

Características de
compatibilidad sexual
de algunos clones de cacao y su
aplicación en siembras comerciales



Compañía Nacional de Chocolates



Compañía Nacional de Chocolates

Características de
compatibilidad sexual
de algunos clones de cacao
y su aplicación en siembras comerciales

S. Cadavid – Vélez

Director Área de Fomento, Nacional de Chocolates S. A. e-mail: scadavid@chocolates.com.co

Presentación

Los expertos consideran que Colombia es uno de los santuarios de diversidad genética del cacao. Aunque la planta fue domesticada por los indígenas muchos siglos antes de que los españoles pisaran el suelo americano, los historiadores reconocen que esta especie se ha explotado en forma comercial en la mayoría de las regiones tropicales de América Central, América del Sur e islas del Mar Caribe desde finales del siglo XVI.

En el país hoy se cultivan más de 90.000 hectáreas de cacao y su producción fue de apenas 36.000 toneladas métricas en el año 2005. Quiere decir que nuestros rendimientos son sensiblemente bajos, del orden de los 400 kilogramos por hectárea, que hacen que la producción no alcance a cubrir las necesidades de la industria nacional y mucho menos invite al desarrollo de una estrategia de mercadeo hacia el exterior. La situación se debe a varios factores, entre ellos el más importante, la incapacidad de los árboles para fecundarse a sí mismos ó entre ellos, fenómeno que se conoce con el nombre de INCOMPATIBILIDAD SEXUAL, el cual ocurre con alta frecuencia en los cultivos híbridos y clonados.

La **Compañía Nacional de Chocolates S.A.** consciente de la necesidad de aportar soluciones para mejorar la productividad y hacer del cacao en Colombia un cultivo verdaderamente competitivo, realizó con sus propios expertos trabajos de investigación sobre la compatibilidad sexual de las especies comerciales más utilizadas en el campo, además de actualizar los estudios e informaciones disponibles en la materia; trabajo que tomó más de tres años continuos en concluir.

La Compañía entrega hoy con mucho orgullo y optimismo en esta edición los principales resultados de dicho estudio a técnicos y agricultores del país, con el convencimiento de que con una acertada aplicación a las nuevas siembras, dará los frutos esperados por todos, aportando así más elementos al acuerdo de competitividad de la cadena cacao – chocolate, el cual cuenta con el compromiso del Gobierno Nacional y todos los eslabones de la cadena.

El libro a medida que describe sus hallazgos y aplicaciones, permite a quien lo lee, ver el trabajo responsable y científico de un equipo humano emprendedor y maravilloso, que cree en el potencial de su país.

Sol Beatriz Arango M
Presidente
Compañía Nacional de Chocolates

Introducción

Entre los factores que determinan la producción de la especie cacao (*Theobroma cacao* L.), se pueden mencionar los de naturaleza ecológica (clima y suelos), genética (precocidad, productividad y calidad), agronómica y de manejo.

La productividad en las plantas de valor comercial por sus semillas, está asociada al potencial genético y al carácter de compatibilidad del material de siembra (clones o semilla sexual).

El cacao es una planta que presenta el fenómeno de incompatibilidad sexual y que se manifiesta cuando el polen de una flor de una planta no consigue fecundar los óvulos de las flores de la misma planta, carácter de autoincompatibilidad, o cuando el polen de la flor de una planta no consigue fecundar los óvulos de las flores de otras plantas, carácter de interincompatibilidad.

La incompatibilidad en cacao es de tipo esporofítico, o sea que se debe a la interacción entre el genoma de la planta donadora de polen ($2n$) y el genoma del pistilo ($2n$). Knight y Rogers en 1953, citados por Enríquez (1985), indican que en este mecanismo está involucrado un locus simple con cinco alelos múltiples y con el siguiente grado de dominancia: $S_1 > S_2 = S_3 > S_4 > S_5$. Posteriormente, Cope citado por Enríquez (1985), propuso un sexto alelo S_6 , recesivo a los otros, independiente pero complementario y que tiene relación con la formación de un precursor de incompatibilidad.

El citoplasma asociado con los gametos masculino y femenino contiene un precursor de incompatibilidad que es grabado por el alelo dominante **S** antes de la meiosis (control esporofítico), de tal manera que al conjugarse el alelo dominante **S** determina la no fusión (25%). En el caso de alelos independientes ($S_2 = S_3$), el precursor tiene grabaciones específicas y al conjugarse alelos similares determina la no fusión (50%). Cuando ocurre la no fusión del 100% de los óvulos, se presume la existencia de un genotipo homocigótico para el alelo **S**. Se considera otra hipótesis que presume la existencia de dos loci que exhiben dominancia y recesividad, **A** y **B**, con acción complementaria. Cuando uno o ambos loci son homocigóticos recesivos el precursor no puede ser grabado por los alelos **S** en el genotipo el cual es autocompatible independiente de los alelos **S** (Toxopeus, 1969).

Es indispensable conocer el grado de compatibilidad de los clones que se están empleando en las siembras comerciales de cacao, pues con un arreglo apropiado de éstos en el campo se puede superar una de las mayores barreras que limita la expresión del potencial de rendimiento del cultivo.



Metodología

El trabajo de campo se realizó en parcelas de árboles donados, de 4 a 7 años de edad, pertenecientes a las fincas "San Pedro", "San Agustín", "Mirabel", "El Cerrito", "Chimitá", "Vivero La Granja" y "Villa Isabel", del municipio de San Vicente de Chucurí, departamento de Santander del Sur, y en la Granja "La Nacional" de la Compañía Nacional de Chocolates en el municipio de Támesis, departamento de Antioquia, situadas a una altura de 700 – 1150 m.sn.m., con una temperatura media de 23-25^o C, lluvia anual de 1800- 2400 mm. y humedad relativa media del 75%.

Se emplearon los clones comerciales de mayor interés y disponibilidad de material de siembra y algunas selecciones locales promisorias en Colombia, en el siguiente orden:

1. CAP-34 (Comercial Agrícola Pechichal)
2. CAUC-39 (Caucasia, selección de la Compañía Nacional de Chocolates)
3. CAUC-43 (Caucasia, selección de la Compañía Nacional de Chocolates)
4. CCN-51 (Colección Castro Naranjal)
5. EET-8 (Estación Experimental Tropical)
6. FLE-3 (Fedecacao Lebrija)
7. FLO-302 (Florida)
8. ICS-1 (Imperial College Selection)
9. ICS-39 (Imperial College Selection)
10. ICS-60 (Imperial College Selection)



Fig. 1



Fig. 2

11. ICS-95 (Imperial College Selection)
12. IMC-67 (Iquitos Mixed Calabacillo)
13. SC-6 (Selección Colombia)
14. SCC-59 (Selección Colombia Corpoica)
15. SCC-61 (Selección Colombia Corpoica)
16. TSH-565 (Trinidad Selection Hybrid)

Se empleó el método de polinización convencional (Martins-Pinto et al., 1998). En las horas de la tarde se escogieron 50-60 botones florales próximos a abrir, rollizos, y se taparon con tubos plásticos para ser polinizados al día siguiente (Figs. 1 y 2). En la mañana del día siguiente se colectaron las flores frescas donadoras de polen (paternas) y se colocaron en una vasija apropiada. Se retiraron los tubos que protegían las flores receptoras de polen (maternas). Para facilitar la polinización e identificación de la flor polinizada, con una pinza se extirparon los estaminodios de la flor receptora. Igualmente,

con una pinza se observó si la antera de la flor paterna soltaba polen. En este caso se procedió a colocar el polen frotando directamente la antera sobre el estigma de la flor receptora, verificándose su adherencia. Nuevamente se taparon las flores polinizadas con tubos plásticos y se identificaron los cruzamientos con alfileres de colores. Después de 24 horas se retiraron los tubos plásticos.

Las polinizaciones, observaciones y registros se ejecutaron entre comienzos del año 2003 y mediados del año 2005.

Salvo unos pocos casos, se hicieron 40 polinizaciones por cruzamiento. Se registraron las flores fecundadas a los 3, 15 y 30 días y se tomó como índice de prendimiento el porcentaje de frutos sobrevivientes a los 15 días (Fig. 3), a pesar de que naturalmente se considera que cuando no hay fecundación las flores se caen tres a cuatro días después de la polinización.

Aunque en general se considera que el carácter de compatibilidad se expresa con el 10% de éxito en las polinizaciones, para el presente estudio se tomó un índice del 20% con el fin de ser más rigurosos en su apreciación.

Para determinar los caracteres de autocompatibilidad, compatibilidad general, compatibilidad materna y compatibilidad paterna se hicieron autopolinizaciones y polinizaciones cruzadas entre los clones de mayor interés en Colombia.



Fig. 3



Resultados y discusión

En el Cuadro No.1 aparecen los datos del número de flores polinizadas, fecundadas a los 3, 15 y 30 días, el porcentaje de prendimiento y el carácter de compatibilidad resultante de las autopolinizaciones de los diez y seis clones considerados en el estudio. Nuevamente se corrobora la autocompatibilidad de los clones CCN-51, ICS-1 e ICS-95 y la autoincompatibilidad de los clones CAP-34, EET-8, ICS-39, ICS-60, IMC-67, SC-6, SCC-59, SCC-61 y TSH-565 entre otros. La autoincompatibilidad de los clones CAUC-39 y CAUC-43 puede deberse a la naturaleza autoincompatible de sus progenitores pues son selecciones del cruce de IMC-67 x PA-46 o su recíproco.

10

CRUZAMIENTO	POL ¹	No. DE FLORES			% PREND. ²	CARACTER ³
		FECUNDADAS				
		3 DÍAS	15 DÍAS	30 DÍAS		
CAP-34 x CAP-34	40	0	0	0	0	AI
CAUC-39 x CAUC-39	35	20	0	0	0	AI
CAUC-43 x CAUC-43	40	8	0	0	0	AI
CCN-51 x CCN-51	40	34	25	16	62.5	AC
EET-8 x EET-8	40	33	1	0	2.5	AI
FLE-3 x FLE-3	40	14	3	3	7.5	AI
FLO-302 x FLO-302	40	0	0	0	0	AI
ICS-1 x ICS-1	40	38	38	38	95	AC
ICS-39 x ICS-39	40	11	1	0	2.5	AI
ICS-60 x ICS-60	40	8	1	0	2.5	AI
ICS-95 x ICS-95	40	37	34	33	85	AC
IMC-67 x IMC-67	40	0	0	0	0	AI
SC-6 x SC-6	40	20	5	2	12.5	AI
SCC-59 x SCC-59	40	0	0	0	0	AI
SCC-61 x SCC-61	36	32	1	1	2.5	AI
TSH-565 x TSH-565	40	25	1	0	2.5	AI

1. POL.: Polinizadas 2. Prend.: Prendimiento 3. AC: Autocompatible AI: Autoincompatible

Cuadro No.1. Número de flores polinizadas, fecundadas, porcentaje de prendimiento y carácter de compatibilidad de diez y seis clones de cacao autopolinizados.

En el Cuadro No. 2 se consignan los datos de la compatibilidad sexual del don CCN-51 con diez clones probados y sus recíprocos. El don CCN-51 exhibe compatibilidad únicamente con los clones ICS-95, IMC-67 y SCC-61; es compatible como madre con el don SCC-59 y tiene compatibilidad paterna con los clones ICS-1, ICS-39, ICS-60, SC-6 y TSH-565. Como el polen de los clones EET-8, ICS-1, ICS-39, ICS-60, SC-6 y TSH-565 no tiene éxito en fecundar las ovocélulas del saco embrionario del CCN-51, significa que su genotipo comparte alguno de los alelos **S** presentes en el pistilo del CCN-51 expresando el carácter de incompatibilidad.

CRUZAMIENTO	No. DE FLORES				% PREND. ²	CARACTER ³
	POL ¹	FECUNDADAS				
		3 DÍAS	15 DÍAS	30 DÍAS		
CCN-51 x EET-8	40	3	2	1	5	I
EET-8 x CCN-51	40	24	17	17	42.5	C
CCN-51 x ICS-1	40	8	6	6	15	I
ICS-1 x CCN-51	40	34	27	22	67.5	C
CCN-51 x ICS-39	40	0	0	0	0	I
ICS-39 x CCN-51	40	32	29	29	72.5	C
CCN-51 x ICS-60	40	6	2	2	5	I
ICS-60 x CCN-51	40	31	28	23	70	C
CCN-51 x ICS-95	40	8	8	7	20	C
ICS-95 x CCN-51	40	18	11	11	27.5	C
CCN-51 x IMC-67	40	23	18	14	45	C
IMC-67 x CCN-51	40	27	21	21	52.5	C
CCN-51 x SC-6	40	22	5	4	12.5	I
SC-6 x CCN-51	40	29	28	24	70	C
CCN-51 x SCC-59	40	20	18	16	45	C
SCC-59 x CCN-51	40	12	6	6	15	I
CCN-51 x SCC-61	40	24	17	13	42.5	C
SCC-61 x CCN-51	40	32	26	24	65	C
CCN-51 x TSH-565	40	10	7	7	17.5	I
TSH-565 x CCN-51	40	39	30	28	75	C

1. POL.: Polinizadas 2. Prend.: Prendimiento 3. C: Compatible I: Incompatible

Cuadro No.2. Número de flores polinizadas, fecundadas, porcentaje de prendimiento y carácter de compatibilidad resultante de la polinización cruzada del don CCN-51 con diez clones y sus recíprocos.

En el Cuadro No. 3 se presentan los datos correspondientes a la compatibilidad sexual del don EET-8 con diez clones probados y sus recíprocos. Este don muestra una compatibilidad general con los clones ICS-95, IMC-67 y TSH-565. Y es incompatible con los clones ICS-39, ICS-60, SC-6, SCC-59 y SCC-61. Es un don que puede combinarse sin restricciones con ICS-95, IMC-67 y TSH-565

CRUZAMIENTO	POL ¹	No. DE FLORES			% PREND. ²	CARACTER ³
		FECUNDADAS				
		3 DÍAS	15 DÍAS	30 DÍAS		
EET-8 x CCN-51	40	24	17	17	42.5	C
CCN-51 x EET-8	40	3	2	1	5	I
EET-8 x ICS-1	40	3	1	1	2.5	I
ICS-1 x EET-8	40	8	2	1	5	I
EET-8 x ICS-39	40	20	0	0	0	I
ICS-39 x EET-8	40	32	0	0	0	I
EET-8 x ICS-60	40	29	2	2	5	I
ICS-60 x EET-8	40	7	0	0	0	I
EET-8 x ICS-95	40	19	8	8	20	C
ICS-95 x EET-8	40	38	34	23	57.5	C
EET-8 x IMC-67	40	27	24	24	60	C
IMC-67 x EET-8	40	16	11	10	27.5	C
EET-8 x SC-6	40	21	5	0	12.5	I
SC-6 x EET-8	40	8	0	0	0	I
EET-8 x SCC-59	40	27	5	1	12.5	I
SCC-59 x EET-8	40	7	6	5	15	I
EET-8 x SCC-61	40	40	0	0	0	I
SCC-61 x EET-8	40	5	0	0	0	I
EET-8 x TSH-565	40	36	34	32	85	C
TSH-565 x EET-8	40	37	31	31	77.5	C

1. POL.: Polinizadas 2. Prend.: Prendimiento 3. C. Compatible I: Incompatible

Cuadro No. 3. Número de flores polinizadas, fecundadas, porcentaje de prendimiento y carácter de compatibilidad de la polinización cruzada del don EET-8 con diez clones y sus recíprocos.

En el Cuadro No. 4 se muestran los datos de la compatibilidad sexual del don ICS-1 con diez clones y sus recíprocos. Se puede observar que este don tiene compatibilidad general con los clones ICS-39, ICS-60, IMC-67, SCC-59 y TSH-565; incompatibilidad materna con los clones ICS-95 y SC-6 e incompatibilidad paterna con los clones CCN-51 y SCC-61. Esto significa que el don ICS-1, además de ser autocompatible, tiene pocas restricciones de compatibilidad con otros clones. Es un don excelente para situarlo al lado del ICS-60.

CRUZAMIENTO	No. DE FLORES				% PREND. ²	CARACTER ³
	POL ¹	FECUNDADAS				
		3 DÍAS	15 DÍAS	30 DÍAS		
ICS-1 x CCN-51	40	34	27	22	67.5	C
CCN-51 x ICS-1	40	8	6	6	15	I
ICS-1 x EET-8	40	8	2	1	5	I
EET-8 x ICS-1	40	3	1	1	2.5	I
ICS-1 x ICS-39	40	26	18	14	45	C
ICS-39 x ICS-1	40	24	22	22	55	C
ICS-1 x ICS-60	40	28	19	13	47.5	C
ICS-60 x ICS-1	40	24	17	17	42.5	C
ICS-1 x ICS-95	40	20	6	6	15	I
ICS-95 x ICS-1	40	24	13	11	32.5	C
ICS-1 x IMC-67	40	36	32	25	80	C
IMC-67 x ICS-1	40	32	26	25	65	C
ICS-1 x SC-6	33	1	0	0	0	I
SC-6 x ICS-1	40	23	22	16	55	C
ICS-1 x SCC-59	40	22	17	10	42.5	C
SCC-59 x ICS-1	40	10	8	7	20	C
ICS-1 x SCC-61	40	35	32	31	80	C
SCC-61 x ICS-1	40	2	0	0	0	I
ICS-1 x TSH-565	40	31	29	22	72.5	C
TSH-565 x ICS-1	40	29	22	21	55	C

1. POL.: Polinizadas 2. Prend.: Prendimiento 3. C: Compatible I: Incompatible

Cuadro No. 4. Número de flores polinizadas, fecundadas, porcentaje de prendimiento y carácter de compatibilidad resultante de la polinización cruzada del don ICS-1 con diez clones y sus recíprocos.

En el Cuadro No. 5 se agrupan los resultados de la compatibilidad sexual del clon ICS-39 con diez clones y sus recíprocos. El ICS-39 presenta compatibilidad general con los clones ICS-1, ICS-95 y TSH -565. Y es incompatible con los clones EET-8, ICS-60, SC-6 y SCC-61.

CRUZAMIENTO	No. DE FLORES				% PREND. ²	CARACTER ³
	POL ¹	FECUNDADAS				
		3 DÍAS	15 DÍAS	30 DÍAS		
ICS-39 x CCN-51	40	32	29	29	72.5	C
CCN-51 x ICS-39	40	0	0	0	0	I
ICS-39 x EET-8	40	32	0	0	0	I
EET-8 x ICS-39	40	20	0	0	0	I
ICS-39 x ICS-1	40	24	22	22	55	C
ICS-1 x ICS-39	40	26	18	14	45	C
ICS-39 x ICS-60	40	0	0	0	0	I
ICS-60 x ICS-39	40	0	0	0	0	I
ICS-39 x ICS-95	40	26	21	19	52.5	C
ICS-95 x ICS-39	40	26	17	15	42.5	C
ICS-39 x IMC-67	40	37	36	20	90	C
IMC-67 x ICS-39	40	7	2	2	5	I
ICS-39 x SC-6	40	29	4	2	10	I
SC-6 x ICS-39	40	20	2	2	5	I
ICS-39 x SCC-59	40	23	21	21	52.5	C
SCC-59 x ICS-39	40	3	2	2	5	I
ICS-39 x SCC-61	40	30	2	2	5	I
SCC-61 x ICS-39	40	0	0	0	0	I
ICS-39 x TSH-565	40	35	31	29	77.5	C
TSH-565 x ICS-39	40	18	13	13	32.5	C

1. POL.: Polinizadas 2. Prend.: Prendimiento 3. C: Compatible I: Incompatible

Cuadro No. 5. Número de flores polinizadas, fecundadas, porcentaje de prendimiento y carácter de compatibilidad resultante de la polinización cruzada del clon ICS-39 con diez clones y sus recíprocos.

En el Cuadro No. 6 se presentan los resultados de la compatibilidad sexual del don ICS-60 con diez clones y sus recíprocos. La información revela que el ICS-60 únicamente exhibe compatibilidad general con el ICS-1; es incompatible con los clones EET-8, ICS-39, SC-6 y SCC-61 y compatible únicamente como madre con los clones ICS-95, IMC-67, SCC-59 y TSH-565. Y, al no fecundar nueve de los diez clones probados se considera que es portador de los alelos **S** que conjugados con el genoma del saco embrionario manifiestan el carácter de incompatibilidad. Hay que tener mucho cuidado en sus combinaciones con otros clones pues su compatibilidad es muy restringida.

CRUZAMIENTO	No. DE FLORES				% PREND. ²	CARACTER ³
	POL ¹	FECUNDADAS				
		3 DÍAS	15 DÍAS	30 DÍAS		
ICS-60 x CCN-51	40	31	28	23	70	C
CCN-51 x ICS-60	40	6	2	2	5	I
ICS-60 x EET-8	40	7	0	0	0	I
EET-8 x ICS-60	40	29	2	2	5	I
ICS-60 x ICS-1	40	24	17	17	42.5	C
ICS-1 x ICS-60	40	28	19	13	47.5	C
ICS-60 x ICS-39	40	25	0	0	0	I
ICS-39 x ICS-60	40	14	0	0	0	I
ICS-60 x ICS-95	40	39	34	28	85	C
ICS-95 x ICS-60	40	12	7	5	17.5	I
ICS-60 x IMC-67	40	35	35	35	87.5	C
IMC-67 x ICS-60	40	2	1	0	2.5	I
ICS-60 x SC-6	40	28	0	0	0	I
SC-6 x ICS-60	40	9	1	1	2.5	I
ICS-60 x SCC-59	40	36	34	34	85	C
SCC-59 x ICS-60	40	3	2	2	5	I
ICS-60 x SCC-61	40	6	0	0	0	I
SCC-61 x ICS-60	40	0	0	0	0	I
ICS-60 x TSH-565	40	35	32	32	80	C
TSH-565 x ICS-60	40	10	5	4	12.5	I

1. POL.: Polinizadas 2. Prend.: Prendimiento 3. C: Compatible I: Incompatible

Cuadro No. 6. Número de flores polinizadas, fecundadas, porcentaje de prendimiento y carácter de compatibilidad resultante de la polinización cruzada del don ICS-60 con diez clones y sus recíprocos.

En el Cuadro No. 7 se muestran los datos correspondientes a la compatibilidad sexual del don ICS-95 con diez clones y sus recíprocos. Este don exhibe compatibilidad general con los clones CCN-51, EET-8, ICS-39, SC-6, SCC-61 y TSH-565. Presenta compatibilidad materna con los clones ICS-1, IMC-67 y SCC-59 y paterna con el don ICS-60. En general es un don que exhibe buena compatibilidad y relativamente con escasas restricciones.

CRUZAMIENTO	No. DE FLORES				% PREND. ²	CARACTER ³
	POL ¹	FECUNDADAS				
		3 DÍAS	15 DÍAS	30 DÍAS		
ICS-95 x CCN-51	40	18	11	11	27.5	C
CCN-51 x ICS-95	40	8	8	7	20	C
ICS-95 x EET-8	40	38	34	23	85	C
EET-8 x ICS-95	40	19	8	8	20	C
ICS-95 x ICS-1	40	24	13	11	32.5	C
ICS-1 x ICS-95	40	20	6	6	15	I
ICS-95 x ICS-39	40	26	17	15	42.5	C
ICS-39 x ICS-95	40	26	21	19	52.5	C
ICS-95 x ICS-60	40	12	7	5	17.5	I
ICS-60 x ICS-95	40	39	34	28	85	C
ICS-95 x IMC-67	40	37	36	20	90	C
IMC-67 x ICS-95	40	4	1	1	2.5	I
ICS-95 x SC-6	40	23	11	9	27.5	C
SC-6 x ICS-95	40	35	27	21	67.5	C
ICS-95 x SCC-59	40	34	20	11	50	C
SCC-59 x ICS-95	40	11	5	5	12.5	I
ICS-95 x SCC-61	40	31	27	26	67.5	C
SCC-61 X ICS-95	40	23	9	9	22.5	C
ICS-95 x TSH-565	40	35	31	21	77.5	C
TSH-565 x ICS-95	40	28	20	19	50	C

1. POL.: Polinizadas 2. Prend.: Prendimiento 3. C: Compatible I: Incompatible

Cuadro No. 7. Número de flores polinizadas, fecundadas, porcentaje de prendimiento y carácter de compatibilidad del don ICS-95 con diez clones y sus recíprocos.

En el Cuadro No. 8 se condensa la información de la compatibilidad sexual del don IMC-67 con diez clones y sus recíprocos. Este don exhibe compatibilidad general con los clones CCN-51, EET-8, ICS-1, SCC-59, SCC-61 y TSH-565; y, compatibilidad materna con los clones ICS-39, ICS-60, ICS-95 y SC-6. Se corrobora, también, su excelente habilidad combinatoria general indicativo de que su polen no comparte los mismos alelos **S** presentes en los sacos embrionarios de los clones usados como madres.

CRUZAMIENTO	No. DE FLORES				% PREND. ²	CARACTER ³
	POL ¹	FECUNDADAS				
		3 DÍAS	15 DÍAS	30 DÍAS		
IMC-67 x CCN-51	40	27	21	21	52.5	C
CCN-51 x IMC-67	40	23	18	14	45	C
IMC-67 x EET-8	40	16	11	10	27.5	C
EET-8 x IMC-67	40	27	24	24	60	C
IMC-67 x ICS-1	40	32	26	25	65	C
ICS-1 x IMC-67	40	36	32	25	80	C
IMC-67 x ICS-39	40	7	2	2	5	I
ICS-39 x IMC-67	40	35	33	32	82.5	C
IMC-67 x ICS-60	40	2	1	0	2.5	I
ICS-60 x IMC-67	40	35	35	35	87.5	C
IMC-67 x ICS-95	40	4	1	1	2.5	I
ICS-95 x IMC-67	40	37	36	20	90	C
IMC-67 x SC-6	40	0	0	0	0	I
SC-6 x IMC-67	37	30	27	23	67.5	C
IMC-67 x SCC-59	40	25	15	12	37.5	C
SCC-59 x IMC-67	40	19	15	15	37.5	C
IMC-67 x SCC-61	40	15	9	7	22.5	C
SCC-61 x IMC-67	40	33	27	26	67.5	C
IMC-67 x TSH-565	40	24	11	10	27.5	C
TSH-565 x IMC-67	40	29	29	29	72.5	C

1. POL.: Polinizadas 2. Prend.: Prendimiento 3. C: Compatible I: Incompatible

Cuadro No. 8. Número de flores polinizadas, fecundadas, porcentaje de prendimiento y carácter de compatibilidad resultante de la polinización cruzada del don IMC-67 con diez clones y sus recíprocos.

En el Cuadro No. 9 se presentan los datos de la compatibilidad sexual del clon SC-6 con diez clones y sus recíprocos. Es compatible únicamente con los clones ICS-95 y TSH-565; y, exhibe compatibilidad materna con los clones CCN-51, ICS-1, IMC-67 y SCC-59. Por consiguiente, se trata de un clon claramente exigente en sus combinaciones con otros clones. Especialmente, es un clon con una restringida habilidad combinatoria.

CRUZAMIENTO	No. DE FLORES				% PREND. ²	CARACTER ³
	POL ¹	FECUNDADAS				
		3 DÍAS	15 DÍAS	30 DÍAS		
ISC-6 x CCN-51	40	29	28	24	70	C
CCN-51 x SC-6	40	22	5	4	12.5	I
SC-6 x EET-8	40	8	0	0	0	I
EET-8 x SC-6	40	21	5	0	12.5	I
SC-6 x ICS-1	40	23	22	16	55	C
ICS-1 x SC-6	33	1	0	0	0	I
SC-6 x ICS-39	40	20	2	2	5	I
ICS-39 x SC-6	40	29	4	2	10	I
SC-6 x ICS-60	40	9	1	1	2.5	I
ICS-60 x SC-6	40	28	0	0	0	I
SC-6 x ICS-95	40	35	27	21	67.5	C
ICS-95 x SC-6	40	23	11	9	27.5	C
SC-6 x IMC-67	37	30	27	23	73	C
IMC-67 x SC-6	40	0	0	0	0	I
SC-6 x SCC-59	40	21	14	14	35	C
SCC-59 x SC-6	40	0	0	0	0	I
SC-6 x SCC-61	40	14	5	2	12.5	I
SCC-61 x SC-6	40	1	0	0	0	I
SC-6 x TSH-565	40	29	18	18	45	C
TSH-565 x SC-6	40	20	17	15	42.5	C

1. POL.: Polinizadas 2. Prend.: Prendimiento 3. C: Compatible I: Incompatible

Cuadro No. 9. Número de flores polinizadas, fecundadas, porcentaje de prendimiento y carácter de compatibilidad resultante de la polinización cruzada del clon SC-6 con diez clones y sus recíprocos.

En el Cuadro No. 10 se muestran los datos de la compatibilidad sexual del clon SCC-59 con diez clones y sus recíprocos. El clon SCC-59 es compatible con los clones ICS-1, IMC-67 y SCC-61. Es incompatible con el clon EET-8 y exhibe compatibilidad paterna con los clones CCN-51, ICS-39, ICS-60, ICS-95, SC-6 y TSH-565. Presenta excelente habilidad combinatoria general con nueve de los diez clones probados.

CRUZAMIENTO	No. DE FLORES				% PREND. ²	CARACTER ³
	POL ¹	FECUNDADAS				
		3 DÍAS	15 DÍAS	30 DÍAS		
SCC-59 x CCN-51	40	12	6	6	15	I
CCN-51 x SCC-59	40	20	18	16	45	C
SCC-59 x EET-8	40	7	6	5	15	I
EET-8 x SCC-59	40	27	5	1	12.5	I
SCC-59 x ICS-1	40	10	10	8	25	C
ICS-1 x SCC-59	40	22	17	10	42.5	C
SCC-59 x ICS-39	40	3	2	2	5	I
ICS-39 x SCC-59	40	23	21	21	52.5	C
SCC-59 x ICS-60	40	3	2	2	5	I
ICS-60 x SCC-59	40	36	34	34	85	C
SCC-59 x ICS-95	40	11	5	5	12.5	I
ICS-95 x SCC-59	40	34	20	11	50	C
SCC-59 x IMC-67	40	19	15	15	37.5	C
IMC-67 x SCC-59	40	25	15	12	37.5	C
SCC-59 x SC-6	40	0	0	0	0	I
SC-6 x SCC-59	40	21	14	14	35	C
SCC-59 x SCC-61	40	27	8	7	20	C
SCC-61 x SCC-59	40	31	25	25	62.5	C
SCC-59 x TSH-565	40	6	2	2	5	I
TSH-565 x SCC-59	40	29	22	20	55	C

1. POL.: Polinizadas 2. Prend.: Prendimiento 3. C: Compatible I: Incompatible

Cuadro No. 10. Número de flores polinizadas, fecundadas, porcentaje de prendimiento y carácter de compatibilidad resultante de la polinización cruzada del clon SCC-59 con diez clones y sus recíprocos.

En el Cuadro No. 11 se observan los resultados de la compatibilidad sexual del clon SCC-61 con diez clones y sus recíprocos. El SCC-61 es compatible con los clones CCN-51, ICS-95, IMC-67, SCC-59 y TSH-565. Presenta compatibilidad paterna con el clon ICS-1 y es incompatible con los clones EET-8, ICS-39, ICS-60 y SC-6.

CRUZAMIENTO	No. DE FLORES				% PREND. ²	CARACTER ³
	POL ¹	FECUNDADAS				
		3 DÍAS	15 DÍAS	30 DÍAS		
SCC-61 x CCN-51	40	32	26	24	65	C
CCN-51 x SCC-61	40	24	17	13	42.5	C
SCC-61 x EET-8	40	5	0	0	0	I
EET-8 x SCC-61	40	40	0	0	0	I
SCC-61 x ICS-1	40	2	0	0	0	I
ICS-1 x SCC-61	40	35	32	31	80	C
SCC-61 x ICS-39	40	40	0	0	0	I
ICS-39 x SCC-61	40	30	2	2	5	I
SCC-61 x ICS-60	40	0	0	0	0	I
ICS-60 x SCC-61	40	6	0	0	0	I
SCC-61 x ICS-95	40	23	9	9	22.5	C
ICS-95 x SCC-61	40	31	27	26	67.5	C
SCC-61 x IMC-67	40	33	27	26	67.5	C
IMC-67 x SCC-61	40	15	9	7	22.5	C
SCC-61 x SC-6	40	1	0	0	0	I
SC-6 x SCC-61	40	14	5	2	12.5	I
SCC-61 x SCC-59	40	31	25	25	62.5	C
SCC-59 x SCC-61	40	27	8	7	20	C
SCC-61 x TSH-565	40	28	20	20	50	C
TSH-565 x SCC-61	40	27	24	24	60	C

1. POL.: Polinizadas 2. Prend.: Prendimiento 3. C: Compatible I: Incompatible

Cuadro No. 11. Número de flores polinizadas, fecundadas, porcentaje de prendimiento y carácter de compatibilidad resultante del clon SCC-61 con diez clones y sus recíprocos.

En el Cuadro No. 12 se encuentra la información referente a la compatibilidad sexual del clon TSH-565 con diez clones y sus recíprocos. Este clon es uno de los que menores restricciones ofrece; es compatible con los clones EET-8, ICS-1, ICS-39, ICS-95, IMC-67, SC-6 y SCC-61; tiene compatibilidad materna con los clones CCN-51 y SCC-59 y paterna con el clon ICS-60. Este último comportamiento sugiere la conveniencia de situarlo al lado del clon ICS-60 pues al fecundarlo no comparte con éste los alelos **S** de incompatibilidad.

CRUZAMIENTO	No. DE FLORES				% PREND. ²	CARACTER ³
	POL ¹	FECUNDADAS				
		3 DÍAS	15 DÍAS	30 DÍAS		
TSH-565 x CCN-51	40	39	30	28	75	C
CCN-51 x TSH-565	40	10	7	7	17.5	I
TSH-565 x EET-8	40	37	31	31	77.5	C
EET-8 x TSH-565	40	36	34	32	85	C
TSH-565 x ICS-1	40	29	22	21	55	C
ICS-1 x TSH-565	40	31	29	22	72.5	C
TSH-565 x ICS-39	40	18	13	13	32.5	C
ICS-39 x TSH-565	40	35	31	29	77.5	C
TSH-565 x ICS-60	40	10	5	4	12.5	I
ICS-60 x TSH-565	40	35	32	32	80	C
TSH-565 x ICS-95	40	28	20	19	50	C
ICS-95 x TSH-565	40	35	31	21	77.5	C
TSH-565 x IMC-67	40	29	29	29	72.5	C
IMC-67 x TSH-565	40	24	11	10	27.5	C
TSH-565 x SC-6	40	20	17	15	42.5	C
SC-6 x TSH-565	40	29	18	18	45	C
TSH-565 x SCC-59	40	29	22	20	55	C
SCC-59 x TSH-565	40	6	2	2	5	I
TSH-565 x SCC-61	40	27	24	24	60	C
SCC-61 x TSH-565	40	28	20	20	50	C

1. POL.: Polinizadas 2. Prend.: Prendimiento 3. C: Compatible I: Incompatible

Cuadro No. 12. Número de flores polinizadas, fecundadas, porcentaje de prendimiento y carácter de compatibilidad resultante de la polinización cruzada del clon TSH-565 con diez clones y sus recíprocos.

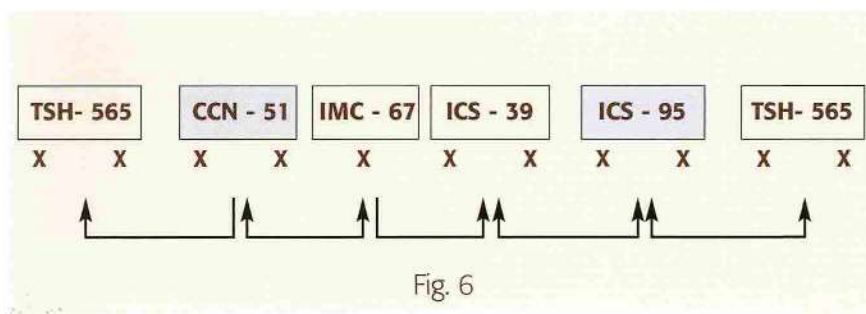
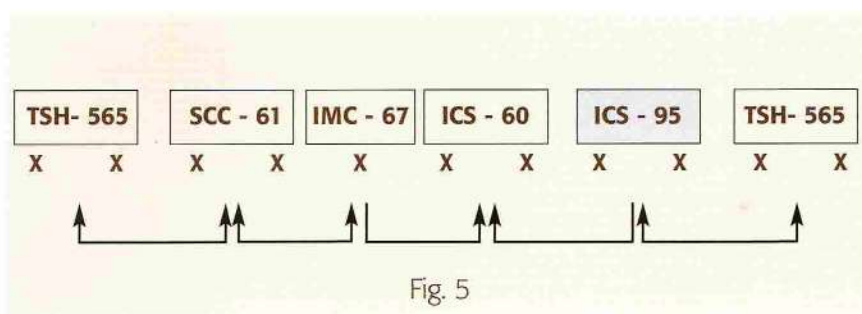
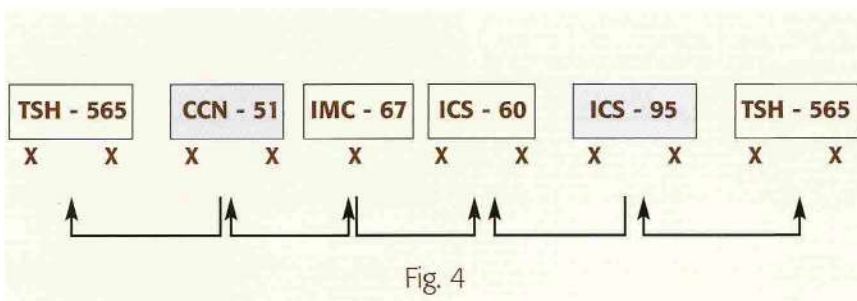
En el Cuadro No. 13 se resume la información de compatibilidad de los clones principalmente probados en el presente estudio y que permite elaborar distintas combinaciones o arreglos en condiciones de campo con el propósito de minimizar los riesgos de la incompatibilidad sexual y aumentar los niveles de productividad del cultivo de cacao.

Resumen de Compatibilidad de Clones

♀ \ ♂	CCN 51	EET 8	ICS 1	ICS 39	ICS 60	ICS 95	IMC 67	SC 6	SCC 59	SCC 61	TSH 565
CCN-51	C	I	I	I	I	C	C	I	C	C	I
EET-8	C	I	I	I	I	C	C	I	I	I	C
ICS-1	C	I	C	C	C	I	C	I	C	C	C
ICS-39	C	I	C	I	I	C	C	I	C	I	C
ICS-60	C	I	C	I	I	C	C	I	C	I	C
ICS-95	C	C	C	C	I	C	C	C	C	C	C
IMC-67	C	C	C	I	I	I	I	I	C	C	C
SC-6	C	I	C	I	I	C	C	I	C	I	C
SCC-59	I	I	C	I	I	I	C	I	I	C	I
SCC-61	C	I	I	I	I	C	C	I	C	I	C
TSH-565	C	C	C	C	I	C	C	C	C	C	I

SIMBOLOS: C Compatible I Incompatible

Ejemplos de diseños para Plantaciones Comerciales



El Clon IMC - 67 va en surco sencillo

☐ Clones autocompatibles

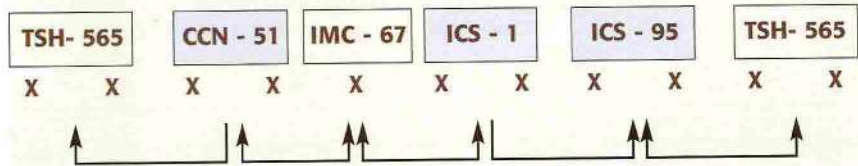


Fig. 7

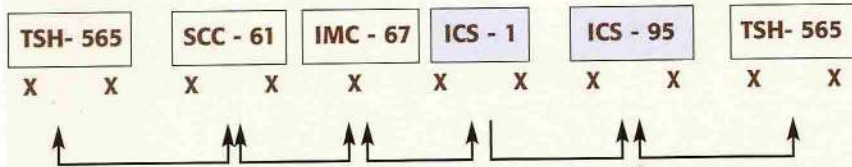


Fig. 8

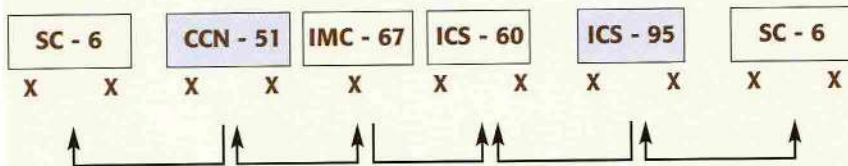


Fig. 9

El Clon **IMC - 67** va en surco sencillo

☐ Clones autocompatibles

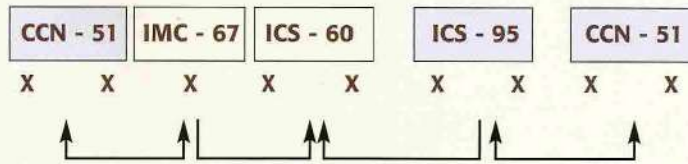


Fig. 10

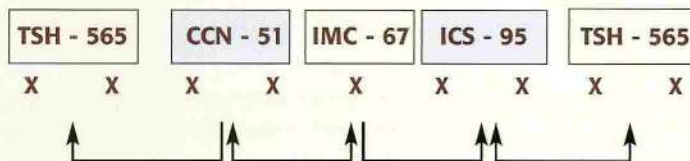


Fig. 11

El Clon IMC - 67 va en surco sencillo

☐ Clones autocompatibles

Por su autocompatibilidad, los clones CCN-51, ICS-1 e ICS-95 son los que menores riesgos presentan en el campo. Por su habilidad combinatoria general, el IMC-67 es excelente como donador de polen (compatibilidad paterna). Sin embargo, presenta incompatibilidad materna con los clones ICS-39, ICS-60, ICS-95 y SC-6. El clon ICS-60 es uno de los más deseados por su tamaño de grano y características industriales. Acompañado de otros clones que aseguren su compatibilidad, como es el caso de los clones CCN-61, ICS-1, ICS-95, IMC-67, SCC-59 y TSH-565, es un don que no debería faltar en las plantaciones comerciales. Los clones FLE-3, FLO-302, CAUC-39, CAUC-43 y SCC-59 resultaron autoincompatibles. Como aún no se dispone de información suficiente sobre su comportamiento en las diferentes zonas ecológicas, su utilización es muy restringida.

En base al Cuadro No. 13, se proponen algunos arreglos de clones en el campo tal como se presentan en las Figuras 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10 y 11



Resumen

La incompatibilidad sexual es uno de los factores que contribuye a la baja productividad del cacao. Es fundamental determinar este carácter en el material de siembra como criterio que permite diseñar las combinaciones ideales en el campo.

El propósito del presente estudio fue conocer la autocompatibilidad y compatibilidad sexual de los principales clones de cacao que actualmente se están sembrando en las plantaciones comerciales de Colombia, para incrementar la producción del cultivador colombiano.

Para el efecto se hicieron autopolinizaciones y polinizaciones cruzadas con los siguientes clones: CAP-34, CAUC-39, CAUC-43, CCN-51, FLE-3, FLO-302, EET-8, ICS-1, ICS-39, ICS-60, ICS-95, IMC-67, SC-6, SCC-59, SCC-61 y TSH-565. Sin embargo, por algunas restricciones de operación no fue posible hacer las combinaciones completas de los clones CAP-34, CAUC-39, CAUC-43, FLE-3 y FLO-302.

El trabajo de campo se realizó en varias fincas del departamento de Santander y en la Granja "La Nacional" de la Compañía Nacional de Chocolates S.A. en el departamento de Antioquia durante los años 2003, 2004 y 2005.

Los resultados corroboran la autocompatibilidad de los clones CCN-51, ICS-1 e ICS-95 e igualmente la habilidad combinatoria general del clon IMC-67.

Se debe tener el máximo cuidado con las combinaciones de los clones EET-8, ICS-39, ICS-60, SC-6, SCC-59 y SCC-61, por el comportamiento diferencial en su intercompatibilidad.

Los resultados permiten hacer diferentes propuestas de arreglos clonales en el campo.



Abstract

The sexual incompatibility is one of the factors that contributes to the low productivity of cocoa. It is fundamental to determine this character in the planting material as criterion that permits to design the ideal combinations in the field.

The purpose of the present study was to know the sexual compatibility and self- compatibility of these cocoa clones currently use in the commercial plantations in Colombia.

The work was initiated with the self –fertilization and cross-fertilization of the clones: CAP-34, CAUC-39, CAUC-43, CCN-51, FLE-3, FLO-302, EET-8, ICS-1, ICS-39, ICS-60, ICS-95, IMC-67, SC-6, SCC-59, SCC-61 and TSH-565. Complete combinations of the clones CAP-34, CAUC-39, CAUC-43, FLE-3, FLO-302 were not possible due to some operative restrictions.

Field work was carried out in several farms of the Santander county and in the Farm “La Nacional” property of La Nacional de Chocolates Corporation in the Antioquia county during the years 2003, 2004 and 2005.

The results corroborate the self – compatibility of clones CCN-51, ICS-1 and ICS-95; also the general combinatorial ability of the clone IMC-67.

Combinations with clones EET-8, ICS-39, ICS-60, SC-6, SCC-59 and SCC-61 should be done with caution due to their cross- compatibility behavior.

According with the results of this study it is possible to propose different planting designs of cocoa in the field.



Bibliografía

ENRIQUEZ, G. A. (1985). Curso sobre el cultivo del cacao. Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza. Turrialba, Costa rica. 239 p.

MARTINS-PINTO, L. R., M. MACOTO - YAMADA y D. AHNERT (1998). Recomendações para determinação da incompatibilidade sexual no cacauero. CEPLAC, Ministério da Agricultura, Brasil. 24 p.

TOXOPEUS, H. (1969). In: Outlines of perennial of plan breeding, edited by F. P. Ferwerda and F. Wit. Miscellaneous papers 4. Foundation for Agricultural Plant Breeding. Pages 78-109.

TERREROS, J. R., G. CHAVARRO y F. OCAMPO – R, (1983). Determinación de los genotipos de incompatibilidad o compatibilidad en varios cultivares de cacao (*Theobroma cacao* L.). El Cacaotero Colombiano, Compañía Nacional de Chocolates S.A. No. 24. p. 27-37.