 3x2 (Criolla x Reina) resultaron con valores de heterosis (H) de 86.9 % y 127.4 % respectivamente (Figura 70). Para heterobeltiosis (HB) las cruzas 3x1 (Criolla x China) y 3x2 (Criolla x Reina) resultaron con porcentajes de 12.1 y 35.8 respectivamente (Figura 71).

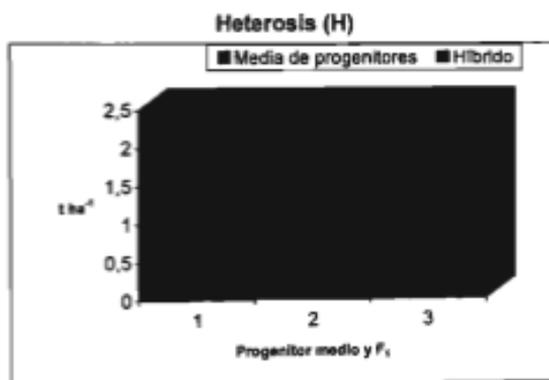


Figura 70. Promedio del valor de los progenitores y el de una crusa para la variable peso de cáliz seco.

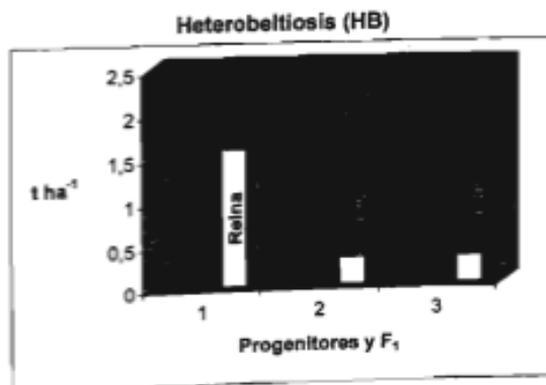


Figura 71. Promedio del valor de una crusa y el progenitor de mayor valor para la variable peso de cáliz seco.

4.3.2.11 Contenido de antocianinas totales (ácido trifluoroacético)

Para esta variable la cruce 3x2 (Criolla x Reina) expresó valores de heterosis (H) de 0.6 % (Figura 72). Par heterobeltiosis (HB) las que se presentaron fueron valores (Figura 73).

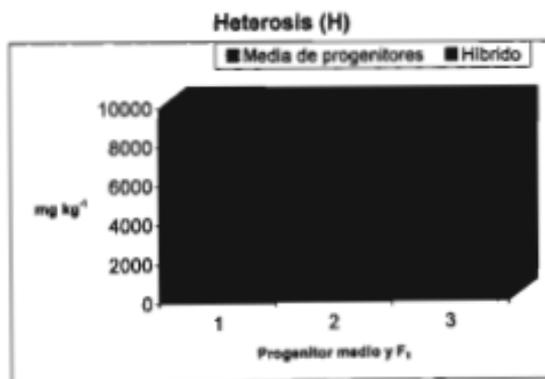


Figura 72. Promedio del valor de los progenitores y el de una cruce para la variable contenido de antocianinas totales (AAT).

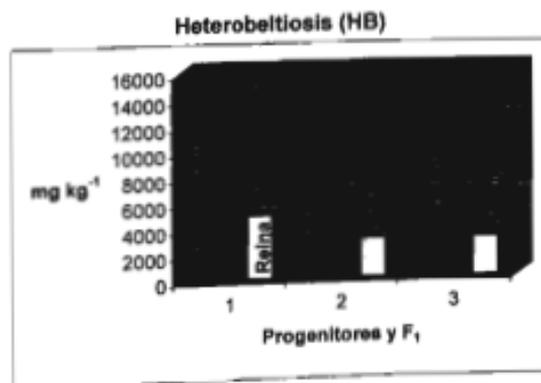


Figura 73. Promedio del valor de una cruce y el progenitor de mayor valor para la variable contenido de antocianinas totales (AAT).

4.3.2.12 Contenido de antocianinas totales (agua destilada)

Para esta variable se presentaron porcentajes de heterosis (H) en la cruce 3x2 (Crifolla x Reina) con un valor de 12.0 % (Figura 74). Para heterobeltiosis (HB) todos los valores resultaron negativos (Figura 75).

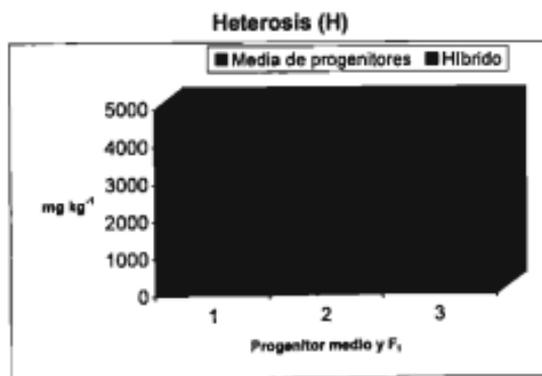


Figura 74. Promedio del valor de los progenitores y el de una cruce para la variable contenido de antocianinas totales (AAD).

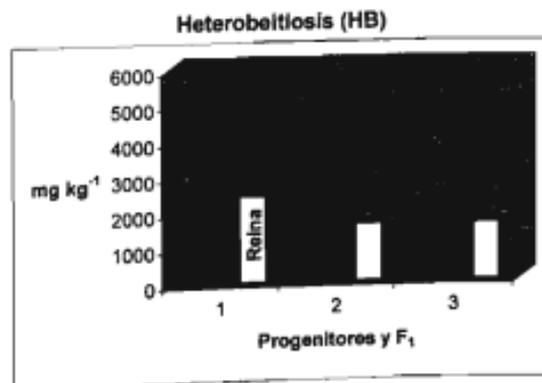


Figura 75. Promedio del valor de una cruce y el progenitor de mayor valor para la variable contenido de antocianinas totales (AAD).

4.3.2.13 Grado de acidez (pH)

Valores positivos para heterosis (H) fueron expresados por la cruce 2x1 (Reina x China) con un valor de 0.88 % (Figura 76). Para heterobeltiosis (HB) todos los valores presentados fueron negativos (Figura 77).

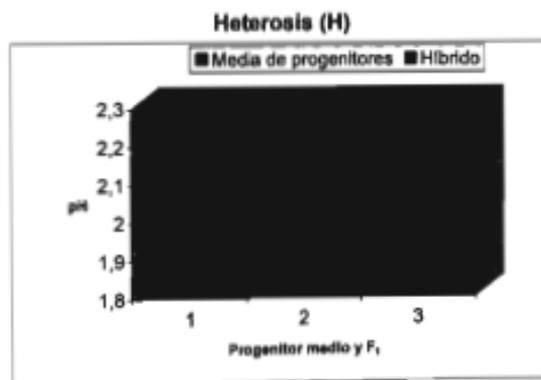


Figura 76. Promedio del valor de los progenitores y el de una cruce para la variable grado de acidez (pH).

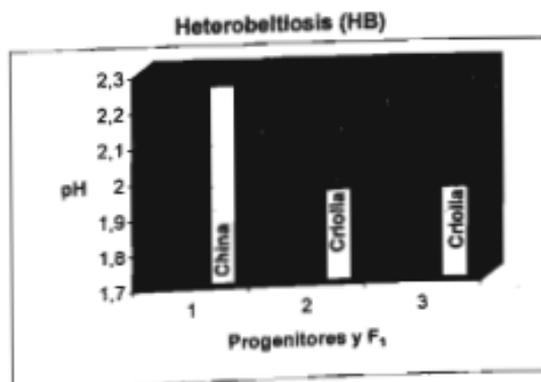


Figura 77. Promedio del valor de una cruce y el progenitor de mayor valor para la variable grado de acidez (pH).

4.3.2.14 Sólidos solubles totales

Tanto para heterosis (H) y heterobeltiosis (HB) los valores expresados por las cruza resultaron negativos (Figuras 78 y 79).

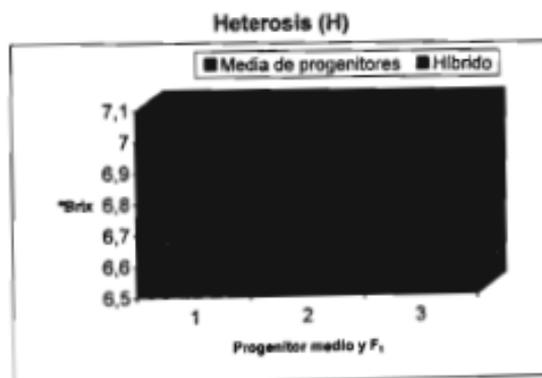


Figura 78. Promedio del valor de los progenitores y el de una cruz para la variable sólidos solubles totales (° Brix).

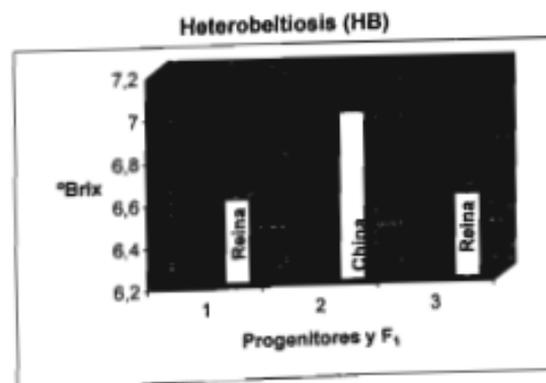


Figura 79. Promedio del valor de una cruz y el progenitor de mayor valor para la variable sólidos solubles totales (° Brix).

4.4 DISCUSION

4.4.1 Análisis de varianza de ACG y ACE

El análisis de varianza se llevó a efecto con los datos obtenidos de cada una de las variables de respuesta del cruzamiento dialélico definido como todas las cruza simples posibles entre un grupo de genotipos con el objeto de estimar la aptitud combinatoria general (ACG) y aptitud combinatoria específica (ACE) de acuerdo al modelo I (efectos fijos) método II propuesto por Griffing (1956), en donde no se contemplan las cruza recíprocas.

Las varianzas de aptitud combinatoria general (ACG) y aptitud combinatoria específica (ACE) han sido relacionadas con el tipo de acción génica de los genes que intervienen en la expresión de un carácter, la varianza de ACG se relaciona con la porción genética aditiva. Por otra parte, la varianza de ACE se le relaciona con la porción genética no aditiva (Sprague y Tatum, 1942).

Por los valores obtenidos en el análisis de varianza se rechazaron las hipótesis nulas para los efectos de aptitud combinatoria general de $H_0: g_i = 0$ así como también para los efectos de aptitud combinatoria específica de $H_0: S_{ij} = 0$.

Los resultados obtenidos del análisis de varianza indican valores altamente significativos para todas las variables en lo que respecta a cruza, por lo que tanto la acción génica aditiva así como no aditiva se manifiestan en la expresión de todos los caracteres en estudio. Para ACG se encontraron valores altamente significativos ($p < 0.01$) para DF, AP, NRP, NFRP, DC, LC, PFF, PCF, PCS, AAT, AAD, pH Y SST valores significativos ($p < 0.05$) para NFP.

Para ACE se mostraron valores altamente significativos ($p < 0.01$) para las variables DF, AP, NRP, NFP, NFRP, PFF, PCF, PCS, AAT y AAD y valores significativos ($p < 0.05$) para LC, pH y SST.

Las diferencias significativas mostradas tanto para ACG y ACE indican que tanto los efectos aditivos como los no aditivos tienen importancia en la expresión de los caracteres en estudio, con excepción para DC, en donde sólo la ACG expresó valores significativos.

4.4.2 Relación de ACG : ACE

A través de la relación entre aptitud combinatoria general (ACG) y aptitud combinatoria específica (ACE) se puede obtener una aproximación sobre la forma en que se hereda el carácter en estudio, lo que resulta importante en la selección del método de mejoramiento genético a seguir (Griffing, 1956; Falconer, 1986).

Para las variables de DF, AP, NRP, DC, LC, PFF, PCF, AAT, AAD, SST y pH los cuadrados medios de ACG fueron los que expresaron los más altos valores, por lo que la acción génica aditiva fue más importante en la expresión de estos caracteres. Sibhan y Husain (1986) obtuvieron resultados similares para AP en el cruzamiento de *Hibiscus sabdariffa* variedad altísima por *Hibiscus sabdariffa* variedad sabdariffa. Thirthamallappa (1992) encontró predominancia de efectos génicos aditivos para AP, NRP y DF en un cruzamiento dialéctico en la variedad de jamaica altísima.

Los mayores porcentajes para ACE fueron expresados para NFP, NFRP y PCS por lo que la acción génica no aditiva (dominancia y sobredominancia) fue más importante en la expresión de estos caracteres, por lo que la hibridación es el método que puede emplearse para explotar el fenómeno de heterosis.

4.4.3 Efectos de aptitud combinatoria general (ACG)

Un importante indicador del potencial de las líneas de progenitores son los efectos que expresan estas aptitudes, un valor pequeño del efecto o con signo negativo indica una pobre habilidad de transferir su superioridad genética a sus descendientes, en cambio un alto valor positivo expresa la habilidad de expresar un carácter (Cruz y Regazzi, 1994).

Para ACG el progenitor China expresó efectos con los mayores valores positivos para las características de DC, AAT, AAD y pH, en cambio, mostró los más altos valores negativos para DF, AP, NRP y LC. En ambos casos las pruebas de medias (Tukey, 0.05) concuerdan con los efectos expresados, para los positivos los ubica en un primer grupo, en cambio los negativos son ubicados en los últimos lugares de los grupos.

El progenitor Reina mostró efectos positivos con los mayores valores para NFP, NFRP, LC, PFF, PCF y PCS, resultados que concuerdan con los obtenidos en las prueba de medias (Tukey, 0.05) en donde se ubicó en los primeros lugares. Los mayores efectos negativos fueron expresados por este progenitor para las variables de DC y SST en donde la prueba de medias lo ubicó en los últimos lugares.

El progenitor Criolla expresó efectos con los mayores valores positivos para las variables de DF, AP, NRP y SST valores que concuerdan con los obtenidos en la prueba de medias (Tukey, 0.05) con los primeros lugares. En cambio mostró los peores valores para la variables de NFP, NFRP, PFF, PCF, PCS y pH mismos valores que son ubicados por la prueba de medias en un segundo grupo.

4.4.4 Efectos de aptitud combinatoria específica (ACE)

La aptitud combinatoria específica (ACE) permite identificar aquellas combinaciones híbridas más sobresalientes o relativamente peores que el comportamiento de las líneas involucradas (Sprague y Tatum, 1942).

Para ACE los efectos de mayor valor positivos para la cruce de 2x1 sólo fueron expresados para la variable de DF y en la prueba de medias (Tukey, 0.05) se ubicó en un tercer grupo con los valores más bajos lo que la ubica como la más precóz. Esta misma cruce expresó efectos con valor negativo para las variables NFP, LC, PFF, PCF, PCS, AAT y AAD, no obstante de que ambos progenitores expresaron altos valores de ACG en varias características.

Para la cruce 3x1 efectos con valor positivo fueron expresados para la variable LC aunque en la prueba de medias (Tukey, 0.05) estadísticamente resultó igual a 2x1 que es la cruce que expresó los más altos valores negativos. En la variable de SST esta cruce resultó con efectos negativos para la expresión de este carácter y las dos cruces restantes expresaron efectos no significativos, la prueba de medias (Tukey, 0.05) las ubicó como estadísticamente iguales.

La crucea 3x2 expresó los mayores valores de efectos positivos para las variables NRP, AAT y AAD, también en el mismo sentido fue para AP, NFP, NFRP, PFF, PCF y PCS en las cuales resultó estadísticamente igual a la crucea 3x1 para estas mismas variables. Contrariamente, esta crucea expresó los más altos valores negativos para las variables DF y pH.

4.4.5 Estimación de heterosis (H) y heterobeltiosis (HB)

Para la producción de híbridos en un cultivo debe de conocerse en primer lugar lo relacionado con las manifestaciones de heterosis y heterobeltiosis en el mismo, condición indispensable para la obtención de híbridos de primera generación (Cubero, 1999).

Para heterosis (H) la crucea 2x1 expresó porcentajes positivos con bajos valores en las variables DF, AP, DC y pH. Para heterobeltiosis (HB), los valores resultaron negativos por lo que los efectos de vigor híbrido no se consideran presentes.

Para la crucea 3x1 se expresaron valores altos de heterosis (H) para las variables NFP, NFRP, PFF, PCF y PCS, porcentajes con valores bajos presentaron las variables de AP, NRP y LC. Para heterobeltiosis (HB) la variable NFP expresó valores altos, las variables PCF y PCS presentaron efectos de heterosis con porcentajes bajos.

La crucea 3x2 fue la que más altos porcentajes de heterosis (H) expresó, la cual se manifestó en las variables NRP, NFP, NFRP, PFF, PCF y PCS en las que los valores rebasaron el 100 %, para las ultimas cinco variables. Valores más bajos se expresaron en las variables de AP, DC, AAT y AAD. Los efectos de heterobeltiosis (HB) se presentaron en las variables NRP, NFP, NFRP, PFF, PCF y PCS.

Los efectos de ACE tienen relación con las manifestaciones de heterosis los cuales se reflejaron en cada uno de los cruzamientos realizados, la crucea 3x2 en ACE expresó valores positivos para nueve de las variables en estudio obteniendo igual número para las manifestaciones de heterosis (H). La crucea

3x1 en ACE expresó efectos positivos para siete de las variables y manifestó en ocho variables porcentajes positivos de heterosis (H). Los peores resultados fueron expresados para la craza 2x1 la cual en ACE resultó con una manifestación de efecto positivo y en heterosis (H) resultó con porcentajes positivos en cuatro variables pero con valores muy bajos.

El progenitor que más contribuciones manifestó fue Criolla de Huajicori al expresarse en común en siete de las variables de las cruzas 3x2 y 3x1 en heterosis (H). En heterobeltiosis (HB) se manifestó en tres de las variables de estas mismas cruzas. El progenitor Reina se manifestó en dos de las variables de las cruzas de 2x1 y 3x2. Finalmente, la variedad China se manifestó en sólo una variable en las cruzas de 2x1 y 3x1.

4.5 CONCLUSIONES

Del análisis y discusión de los resultados del presente trabajo y de las hipótesis planteadas en la presente investigación se llegó a las siguientes conclusiones:

1. Se encontraron efectos génicos aditivos para todas las variables en estudio; efectos no aditivos también fueron encontrados con excepción para DC.
2. Los efectos de ACG de mayor importancia fueron los obtenidos por las variables DF, AP, NRP, DC, LC, PFF, PCF, AAT, AAD, SST y pH, por lo que los métodos de mejoramiento por selección son los más indicados para lograr la mayor expresión de estos caracteres.
3. Los efectos para ACE de mayor importancia fueron los obtenidos por las variables NFP, NFRP y PCS, por lo que la hibridación puede ser utilizada con éxito como método de mejoramiento para la explotación de estas características de la especie.
4. En ACG el progenitor China sobresalió en la expresión de DC, AAT, AAD y pH, Reina en NFP, NFRP, LC, PFF, PCF y PCS, Criolla en DF, AP, NRP y SST.
5. En ACE las expresiones más sobresalientes fueron mostradas por la craza 2x1 en DF fue la más precóz, 3x1 en LC, 3x2 en NRP, AAT y AAD. Para las variables AP, NFP, NFRP, PFF, PCF y PCS las cruza de 3x2 y 3x1 resultaron iguales.
6. Manifestaciones de heterobeltiosis (HB) fueron expresadas en la craza 3x1 en NFP, PCF y PCS. La craza 3x2 en NRP, NFP, NFRP, PFF, PCF y PCS, la craza de 2x1 expresó valores negativos.
7. El progenitor que más contribuciones manifestó fue Criolla de Huajicori al sobresalir en siete características en cruzamientos con los otros dos progenitores.

V. LITERATURA CITADA

- Acosta A. G. 1994. Aspectos generales del kenaf (*Hibiscus cannabinus*, L.) en Cuba. Instituto de Investigaciones Hortícolas "Liliana Dimitrova" la Habana Cuba. Pág. 9.
- Augstburger F.; J. Berger.; U. Censkowsky.; P. Heid.; J. Milz.; C. Streit. 2000. Agricultura orgánica en el trópico y suptrópico, Hibisco. Naturland. Primera Edición.
- Adamson, W. C. 1983. inheritance of leaf shape in roselle, *Hibiscus sabdariffa* L. Journal Heredity 74: 485-486.
- Aliyu, L., N. C. Kuchinda., A. B. Lawal and A. A. Muhammad. 2005. Evaluation of the agronomic potential, genetic variability and heritability in roselle (*Hibiscus sabdariffa* L.) at Samaru, Nigeria. Crop Res. 30(3): 409 - 413.
- Anónimo. 1999. México proveedor de especies y plantas medicinales al mundo. El caso de una nueva variedad de jamaica. Claridades Agropecuarias 73: 13
- Badui, D. S. 1993. Química de los Alimentos. Tercera edición, Lóngman de México Editores, S. A. de C. V. Impreso en México.
- Basu, N. C. and K. Chakravarty. 1972. Inheritance of certain morphological characters in roselle. Current Science 41(5): 189 - 190.
- Bejarano, A. y U. Vega. 1974. Estudio de la capacidad combinatoria en líneas de maíz (*Zea mays* L.) a través de cruzamientos dialélicos. Agronomía tropical 25(5): 419 - 434.
- Bidwel R. G. S. 2002. Fisiología Vegetal. AGT Editor, S. A. México D. F.

- Cano R.; P. G. Ramírez R.; J. Ortega P.; J. H. Esparza M.; S. Rodríguez H. 2000. Análisis dialélico para vigor de semilla en melón. *Revista Agrociencia*. 34: 337-342.
- Cedillo L., D. C.; M. P. Cruz S.; M. C. Beltrán O. 2004. Identificación de los espectros de antocianinas del fruto del cerezo dulce (*Prunus avium*) variedad sweetheart, en diferentes condiciones de extracción. VII Congreso de Tecnología de Alimentos y III Foro de Ciencia Y Tecnología de Alimentos. Guanajuato, Gto.
- Coors G. James and Mark D. Burrow. 1993. DIALLEL, Analysis and Simulation, user of guide. University of Wisconsin-Madison. Department of Agronomy. Madison Wisconsin 53706, USA.
- Cruz C. D. y A. J. Regazzi. 1994. Modelos Biométricos aplicados ao melhoramento genético. Universidad Federal de Vicos. Imprenta Universitaria, Vocosá, Minas Gerais, Brasil.
- Cubero, J. I. 1999. Introducción a la Mejora Genética Vegetal. Editorial mundi prensa. España.
- De La Loma, J. L. 1963. Genética General y Aplicada. Tercera edición. Chapingo México. UTEHA. p. 403.
- Dickinson, A. C. and J. L. Jinks. 1956. A generalised analysis of diallell crosses. *Genetics* 41(1): 65 – 78.
- Enciclopedia Wikipedia, roselle (plant).
[HTTP://en.wikipedia.org/wiki/roselle](http://en.wikipedia.org/wiki/roselle)
- Edmonds, J. M. 1991. The distribution of *Hibiscus* L. section *Furcaria* in tropical East Africa. Systematic and ecogeographic studies on crop gene pools 6. Rome IBPGR/IJO 1991.

- Falconer, D. S. 1972. Introducción a la Genética Cuantitativa. C.E.C.S.A. México, D. F. 430.
- FAO. 2006. Hibiscus: Post- Production Management for Improved Market Acces for Herbs and Spices-Hibiscus. Chapter XXVII.
- Fassil H.; L. Guarino.; S. Sharrock.; B. Mal.; T. Hodgkin.; M. Iwanaga. 2000. Diversity for food security: Improving human nutrition through better evaluation, management, and use of plant genetic resources. Food and Nutrition Bulletin 21(4).
- Fehr, W. R. 1983. Applied Plant Breeding. Department of agronomy. Iowa State University Ames. IA 50011 U.S.A. Second Edition. Chapter 5.
- Flores, J. N. 2002. Heterosis en características agronómicas de un híbrido de jamaica (*Hibiscus sabdariffa* L.). Tesis profesional. Facultad de Agricultura. U.A.N. Jalisco, Nayarit.
- Fuertes, J. 1992. Estudios botánicos en la Guayana Colombiana. I. Una nueva especie de *Hibiscus* sección *Furcaria* (Malvaceae). Anales Jard. Bot. Madrid. 50(1): 65-72.
- Gardner, E. J. 1982. Principios de Genética. Pág. 550-552.
- Gardner, C. O. y S. A. Eberhart. 1966. Analysis and interpretation of the variety cross diallel and related populations. Biometrics 22(3): 439-452.
- Griffing, B. 1956. Concept of general and especific combining ability in relation to diallel crossing systems. Australian. J. Biol. Sci. 9: 463-493.
- Gupta, S. K. 1989. Studies on intercropping in roselle (*Hibiscus sabdariffa* L.) Indian J. Agron. 34(3): 361-363.
- Hallauer, A.; J. Miranda. 1981. Quantitative Genetics in Maize Breeding. Ames, Iowa U. S. A. The Iowa State University Press.

- Hayman, B. I. 1954. The theory and analysis of diallell crosses. *Genetics* 39(6): 789-809.
- Hayman, B. I. 1958. The theory and analysis of diallell crosses. II. *Genetics* 43(1): 63-85.
- Hernández M., M. A. 2003. Técnicas para el mejoramiento genético en el cultivo de jamaica (*Hibiscus sabdariffa* L.). Tesis profesional. Facultad de Agricultura. Xalisco, Nayarit.
- Herrera A., A.; S. Flores R.; M. A. Chavez S.; J. Tortoriello. 2004. Effectiveness and tolerability of a standardized extract from *Hibiscus sabdariffa* in patients with mild to moderate hypertension: a controlled and randomized clinical trial. *Phytomedicine* (11): 375-382.
- Hsien Chen, H., P. Jen Tsai., S. Huang Chen., Y. Ming Su., C. Chin Cheng and T. Chi Huang. 2005. Grey relational analysis of dried roselle (*Hibiscus sabdariffa* L.). *Journal of Food Processing & Preservation* (29): 228-245.
- Infante, G. S.; Zárate de Lara, P. G. 2000. Métodos Estadísticos: un enfoque multidisciplinario. Sexta Edición. Editorial Trillas. México.
- Inzunza., M. F. y R. J. Larios. 2002. Tecnología y métodos para cosechar jamaica en México. *Boletín. Guadalajara Jalisco*.
- Jenkins, J. B. 1986. *Genética*. Editorial Reverte S. A. Barcelona España. Pág. 665-668.
- Jiménez R., M. N. 2002. Morfología de los granos de polen de la familia Malvaceae de Jalisco, México. III. *Ibugana* 10(12): 37-59.
- Jinks, J. L. and B. I. Hayman. 1953. The analysis of diallell crosses. II. *Maize Genetics Cooperation Newsletter* 27: 48-54.

- Kang, M. S. 1994. Applied Quantitative Genetics. M. S. Kang Publisher, Baton Rouge. L. A. pp. 157.
- Kempthorne, O. 1956. The theory of diallel cross. *Genetics* 41: 451-459.
- Kuskoski, E. M., J. M. Vega., J. J. Rios., R. Fett., A. M. Troncoso., A. G. Asuero. 2003. Characterization of anthocyanins from the fruits of baguacu (*Eugenia umbelliflora* Berg). *J. Agric. Food Chem.* 51: 5450-5454.
- Lima, Vera L. A. G., E. Almeida M., D. E. da Silva. 2005. The effects of light and freezing temperature upon the estabilyty of purple surinam cherry's anthocyanins. *Cienc. Tecnol. Aliment.* 25: 1.
- Martínez G. A. 1983. Diseño y Análisis de Experimentos de Cruzas Dialélicas. Colegio de Posgraduados. Montecillo, pp.13.
- Martínez G. A. 1988. Análisis de los experimentos de Griffing usando algoritmos computacionales para el análisis de experimentos factoriales. *Comunicaciones en estadística y cómputo.* Vol. 7. Núm. 2. Colegio de Postgraduados. Chapingo, México.
- Martínez G. A. 1988. Diseños Experimentales. Métodos y Elementos de Teoría. Editorial Trillas. México.
- Menzel, M. Y., and F. D. Wilson. 1969. Genetic relationships in *Hibiscus* sect. *Furcaria*. *Brittonia* 21(2): 91-125.
- Menzel, M. Y., P. A. Fryxell and F. D. Wilson. 1983. Relationships among new world species of *Hibiscus* section *Furcaria* (Malvaceae). *Brittonia*, 35(3): 204 – 221.
- Menzel, M. Y., S. G. Goets and W. C. Adamson 1983. Some pieces of the African genome Puzzle in *Hibiscus* sect. *Furcaria* (Malvaceae). *Amer. J. Bot.* 70(2): 285 – 297.

- Menzel, M. Y., K. L. Richmond., C. S. Contolini and P. Huang. 1986. New intergenomic híbridos among some Africa diploid species of *Hibiscus* sect. *Furcaria*. *Amer. J. Bot.* 73(2): 304 – 309.
- Menzel, M. Y. and F. D. Wilson. 1966. Híbridos and genome relations of *Hibiscus sabdariffa*, *H. meusei*, *H. radiatus* and *H. acetosella*. *Amer. J. Bot.* 53(3): 270 – 275.
- Moll, R. H. and C. W. Stuber 1971. Quantitative Genetics – empirical results relevant to plan breeding. *Advances in Agronomy* 26: 285 – 287.
- Morton, F. 1987. *Fruits of Warm Climates*, Roselle. Miami, FL. p. 281-286.
- Morton, J. F. 1974. Renewed interest in roselle (*Hibiscus sabdariffa* L.), The Long-forgotten "Florida cranberry". *Proceedings of the Florida State Horticultural Society* 87:415 - 425.
- Mounigam, P.; N. Badrie. 2006. Roselle/sorrel (*Hibiscus sabdariffa* L.) wines with varying calyx puree and total soluble solids: sensory acceptance, quantitative descriptive and physicochemical analysis. *Journal of Foodservice* 17: 102 - 110.
- Mukewar, A. M.; J. S. Zope and P. S. Lahane. 1997. Combining ability analysis in kenaf (*Hibiscus sabdariffa* L.). *Indian J. Genetic and plant breeding* 57(2): 161 – 162.
- Nollet, M.L.L. 1996. *Handbook of Food Análisis*. Vol. I. Marcel Deckerker, Inc. Nueva York, USA.
- Ochse J, J., Joule M. J., Dijkman Jr. y C. Wehlburg. 1980. *Cultivo y Mejoramiento de las Plantas Tropicales*. Tomo II. Traducido, primera edición. Editorial Limusa, México.
- Pal, B. P., H. B. Singh and V. Swarup. 1952. Taxonomic relationships and breeding possibilities of species of *Abelmoschus* related to okra (*H. esculentus*). *Botanical Gazette* 113(4): 455-464.

- Rebolledo R., H. H. 2002. Manual SAS por computadora. Análisis estadísticos de datos experimentales. Editorial Trillas. México.
- Reyes C., P. 1985. Fitogenotecnia Básica y Aplicada. AGT editores. México D. F. pp.159.
- Rieseberg, L. H. and Carney, S. E. 1998. Plant hybridization. *New Phytol*, 140: 599-624.
- Rivas P., R. y P. Barriga B. 2002. Capacidad combinatoria para rendimiento de grano y caracteres de calidad maltera en cebada (*Hordeum vulgare* L.) *Agricultura técnica* 62(3): 347-356.
- Ruiz E., A. Sigarrosa y J. A. Cruz. 2004. Análisis dialélico del rendimiento y sus principales componentes en variedades de calabaza (*Cucúrbita moschata* Duch). *Revista Biológica* 18: 1.
- Ruiz., E. 2002. Los Chatinos producen y exportan jamaica orgánica para abatir la pobreza de la etnia. Folleto CONACULTA.
- Salisbury, F. B. y C. W. Ross. 2002. Fisiología de las Plantas, tomo 2, Bioquímica Vegetal. Editorial Paraninfo. Impreso en España. Pág. 492.
- SEDER, 2005
www.nay.sagarpa.gob.mx/seder/entidades
- Shome A. 1981. X-ray irradiation of excised embryos of mesta (*Hibiscus cannabinus* L. and *Hibiscus sabdariffa* L.). *Theoretical and Applied Genetics* 9 (1): 11-15.
- Shull, G. 1908. The comparison of a field of maize. *Am. Breed. Assoc. Rept.* 4: 296-301.

- Sobhan M. A.; M. Husain. 1986. Inheritance in Roselle (*Hibiscus sabdariffa* L.). Bangladesh J. Agri. 11(4): 9 - 13.
- Solórzano G., R. y Macario C., T. 2002. Estudio de factibilidad del cultivo, procesamiento y comercialización de la rosa de jamaica. ALTERTEC INC. /SEPAGRO S.A. Guatemala.
- Steel, D, R.G.; Torrie, H, J. 1988. Biestadística: Principios y Procedimientos. Segunda Edición. McGraw-Hill/Interamericana de México. México.
- Sprague, G. S. and L. A. Tatum. 1942. General vs. Specific combining ability in single cross of corn. J. Amer. Soc. Agron. 34: 923-932.
- Su, J., A. Chen and J. Lin. 2004. Genetic diversity, evaluation and utilization of kenaf germoplasm in China. Plant fiber and products 26(1): 5-9.
- Suvakanta B.; S. Sunil K.; A. Subhashree; M. Anuradha; R. Gyana R. 2006. Identification and genetic variation among *Hibiscus* species (Malvaceae) using RAPD markers. J. Biosciences 61(1-2): 123-128.
- Tejaswini, R. A. S. And M. S. Sarma. 1995. Heterosis, potence ratio and inbreeding depression in roselle (*Hibiscus sabdariffa* L.). Var. Altissima. Indian J. Genetic and Plant Breeding 55(4): 359 – 361.
- Thirthamallappa R. A. S. 1992. Combining Ability in Roselle (*Hibiscus sabdariffa* L. Var. Altissima). Indian J. Genetic 52(4): 367-368.
- Tsaftaris, S. Athanasios. 1995. Molecular aspects of heterosis in plants. Physiologia Plantarum 94 (2): 362-370.
- Vaidya, K. R. 2000. Natural cross-pollination in roselle, *Hibiscus sabdariffa* L. (Malvaceae). Genetics and Molecular Biology 3(23): 667-669.
- Vaidya, K. R. 1994. An induced female sterile mutant in roselle (*Hibiscus sabdariffa* L.). Brazil. J. Genetics 17(3): 309-311.

- Viana, J., M. S.; C. D. Cruz.; A. M. Cardozo y A. J. Regazzi. 2000. Analysis of variance of partial diallel tables. *Genetics and Molecular Biology* 23: 229-234.
- Viana, J. M. S.; D. Cruz y A. Cardozo. 1999. Theory and analysis of partial diallel crosses. *Genet. Mol. Biol.* 22(4): 591 – 599.
- Walsh, B. 2006. Lectures notes, short course in evolutionary quantitative genetics. University of Arizona. Lecture 6, pp 5.
- Wilson F. D. 1994. The genome biogeography of *Hibiscus* L. Section *Furcaria* DC. *Genetic Resources and Crop Evolution* 41(1): 13 – 25.
- Wilson F. D. and Adamson W. C. 1970. Reaction to the cotton root-knot nematodes and the pollen and seed fertility of kenaf-roselle (*Hibiscus cannabinus* x *Hibiscus sabdariffa*) allohexaploids. *Biomedical and Life Sciences* 19(3): 349-355.
- Wilson F. D. And M. Y. Menzel. 1967. Interspecific hybrids between kenaf (*Hibiscus cannabinus*) and roselle (*Hibiscus sabdariffa*). *Journal: Plant Growth Regulation* 16(1): 33 – 44.
- Zhou, C.; I. Bao-Rong.; S. Sameshima.; F. Da-Xu.; C. Jia-Kuan. 2004. Identification and genetic relationships of kenaf (*Hibiscus cannabinus* L.) germplasm revealed by AFLP analysis. *Genetic Resources and Crop Evolution* 51(4): 393-401.