

TASA DE POLINIZACION CRUZADA DEL CAFE ARABIGO EN LA REGION DE CHINCHINA

Jaime Castillo-Zapata *

INTRODUCCION

Aunque actualmente se reconoce que la especie *C. arabica* L. es predominantemente autógama, por muchos años se mantuvieron dudas al respecto. La escasez de experimentación para despejar tales dudas puede atribuirse a la ausencia de fallas graves en la polinización de esta especie, que se reflejen notoriamente en disminución de la producción comercial, tal como ocurre en *C. canephora* (5), especie que ha sido más estudiada a este respecto (4).

Los trabajos realizados sobre el modo de polinización de *C. arabica* pueden separarse en tres aspectos: 1^o La autocompatibilidad no ha sido objeto de experimentos especiales, pero es un hecho reconocido dondequiera que se ha empleado la polinización artificial. 2^o Sobre la diseminación del polen, sólo se citan frecuentemente las antiguas observaciones de Stoffels en el Congo Belga (13), quien estudió también la frecuencia del cruzamiento natural y las técnicas de control en la polinización artificial. 3^o Las investigaciones sobre el sistema reproductivo, que comenzaron a publicarse en 1932, cuando Taschdjian (15) encontró porcentajes de polinización cruzada entre 39 y 93^o/o, al emplear el mutante *purpurascens* como marcador genético. Posteriormente se delimitó ese porcentaje entre 45 y 50 (10) con la misma variedad. Pero el empleo del mutante *Cera*, de endospermo amarillo, en el cual se presenta el fenómeno de *Xenia* (11), permitió medir con mayor precisión a los investigadores del Brasil el porcentaje de polinización

* Jefe de la Sección de Fitomejoramiento del Centro Nacional de Investigaciones de Café. Cenicafé, Chinchiná, Caldas, Colombia.

cruzada natural, que fué determinado en varios experimentos conducidos de 1945 a 1947, entre 7,3 y 9 0/o (1).

En una revisión de los métodos de mejoramiento y de sus resultados en *C. arabica*, Carvalho y Monaco (3) hicieron una síntesis más reciente de los conocimientos sobre el sistema reproductivo y los agentes de polinización: el porcentaje de polinización cruzada natural en la variedad *Cera*, antes citado, fué confirmado por observaciones realizadas entre 1954 y 1965 y por datos obtenidos en otros mutantes recesivos (2): en *Xanthocarpa*, 12,4 0/o; en *Poliorthotropica*, 15 0/o y en *Purpurascens*, 8,5 0/o. El último valor parece corregir los datos iniciales en este material. Los mismos autores al interpretar los experimentos conducidos en Campinas de 1945 a 1947, atribuyen la mitad de la polinización cruzada (4,8 a 5,3 0/o) a la gravedad, mientras que el viento contribuye con 2 a 5 0/o y los insectos hasta con 2 0/o. Anotan además que las condiciones climáticas, que influyen sobre los agentes polinizadores, pueden cambiar la tasa de cruzamiento natural. En Puerto Rico se observó, por ejemplo, un 8,3 0/o (6), mientras que en otra región del Brasil con clima diferente al de Campinas, esa tasa subió a 20 0/o. Sin embargo, consideran excesivo el porcentaje de 40-60 0/o, observado en la estación experimental de Jimma, Etiopía, mencionado por Meyer (12).

Debido a la variabilidad regional, es de utilidad en los trabajos de mejoramiento, conocer el porcentaje de polinización cruzada natural en condiciones climáticas locales, no solo para disponer las precauciones necesarias en los cruzamientos artificiales, sino para conocer en teoría el grado de heterogenidad y variabilidad que puede esperarse en las poblaciones. En el presente trabajo se discuten algunas observaciones sobre este aspecto, obtenidas en dos épocas diferentes, en la región de Chinchiná.

MATERIALES Y METODOS

Se estudiaron los porcentajes de semillas "cruzadas" (de color gris verdoso) obtenidas en plantas de la variedad *Cera*, incluida en dos colecciones: una sembrada en 1953 en la Hacienda Naranjal del Centro Nacional de Investigaciones de Café (Cenicafé), situada a 20 kilómetros de la sede principal, y otra en esta sede. Estas observaciones se efectuaron de 1957 a 1960 (7) y se compararon con las realizadas en dos experimentos conducidos entre 1972 y 1975 y localizados en la misma hacienda.

Vale la pena mencionar dos prácticas culturales que pudieron afectar los porcentajes de polinización cruzada: 1^o Las colecciones fueron cultivadas bajo sombra de árboles del género *Inga*, mientras los experimentos se mantuvieron a libre exposición. 2^o Las distancias de siembra fueron de 3,2 por 3,2 metros en las colecciones y de 1,5 por 3,0 metros en los experimentos.

El tamaño de las muestras examinadas fué variable hasta la cosecha de 1959. En la colección de la Hacienda Naranjal se tomó hasta este tiempo un total de 13 muestras de las cuales diez tenían entre 600 y 3.000 semillas; dos muestras, 1.800 y 8.000 semillas respectivamente, y solo una, con 200 semillas. En la colección de Cenicafé, de 15 muestras recolectadas antes de agosto de 1959, once tenían de 100 a 900 semillas; tres, de 900 a 1.800 y una menos de 100 semillas. De 1959 en adelante las muestras tuvieron un número constante de 400 semillas.

Para los análisis estadísticos, los porcentajes de cruzamientos se transformaron al arco del seno de su raíz cuadrada, con el fin de asegurar la validez de las comparaciones.

Con la misma finalidad se efectuaron dos pruebas estadísticas previas: se compararon las varianzas de los datos obtenidos con muestras de tamaño variable y constante, tanto en la Hacienda Naranjal como en Cenicafé. Luego se compararon los porcentajes medios de cruzamientos obtenidos con muestras de tamaño variable y tamaño constante.

RESULTADOS

Al comparar por el método de Bartlett las varianzas citadas (Apendices 1 y 2), el valor de χ^2 cuadrado (con probabilidad entre 79 y 80%) indicó que estas varianzas eran razonablemente homogéneas, como para permitir la comparación estadística conjunta de las diferentes series de datos.

Los porcentajes medios de cruzamientos con muestras de tamaño variable y constante no difirieron en ninguna de las dos localidades. En Cenicafé el porcentaje promedio fué de 2,33 para las muestras variables y de 2,23 para las constantes; en Naranjal fué de 4,11 y 5,63 en el mismo orden.

En las tablas 1 y 2 se presentan los porcentajes de polinización cruzada natural, en cada campo experimental.

Se notan porcentajes muy bajos en la colección de Cenicafé, con media de solo 2,3% y extremos entre 0,8 y 5,5%, en un lapso de 19 meses, comprendidos entre los años 1958 a 1960. Por otra parte, el porcentaje medio en la colección de la Hacienda Naranjal fué de 4,95% con extremos de 1,29 y 8,75%, que corresponde a un período de 26 meses, entre los años de 1957 y 1960. Esta tasa de cruzamiento es mayor que la observada en Cenicafé.

Los datos obtenidos en ambas colecciones, en el período 1957 a 1960, pueden compararse con los registrados en dos experimentos de 1972 a 1975 (tabla 2). Los promedios de estos experimentos fueron 7,71 y 8,00%, que son 60% más altos que la media anotada para las colecciones. Los datos extremos fueron 3,25 y 19,75%.

TABLA 1.- PORCENTAJES DE POLINIZACION CRUZADA NATURAL EN LA VARIEDAD CERA EN DOS LOCALIDADES EN LA REGION DE CHINCHINA.

Localidad					
Cenicafé			Naranjal		
Fecha	Polinización cruzada %	Promedios anuales	Fecha	Polinización cruzada %	Promedios anuales
			1957		
			2-10	3,16	
			23-10	2,76	2,96
1958			1958		
4-12	1,57		21-2	3,22	
15-12	2,59		12-3	4,79	
26-12	1,91	2,02	20-4	1,29	
			2-5	2,71	
			16-9	3,43	
			18-10	5,05	3,42
1959			1959		
10-1	0,93		20-1	6,43	
8-2	4,23		27-2	8,00	
6-3	1,69		23-3	2,75	
13-3	1,05		24-4	2,87	
30-3	2,04		1-5	6,97	
18-4	1,66		30-6	4,75	
2-5	1,19		1-9	2,25	
11-5	0,80		28-9	3,75	
22-5	3,41		19-10	4,50	
4-6	4,06		23-11	7,50	
15-6	5,06		28-12	6,50	5,12
29-7	1,88				
12-8	2,13				
24-8	1,75				
15-9	2,25				
2-10	1,00				
15-10	1,75				
5-11	1,50				
23-11	3,25				
9-12	2,25				
22-12	3,75	2,27			
1960			1960		
14-1	2,35		20-1	7,00	
30-5	1,00		9-2	6,25	
29-8	1,50		14-3	3,75	
12-9	1,50		20-4	7,25	
27-9	3,50		20-5	4,50	
25-10	1,50		6-6	6,50	
15-11	3,00		5-7	8,75	
7-12	5,50	2,48	8-9	6,75	
			14-10	3,50	
			23-11	6,50	6,08
Promedio		2,33	Promedio		4,95

TABLA 2.- PORCENTAJE DE POLINIZACION CRUZADA EN DOS EXPERIMENTOS LOCALIZADOS EN LA HACIENDA NARANJAL, CHINCHINA, COLOMBIA.

Año	Fecha		Replicación		Promedio	
	Mes	Día	I	II	Fecha	Año
Experimento 1						
1972	10	17	7,64	10,00	8,82	
	11	13	7,91	8,26	8,09	
						8,45
1973	8	22	19,75	4,25	12,00	
	11	20	8,50	7,25	7,88	
						9,94
1974	10	7	3,75	4,25	4,00	
	11	5	7,75	3,25	5,50	
						4,75
Promedio			9,21	6,21	7,71	
Experimento 2						
1973	8	27	16,75	4,00	10,37	
	11	9	4,00	3,75	3,88	
						7,13
1974	9	12	5,00	5,00	5,00	
	11	13	6,75	3,75	5,25	
						5,13
1975	9	23	6,75	12,50	9,63	
	10	16	19,50	8,25	13,88	
						11,75
Promedio			9,79	6,21	8,00	

Aparte de las diferencias entre las localidades de Cenicafé y la Hacienda Naranjal y de los períodos de observación en esta última, es interesante examinar la variación en las tres series de observaciones.

Al estudiar la tabla 1 se pueden excluir los datos de 1957 en Naranjal y 1958 en Cenicafé por tener solo 2 y 3 observaciones. Se aprecia que en los años de 1959 y 1960 en Cenicafé, el porcentaje medio de cruzamiento natural fué muy semejante (2,3 y 2,5^o/o). Por otra parte, en la Hacienda Naranjal el porcentaje correspondiente a 1958 (3,4^o/o) fué menor que en 1959 y 1960 (5,12 y 6,08^o/o respectivamente). Entre los porcentajes de estos dos últimos años y los observados de 1972 a 1975 en los experimentos (7,71 y 8,00^o/o), las diferencias no alcanzaron niveles de significación.

En la tabla 2 es notorio que las tasas de cruzamiento en los experimentos observados de 1972 a 1975 presentan pocas variaciones. Ambos experimentos mostraron sustancial-

mente el mismo porcentaje de semillas cruzadas y las diferencias entre épocas de recolección, años y replicaciones no alcanzaron el nivel de significación.

DISCUSION

La tasa de polinización cruzada natural que se observó en la localidad de Cenicafé es bastante baja (2,3⁰%) con relación a la registrada en la localidad de Naranjal, tanto a la sombra (4,95⁰%) como a plena exposición (7,85⁰%). Los porcentajes obtenidos a la sombra, en ambas localidades, son también bajos en comparación con los normales en Campinas, Brasil (7 a 9⁰%).

Aunque la información fué obtenida en dos épocas diferentes (1957-60 a 1972-75), los mayores porcentajes del período 1972-75 no parecen atribuibles a influencia directa de las condiciones climáticas generales, como se deduce al analizar la tabla 3, donde se presentan tres elementos meteorológicos indicativos del clima en los meses de enero, febrero y marzo, cuando ocurren las floraciones principales. Los resultados sugieren más bien un efecto de las prácticas culturales de las cuales la más notable fué la ausencia del sombrío en los experimentos. Hay poca información que respalde esta posible interpretación, pero se ha observado en la localidad de Cenicafé que la velocidad del viento disminuye en una plantación de café cuando se compara con un área cultivada con gramíneas de poca altura (9). Puede suponerse que el efecto reductor que tienen las plantas de café sobre la velocidad del viento sea similar al de los árboles de sombrío, acentuado por su mayor altura.

Por otra parte, el mayor porcentaje de polinización cruzada que se observó en la localidad de Naranjal con respecto a Cenicafé, también puede explicarse por la mayor velocidad del viento en aquel sitio (8), que es un área descubierta, expuesta a corrientes de aire. Cenicafé en cambio es un lugar resguardado en la ladera de la montaña.

Como se explicó, la distancia entre parcelas en las colecciones y los experimentos era de 3,2 y 3,0 metros. Es de esperar que la diferencia entre éstas (0,20 m) influyera poco en el mayor porcentaje de cruzamiento observado en los experimentos. Sin embargo, la mayor densidad de siembra en éstos (2.666 plantas por hectárea contra 1.024 en las colecciones), pudo contribuir al incremento del porcentaje de cruzamiento natural.

No se ha estudiado la influencia de los insectos en la polinización del café en la zona de Chinchiná. Sin embargo, puede esperarse que sea baja, pues al aislar las flores por medio de bolsas de papel, excluyendo los insectos mayores, se han observado porcentajes de fructificación superiores del 90⁰%, similares a los registrados en condiciones naturales.

Los datos discutidos constituyen un índice de la frecuencia de la polinización cruzada, pero no una medida exacta de ella. En efecto, parte del porcentaje observado como

TABLA 3.- TRES ELEMENTOS METEOROLOGICOS, CARACTERISTICOS DEL CLIMA EN LA REGION DE CHINCHINA, DURANTE LOS MESES DE ENERO, FEBRERO Y MARZO EN LOS DOS PERIODOS DE ESTUDIO. LAS TEMPERATURAS MAXIMA Y MINIMA SON LOS PROMEDIOS DE CADA MES.

Mes y año	Lluvia mm	Brillo solar horas	Temperatura		
			Media	Máxima	Mínima
Enero					
1957	123,7	216,9	20,5	26,5	15,8
1958	125,0	200,6	21,9	28,8	16,6
1959	49,7	239,5	21,5	28,7	16,3
1960	207,7	201,1	20,6	26,9	16,6
Promedio	126,5	214,5	21,1	27,7	16,3
1972	246,8	139,9	19,9	25,5	16,1
1973	105,8	244,9	22,8	30,0	17,4
1974	339,8	139,8	19,9	25,7	15,9
1975	69,3	164,9	20,6	27,0	15,6
Promedio	190,4	172,3	20,8	27,05	16,25
Febrero					
1957	232,5	185,3	20,8	26,8	16,1
1958	178,3	201,1	21,8	29,0	16,7
1959	48,6	213,9	21,7	29,8	16,1
1960	228,4	179,8	20,8	27,5	16,2
Promedio	171,95	195,0	21,2	28,27	16,27
1972	49,9	149,1	20,8	27,2	16,0
1973	21,7	231,5	22,9	30,3	17,2
1974	227,6	105,4	20,2	26,1	16,4
1975	306,1	78,2	20,3	26,1	16,5
Promedio	151,3	141,05	21,05	27,4	16,5
Marzo					
1957	282,8	185,2	20,5	27,1	15,9
1958	181,4	178,0	21,5	28,8	16,8
1959	155,5	174,2	21,6	28,8	16,9
1960	155,5	182,9	20,8	27,1	16,4
Promedio	193,8	180,1	21,1	27,95	16,5
1972	165,5	107,1	21,0	27,4	16,5
1973	130,5	169,6	22,2	28,8	17,5
1974	432,8	129,3	19,9	26,0	16,2
1975	185,6	81,7	21,0	27,0	16,6
Promedio	228,6	121,9	21,0	27,3	16,7

autopolinización puede deberse a óvulos fecundados con polen de árboles vecinos de la misma variedad Cera. Sin embargo, la proporción de estos árboles con relación a las plantas de las otras variedades, que rodean la parcela de la variedad Cera, es menos de la mitad, lo cual reduce la probabilidad de tal ocurrencia.

De otra parte, los porcentajes de polinización cruzada natural parecen confiables, como puede deducirse de los datos registrados en un árbol de la variedad Cera previamente identificado como heterocigótica (genotipo Ce ce), en la colección de Cenicafé. Se hicieron en este árbol 50 observaciones en la misma época en que se registró la información analizada. El porcentaje teórico de semillas de color cera (endospermo amarillo) es de 25⁰/o en este árbol. El promedio de las 50 observaciones fué 23,3⁰/o, valor muy cercano al esperado, con un porcentaje de polinización cruzada bajo. Si este valor fuera alto la producción de semillas de color cera bajaría proporcionalmente. Al hacer la corrección correspondiente, suponiendo que, de las semillas de color gris verdoso un 2,3⁰/o corresponde a polinización cruzada, se obtiene una proporción de semillas color cera de 25,1⁰/o.

La información analizada indica porcentajes bajos de polinización cruzada natural bajo condiciones de sombrío y distancias de siembra normales. En las condiciones de experimentación de Cenicafé, sin sombrío y distancia de siembra de 1,5 x 3,0 metros, este porcentaje llega a 8⁰/o, que se puede considerar normal para el café Arábigo.

RESUMEN

Las tasas de polinización cruzada natural en la región de Chinchiná, observadas en los períodos 1957 a 1960 y 1972 a 1975, se mantienen generalmente por debajo de 10⁰/o y en pocas ocasiones sobrepasan este límite sin llegar a 20⁰/o. El sombrío parece rebajar el cruzamiento natural a porcentajes medios muy bajos, menores del 6⁰/o, debido probablemente a reducción de la turbulencia del aire en la plantación, al disminuir la velocidad del viento.

SUMMARY

The rates of natural cross pollination of coffee trees in the Chinchiná County (Colombia) were observed during the years 1957 to 1960 and 1972 to 1975. In general, cross pollination rates stay below 10⁰/o and very seldom surpass this limit, never reaching the 20⁰/o level. The presence of shade trees seems to reduce natural cross pollination to very low mean percentages (less than 6⁰/o), probably due to a reduction in air turbulence in the plantation as a result of the decrease in wind velocity.

BIBLIOGRAFIA

- 1.- CARVALHO, A. & KRUG, C. A. Agentes de polinização da flor do cafeeiro (*Coffea arabica* L. J. *Bragantia* 9(1-4):11-24. 1949.
- 2.- CARVALHO, A. and MONACO, L. C. Natural cross-pollination in coffee. *In* International Horticultural Congress, 16^a, Brussels, Belgium, August 31 - September 8, 1962. pp. 402-404. (Compendiado en: *Plant Breeding Abstract* 34(4):767. 1964).
- 3.- CARVALHO, A. and MONACO, L. C. The breeding of arabica coffee. *In* Ferwerda, F. P. and Wit, F., eds. *Outlines of perennial crop breeding in the tropics*. Wageningen, H. Veenman & Zonen, 1969. pp. 198-216. (Miscellaneous papers N^o 4).
- 4.- CRAMER, P. J. S. A review of literature of coffee research in Indonesia. Edited by F. L. Wellman. Turrialba, C. R., Inter-American Institute of Agricultural Science, 1957. pp. 59-62 (Miscellaneous Publication N^o 15).
- 5.- CHARRIER, A. Etude de la pollinisation des caféiers cultivés par marquage du pollen au phosphore (32 P) et au soufre (35 S) radio-actifs. *Café, Cacao, Thé* 15(3):181-190. 1971.
- 6.- DHALIWAL, T. S. Progress report of the project coffee breeding in Puerto Rico 1954-1965. Puerto Rico Agricultural Experiment Station Miscellaneous Publication N^o 53. 1965 (*In* Ferwerda, F. P. and Wit, F., eds. *Outlines of perennial crop breeding in the tropics*. Wageningen, H. Veenman & Zonen, 1969. (Citado por Carvalho, A. et al Pag. 236).
- 7.- FEDERACION NACIONAL DE CAFETEROS DE COLOMBIA. CENTRO NACIONAL DE INVESTIGACIONES DE CAFE. Porcentaje de cruzamiento de café apreciado en la variedad *Cera* Informe de la Sección de Biometría y Mejoramiento. Chinchiná, 1960. v. p.
- 8.- JARAMILLO R., A. Análisis de los vientos en Cenicafé y Naranjal. Chinchiná, Colombia, Centro Nacional de Investigaciones de Café. *Avances Técnicos* N^o 36. 1974. 4 p.
- 9.- JARAMILLO R., A. El perfil del viento en cafetales al sol. *Cenicafé (Colombia)* 26(3):143-147. 1975.
- 10.- KRUG, C. A. Melhoramento do Cafeeiro. Doze anos (1933-1944) de pesquisas básicas e aplicadas, realizadas nas Seções de Genética, Café e Citologia do Instituto Agronômico. Superintendencia dos Serviços do Café, São Paulo, Brasil. *Boletim* 20(222):863-872; (223):979-992; (224):1038-1046. 1945.
- 11.- KRUG, C. A. & CARVALHO, A. The genetic of coffee. *Advances in Genetics* 4:127-158. 1951.
- 12.- MEYER, F. G. Notes on wild *Coffea arabica* from Southwestern Ethiopia, with some historical considerations. *Economic Botany* 19(2):136-151. 1965.
- 13.- STOFFELS, E. H. J. La selection du caféier arabica a la Station de Malungu (Premieres communications). Institut National pour l'Etude Agronomique du Congo Belge Serie Scientifique N^o 11. 1936. 41 p.

- 14.- SYBENGA, J. Genética y citología del café. Una revisión de literatura. Turrialba (Costa Rica) 10(3):83-137. 1960.
- 15.- TASCHDJIAN, E. Beobachtungen über variabilität, dominanz und vizinismus bei *Coffea arabica*. Zeitschrift für Züchtung, Reihe A. Pflanzenzüchtung 17(3):341-354. 1932. (Compendiado en: Biological Abstracts 7(7):1521. 1933).

APENDICE 1 COMPARACIONES ESTADISTICAS DE PORCENTAJES DE POLINIZACION CRUZADA NATURAL, EN DIFERENTES CONDICIONES AMBIENTALES.

Comparación	Fuente de Variación	C.M.	G.L.	F.
Tipo de muestra				
Cenicafé				
Muestras de tamaño variable vs. Muestras de tamaño constante	Entre grupos	0,70	1	0,13
	Dentro de grupos	5,06	30	
Naranjal				
Muestras de tamaño variable vs. Muestras de tamaño constante	Entre grupos	34,32	1	3,32
	Dentro de grupos	10,35	17	
Localidades (1957-60)				
Cenicafé vs. Naranjal	Entre grupos	259,74	1	42,23**
	Dentro de grupos	6,15	59	
Epocas				
Cenicafé y Naranjal, 1957-60 vs. Naranjal, 1972-75	Entre grupos	483,05	1	35,62**
	Dentro de grupos	13,56	83	
Naranjal, 1957-60 vs. Naranjal, 1972-75	Entre grupos	128,61	1	9,19**
	Dentro de grupos	13,99	51	
Naranjal, 1959-60 Muestras de 400 semillas vs. Naranjal 1972-75	Entre grupos	53,55		3,55
	Dentro de grupos	15,04	40	

APENDICE 2 ANALISIS DE VARIANZA CONJUNTA DE PORCENTAJES DE POLINIZACION
 CRUZADA NATURAL, EN DOS EXPERIMENTOS LOCALIZADOS EN LA HACIEN-
 DA NARANJAL.

Fuente de variación	G.L.	C.M.	F.
Entre Experimentos	1	0,05	0,002
Dentro de experimentos	(22)	(22,86)	
Fechas en experimentos	10	22,87	
Años en experimentos	4	40,47	3,63
Fecha (en años en experimentos)	6	11,13	
Observaciones en (fechas en experimentos)	12	22,86	
Replicaciones en experimentos	2	31,58	1,50
Replicaciones por (fechas en experimento)	10	21,12	
TOTAL	23	21,87	