

Capítulo XI

ANÁLISIS DE LA HETEROSIS Y DE LA HABILIDAD COMBINATORIA ENTRE DIFERENTES CULTIVARES DE TOMATE, *Lycopersicon esculentum*, Mill. A PARTIR DE UN CRUZAMIENTO DIALELICO

Franco Aliro Vallejo Cabrera *

Rodrigo Sanint P. **

Beatriz Adriana Martínez P.**

COMPENDIO

Se analizó la heterosis y la habilidad combinatoria para el carácter producción por planta y sus componentes, a partir de un cruzamiento dialélico (6 progenitores, 15 híbridos F_1 , sin incluir los recíprocos) utilizando el método experimental 2, modelo I propuesto por Griffing (1956). Se encontraron diferencias altamente significativas para los efectos de h.c.g. y de h.c.e. para todos los caracteres estudiados. Los híbridos Motelle x Angela I 5100, Motelle x Zambao y Licapal-21 x Zambao presentaron altos efectos de h.c.e. para el carácter producción por planta. Los anteriores efectos asociados con altas heterobeltiosis hacen que estos híbridos sean promisorios para posterior comercialización.

ABSTRACT

An analysis of heterosis and combining ability of traits related with per plant production was carried out using a diallel crossing between different tomato cultivars, *Lycopersicon esculentum* Mill (six parents and 15 F_1 hybrids from all possible crossing in one direction), according to the methodology proposed by Griffing (1956), selecting experimental method 2, and model I. In the genetic variation of all traits related to per plant production, the general combining ability (additive gene action) and specific combining ability (non-additive gene action) effects participate jointly and in highly significant manner. Hybrids Motelle x Angela I 5200, Motelle x Zambao y Licapal 21 x Zambao, exhibited high s.c.a. effects for the trait per plant production. Former effects related to high heterosis make these hybrids promising for later marketing.

INTRODUCCION

El tomate es un cultivo que ocupa un lugar preponderante entre las hortalizas que se cultivan en el mundo. La necesidad de incrementar la producción por planta radica en la demanda creciente tanto para consumo fresco como para procesos industriales.

Para lograr aumentos en la producción por planta, se deben realizar evaluaciones de progenitores e híbridos respecto a la habilidad combinatoria general y específica para los caracteres agronómicos más importantes.

El análisis de habilidad combinatoria general permite identificar los progenitores con habilidad

para transmitir sus caracteres deseables a la descendencia y la habilidad combinatoria específica permite identificar aquellas combinaciones híbridas F_1 sobresalientes.

Por lo tanto, el presente trabajo tuvo como objetivos los siguientes:

1. Evaluar la heterosis promedio, relativa y heterobeltiosis de los diferentes caracteres, relacionados con la producción en una población compuesta de quince híbridos de tomate, provenientes de un cruzamiento dialélico de seis progenitores.

* Ph.D., Profesor Titular. Universidad Nacional de Colombia, Sede Palmira.

** Estudiante de Pregrado. Universidad Nacional de Colombia, Sede Palmira.

2. Evaluar la habilidad combinatoria general de los progenitores.
3. Evaluar la habilidad combinatoria específica de los híbridos resultantes.

PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL

LINEAS PARENTALES

Se seleccionaron 6 líneas endocriadas: Motelle, Angela I 5100, Olho Roxo, Raminho, Licapal 21 y Zambao.

- **Motelle:** Introducción del INRA, Francia, de fruto plurilocular, con resistencia múltiple a *Verticillium* (Ve), *Fusarium* raza 1 y 2 (I₁, I₂), *Stemphylium* (Sm) y a los nemátodos *Meloidogyne javanica* y *Meloidogyne incognita*.
- **Angela I - 5100:** Variedad del grupo Santa Cruz, desarrollada en el Instituto Agronómico de Campinas, Brasil, frutos predominantemente triloculares, con peso promedio de 130 gramos, coloración uniforme, ápice cóncavo y con buena resistencia al transporte. Posee resistencia al virus Y, *Fusarium* raza 1 y a *Stemphylium solani*.
- **Olho Roxo:** Selección efectuada por el Instituto Pernambucano Agropecuario, Brasil. Es un cultivar experimental obtenido a partir de selección practicada en la población Olho Roxo, cultivada y mantenida por los agricultores de Pernambuco, Brasil. Se destaca por la resistencia a *Stemphylium* y por la forma y tamaño del fruto (120-150 gramos).
- **Raminho:** Selección practicada por el Instituto Pernambucano Agropecuario, Brasil en la población local de su mismo nombre. Los frutos se caracterizan por la coloración verde pálida y por su uniformidad, siendo predominantemente biloculares y de forma ovalada, con peso promedio de 100 gramos. Es resistente a *Stemphylium* y su maduración es tardía.

- **Licapal:** Variedad producida por el ICA, Colombia. Es una selección individual por el rendimiento, hecha a partir de la población local "Chonto mata verde". Los frutos son pequeños (70 gramos) con dos o tres lóculos y de forma redonda.
- **Zambao:** Material colectado en 1976, en Indaiatuba, Brasil. Los frutos son de tipo Santa Cruz, con peso entre 100 y 200 gramos.

MATERIAL F₁

Se hicieron todos los cruzamientos posibles sin incluir los recíprocos, Se formaron 15 cruzamientos, bajo condiciones de casa de mallas.

DISEÑO EXPERIMENTAL

Las líneas parentales y las F₁ se sembraron en condiciones de campo, utilizando un diseño experimental de bloques al azar con cuatro repeticiones. La parcela experimental estuvo constituida por un surco doble de 1.8 m de longitud con 6 plantas en total y 4 plantas útiles. La distancia de siembra fue de 1.2 m entre surcos y 0.6 m entre plantas. El experimento tuvo un manejo similar a un cultivo comercial de tomate.

CARACTERES EVALUADOS

Se evaluaron los caracteres producción por planta, número de frutos por planta y peso promedio de fruto.

ANALISIS GENETICO ESTADISTICO

Se estimó la heterosis promedio para cada carácter, utilizando los promedios parentales (P) y los promedios de cada progenitor en los cruzamientos donde intervino (C). La heterosis relativa (HR) se obtuvo con base en el promedio de los progenitores y la heterobeltiosis (HB) con base en el progenitor de mejor comportamiento.

El análisis estadístico genético se efectuó siguiendo la metodología propuesta por Griffing (1956), para estimar habilidad combinatoria

general y específica, escogiendo el método experimental 2, donde se incluyen los padres y los híbridos F_1 , sin incluir los recíprocos y el modelo I, donde los progenitores fueron escogidos deliberadamente.

RESULTADOS Y DISCUSION

HETEROSIS

Heterosis para el caracter producción por planta

El caracter producción por planta presentó heterosis promedia positiva pero relativamente baja (7.34%). Los híbridos que exhibieron mayor heterobeltiosis fueron Motelle x Angela I 5100 (145.02%), Motelle x Zambao (130.01%) y Motelle x Raminho (115.78%) (Cuadros 1 y 2).

Heterosis para el caracter número de frutos por planta

El caracter número de frutos por planta presentó heterosis promedia positiva y relativamente alta (16.5%). Los híbridos que exhibieron mayor heterobeltiosis fueron Motelle x Angela I 5100 (126.36%). Angela I 5100 x Raminho (128.21%) y Olho Roxo x Raminho (120.43%) (Cuadros 1 y 3).

Heterosis para el caracter peso promedio de fruto

El caracter peso promedio de fruto presentó heterosis promedia negativa (-8.26%). El único híbrido que exhibió heterobeltiosis positiva fue Licapal-21 x Zambao (105.9%) (Cuadros 1 y 4).

Cuadro 1. Promedio parental (P), promedio de cada progenitor en los cruzamientos donde intervino (C) y heterosis promedia para los caracteres producción por planta (X_1), número de frutos por planta (X_2) y peso promedio de frutos (X_3)

Progenitores		X_1		X_2		X_3	
		P	C	P	C	P	C
Motelle	(1)	8.007.50	10051.21	108.21	119.51	72.32	83.20
Angela 1 5100	(2)	8437.50	9724.62	88.93	113.38	95.82	87.01
Olho Roxo	(3)	9353.50	9609.87	75.62	104.89	125.54	89.28
Raminho	(4)	8966.25	9461.25	90.81	118.27	97.91	80.64
Licapal 21	(5)	9521.87	9211.12	122.68	112.41	78.43	82.92
Zambao	(6)	7996.25	8958.75	98.50	113.12	85.02	86.29
Promedio		8697.08	9335.96	97.46	113.54	92.51	84.46
Heterosis promedia (%)			7.34		16.50		-8.26

Cuadro 2. Heterosis relativa (HR) y heterobeltois (HB) para el carácter producción por planta, en híbridos de tomate.

	Heterosis %	Angela I 5100 (2)	Olho Roxo (3)	Raminho (4)	Licapal 21 (5)	Zambao (6)
Motelle (1)	H.R.	148.80	99.00	121.67	99.75	130.10
	H.B.	145.02	91.95	115.78	91.82	130.01
Angela I 5100 (2)	H.R.		130.20	113.75	98.15	107.72
	H.B.		98.15	111.00	92.52	104.90
Olho Roxo (3)	H.R.			100.13	101.10	70.64
	H.B.			97.52	101.12	70.64
Raminho (4)	H.R.				90.53	107.60
	H.B.				95.14	102.38
Licapal 21 (5)	H.R.					113.10
	H.B.					104.03

Cuadro 3 Heterosis relativa (HR) y heterobeltois (HB) para el carácter número de frutos por planta en híbridos de tomate.

	Heterosis %	Angela I 5100 (2)	Olho Roxo (3)	Raminho (4)	Licapal 21 (5)
Motelle (1)	H.R.	145.84	106.26	129.99	91.36
	H.B.	126.36	90.06	119.24	86.19
Angela I 5100 (2)	H.R.	123.27	129.55	103.65	
	H.B.	114.05	128.21	89.40	
Olho Roxo (3)	H.R.		131.42	104.19	
	H.B.		120.43	84.21	
Raminho (4)	H.R.			118.26	
	H.B.			102.91	
Licapal 21 (5)	H.R.				
	H.B.				

CUADRO 4. Heterosis relativa (HR) y heterobeltosis (HB) para el carácter peso promedio de frutos en híbridos de tomate.

	Heterosis %	Angela I 5100 (2)	Olho Roxo (3)	Raminho (4)	Licapal 21 (5)	Zambao (6)
Motelle (1)	H.R.	107.02	89.06	90.14	103.76	105.45
	H.B.	93.90	70.18	78.36	99.73	97.57
Angela I 5100 (2)	H.R.		82.26	89.66	82.17	96.08
	H.B.		72.52	88.07	83.01	90.67
Olho Roxo (3)	H.R.			75.36	92.51	84.27
	H.B.			67.07	75.15	70.67
Raminho (4)	H.R.				81.30	90.58
	H.B.				73.22	84.61
Licapal 21 (5)	H.R.					110.16
	H.B.					105.90

HABILIDAD COMBINATORIA

Los cuadrados medios del análisis de varianza, a nivel individual, para los diferentes caracteres, presentaron diferencias altamente significativas, indicando la variabilidad existente entre los genotipos (líneas e híbridos) cuando se les compara con base en los fenotipos expresados (Cuadro 5).

Los valores de los coeficientes de variación (CV) para los diferentes caracteres fueron relativamente bajos, indicando la alta confiabilidad de los datos obtenidos en el trabajo de campo (Cuadro 5).

En el análisis de varianza de la habilidad combinatoria, se presentaron diferencias significativas al nivel del 1% de probabilidad en los cuadrados medios de los diferentes caracteres, tanto para habilidad combinatoria general como para la específica (Cuadro 6). Estos resultados señalan que en la variación genética participan conjunta

mente los efectos de h.c.g (acción génica aditiva) y los efectos de h.c.e (acción génica no aditiva). Lo anterior permite planificar futuros programas de mejoramiento, ya sea para la obtención de líneas superiores, aprovechando la herencia transgresiva en las diferentes generaciones segregantes originadas a partir de los híbridos F₁, o aprovechando la acción génica no aditiva, evaluando los híbridos con mejores posibilidades para una futura comercialización.

A pesar de que ambos tipos de habilidad combinatoria contribuyeron significativamente en la variación genética de los diferentes caracteres evaluados: El componente de varianza debido a la h.c.e ($1/15\sum_i \sum_j S_{ij}^2$) contribuyó más a la variación genética al ser mayor que los componentes de varianza debido a la h.c.g ($1/5\sum G_i^2$) y al ambiente (σ^2).

CUADRO 5 Valores y significancias de los cuadrados medios y coeficientes de variación (CV) del análisis de varianza, a nivel individual, para los caracteres producción por planta (X_1), número de frutos por planta (X_2) y peso promedio de fruto (X_3).

Fuentes de Variación	Grados de Libertad	Cuadrados medios (CM)		
		X_1	X_2	X_3
Genotipo	20	13695888.90**	3491.44**	2.054.44**
Bloques	3	17362904.70	904.48	810.54
Genotipos por bloques	60	3842.598.70	439.69	134.42
Plantas por Parcela	252	2232650.90	357.95	112.92
TOTAL	335			
C.V. %		16.06	17.32	12.25

CUADRO 6 Valores y significancias de los cuadrados medios de habilidad combinatoria y componentes de varianza basados en los valores promedios de los caracteres producción por planta (X_1), número de frutos por planta (X_2) y peso promedio de fruto (X_3)

Fuentes de Variación	Grados de Libertad	Cuadrados medios (CM)		
		X_1	X_2	X_3
H.C.G.	5	649 307.30**	313.98**	301.71**
H.C.E.	15	1391 540.60**	184.56**	70.82**
Residuo	252	139 540.60	22.37	7.06
TOTAL	272			

COMPONENTES DE VARIANZA

$1/5 \sum Gi^2$	318 604.14	36.45	36.83
$1/15 \sum_i \sum_j Sij^2$	1251 531.30	162.19	63.76
σ^2	139 540.60	22.37	7.06

** Significancia al nivel del 1% de probabilidad
 n.s. No significativo al nivel del 1% de probabilidad

CUADRO 7 Valores de los efectos de habilidad combinatoria general (\hat{G}_i) para los caracteres producción por planta (X_1), número de frutos por planta (X_2) y peso promedio de fruto (X_3).

Habilidad Combinatoria	C A R A C T E R E S		
	X_1	X_2	X_3
General (\hat{G}_i)			
Motelle (\hat{G}_1)	268.33	6.32	-6.09
Angela I 5100 (\hat{G}_2)	209.27	- 2.25	2.17
Olho Roxo (\hat{G}_3)	-296.67	-10.00	11.02
Raminho (\hat{G}_4)	114.35	1.27	-1.39
Licapal 21 (\hat{G}_5)	121.93	5.57	-4.73
Zambao (\hat{G}_6)	-417.21	- 0.025	-0.98
ERROR STANDAR			
$S (\hat{G}_i - \hat{G}_j)$	187.77	2.36	1.32

Análisis del caracter producción por planta

Las variedades Motelle, Angela I 5100, Raminho y Licapal 21, además de presentar alta producción por planta, presentaron los mayores efectos positivos de h.c.g (Cuadro 7), lo cual las convierte en buenos progenitores para un programa de mejoramiento que busque producir líneas mejoradas porque harían manifestar su alta producción por planta en sus progenies segregantes.

Con relación a los estimativos de las varianzas de los efectos de h.c.g. (σG_i^2), para el caracter producción por planta, el menor valor correspondió al progenitor Angela I 5100 (Cuadro 8)

indicando que este material transmite uniformemente el caracter producción por planta a sus progenies.

La varianza ambiental presentó igual magnitud para todos los progenitores y para todos los caracteres evaluados (Cuadro 9). La varianza ambiental con base individual superó a la varianza ambiental con base en el promedio de todos los caracteres ya que la primera varianza tiene en cuenta el número de plantas por parcela.

Los híbridos Motelle x Angela I 5100, Motelle x Zambao, Licapal X Zambao y Motelle x Raminho, presentaron altos efectos de h.c.e. para el caracter producción por planta Cuadro 10

CUADRO 8 Estimativos de varianza de los efectos habilidad combinatoria general ($\sigma\hat{G}i^2$) asociados con cada progenitor para los caracteres producción por planta (X_1), número de frutos por planta (X_2) y peso promedio de fruto (X_3).

$(\sigma\hat{G}i^2)$	C A R A C T E R E S		
	X_1	X_2	X_3
Motelle ($\sigma\hat{G}1^2$)	268.33	6.32	-6.09
Angela I 5100 ($\sigma\hat{G}2^2$)	209.27	- 2.25	2.17
Alho Roxo ($\sigma\hat{G}3^2$)	-296.67	-10.00	11.02
Raminiho ($\sigma\hat{G}4^2$)	114.35	1.27	-1.39
Licapal 21 ($\sigma\hat{G}5^2$)	121.93	5.57	-4.73
Zambao ($\sigma\hat{G}6^2$)	-417.21	- 0.025	-0.98

CUADRO 9 Estimativos de las varianzas ambientales con base individual ($\hat{\sigma}e^2$) y con base a la media ($\hat{\sigma}^2$), para los caracteres producción por planta (X_1), número de frutos por planta (X_2) y peso promedio de fruto (X_3).

$(\sigma\hat{G}i^2)$	C A R A C T E R E S		
	X_1	X_2	X_3
$\hat{\sigma}e^2$	2232650.90	357.90	112.92
$\hat{\sigma}^2$	139540.60	22.30	7.06

CUADRO 10 Estimativos de los efectos de habilidad combinatoria específica (\hat{S}_{ij}) para los caracteres de producción por planta (X_1), número de frutos por planta (X_2) y peso promedio de fruto (X_3).

\hat{S}_{ij}	CARACTERES		
	X_1	X_2	X_3
$\hat{S}_{1,2}$	2 597.45	24.46	6.85
$\hat{S}_{1,3}$	- 531.61	- 6.40	-3.88
$\hat{S}_{1,4}$	722.45	13.18	- 2.84
$\hat{S}_{1,5}$	807.70	-15.11	1.98
$\hat{S}_{1,6}$	1 398.93	9.49	2.97
$\hat{S}_{2,3}$	107.46	5.60	- 9.20
$\hat{S}_{2,4}$	357.68	8.45	0.97
$\hat{S}_{2,5}$	- 678.01	- 2.61	- 4.18
$\hat{S}_{2,6}$	- 101.37	- 4.82	- 1.36
$\hat{S}_{3,4}$	143.62	15.63	-12.47
$\hat{S}_{3,5}$	547.30	- 0.35	3.50
$\hat{S}_{3,6}$	-1838.56	14.30	- 8.37
$\hat{S}_{4,5}$	- 337.47	10.44	9.23
$\hat{S}_{4,6}$	159.80	- 0.65	- 1.82
$\hat{S}_{5,6}$	1 040.97	2.54	8.70
ERROR STANDAR			
$(\hat{S}_{ij}-\hat{S}_{ik})$	494.16	6.26	3.51
$(\hat{S}_{ij}-\hat{S}_{kj})$	457.51	5.69	3.25

Los anteriores efectos asociados con las altas heterobeltiosis hacen que estos híbridos sean promisorios para posterior comercialización.

Con relación a las varianzas de los efectos de h.c.e. el progenitor Raminho presentó el menor valor; indicando uniformidad en la transmisión de este carácter a sus combinaciones híbridas (Cuadro 11).

Análisis del carácter número de frutos por planta

Las variedades Motelle, Licapal-21 y Ramiho, presentaron los mayores efectos de h.c.g. positivos para el carácter número de frutos por planta (Cuadro 7), lo cual los convierte en buenos

progenitores para incrementar éste carácter dentro de los programas de mejoramiento. Las variedades Angela I 5100, Olho Roxo y Zambao exhibieron efectos negativos de h.c.g. El progenitor Angela I 5100 presentó un valor relativamente bajo de varianza del efecto de h.c.g. (Cuadro 8), lo cual confirma la habilidad para transmitir uniformemente este carácter sus progenies.

Los híbridos Motelle x Angela I 5100, Olho Roxo x Raminho y Olho Roxo x Zambao, presentaron los mayores efectos de h.c.e. para el carácter número de frutos por planta, (Cuadro 10) confirmando su significativa heterobeltiosis: 126.36%, 120.43% y 114.08%, respectivamente.

CUADRO 11 Estimativos de la varianza de los efectos de habilidad combinatoria específica ($\sigma\hat{S}_{ij}^2$) asociados con cada progenitor para los caracteres de producción por planta (X_1), número de frutos por planta (X_2) y peso promedio de fruto (X_3).

\hat{S}_{ij}	CARACTERES		
	X_1	X_2	X_3
Motelle ($\sigma\hat{G}_{ij}^2$)	268.33	6.32	-6.09
Angela I 5100 ($\sigma\hat{G}_{ij}^2$)	209.27	- 2.25	2.17
Alho Roxo ($\sigma\hat{G}_{ij}^2$)	-296.67	-10.00	11.02
Raminiho ($\sigma\hat{G}_{ij}^2$)	114.35	1.27	-1.39
Licapal 21 ($\sigma\hat{G}_{ij}^2$)	121.93	5.57	-4.73
Zambao ($\sigma\hat{G}_{ij}^2$)	-417.21	- 0.025	-0.98

Análisis para el caracter peso promedio de fruto

Se destacaron las variedades Olho Roxo y Angela I 5100 por presentar valores promedios altos para el caracter peso promedio de fruto. Además presentaron los mayores efectos de h.c.g. positivos (Cuadro 7), lo cual los convierte en buenos progenitores para un programa de mejoramiento que busque incrementar este caracter.

Los progenitores con valores negativos para los efectos de h.c.g. (G_j) para el caracter peso promedio de fruto, presentaron efectos de h.c.g. positivos para el caracter número de frutos por planta, a excepción del progenitor Zambao.

Las varianzas más bajas de los efectos de h.c.g. correspondieron a los progenitores Raminho y Licapal (Cuadro 8) pues sus desviaciones estándar no superaron el 50% del valor de sus respectivos efectos de h.c.g.; por lo tanto estos dos progenitores transmitirán en forma muy uniforme el caracter peso promedio de fruto a sus progenies.

Sólo 6 híbridos presentaron efectos positivos de h.c.e. (S_j) para el caracter peso promedio de frutos. Los valores mas altos corresponden a los híbridos Raminho x Licapal-21 (9.23), Licapal 21 x Zambao (8.7), Olho Roxo x Licapal 21 (3.5) y Motelle x Zambao (2.97) (Cuadro 19). Sin embargo, los híbridos Licapal 21 x Zambao y Motelle x Zambao revisten mayor importancia al presentar heterosis alta y efectos de h.c.e. positivos para producción por planta.

BIBLIOGRAFIA

- ALVARADO, P. y CORTAZAR, R. Capacidad combinatoria en cruzamientos dialélicos de tomate. *Agricultura Técnica*. Vol. 32, No. 2 (1972); p. 65-70.
- ALLARD, R. Principios de la mejora genética de las plantas. Trad. José Montoya. 2 ed. Barcelona : Omega, 1975. 498 p.
- BABU, R. Y. Studies on heterosis in tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill). *Mysore Journal of Agricultural Sciences*. Vol. 12, No. 4 (1978); p. 675-677.
- ESTRADA S.,E.I. Evaluación de cruzamientos dialélicos en tomate, (*Lycopersicon esculentum* Mill). Tesis (Magister Scientiae). Bogotá, 1984. 99 p. Universidad Nacional de Colombia; Instituto Colombiano Agropecuario.
- FALCONER, D.S. Introducción a la genética cuantitativa. México : Continental, 1977. 340 p.
- GRIFFING, B. Concept of general and specific combining ability in relation to diallelic crossing systems. *Australian Journal of Biological Science*. Vol. 9, No. 4 (1956); p. 467-493.
- LOBO, M. Heterosis y habilidad combinatoria en tomate, *Lycopersicon esculentum* Mill. *Revista ICA*. Vol. 10, No. 1 (1973); p. 11-18.
- SALVIOLI, R. y MARTIN, G. Aptitud combinatoria en tomate. *Revista Agronómica Nordeste Argentina*. Vol. 6, No. 1/2 (1967); p. 73-93.