

## Análisis y comentario

# VARIACIONES CLIMÁTICAS ENTRE 1988 Y 2001, Y SUS POSIBLES EFECTOS SOBRE LA FENOLOGÍA DE VARIAS ESPECIES LEÑOSAS Y EL MANEJO DE UN CAFETAL CON SOMBRA EN CIUDAD COLÓN DE MORA, COSTA RICA<sup>1</sup>

Luis A. Fournier\* (QPD), José Fco. Di Stéfano<sup>2/\*</sup>

**Palabras clave:** Fenología, especies leñosas, café, clima.

**Keywords:** Plenology, woody species, coffee, climate.

## RESUMEN

Este estudio analizó la precipitación y temperatura, tomadas *in situ* por más de 12 años, para determinar los posibles efectos sobre los ciclos fenológicos de varias especies leñosas, y el manejo de un cafetal con sombra en Ciudad Colón de Mora. El patrón climático general de la zona es el descrito para el Valle Intermontano Central. Para los factores climáticos analizados, la mayoría de los meses no mostró tendencias significativas hacia un aumento o disminución a través de los años (excepto para setiembre, donde aumentó la cantidad de lluvia caída y agosto, donde tendió a ampliarse las diferencias entre la temperatura máxima y mínima), pero si importantes variaciones anuales, en general asociadas con "El Niño" y "La Niña". Estos pulsos tuvieron consecuencias significativas sobre la floración y la cosecha del café, así como en el manejo de las malezas, adelantando, atrasando, aumentando o disminuyendo dichos procesos. También se observó importantes desviaciones en el patrón fenológico de varias especies arbóreas de la región. Se determinó una correlación lineal positiva ( $P < 0,01$ ) entre la productividad y la cantidad de lluvia acumulada entre diciembre y

## ABSTRACT

**Climate changes between 1988 and 2001, their possible effects on the phenology of some woody species and the management of a shaded coffee plantation in Ciudad Colón de Mora, Costa Rica.** This study analyzed precipitation and temperature data taken *in situ* for 12 years, to determine the effects on the phenology of various woody plants, and the management of a coffee plantation in Ciudad Colón de Mora, Costa Rica. The general climatic pattern of the region is that described for the Central Valley. For the majority of the months analyzed, no significant temporal changes were detected over the years (except for September, in which the amount of rain increased, and August where the difference between the maximum and minimum temperatures also increased), but important oscillations were observed during "El Niño" and "La Niña". These events had significant impact on flowering, fructification and management practices implemented on the coffee plantation, increasing or reducing these processes, or making them to occur earlier or latter on those particular years. Also, important deviations in the phenological cycles of various tree species were observed. A positive correlation ( $P < 0,01$ ) was

1/ Recibido el 10 de agosto de 2003. Aceptado el 18 de marzo de 2004.

2/ Autor para correspondencia. Correo electrónico: jdistefa@cariari.ucr.ac.cr

\* Escuela de Biología, Universidad de Costa Rica, San José, Costa Rica.

abril, pero negativa con la temperatura máxima y la magnitud del ámbito de temperatura. Fueron detectados cambios temporales en los procesos reproductivos del café hacia un desplazamiento en el mes que se iniciaba la floración y la maduración del fruto. También se observó un decrecimiento general en la productividad del cafetal, siendo las más bajas a partir de 1997-1998. Se considera que otros factores, como la aparición de la roya en los años 80, la sustitución paulatina de la variedad de café, la reducción de la cantidad de fertilizantes, además del clima, interactuaron para provocar los efectos mencionados. Se resalta la importancia de contar con una buena base de datos meteorológicos para una toma de decisiones agronómicas acertada, en el caso de que se pronostique la ocurrencia de eventos anormales en el clima.

## INTRODUCCIÓN

Durante la evolución del planeta han ocurrido importantes cambios climáticos relacionados con procesos naturales tales como actividad volcánica, variaciones en la órbita terrestre (efecto Milankovich) y cambios en la actividad solar (Fernández 1997, Terborgh 1992).

Sin embargo, hay una creciente preocupación por el impacto a escala global que está ocasionando el ser humano sobre varios procesos ecológicos. En la era industrial de los últimos 150 años la población humana creció exponencialmente, aumentó el poder destructivo de la fuerza militar, el consumo de combustibles fósiles, la deforestación, y el desequilibrio climático e hídrico de grandes extensiones por la construcción de sistemas de irrigación, drenaje de humedales, y la construcción de represas (Fernández 1997). Por ejemplo, en la Amazonía se espera ambientes más secos si se continúa con la eliminación de la vegetación, debido a que una parte de la precipitación no es de origen oceánico (Satali 1985).

observed between the productivity of the coffee plantation and the accumulated amount of rain fallen between December and April, but a negative one with respect to the maximum temperature and the magnitude of the temperature difference between the maximum and the minimum. Over the years analyzed, significant monthly changes were determined in relation to flowers developed and fruit matured in the coffee plants, and a general decrease in productivity of the coffee plantation (the lowest values were obtained after 1997-1998). The blooming and fruit maturation month was displaced until latter in the year. Other factors, in addition to the climatic ones, may have interacted to explain these changes, such as the appearance of rust in the 80's, changes in the coffee varieties in the plantation, reduction in the amounts of fertilizers applied, and others. The importance of having a good database of meteorological data, to make better agronomical decisions in case abnormal climatic events are prognosticated, is emphasized.

Los efectos negativos sobre la estabilidad de muchos de los actuales ecosistemas naturales del planeta son eminentes, dada la poca posibilidad de que estos puedan "asimilar", en términos evolutivos, estas variaciones. Así, se estarían formando nuevos estados de equilibrio que perjudicarían la supervivencia de varias especies vegetales y animales, aunque otras como las plantas exóticas podrían verse favorecidas (Macdonald 1994). Dependiendo de la región, también se espera un impacto importante sobre la estabilidad de los agroecosistemas.

La frecuencia de la aparición del fenómeno de "El Niño" y su contraparte "La Niña", han acaparado la atención mundial. En conjunto representan una de las causas de mayor variación interanual en el clima de los trópicos (Wright *et al.* 1999), los cuales han provocado pérdidas por \$8,65 mil millones ("El Niño" de 1982-1983) (Canby 1984), y al menos de \$33 mil millones en 1997-98 (Suplee 1999).

La estación meteorológica de Barro Colorado en Panamá registró 16 episodios de "El Niño" (1923, 1925, 1930, 1932, 1951, 1953, 1957,

1963, 1965, 1969, 1972, 1976, 1982, 1986, 1992, 1997) desde que se estableció hasta 1999. Estos presentaron diferentes grados de severidad (Wright *et al.* 1999), periodos de recurrencia (promedio de 4,65 años, CV=55%), e intervalos de aparición (2 y 12 años). En la vertiente pacífica de Centro América, este evento se caracteriza por ser un periodo con una menor cantidad de lluvias, mayores temperaturas, reducción de la nubosidad, atraso en el inicio de las lluvias, lluvias cortas y violentas, “veranillos” más prolongados entre julio y agosto, y una mayor insolación (Aids y Latif 1996, Wright *et al.* 1999, Fernández y Ramírez 1991). Generalmente se alternan con episodios opuestos (“La Niña”).

En el 2002 los meteorólogos pronosticaron la aparición de otro episodio de “El Niño” basándose en varios indicios como el aumento en la nubosidad y las fuertes precipitaciones al este de Australia (Stolz 2002), y sobre todo, por un aumento de la temperatura superficial de mar en la región Niño 4.

En Costa Rica se menciona que “El Niño” favorece la ocurrencia de incendios forestales y pérdidas en la producción de granos, especialmente en el Pacífico Norte (Fernández y Ramírez 1991). También provoca desfases en la ejecución de las prácticas de manejo agrícola como el control de malezas, plagas y enfermedades, fertilización y recolección de la cosecha.

Un indicador ecológico para valorar las consecuencias de las variaciones climáticas sobre los ecosistemas terrestres, son los efectos que estos puedan tener sobre los patrones fenológicos de la vegetación natural y cultivos. Estos tienen importantes repercusiones sobre otros procesos biológicos como la polinización, la alimentación de frugívoros, densidad de plagas, etc. Algunos trabajos citan impactos en la dinámica de poblaciones de vertebrados (Wright *et al.* 1999, Leigh *et al.* 1990), en el comportamiento de migración y cambios en la densidad de artrópodos (Aids y Latif 1996), en las tasas de mortalidad de plántulas, sensibles a la sequía (Garwood 1983, Flores *et al.* 1985, Fournier y Salas 1967), y variaciones en los patrones fenológicos de los árboles del bosque seco (Bochert *et al.* 2002).

Una planta muy sensible a las variaciones climáticas tanto en sus ciclos reproductivos como vegetativos, es el café (*Coffea arabica*), principalmente en lo que respecta a cambios en la humedad del suelo y de la atmósfera circundante a la plantación (Carvajal 1984, Fournier 1980a, Fournier y Herrera 1983, Rojas 1987, Segura 1997).

El presente trabajo pretende determinar los posibles cambios temporales en varios factores climáticos utilizando datos tomados en Ciudad Colón, Mora, Costa Rica durante 12 años, y sus efectos sobre los patrones fenológicos del café y otras especies leñosas, y en las prácticas de manejo de un cafetal arbolado en la zona de vida del premontano húmedo (*sensu* Holdridge).

## MATERIALES Y MÉTODOS.

Este trabajo se llevó a cabo en la finca San Luis, ubicada en Ciudad Colón a 750 msnm, en un cafetal con sombra principalmente de poró gigante (*Erythrina poeppigiana*). Además, posee varias parcelas con bosques secundarios de al menos 40 años.

A partir de setiembre de 1988, en forma sistemática se empezó a tomar datos de precipitación y temperatura a la sombra (máximas y mínimas, lectura cada 2 a 3 días).

Además de los datos climáticos, se llevó un control de las labores agrícolas y los patrones fenológicos del cafetal desde 1969. La determinación de la magnitud de la floración y la fructificación se realizó mediante el método propuesto por Fournier (1980b). Las observaciones se llevaron a cabo en una área cultivada de café de 30 ha, la cual se redujo a 22 ha en el año 2000.

Se utilizó pruebas estadísticas básicas para resumir los datos climáticos y fenológicos utilizando el programa SYSTAT® 9.0, y para determinar si estos presentaban alguna tendencia a través de los años. Se compararon con los datos climáticos de la estación Meteorológica Juan Santamaría (JSM), Alajuela (Instituto Meteorológico Nacional 1999) para verificar si estos valores correspondían con los patrones generales de la zona.

Además, se aplicaron las fórmulas y supuestos sugeridos por la metodología de balance hídrico propuesta por Holdridge (1962) para determinar los periodos de estrés hídrico para ecosistemas primarios. También se incluye los datos de evapotranspiración potencial generados por Hancock y Hargreaves (1977) para Ciudad Colón.

**RESULTADOS**

**Precipitación**

La precipitación presentó un patrón bimodal: de abril-mayo a junio, y de agosto a noviembre (Figura 1). El periodo seco ocurrió entre diciembre y marzo-abril con un veranillo en julio. Los valores mensuales oscilaron entre 0 y 600 mm (Figura 1), y el promedio anual total fue de 2190 mm con un coeficiente de variación (CV) del 19,6%. Los ámbitos mensuales más amplios entre años ocurrieron durante la época lluviosa con diferencias cercanas a los 400 mm (Figura 1). El año más seco fue el 2000 (1611 mm, similar al 2001) y el más húmedo 1995 (3122 mm, Figura 2).

La distribución promedio mensual tuvo un comportamiento similar cuando se comparó con la estación meteorológica JSM a 932 msnm y unos 6 km en línea recta de Ciudad Colón (Figura 2, Cuadro 1). Para esta estación meteorológica se determinó una precipitación total anual promedio de 1909 mm según el análisis entre 1956 y 1973 (Herrera 1986), y de 2036,3 mm (CV=15%), durante 1988 a 1999. Para este segundo caso, las diferencias con Ciudad Colón no fueron significativas (Kruskal-Wallis P=0,32 n=11, Figura 2).

Entre diciembre y marzo se observó las mayores variaciones en cuanto a la cantidad de lluvia (CV del 100% o más, Figura 3). Estas co-

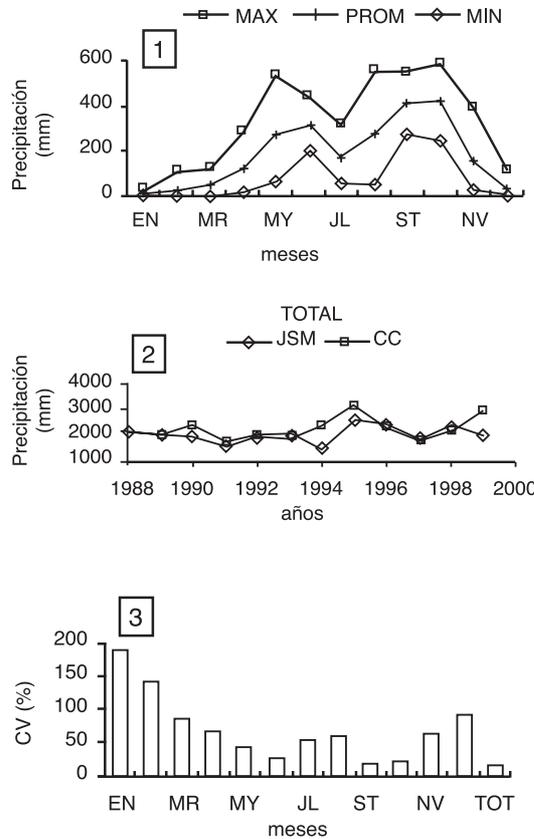


Fig. 1-3. 1. Precipitación promedio, máxima y mínima mensual absolutas entre 1988 y el 2000, Ciudad Colón. 2. Comparación entre la precipitación total de la Estación Meteorológica Juan Santamaría (JSM) y la de la Finca San Luis en Ciudad Colón (CC) de Mora. Años “Niño”; 1991-92, 1997-98. 3. Coeficientes de variación (CV) de la precipitación promedio mensual y total (1988-2000), en la finca San Luis, Ciudad Colón de Mora.

responden al periodo más seco del año. Durante los 12 años de observación, no llovió del todo una vez en diciembre, 8 en enero y 5 en febrero.

Cuadro 1. Precipitación (mm), y temperaturas máximas y mínimas (°C) de la finca San Luis, Ciudad Colón (CC), y la estación meteorológica Juan Santamaría (JSM), Alajuela, de 1989 a 1999.

PRECIPITACIÓN														
SITIO	AÑO	EN	FB	MR	AB	MY	JN	JL	AG	ST	OT	NV	DC	TOT
CC	1988	0,8	0	14,5	46,9	276,9	273	110,8	492,2	429	457,6	80,7	30,9	2213,3
CC	1989	4,8	0	28,7	46,2	185,3	283,2	182,5	381,1	355,1	392	105,8	96,7	2061,4
CC	1990	0,5	38,1	10,3	58,4	168,2	321,7	269,4	203,5	286,4	394	136,8	54,4	1941,7
CC	1991	11,1	0	8,9	91,2	216,2	173,3	81,4	250,9	269,1	334,5	122,4	65,7	1624,7
CC	1992	0	75,8	0	31,6	173,5	371,3	171,7	200,2	310,3	371,2	239,8	5,3	1950,7
CC	1993	28,4	0,3	131,3	104,8	410,5	273,2	137,9	205,6	414,8	292,9	68,3	38,4	2106,4
CC	1994	0	0	0,5	56,6	246,3	116,1	111,4	262,3	240,1	264,2	217,6	12,2	1527,3
CC	1995	0	0	80,8	306,2	380,7	218,3	250,8	485,4	300,7	466,2	106,9	42,4	2638,4
CC	1996	26,9	3,9	2,1	36,3	387,4	281	418,9	219,5	407	250	259	3,9	2295,9
CC	1997	26,2	1,2	5,6	135,5	261,8	236,3	59,6	75	459,9	213,8	346,6	5,8	1827,3
CC	1998	0	7	20,2	24,2	109,3	302	323	282,4	456,9	513,3	179,9	83,5	2301,7
CC	1999	0	78,3	1,2	153,8	302	281,9	63,6	312,4	354,9	265,2	87,1	46,3	1946,7
JSM	1988									487,5	585,4	71,9	8,98	
JSM	1989	0	0	99	16,4	181,3	300,1	129,2	420,3	272	353	147,6	110,2	2029,1
JSM	1990	0	100,3	10,9	199,8	230,1	367,4	219,6	162,9	305	424,1	239,9	40	2300
JSM	1991	0	0	8,4	58,9	233,6	371,1	70,1	165,8	360,2	496	37,6	40	1841,7
JSM	1992	0	102,9	7,6	135,2	227	427,8	167,8	91,6	340,1	395,9	156,6	2,6	2055,1
JSM	1993	28,5	0	55,2	114	320	316,7	61,4	244	313,8	338	27	29,7	1848,3
JSM	1994	0	3,5	1	174,5	347,5	241,2	121,8	303,3	477,5	520,9	143,8	3,9	2338,9
JSM	1995	0	0	122,5	287,8	309	435,1	257,3	553	462,6	580,2	84,6	30,3	3122,4
JSM	1996	35,5	28	41,6	112,6	378,9	225,3	317,3	181,7	440,2	303,8	226,5	0	2291,4
JSM	1997	11,8	0	83,1	45,5	196,7	217,3	60,6	51	457,1	242,6	386,8	48,5	1801
JSM	1998	0	11,8	38,5	21,6	61,2	204,1	300,3	317	503,7	438,9	163,9	69,7	2130,7
JSM	1999	0	65,6	33,9	203,5	532,5	376,5	137,1	499,6	555,3	364,9	114,6	23,3	2906,75

TEMPERATURA MÁXIMA																
SITIO	AÑO	EN	FB	MR	AB	MY	JN	JL	AG	ST	OT	NV	DC	Prom. Mensual	Prom. Anual	
CC	1988									23,5	23,9	25,7	26,2			
CC	1989	28,2	28,9	29,8	30,7	28,8	27,6	27,5	26,9	26,0	26,0	25,6	26,1	27,7	28,1	
CC	1990	28,0	28,9	30,2	30,5	28,3	27,9	27,0	27,3	26,9	25,6	26,0	26,8	27,8		
CC	1991	27,9	29,6	31,5	30,8	28,0	28,1	28,2	27,4	27,5	26,1	26,7	26,8	28,2		
CC	1992	28,7	29,7	31,3	30,8	30,0	27,8	27,7	27,2	26,7	26,3	26,1	27,4	28,3		
CC	1993	27,9	30,3	30,6	31,0	28,0	28,4	28,5	27,2	26,1	26,3	26,3	27,5	28,2		
CC	1994	28,5	29,5	31,3	31,6	29,3	28,0	28,1	27,4	27,6	25,5	25,1	25,9	28,2		
CC	1995	28,1	29,5	30,7	29,2	27,2	26,6	26,1	26,1	25,9	24,9	25,5	27,0	27,2		
CC	1996	27,8	29,3	31,0	30,4	28,7	27,4	27,9	28,4	27,3	26,5	26,0	27,3	28,2		
CC	1997	27,9	30,0	31,1	31,1	30,0	28,5	30,1	30,6	28,2	27,3	26,8	28,1	29,1		
CC	1998	29,5	30,6	32,1	32,7	31,5	29,0	28,9	28,0	26,9	26,1	25,9	26,2	29,0		
CC	1999	27,2	28,3	31,0	30,8	28,2	27,0	28,1	27,7	25,6	25,4	26,0	26,4	27,6		
CC	2000	27,7	29,8	31,2	31,6	28,7	27,2	28,0	27,4	26,6	26,7	26,4	26,6			
JSM	1988	28,4	28,7	29,4	30,1	28,4	27,2	27,2	26,7	26,4	26,7	27,4	27,0	27,8	28,2	
JSM	1989	27,5	27,3	29,1	29,8	28,6	27,4	27,5	27,6	27,1	27,9	27,0	27,5	27,9		
JSM	1990	27,7	28,1	29,1	30,3	28,6	28,3	27,8	28,1	28,1	27,1	27,5	27,5	28,2		
JSM	1991	28,2	28,4	30,8	29,9	27,9	28,2	28,0	28,1	28,1	27,7	27,7	27,3	28,4		
JSM	1992	28,1	28,8	30,0	30,4	29,4	28,2	27,7	27,8	27,1	27,3	27,6	27,8	28,4		
JSM	1993	27,8	28,8	29,5	29,7	27,8	27,9	28,4	28,0	26,8	27,8	27,9	28,0	28,2		
JSM	1994	28,0	28,8	30,2	29,7	28,5	28,2	28,3	28,1	28,0	27,7	26,8	28,1	28,4		
JSM	1995	28,2	28,9	29,7	29,4	28,2	27,4	27,8	27,1	27,5	26,4	27,8	28,1	28,0		
JSM	1996	27,5	28,5	29,3	29,9	27,8	27,4	27,8	28,0	27,7	27,1	26,3	27,5	27,9		
JSM	1997	28,2	28,6	29,5	30,3	28,8	27,8	29,1	29,6	29,0	28,7	28,2	29,3	28,9		
JSM	1998	29,7	31,2	31,5	31,9	30,4	28,8	28,4	28,3	26,7	26,8	26,7	26,4	28,9		
JSM	1999	27,9	25,3	29,0	28,3	28,3	27,1	28,0	27,5	25,1	26,4	25,5	26,5	27,1		

## TEMPERATURA MÍNIMA

SITIO	AÑO	EN	FB	MR	AB	MY	JN	JL	AG	ST	OT	NV	DC	Prom.		
														Mensual	Anual	
CC	1988										19,3	18,6	18,6	19,6		
CC	1989	20,5	19,2	17,4	20,6	20,4	19,4	19,7	19,0	19,3	18,9	19,5	19,5	19,5	19,2	
CC	1990	20,8	19,4	20,3	20,4	20,6	20,5	19,8	19,8	19,2	19,0	19,4	19,8	19,9		
CC	1991	19,2	20,2	18,5	19,4	20,5	19,8	20,2	19,3	18,9	18,1	19,0	19,8	19,4		
CC	1992	18,6	18,0	19,8	20,1	19,3	18,8	18,4	18,7	18,4	18,5	18,2	19,3	18,8		
CC	1993	18,7	17,9	18,0	18,7	18,9	19,2	19,2	19,2	18,6	18,1	19,0	19,0	18,7		
CC	1994	16,6	17,8	18,2	19,4	19,5	19,0	19,3	18,7	19,1	18,4	19,2	19,8	18,8		
CC	1995	17,9	18,6	17,7	19,3	18,6	18,9	18,9	18,3	18,6	18,4	18,6	18,9	18,6		
CC	1996	18,4	19,1	19,0	19,7	20,3	19,8	19,6	18,9	18,8	19,2	19,3	19,9	19,3		
CC	1997	18,0	20,8	19,4	19,5	20,8	19,7	21,1	21,2	19,5	19,5	19,8	19,2	19,9		
CC	1998	18,9	18,8	19,9	20,3	21,2	20,4	19,5	19,3	19,2	19,5	19,1	19,0	19,6		
CC	1999	18,4	19,2	19,1	19,3	18,9	18,7	19,0	18,5	18,7	18,9	18,8	19,1	18,9		
CC	2000	18,6	19,7	19,1	20,3	19,0	19,2	19,6	19,0	18,5	18,7	18,6	18,8			
JSM	1988	18,6	19,2	18,3	18,3	19	18,1	18,3	18	18,3	17,8	17,8	17,8	18,3	18,5	
JSM	1989	18,6	17,6	16,6	19	18,8	18,4	18,6	18,2	18,1	17,9	18,6	17,9	18,2		
JSM	1990	19,3	17,9	18,9	19,2	19,6	19,5	18,6	18,9	18,4	18,2	18,8	18,7	18,8		
JSM	1991	18,2	18,7	18,1	18,6	19,6	19,3	19,8	18,9	18,7	17,8	18,6	18,7	18,8		
JSM	1992	18,1	18,2	18,9	19,4	19,4	19	18,8	18,4	18	18,3	17,9	18,7	18,6		
JSM	1993	18	17,5	17,7	18,7	19	18,9	19,2	19,2	18,2	18,1	18,5	18,1	18,4		
JSM	1994	17,4	18,4	18	19,1	19	18,5	19,4	18,4	18,9	18,2	18,3	18,7	18,5		
JSM	1995	18,2	18,4	18,3	19,1	18,1	18,4	18,8	18	18,4	18,1	18,9	18,2	18,4		
JSM	1996	17,4	18,4	18,1	18,7	19,2	18,8	18,6	18,3	18,1	17,5	17,4	19,1	18,3		
JSM	1997	17,4	19,5	18,6	18,7	20,5	19	20,8	20,5	18,9	19,6	19,1	18,7	19,3		
JSM	1998	18,7	19,2	19,7	20	20,2	20	19,1	18,9	17,5	18,5	17,5	18,5	19,0		
JSM	1999	17,6	16,4	18,2	18	18,2	17,4	18,3	17,8	17,1	17,7	17,2	17,9	17,7		

## ÁMBITO DE TEMPERATURA

SITIO	AÑO	EN	FB	MR	AB	MY	JN	JL	AG	ST	OT	NV	DC	
CC	1988										4,3	5,2	7,1	6,6
CC	1989	7,7	9,7	12,4	10,1	8,3	8,2	7,8	7,9	6,7	7,1	6,1	6,6	
CC	1990	7,1	9,5	9,9	10,1	7,7	7,5	7,2	7,5	7,7	6,7	6,6	7,0	
CC	1991	8,7	9,5	13,0	11,5	7,5	8,3	8,0	8,1	8,6	7,9	7,7	7,0	
CC	1992	10,1	11,7	11,5	10,7	10,7	9,0	9,3	8,5	8,3	7,7	8,0	8,1	
CC	1993	9,2	12,4	12,6	12,3	9,1	9,3	9,2	8,0	7,6	8,2	7,3	8,5	
CC	1994	11,9	11,7	13,1	12,2	9,8	9,0	8,8	8,6	8,5	7,2	5,8	6,1	
CC	1995	10,2	10,8	12,9	9,9	8,6	7,7	7,2	7,9	7,4	6,5	7,0	8,1	
CC	1996	9,4	10,2	12,1	10,7	8,4	7,6	8,3	9,4	8,5	7,3	6,7	7,4	
CC	1997	9,9	9,1	11,6	11,6	9,2	8,9	9,0	9,4	8,7	7,8	6,9	8,9	
CC	1998	10,6	11,8	12,2	12,4	10,3	8,6	9,3	8,7	7,7	6,6	6,8	7,2	
CC	1999	8,8	9,1	11,9	11,5	9,3	8,3	9,1	9,2	7,0	6,4	7,2	7,3	
CC	2000	9,1	10,1	12,1	11,3	9,6	8,0	8,4	8,4	8,1	8,0	7,8	7,8	
JSM	1988	9,8	9,5	11,1	11,8	9,4	9,1	8,9	8,7	8,1	8,9	9,6	9,2	
JSM	1989	8,9	9,7	12,5	10,8	9,8	9,0	8,9	9,4	9,0	10,0	8,4	9,6	
JSM	1990	8,4	10,2	10,2	11,1	9,0	8,8	9,2	9,2	9,7	8,9	8,7	8,8	
JSM	1991	10,0	9,7	12,7	11,3	8,3	8,9	8,2	9,2	9,4	9,9	9,1	8,6	
JSM	1992	10,0	10,6	11,1	11,0	10,0	9,2	8,9	9,4	9,1	9,0	9,7	9,1	
JSM	1993	9,8	11,3	11,8	11,0	8,8	9,0	9,2	8,8	8,6	9,7	9,4	9,9	
JSM	1994	10,6	10,4	12,2	10,6	9,5	9,7	8,9	9,7	9,1	9,5	8,5	9,4	
JSM	1995	10,0	10,5	11,4	10,3	10,1	9,0	9,0	9,1	9,1	8,3	8,9	9,9	
JSM	1996	10,1	10,1	11,2	11,2	8,6	8,6	9,2	9,7	9,6	9,6	8,9	8,4	
JSM	1997	10,8	9,1	10,9	11,6	8,3	8,8	8,3	9,1	10,1	9,1	9,1	10,6	
JSM	1998	11,0	12,0	11,8	11,9	10,2	8,8	9,3	9,4	9,2	8,3	9,2	7,9	
JSM	1999	10,3	8,9	10,8	10,3	10,1	9,7	9,7	9,7	8,0	8,7	8,3	8,6	

## Temperatura

La temperatura promedio ( $n=12$ ) en Ciudad Colón fue de  $23,7^{\circ}\text{C}$  ( $\text{CV}=1,9\%$ ), con una mínima y máxima promedio de  $19,2$  y  $28,1^{\circ}\text{C}$ , respectivamente. Estas fueron  $1$ ,  $1,8$  y  $0,1^{\circ}\text{C}$  superiores, comparadas con las estimadas en la estación JSM en el periodo 1956-1973 (Herrera 1986), pero durante 1988 a 1999 las diferencias fueron de  $0,3$ ,  $0,7$  y  $0,1$ , respectivamente.

La temperatura mensual promedio más alta ( $26,5^{\circ}\text{C}$ ) ocurrió entre marzo y abril, mientras que la más baja ( $21,3^{\circ}\text{C}$ ), entre setiembre y octubre (Cuadro 1). Las temperaturas máximas siguieron el patrón cenital (equinoxios). Los CV fueron menores al 4% siendo mayo y agosto los meses más variables entre los años. El valor promedio anual más bajo ( $22,9^{\circ}\text{C}$ ) se registró en 1995, y el más alto ( $24,5^{\circ}\text{C}$ ) en 1997 precisamente en uno de los "Niños" más severos que se ha registrado.

La temperatura mínima promedio anual se mantuvo entre  $18,5$  y  $20^{\circ}\text{C}$  mientras que la máxima osciló entre  $27$  y  $29^{\circ}\text{C}$ . El ámbito de la amplitud anual ( $\text{temp}_{\text{max}} - \text{temp}_{\text{min}}$ ) promedio fue de  $8,9^{\circ}\text{C}$  y osciló entre  $7,9$  y  $9,5^{\circ}\text{C}$ .

En las variaciones mensuales a través de los años (Cuadro 1, Ciudad Colón), 6 meses presentaron una tendencia lineal hacia temperaturas mínimas más bajas, siendo marginalmente significativa solo para diciembre y enero ( $P=0,09$  y  $P=0,06$ , respectivamente). Comparado con los datos de la estación JSM, se observaron patrones muy similares (Cuadro 1). Sin embargo, se encontró diferencias entre los promedios de las temperaturas mínimas de 8 meses ( $P<0,05$ ,  $n=11$ ) excepto para enero, febrero, marzo y mayo. En general, las mínimas tendieron a ser más altas en Ciudad Colón.

Por otra parte, en 10 de los meses se encontró una tendencia hacia un aumento de sus temperaturas máximas, siendo marzo la única marginalmente significativa ( $P=0,07$ , Cuadro 1, Ciudad Colón). Cuando se compara estos datos con los de la estación JSM, hubo diferencias significativas en los promedios de las temperaturas máximas de octubre a diciembre y de febrero a abril ( $P<0,01$ ,  $n=11$ ). Estas tendieron a ser más

altas durante el primer semestre y más bajas en el segundo en Ciudad Colón.

Los ámbitos promedio mensuales ( $\text{temp}_{\text{max}} - \text{temp}_{\text{min}}$ ) tendieron a ser más amplios a través de los años para 10 meses, siendo únicamente significativos para agosto ( $P=0,006$ ,  $n=11$ ). Cuando se compara los promedios mensuales con los de la estación JSM (Cuadro 1), las diferencias en los ámbitos fueron significativas para los meses de agosto a diciembre, marzo y junio ( $P<0,02$ ,  $n=11$ ). La amplitud tendió a ser menor en Ciudad Colón, especialmente para los 3 últimos meses del año.

## Balance hídrico

La evapotranspiración potencial osciló entre  $100$  y  $125 \text{ mm mes}^{-1}$  (Figura 4), según los supuestos de la metodología propuesta por Holdridge (1962). De acuerdo con las estimaciones de Hancock y Hargreaves (1977), los valores son más altos, oscilando de  $125$  a  $172 \text{ mm}$ .

De diciembre a marzo se observa una baja importante en la precipitación, la cual no es capaz de suplir las necesidades de la evapotranspiración potencial. Sin embargo, las reservas de

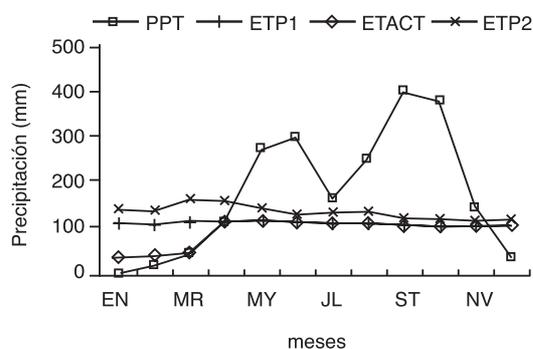


Fig. 4. Precipitación (PPT), evapotranspiración potencial (ETP1, según método de Holdridge (1962), ETP2, según Hancock y Hargreaves, 1977) y actual (ETACT, calculado según la metodología Holdridge 1962) promedio para 12 años (1989-2000), en la finca San Luis, Ciudad Colón de Mora. Años "Niño": 1991-92, 1997-98.

agua del suelo son suficientes para cubrir el déficit hídrico, por lo menos para diciembre (se asumió una capacidad de campo de 150 mm). Las lluvias esporádicas durante febrero y marzo hacen que las condiciones sean menos estresantes para ciertos años. Durante abril y mayo, las reservas de agua del suelo se recargan. Los restantes meses dominan los excesos de agua, inclusive durante el periodo de veranillo, aunque durante los años “Niño”, especialmente el de 1997, se pudo presentar situaciones críticas capaces de afectar a las plantas en desarrollo y los patrones de crecimiento vegetativo y reproductivo del café.

No se logró detectar ninguna tendencia a través de los años ( $P > 0,1$ ) en cuando al número de meses que presentó condiciones de estrés hídrico. Sin embargo, se observó años con un fuer-

te déficit en la precipitación. Estos fueron 1991, 1997, 1998, 2000 y el 2001, la mayoría clasificados como años “Niño”. Por otro lado, 1995 y 1999 mostraron un elevado exceso de agua, correspondiendo a periodos “Niña”.

También se observó variaciones en el inicio, duración y finalización de los veranillos a través de los años. Sin embargo, y de acuerdo al modelo utilizado anteriormente, las reservas de agua del suelo y las lluvias esporádicas caídas durante ese periodo, siempre impidieron que se desarrollara un fuerte estrés hídrico, a excepción de 1997.

### Fenología y manejo del cafetal con sombra

El cuadro 2 presenta un resumen de las actividades de manejo del cafetal en cuanto a control

Cuadro 2. Patrón fenológico y actividades de manejo de un cafetal con sombra, en la finca San Luis, Ciudad Colón.

Año	Inicio y finalización de la floración.	Inicio y finalización de la cosecha.	Inicio del control mecánico de malezas
1969-70	Dic.-mar.	21 jul.-17 dic.	ND**
1970-71	Dic.-abr.	6 jul.-7 dic.	ND
1971-72*	Dic.-abr.	28 jul.-7 dic.	ND
1972-73	Dic.-abr.	4 jul.-27 dic.	ND
1973-74	Dic.-abr.	17 jul.-14 dic.	ND
1975	Ene.-mar.	12 ago.-11 dic.	ND
1975-76*	Dic.-abr.	10 ago.-17 dic.	ND
1976-77	Dic.-abr.	18 oct.-2 dic.	ND
1977-78	Dic.-mar.	29 jul.-7 dic.	ND
1978-79	Dic.-mar.	25 jul.-1 dic.	ND
1979-80	Dic.-abr.	6 jul.-17 dic.	ND
1980-81	Dic.-abr.	16 jul.-26 nov.	ND
1981-82*	Dic.-mar.	3 ago.-29 nov.	ND
1982-83	Dic.-feb.	6 jul.-20 oct.	ND
1983-84	Dic.-abr.	14 jul.-18 dic.	ND
1984-85	Dic.-feb.	11 nov.-26 dic.	ND
1985-86*	Dic.-mar.	3 jul.-4 dic.	ND
1986-87	Dic.-mar.	29 set.-24 nov.	ND
1987-88	Dic.-mar.	11 oct.-27 dic.	ND
1988-89	Dic.-mar.	4 oct.-15 dic.	ND
1990	Feb.-abr.	5 set.-30 nov.	ND
1991*	Mar.	22 oct.-21 dic.	ND
1992*	Feb.-abr.	3 set.- 3 dic.	ND
1993	18-19 ene. /24-25 mar.	31 ago.-3 dic.	17 jun.
1994	5-6 mar. /1 may.	14 oct.- 29 dic.	7 jun.
1995	10-12 feb. /21-22 mar.	20 set.- 15 dic.	29 may.
1996	8-9 ene. / 24-25 feb.	20 ago.- 15 dic.	5 jun.
1997*	17-18 ene. / 30 mar.	6 ago. - 5 dic.	2 jun.
1998*	18 feb./ 7-8 mar./ 7-8 abr.	14 oct. - 8 dic.	1 jul.
1999	Feb.-abr.	22 set. y 8 ene.2000.	3 jun.
1999-2000	Dic.-abr.	10 oct.- 21 dic.	5 jul.
2001	Mar.-abr.	16 oct.- 5 ene 2002	3 jul.

\*Años “Niño” basado en Wright *et al.* (1999), estación meteorológica Barro Colorado, Panamá, e Inst. Meteorológico Nacional (2002).

\*\*ND= no disponible.

mecánico de malezas, así como los patrones de floración y periodo de cosecha del café por más de 30 años a partir de 1970. Se observa importantes cambios en parte debido a las variaciones en la temperatura y la precipitación en los diferentes años, y al manejo que se implementó en la finca.

En promedio, el pico de floración fue en marzo, el mes más caliente y seco, pero se extendió desde diciembre a mayo (Figura 5). La fructificación (maduración completa) ocurrió de julio

a diciembre, con el pico entre octubre y noviembre (Figura 6).

Se observó una disminución de la floración en diciembre y enero a través de los años (Figura 7), aunque las regresiones lineales no resultaron significativas ( $P > 0,1$ ). La fructificación tendió a concentrarse al final del año en los últimos 2 quinquenios (Figura 8). Las regresiones lineales para julio y agosto fueron significativas ( $P < 0,05$ ) no así para los demás meses.

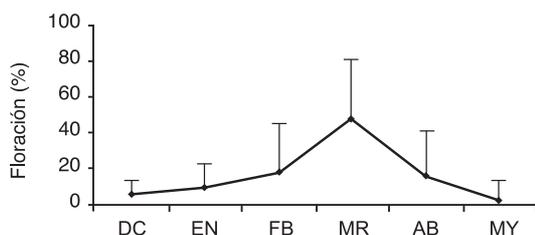


Fig. 5. Porcentaje promedio (+1 Desv. Est.) del total de la floración anual del café ocurrida en los diferentes meses, entre 1969 y el 2000, en la finca San Luis, Ciudad Colón de Mora.

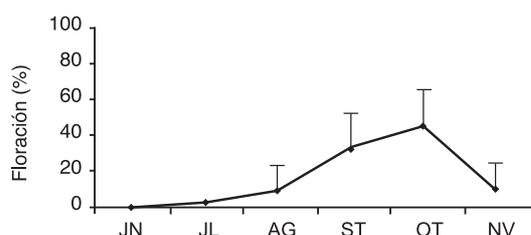


Fig. 6. Porcentaje promedio (+1 Desv. Est.) del total de la fructificación del café anual ocurrida en los diferentes meses, entre 1969 y el 2000, en la finca San Luis, Ciudad Colón de Mora.

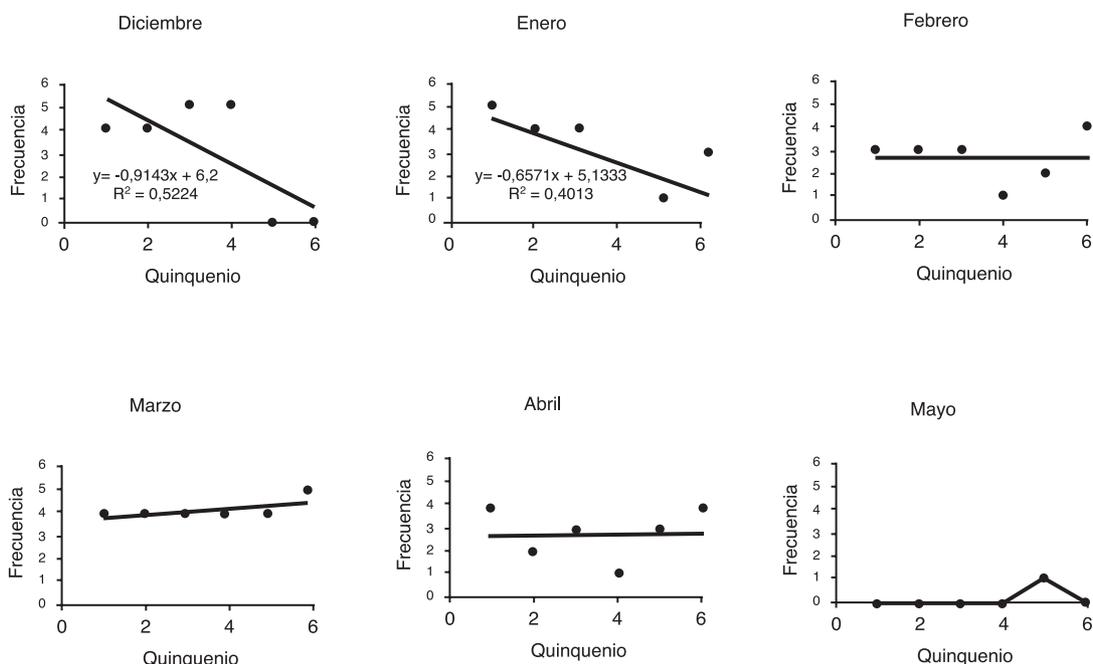


Fig. 7. Número de veces que el café floreció en los diferentes meses a lo largo de 6 quinquenios de 1969-70 a 2000-01, en la finca San Luis, Ciudad Colón de Mora.

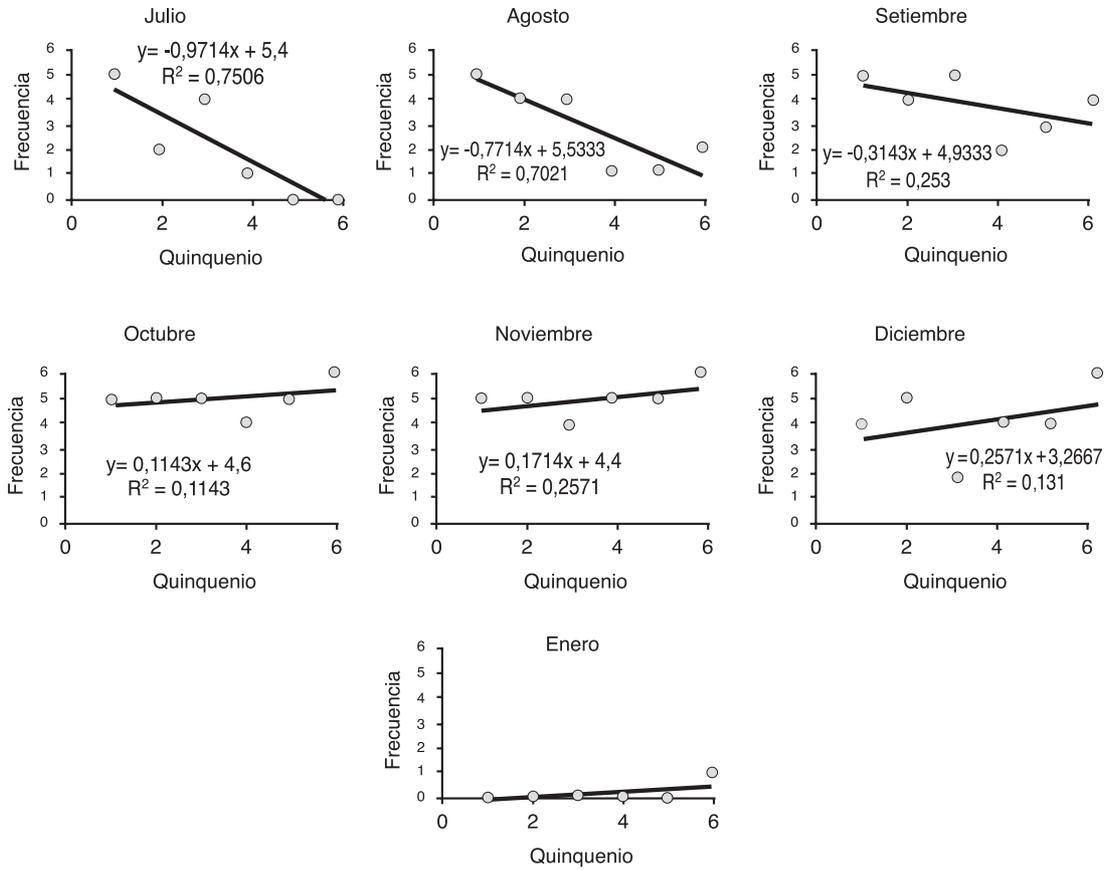


Fig. 8. Número de veces que el café produjo frutos para diferentes meses a lo largo de 6 quinquenios de 1969-70 a 2000-01, en la finca San Luis, Ciudad Colón de Mora.

El grado de participación de los diferentes meses en las fases reproductivas también sufrió cambios a través de los años (Figuras 9 y 10). Diciembre y enero mostraron una tendencia a disminuir su influencia en los episodios de floración ( $P_{dic}=0,001$ ,  $P_{ene}=0,08$ ), concentrándose entre febrero y abril. El porcentaje de frutos maduros producido durante agosto, setiembre y octubre tendió a disminuir ( $P=0,05$  para agosto, otros  $P>0,1$ ), pero aumentó en noviembre y diciembre ( $P>0,1$ ).

En cuanto a la productividad anual relativa (escala de 0-10), muestra una relación cuadrática

significativa a través del tiempo ( $P=0,02$ ). Entre 1969 y 1985, la productividad tendió a aumentar, pero luego decreció alcanzando los valores más bajos a partir de 1997-1998 (Figura 11).

A partir de 1989, se observó una asociación positiva ( $P=0,004$ ) entre la precipitación acumulada en la estación seca (diciembre a abril) y el volumen de café cosechado (Figura 12). También fueron significativas la regresión lineal entre la temperatura máxima ( $P=0,02$ ) y el ámbito de temperatura ( $P=0,05$ ), aunque en general, los valores de  $R^2$  son bajos.

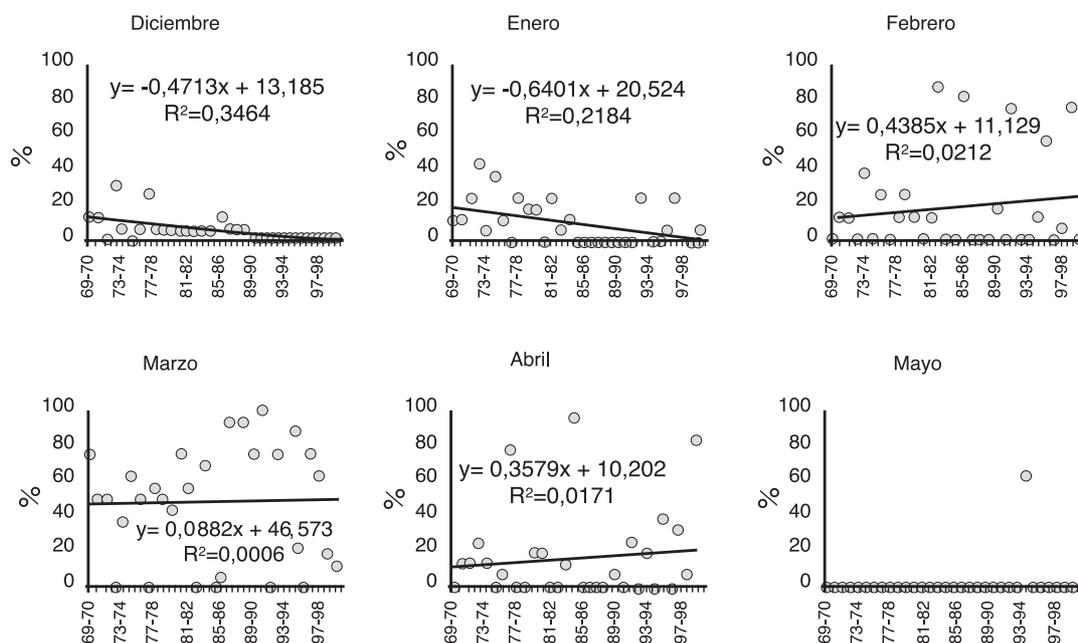


Fig. 9. Porcentaje de floración total anual de café ocurrido en cada uno de los meses de 1969-70 a 2000-01, en la finca San Luis, Ciudad Colón de Mora.

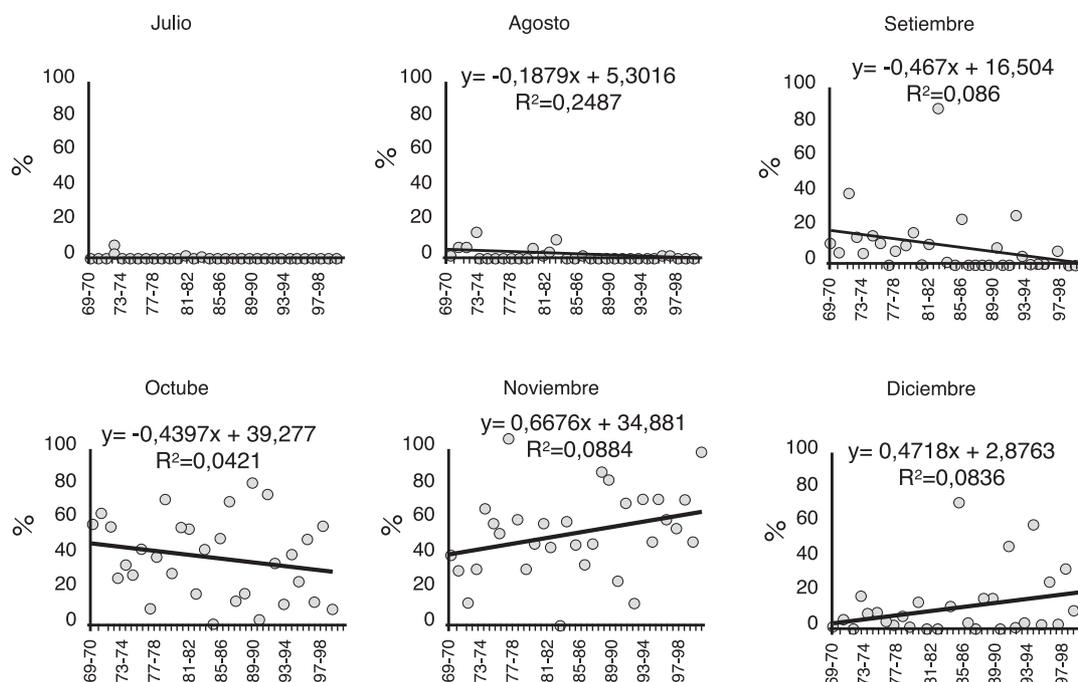


Fig. 10. Porcentaje de la fructificación total anual de café ocurrido en cada uno de los meses de 1969-70 a 2000-01, en la finca San Luis, Ciudad Colón de Mora.

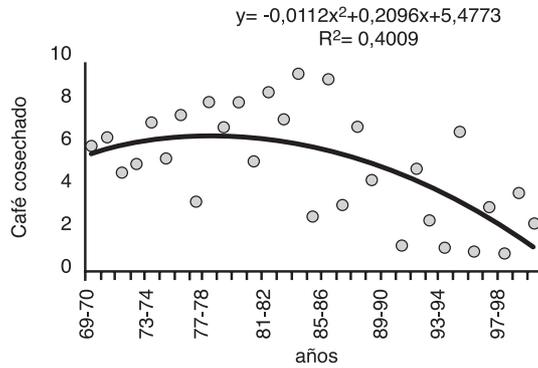


Fig. 11. Volúmen relativo (escala de 0 a 10) de café cosechado desde 1969-1970 hasta el 2000, en la finca San Luis, Ciudad Colón de Mora.

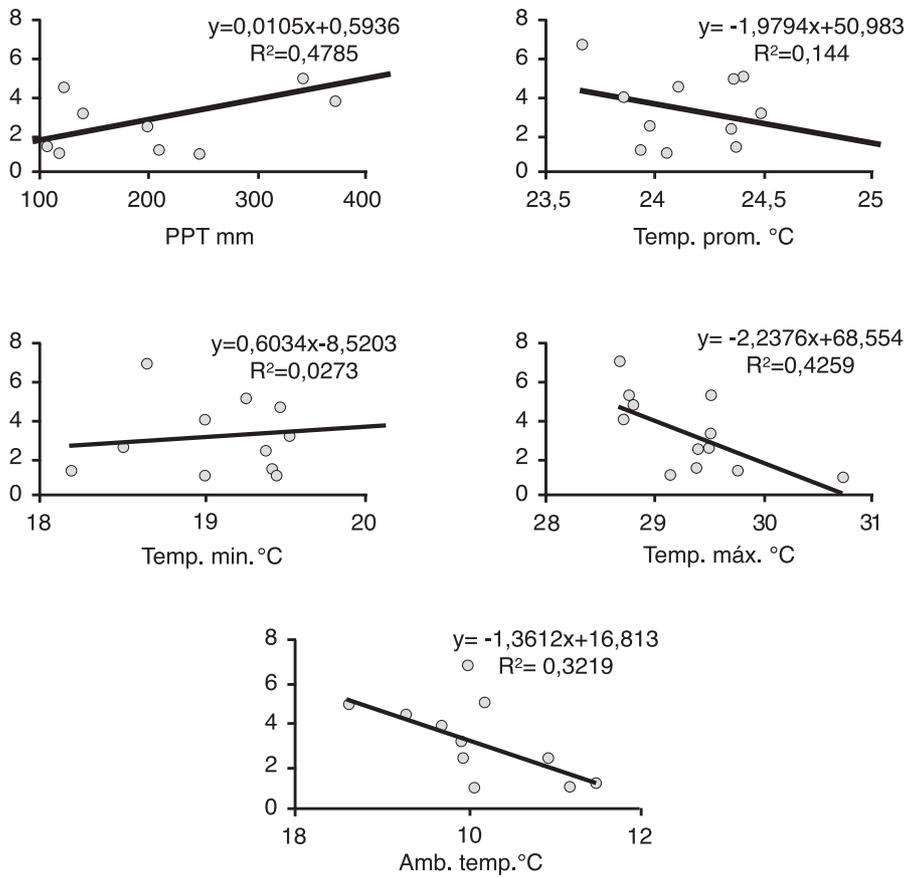


Fig. 12. Relación entre el volúmen relativo de café cosechado (escala relativa entre 0 y 10) y varios factores climáticos promedio durante la época seca (diciembre a abril) entre 1988 y el 2000, en la finca San Luis, Ciudad Colón de Mora.

## DISCUSIÓN

### Precipitación

El patrón de precipitación de Ciudad Colón corresponde al descrito para el Valle Interamericano Central (Gómez 1986, Herrera 1986). La caracterización general de una estación con régimen Pacífico es:

1. De diciembre a abril, periodo seco.
2. Mayo, transición a la época lluviosa.
3. Junio, primer máximo de precipitación.
4. De julio a agosto, el veranillo.
5. De setiembre a noviembre, segundo periodo lluvioso.
6. Diciembre, a veces puede ser considerado como transición al periodo seco. (Instituto Meteorológico Nacional 2002).

De diciembre a marzo predominan los vientos del NE, impidiendo que penetre la humedad del Pacífico, mientras que lo contrario tiende a ocurrir en los meses restantes.

Durante 1991-92, 1993, 1997-98, 2000 y 2001 (varios de estos años "Niño"), se registró los menores valores de precipitación total, en alrededor de 200 mm o más con respecto al promedio. Por el contrario, 2 años presentaron cantidades anormales de lluvia, cercanos a los 3000 mm, en 1995 y 1999 (años considerados "Niña"), parcialmente como consecuencia indirecta de los efectos provocados por los huracanes César y Mitch, respectivamente. Estos eventos, relativamente inusuales, tuvieron consecuencias sobre las actividades biológicas de la zona y sobre otros factores como en los niveles de erosión y ocurrencia de derrumbes.

En la década analizada no se observó ninguna tendencia consistente hacia un aumento o disminución de las lluvias, excepto para setiembre, que presentó una tasa de aumento promedio de aprox. 30 mm año<sup>-1</sup>, hasta alcanzar valores semejantes a los de octubre.

### Temperatura

La temperatura tampoco escapa del patrón general para la región del Valle Interamericano Central (Herrera 1986) y coincide aproximadamente con el decrecimiento adiabático de 0,6°C 100 m<sup>-1</sup> de altitud. Los promedios mensuales no mostraron tendencias claras hacia aumentar o disminuir. Algo similar se observó para las máximas y mínimas, excepto para marzo (que tendió a aumentar sus máximas) y diciembre y enero (los cuales tendieron a disminuir sus mínimas). La mayor variación anual ocurrió durante "El Niño" de 1997-1998 donde la temperatura promedio aumentó cerca de 1°C, mientras que en 1995 disminuyó en similar magnitud.

A través de la década, los ámbitos promedio mensuales de temperatura en Ciudad Colón tendieron a ser más amplios para 10 meses, siendo altamente significativos ( $P < 0,01$ ) para agosto. Este último aumentó cerca de 1°C. Por el contrario, Fernández (1997) señaló que los ámbitos diarios tendieron a reducirse a través del tiempo cuando analizó 23 estaciones meteorológicas durante 3 décadas. Esto lo atribuyó a una mayor tasa de aumento de las temperaturas mínimas con respecto a las máximas. Esta discrepancia pudo deberse a que los datos de Ciudad Colón no fueron tomados diariamente.

Se observó algunas variaciones cuando se comparó los presentes datos con los de la estación JSM. Las temperaturas máximas tendieron a ser más altas durante la época seca en Ciudad Colón, pero más bajas en la lluviosa. Las mínimas tendieron a ser más altas en Ciudad Colón. Estas variaciones pueden ser el resultado de las diferencias en altitud y ubicación, y del grado de modificación ambiental entre los 2 sitios: Ciudad Colón se localiza en el lado S-O del Valle Central al pie del macizo del Cedral y todavía presenta importantes parches de café y bosque.

### Análisis fenológico del café

Los procesos fenológicos del café, las actividades culturales en la finca y la recolección de la cosecha están estrechamente asociados con el comportamiento del clima (Fournier 1980a, Carvajal 1984, Segura 1997).

Por ejemplo, la aplicación de fertilizantes se lleva a cabo en 3 épocas coincidentes con el patrón de las lluvias. En Ciudad Colón, la costumbre es abonar con una fórmula completa (N-P-K-Mg-Bo) al inicio de las lluvias y a finales del periodo de la canícula (mediados de agosto), y con un fertilizante alto en N al final de la estación lluviosa. Por lo general, también se hacen 2 aplicaciones de fertilizantes foliares (20-20-20) que aportan Zn y Bo, y de fungicidas coincidentes con la época de la aplicación de las fórmulas completas de fertilizante. Además, se agrega un fungicida a base de cobre y uno sistémico si se nota algún ataque significativo de roya.

El crecimiento vegetativo de los cafetos varía significativamente durante el año. Este es limitado en la estación seca (diciembre-marzo), se incrementa con las primeras lluvias (abril-mayo) hasta alcanzar un pico en junio, prolongándose hasta mediados de julio (Fournier y Herrera 1983). A finales de julio se inicia otro pico de menor crecimiento vegetativo que culmina en setiembre. Esta disminución en el crecimiento vegetativo coincide con un descenso en las lluvias durante el periodo de la "canícula". Conforme avanza la estación lluviosa en su segunda etapa (setiembre-octubre) y disminuye también la temperatura, el crecimiento vegetativo baja significativamente, para mostrar otro pequeño aumento al final del año (fines de noviembre a diciembre) a la salida de las lluvias.

Briceño y Arias (1992) observaron, en un cafetal de Barba de Heredia, que el crecimiento vegetativo se incrementa con las primeras lluvias, tal como se ha observado en Ciudad Colón, y que este es bajo en la estación seca. Estos autores también determinaron un descenso en el crecimiento a mediados de junio, a pesar que la lluvia era copiosa. Por su parte Briceño *et al.* (1992), en otro estudio en ese mismo sitio, determinaron que el contenido de ácido abscísico

(ABA) fue alto y el del ácido giberélico (GA) bajo, cuando el crecimiento vegetativo era lento en los ejes plagiotrópicos en la época seca. Pero con las primeras lluvias bajó el contenido de ABA y aumentó al máximo el de GA, coincidiendo con la floración. Posteriormente, durante la "purga" de junio, de nuevo sube el contenido de ABA y desciende el de GA. En ese momento, las lluvias eran adecuadas, por lo que tiene lugar el llenado del fruto, baja el crecimiento longitudinal de los ejes, y se produce un aumento en la formación de nuevas ramas.

Las malezas herbáceas, por sus raíces superficiales, son sensibles a la cantidad de humedad en el suelo y tienden a ser pocas en los últimos meses de la estación seca (marzo-abril). Así, la chapea normalmente se inicia hasta finales de mayo o principios de junio, cuando se establecen las lluvias y la población alcanza una altura promedio de 50 a 60 cm. En 1994 las lluvias iniciaron con cierta intensidad en abril (Cuadro 1) y esto favoreció el crecimiento de las malezas en el cafetal por lo que el control mecánico se inició temprano (Cuadro 2); similar situación se presentó en 1998. Sin embargo, cuando cae poca lluvia en ese periodo, se atrasa el crecimiento de estas plantas, y por ende el inicio de su control (esta labor se debió realizar hasta en julio en algunos años).

Las variaciones climáticas también provocaron alteraciones en los patrones fenológicos promedio así como en los periodos de recolección de la cosecha de café en la zona (Cuadro 2), especialmente cuando ocurrieron episodios "Niño" y "Niña". Tal fue el caso de 1994 y 1998, cuando las floraciones se retrasaron por la escasa cantidad de lluvia que cayó en los primeros meses de la estación seca, lo que también atrasó el periodo de recolección de la cosecha (*e.g.* esta se inició el 14 de octubre y finalizó el 29 de diciembre en 1994). Además, se produjo mucho "aborto" de botones florales por el déficit hídrico y esto influyó grandemente en el volumen de la cosecha, la cual fue muy pequeña.

En cambio, en 1999 hubo una buena humedad durante la estación seca: los cafetos florecieron bien, permitiendo que la cosecha se iniciara el 22 de setiembre. Esta se prolongó hasta

principios de enero del 2000 y su volumen fue satisfactorio. En general, se demostró que la precipitación acumulada de diciembre a abril se asoció positivamente con la cosecha (Figura 12).

Con respecto a la temperatura máxima durante la época de floración, esta correlacionó significativamente con el volumen de la cosecha. Cuando son muy altas se afecta negativamente la producción, mientras que cuando la temperatura máxima es moderada, la cosecha es satisfactoria (Figura 12). Este efecto negativo se puede deber en parte, a que una alta temperatura agrava el déficit hídrico en el suelo y la humedad ambiente del microclima del cafetal, lo que determina una mayor incidencia de aborto de las yemas florales (Carvajal 1984, Rojas 1987). Estudios de validación del modelo agroclimático COFFEA realizados por el Instituto Meteorológico Nacional (2002), utilizando datos de 14 años (1982-1996) del Cantón de Barva, mostraron que con aumentos en la temperatura (especialmente la máxima) de 1 a 2°C, acompañados de un buen suministro de agua el rendimiento del café tiende a subir.

El análisis de 40 cosechas de café en la zona de Ciudad Colón mostró que el pico de la floración es en marzo (Figura 5), pero que en algunos años, según las lluvias de la estación seca, este se desplazó a febrero o abril. En el 2002 la estación seca presentó un gran déficit de humedad y, por primera vez se observó una floración abundante a mediados y finales de mayo. En 1993 ocurrió este fenómeno, pero se manifestó al principio de ese mes.

La humedad del suelo afecta el crecimiento y desarrollo del fruto. El déficit hídrico en el suelo se acentuó en los meses de la estación seca en los últimos 2 quinquenios, especialmente en 1990-92, 1993-94, 1995-96 y 1997-98. Esto produjo una floración tardía y un alto porcentaje de aborto de frutos. El déficit hídrico en este periodo es muy crítico para la "pega" de los frutos (Fournier 1961, Carvajal 1984, Rojas 1987, Segura 1997). Esta situación se presentó de nuevo en la estación seca de 2000-01. Al inicio de diciembre de 2000 se registró una precipitación de 37 mm. Pero posteriormente entre los meses de enero a abril de 2001 apenas habían caído 62,6 mm, menos de la mitad del promedio de lo que usualmente se registra en la zona.

Fournier (1961) en un estudio con varios cultivares de café en la región de Turrialba, Costa Rica, determinó que el periodo de desarrollo y crecimiento tarda entre 230 y 240 días dependiendo de la variedad y la humedad del suelo. Segura (1997) indica que este último factor puede ser crítico particularmente entre las 6 y 16 semanas después de la floración, que es el momento cuando se inicia un fuerte crecimiento en el tamaño de los frutos, así como una diferenciación interna del endosperma, embrión y endurecimiento del endocarpo (Fournier 1961). La competencia entre los frutos en crecimiento de una misma cima es muy intensa, y la situación se hace más crítica cuando hay déficit hídrico.

Si se analiza el comportamiento fenológico de este cafetal en la última década (Cuadro 2) se notará que los periodos de floración tienen un efecto importante sobre las variaciones y el desplazamiento de la maduración de la cosecha. En este artículo se presenta las cosechas de café de 1970 al 2000, pero en un estudio previo se determinó los periodos de recolección de las cosechas de 1958 a 1970 (Fournier y Fournier 1970) y de 1971 a 1980 (Fournier y Herrera 1983). Se demostró la fuerte relación que existe entre los periodos de floración y maduración de los frutos del café.

Se observó que a partir de 1987 el periodo de maduración del fruto, que hasta ese año se había iniciado en julio, comienza a desplazarse hacia setiembre y octubre (Cuadro 2), con excepción de 1993, 1996, y 1997, que se inició en agosto en los días 31, 20 y 6, respectivamente (Cuadro 2). Este desplazamiento del periodo de maduración se pudo deber a un cambio paulatino del cultivar empleado en la plantación, ya que originalmente predominaba el "híbrido tico" (este se cultivó mucho en los años 50 en Costa Rica), el cual fue sustituido por el "Caturra". Este último cultivar tiene un ciclo de desarrollo ligeramente más largo.

El crecimiento vegetativo del café también tiene una importante influencia sobre la inducción del fruto. Durante el periodo de mayor aumento en la biomasa vegetativa, el crecimiento del fruto es acelerado, de abril a junio en Ciudad Colón (Fournier 1961, Fournier y Herrera 1983, Carvajal 1984, Segura 1997). Esto significa que en ese momento,

las plantas deben disponer de un adecuado suministro de nutrimentos, de productos metabólicos, y de agua para poder satisfacer la necesidad de crecimiento y desarrollo vegetativo y reproductivo. Cualquier déficit en alguno de estos factores puede ser crítico y causar un desbalance que hace más susceptible las plantas al ataque de plagas y enfermedades (Carvajal 1984, Fournier y Herrera 1983) y a la “purga” de frutos por la competencia entre ellos. Sin embargo, la “purga” no solo se debe a la competencia por agua, nutrimentos y metabolitos, sino que también a la falta de espacio. Mucha de la caída de los frutos en crecimiento es por “estrujamiento”. Es interesante anotar también, que la fuerte competencia de los frutos hace que las flores cuya antesis tuvo lugar el mismo día, lleguen a madurar a veces hasta con un mes de diferencia (Fournier 1961).

Lo discutido en los párrafos anteriores muestra que la fenología reproductiva y vegetativa del café tiene una estrecha relación con las variaciones climáticas, pero que estos procesos a su vez están modulados por estímulos en los mecanismos fisiológicos internos de la planta. Esto corrobora la idea de Fournier (1988) en considerar a la planta de café como una compleja unidad ecomorfofisiológica.

Finalmente, se determinó una fuerte disminución en el volumen de la cosecha de café a través de los años, la cual se muestra con ciertas variaciones, a partir de 1991. Los valores más bajos se alcanzaron a partir de 1997-1998. Esto es el resultado de una compleja interacción de factores agronómicos y climáticos que paulatinamente se fueron acentuando. Los siguientes fueron algunos elementos adicionales, los cuales también pudieron afectar negativamente la producción en la finca (L. Fournier, datos no publicados):

1. Disminución del área de producción, que en algunos casos se llevó a cabo en sitios de suelos de buen potencial agrícola.
2. Disminución en la aplicación de fertilizantes, en buena parte debido a los altibajos en el precio de liquidación de la cosecha, situación que se ha agudizado al máximo en el 2000.
3. Aparición de la roya del café a finales de 1983, que paulatinamente fue tornándose de difícil combate en la zona, ya que su mayor incidencia se da precisamente en la época de mayor maduración del fruto (octubre-noviembre), cuando la mano de obra se concentra en la recolección, y durante los meses de mayor humedad. El primer impacto de la roya se observó en la cosecha del periodo 1987-88, comparada con 1986-87. En las 3 cosechas posteriores (1988-89, 1989-90 y 1990-91), el efecto de la roya sobre la producción no fue tan determinante, ya que debido su alta incidencia en la cosecha 1986-87, el combate de esta enfermedad se llevó a cabo preventivamente antes de la cosecha.
4. En la última década, a partir de la cosecha 1991-92, las plantaciones tenían en su mayoría, 25 años o más, que para la zona es la edad del inicio del envejecimiento.
5. El posible aumento en las poblaciones de nematodos en el suelo, ya que nunca se ha empleado nematocidas en la finca.
6. La ocurrencia de fuertes vientos en la época seca, los cuales fueron particularmente críticos en los últimos 2 quinquenios en aquellos años con déficit hídrico, lo que no sólo acentuó la pérdida de agua en el suelo y de las plantas, sino también produjo una elevada defoliación especialmente en los sitios más expuestos. Esto disminuyó el área foliar necesaria para el crecimiento reproductivo y vegetativo (Fournier 1988).
6. Por último, otro factor que pudo haber influido en la cosecha es la disminución de los polinizadores, específicamente las abejas mielíferas (W. Ramírez, comunicación personal). La mayoría de los apiarios de la zona fueron eliminados a partir de la llegada de la abeja africanizada en la década de los 80.

### Análisis fenológico en otras especies

En general, los ciclos reproductivos y vegetativos de las plantas leñosas correlacionan con el promedio de los factores climáticos de la región. Durante la época seca en los climas estacionales como el de Ciudad Colón, los árboles tienden a perder el follaje, a florecer y fructificar (Fournier 1976, Fournier y Salas 1966). Sin embargo, este patrón general se puede ver alterado debido a cambios puntuales o tendencias generales del clima en una zona.

Al respecto, se observó que además del café, otras especies de plantas leñosas en la región sufrieron trastornos importantes en el patrón fenológico promedio. Estos fueron especialmente evidentes durante “El Niño” de 1997-98. Por ejemplo, varios individuos de *Diphysa americana* (guachipelín) en los alrededores de Escazú y Ciudad Colón, florecieron en setiembre de 1997 siendo lo normal que ocurra entre noviembre y diciembre. Entre otros aspectos, dicho año presentó una considerable disminución de las lluvias durante julio y agosto (veranillo). Este fenómeno no se manifestó en el café puesto que llovió bastante en enero y marzo. Se conoce que la floración del café muestra una alta sensibilidad a las lluvias esporádicas que caen en los meses secos (Alvin 1960).

En la estación seca del 2002, se observó una floración muy dispersa de *Tabebuia ochracea*. Aún a fines de mayo se encontró individuos en plena floración en Ciudad Colón, evento poco frecuente.

Otra especie de árbol, el mayo (*Vochysia guatemalensis*) tuvo una floración anormal en octubre y noviembre de 1997 en la Península de Osa y en Tabarcia (R. Soto y L.A. Fournier, observación personal) cuando la tendencia es que se inicie en mayo. De nuevo florecieron en marzo y abril 1998. En la zona norte floreció normalmente (I. Moreira, observación personal). Por otra parte, algunos arbolitos de 6 años de esa misma especie en una plantación en Tabarcia de Mora, produjeron flores en forma prematura, entre marzo y abril de 1998.

En esa misma plantación, en mayo de 1999 se observó una intensa defoliación en varios árboles causada por un ataque del lepidóptero *Actinete anteas* (Fournier y Di Stéfano

2000). El insecto había sido observado antes en la plantación pero sin tener un mayor efecto (Chavarri *et al.* 1997). Se desconoce los factores que favorecieron la proliferación de este lepidóptero, pero se considera que el fenómeno del “Niño”, el cual afectó el sitio en los 2 años previos, pudo provocar desequilibrios ecológicos en este ecosistema.

En Barro Colorado, Panamá, Leigh *et al.* (1990) encontraron que durante la estación seca de 1983, más árboles perdieron sus hojas, la producción de hojas nuevas de varias especies de palmas fue extremadamente baja o nula y aunque el periodo de brotación de hojas y frutos fue similar a otros años, observaron que la cantidad de frutos de 2 especies arbóreas fue muy baja.

En un estudio más amplio en Barro Colorado, Wright *et al.* (1999) observaron al menos 2 ciclos de alta y luego baja producción de frutas a nivel de la comunidad boscosa cuando un periodo seco relativamente leve sigue a un evento de “El Niño”. Por ejemplo, en “El Niño” de 1992, la producción de frutos fue muy alta y luego decreció en el año siguiente. Señalan que esto se puede deber a una mayor cantidad de radiación solar y a una menor cantidad de agua durante “El Niño”, que promovieron los procesos de fructificación en varias especies.

Bochert *et al.* (2002), encontraron que “El Niño” de 1997 produjo importantes modificaciones en el patrón fenológico vegetativo de varias especies del bosque tropical seco de la región de Guanacaste, luego de la sequía anormal entre junio y agosto, la cual incluye el veranillo. A varias especies de árboles caducifolios se les observó con severos síntomas de estrés hídrico en sus hojas aunque no las botaron. Posterior a este evento, varios individuos cambiaron sus hojas de 3 a 4 meses antes de lo normal durante el periodo lluvioso y las botaron nuevamente en la época seca típica de la zona.

Por otra parte, Leigh *et al.* (1990) determinaron que los eventos “Niño” también pueden tener importantes consecuencias sobre la mortalidad de los árboles. Durante “El Niño” de 1982-83, en Barro Colorado, esta fue 5 veces más alta que lo normal, y el bosque estaba visiblemente estresado. El nivel de estrés varió dependiendo del

estado sucesional del bosque, la profundidad del suelo, la cercanía a riachuelos o zonas pantanosas, y otros. Finalmente, consideraron que el impacto no fue tan alto dado que las especies de este sitio están pre-adaptadas a los patrones de estacionalidad en la sequía característicos de ese ambiente.

El éxito en el establecimiento de las plántulas se ve muy afectado por la estación seca (Garwood 1983, Flores *et al.* 1985) y por la longitud del periodo de la canícula. En Ciudad Colón, Fournier y Salas (1967) encontraron que la supervivencia de las plántulas de *Dilodendron costaricense* se vio afectada por la sequía entre diciembre y abril. Similar situación observaron Di Stéfano *et al.* (1998) con plántulas de *Syzygium jambos* (una especie exótica invasora) en el mismo bosque. Variaciones en la amplitud durante estos periodos puede aumentar las tasas de mortalidad aún en aquellas plántulas ya establecidas en años anteriores.

Estas variaciones fenológicas pueden influir en la habilidad competitiva de las diferentes especies y por ende, en su ecología y conservación. Esto podría resultar en impactos impredecibles en la estructura de las comunidades y el funcionamiento de los ecosistemas agrícolas y naturales. Así, la iniciación prematura de la producción del nuevo follaje, floración, y fructificación, como la variación en el crecimiento de las poblaciones de insectos, desfasan la disponibilidad de alimento para los pájaros migratorios, afectando el control de plagas por medios naturales.

En las zonas extratropicales, con una mayor cantidad de datos, se detectó que algunos patrones fenológicos se están manifestando más temprano de lo normal (Peñuelas y Filella 2001). En los ecosistemas mediterráneos, el desarrollo de las hojas de la mayoría de las plantas caducifolias ahora ocurre en promedio unos 16 días antes, y caen unos 13 días más tarde que hace 50 años. En el occidente de Canadá, el *Populus tremuloides* muestra un inicio más temprano de la floración en un ciclo de 100 años. Estos autores presentan muchos otros casos similares en diferentes regiones extratropicales y establecieron que estos cambios fenológicos correlacionaron estrechamente con variaciones en la temperatura, en especial en los meses anteriores a

la manifestación del fenómeno. Sugieren que en buena parte estas alteraciones se deben al calentamiento global.

## CONCLUSIONES

El patrón climático promedio de Ciudad Colón corresponde al descrito para el Valle Intermontano Central. Sin embargo, este se vio especialmente alterado en los años llamados “El Niño” y “La Niña”, los cuales afectaron factores como la cantidad y distribución de las lluvias, y la temperatura de la región.

Para la mayoría de los factores climáticos y ecológicos analizados durante los 12 años de estudio, dichas alteraciones fueron puntuales no demostrándose que existieran tendencias positivas o negativas significativas, excepto por un consistente incremento en cantidad de lluvia en setiembre y un aumento del ámbito de temperatura para agosto.

Para el café se detectó una fuerte disminución en la producción a partir de 1980, un desplazamiento en los meses en que ocurrieron los picos de floración y fructificación, así como variaciones puntuales en su iniciación y finalización, y en el mes en que se cosechaba el grano a través de los años. Se sugiere que estos fenómenos se debieron en parte a los cambios climáticos antes señalados y a diferentes estrategias de manejo que se le aplicaron al cafetal durante el periodo de estudio, tales como la sustitución de la variedad de café, la aparición de la roya, y una disminución en la cantidad de fertilizantes aplicado. También se observó alteraciones importantes en los patrones fenológicos de algunas especies arbóreas en la región y en el crecimiento de las malezas.

Este estudio resalta la importancia de contar con una buena base de datos meteorológicos, la cual es fundamental no solo para aumentar nuestra comprensión del funcionamiento de los ecosistemas naturales y agrícolas, sino para tomar mejores decisiones en el manejo de diferentes cultivos, especialmente en estos tiempos donde es cada vez es más evidente que los cambios climáticos globales están ocurriendo en forma acelerada.

## AGRADECIMIENTOS

Al Instituto Meteorológico Nacional, por las sugerencias al presente documento y por el préstamo de los datos meteorológicos de varias estaciones. A W.M. Forsythe por sus sugerencias en la parte de balance hídrico. A Roberto Valverde y Alfredo Alvarado por sus valiosos comentarios al documento original.

## LITERATURA CITADA

- AIDS J., LATIF M. 1996. Amazonian arthropods respond to "El Niño". *Biotrópica* 28:403-407.
- ALVIN P. DE T. 1960. Moisture stress as a requirement for flowering of coffee. *Science* 132: 354.
- BOCHERT R., RIVERA G., HAGNAUER W. 2002. Modification of vegetative phenology in a tropical semi-deciduous forest by abnormal drought and rain. *Biotrópica* 34: 27-39.
- BRICEÑO J.A., ARIAS O.E. 1992. Desarrollo del cafeto (*Coffea arabica*). I. Crecimiento vegetativo y reproductivo de tres cultivares. *Agronomía Costarricense* 16: 125-130.
- BRICEÑO J.A., MORA G.A., ARIAS O.E. 1992. Desarrollo del cafeto (*Coffea arabica*). II. Niveles endógenos del ácido abscísico y giberelinas. *Agronomía Costarricense* 16: 131-135.
- CANBY T. Y. 1984. El Niño's ill wind. *National Geographic* 165: 144-184.
- CARVAJAL J.F. 1984. Cafeto: cultivo y fertilización. Instituto Internacional de Potasa. Berna, Suiza. p. 254.
- CHAVARRI G., DI STÉFANO J.F., FOURNIER L.A. 1997. Insectos herbívoros cortadores en *Vochysia guatemalensis*: Un estudio preliminar del daño provocado y de sus parasitoides, en Tabarcia de Mora, Costa Rica. *Agronomía Costarricense* 21: 267-272.
- DI STÉFANO J.F., FOURNIER L.A., CARRANZA J., MARÍN W., MORA A. 1998. Potencial invasor de *Syzygium jambos* (Myrtaceae) en fragmentos boscosos: El caso de Ciudad Colón, Costa Rica. *Biología Tropical* 46: 567-573.
- FERNÁNDEZ W. 1997. Impacto humano en la atmósfera. *In: Desarrollo sostenible. La opción para Costa Rica. Memorias de simposio realizado en noviembre 22-24, 1995. Academia Nacional de Ciencias, San José.* p. 27-40.
- FERNÁNDEZ W., RAMÍREZ P. 1991. El Niño, la oscilación del sur y sus efectos en Costa Rica: una revisión. *Tecnología en Marcha* 11: 3-10.
- FOURNIER L.A. 1961. Características varietales del fruto de *Coffea arabica* L. Tesis M.Ag., Instituto Interamericano de Ciencias Agrícolas. Turrialba, Costa Rica.
- FOURNIER L.A. 1976. Observaciones fenológicas en el bosque húmedo premontano de San Pedro de Montes de Oca, Costa Rica. *Turrialba* 16: 54-59.
- FOURNIER L.A. 1980a. Fundamentos ecológicos del cultivo del café. Publicación Miscelánea No. 230. Instituto Interamericano de Ciencias Agrícolas-PROMECAFÉ. San José, Costa Rica. p.29.
- FOURNIER L.A. 1980b. Determinación cuantitativa de la floración en café (*Coffea arabica* L.). *Turrialba* 30: 219-220.
- FOURNIER L.A. 1988. El cultivo del cafeto (*Coffea arabica* L.) al sol o la sombra: un enfoque agronómico y ecofisiológico. *Agronomía Costarricense* 12: 131-146.
- FOURNIER L.A., DI STÉFANO J.F. 2000. Defoliación parcial de árboles de *Vochysia guatemalensis* (Vochysiaceae) en una plantación de siete años en Tabarcia de Mora, Costa Rica. *Agronomía Costarricense* 24: 87-91.
- FOURNIER L.A., FOURNIER J.L. 1970. Análisis del periodo de recolección de café en la región de Villa Colón, como aporte a la planificación de labores de ese cultivo, Costa Rica. Boletín Técnico No. 1. Compañía Agrícola El Potrero Ltda. (mimiografiado).
- FOURNIER L.A., HERRERA M.E. 1983. Una década de observaciones fenológicas en café (*Coffea arabica* L.) en Ciudad Colón, Costa Rica. *Biología Tropical* 31:307-310.
- FOURNIER L.A., SALAS S. 1966. Algunas observaciones sobre la dinámica de la floración en el bosque tropical húmedo de Villa Colón. *Biología Tropical* 14:75-85.
- FOURNIER L.A., SALAS S. 1967. Tabla de vida para el primer año de una población de *Dipterodendron costarricense* Ralk. *Turrialba* 17:348-350.
- FLORES E., FOURNIER L.A., GARCÍA E. 1985. Morfología y demografía de la germinación de las lauráceas en Costa Rica. *Biología Tropical* 33:163-170.
- GARWOOD N.C. 1983. Seed germination in a seasonal tropical forest in Panamá a community study. *Ecological Monographs* 53: 159-181.
- GÓMEZ L. D. 1986. Vegetación de Costa Rica. EUNED, San José, Costa Rica. p.327.

- HANCOCK J., HARGREAVES G. 1977. Precipitación, clima y potencial para la producción agrícola en Costa Rica. Univ. Estado de UTHA, PIADIC-IICA-ROCAP. p.136.
- HERRERA W. 1986. Clima de Costa Rica. EUNED, San José, Costa Rica. p.118.
- HOLDRIDGE L.R. 1962. Determination of atmospheric water movements. Ecology 43: 1-9.
- INSTITUTO METEOROLÓGICO NACIONAL, MINAE. 1999. Datos meteorológicos de la Estación Juan Santamaría. San José, Costa Rica.
- INSTITUTO METEOROLÓGICO NACIONAL, MINAE. 2002. Cultivo del café. Estudio de la vulnerabilidad del cambio climático. San José, Costa Rica. p. 38-51.
- LEIGH JR. E.G., WINDSOR D.M., RAND A.S., FOSTER R.B. 1990. The impact of the "El Niño" drought of 1982-3 on a Panamanian semideciduous forest. In: P.W. Glynn (ed.) Global ecological consequences of the 1982-1983 "El Niño". Elsevier, Serie Oceanográfica, Amsterdam. p. 473-517.
- MACDONALD I.A.W. 1994. Global change and alien invasions: Implications for biodiversity and protected area management. In: O.T. Solbrig, H.M. van Emden y P.G.W.J. van Oordt. (eds.) Biodiversity and global change. CAB International y IUBS, Oxon, Reino Unido. p. 199-210.
- PEÑUELAS J., FILELLA I. 2001. Responses to a warming world. Science 294: 793-794.
- ROJAS O.E. 1987. Zonificación agroecológica para el cultivo del café (*Coffea arabica* L.) en Costa Rica. Publicación Miscelánea No. A1/OCR-87-007. IICA, PROMECAFE-AID-ROCAP-596-009, San José.
- SALATI E. 1985. The climatology and hydrology of Amazonia. In: G.T. Prance y T.E. Lovejoy (eds.). Amazonia. IUCN. Pergamon Oxford. p. 18-48.
- SEGURA A. 1997. Estimación del efecto del fenómeno de "El Niño" sobre el crecimiento y la producción de café de San Marcos de Tarrazú, 1997-1998: Un enfoque fisiológico a un problema producido por un déficit hídrico. Esc. de Fitotecnia, Universidad de Costa Rica. (mimeografiado, s.p.).
- STOLZ W. 2002. Agro se prepara contra "El Niño". Diario *La Nación*. San José, Costa Rica. Viernes 25 de enero, p. 24 A.
- SUPLEE C. 1999. El Niño/La Niña. National Geographic 195: 72-95.
- TERBORGH J. 1992. Diversity and the tropical rain forest. Scientific American Library, Nueva York. p. 242.
- WRIGHT S. J., CARRASCO C., CALDERÓN O., PATON S. 1999. The El Niño southern oscillation, variable fruit production, and famine in a tropical forest. Ecology 80: 1632-1647.