

ESTUDIOS DE CAMBIO CLIMATICO EN COSTA RICA

COMPONENTE AGRICOLA

EVALUACION DE LA VULNERABILIDAD DE LA AGRICULTURA DE COSTA RICA AL CAMBIO CLIMATICO

CASO DE ESTUDIO: CAFE

SAN JOSÉ - COSTA RICA

MINISTERIO DEL AMBIENTE Y ENERGIA



INSTITUTO METEOROLOGICO NACIONAL



COASTAL ZONE MANAGEMENT CENTRE



COMITE REGIONAL DE RECURSOS HIDRAULICOS



ESTUDIOS de CAMBIO CLIMATICO en COSTA RICA

COMPONENTE AGRICOLA

**EVALUACION DEL IMPACTO DEL CAMBIO CLIMATICO
SOBRE LA PRODUCCION AGRICOLA DE COSTA RICA**

CASO DE ESTUDIO: CAFÉ

Roberto Villalobos Flores

José A. Retana Barrantes

**MINISTERIO DEL AMBIENTE Y ENERGIA
INSTITUTO METEOROLOGICO NACIONAL
THE INSTITUTE FOR ENVIRONMENTAL STUDIES, VRIJE UNIVERSITY, AMSTERDAM**

San José, Costa Rica

1999

3. CASO DE ESTUDIO: CULTIVO DE CAFÉ

3.1 INTRODUCCIÓN

En Costa Rica, el cultivo de café es por varias razones la actividad de mayor importancia socioeconómica: por su contribución a la producción nacional (20% del producto interno bruto (PIB)), por la generación de divisas (37%), y por su contribución a la generación de empleo, ya que este cultivo absorbe el 13.8% de la población económicamente activa (Ramírez, 1988).

Los cultivos originales de café en América surgieron de la semilla de una sola planta de *Coffea arabica* variedad *Typica*, la cual es de buena calidad, pero de baja productividad. Los primeros granos de Café llegaron a Costa Rica en 1796. En 1804 se liberó de impuestos la actividad, y en 1819, se comenzó a producir el primer cafetal de Centro América. El año siguiente se extendió su cultivo a otros sectores del Valle Central. En 1821 los alcaldes de Cartago y San José repartieron tierras del estado para nuevas siembras de café y facilitaron el almacigo (Sandner, 1962). Es así como el café se comenzó a cultivar en forma económica en Costa Rica. Desde el inicio, el cultivo tomó la modalidad de los sistemas extensivos, y a partir de 1950 se pasa a un sistema de explotación intensiva (Pérez, 1975). Posteriormente se introducen en Costa Rica variedades como el caturra y el catuaí, que fueron traídas de Brasil. Según Fernández (1988), estas variedades encontraron condiciones aceptables para su establecimiento en esta parte de América, y con esto se logra aumentar el rendimiento. Estas variedades modernas se caracterizan por ser de porte bajo, con más flores por nudo, hojas más grandes y con mayor número de estomas.

El alto nivel tecnológico de la producción y el aumento de los rendimientos, estimados en 22,6 kg de café oro por cada doble hectolitro para 1996-1997, colocan a Costa Rica entre los primeros productores del mundo (Ramírez, 1988; ICAFE, 1998). De acuerdo con Peter (1995), Costa Rica podría producir más, sin embargo, nos afecta mucho la falta de mano de obra y el alto costo de producción.

En Costa Rica se distinguen 10 zonas geográficas productoras de café, establecidas por el Instituto del Café (ICAFE), las zonas son:

- 1) Central urbano: Incluye los cantones de Tibás, Moravia, Montes de Oca, Curridabat, La Unión, Goicoechea, San José Centro, Alajuelita, Santa Ana, Escazú y parte de Desamparados (distritos: Central, San Rafael, San Antonio, Patarrá y Damas).
- 2) San José y zona Sur: Abarca los cantones de Dota, Tarrazú, León Cortes, Aserri y las partes altas de Desamparados (San Cristobal y Frailes). Las fincas de esta zona se encuentran ubicadas a un promedio de 1700 msnm.
- 3) Pacífico Central: Zona baja y lluviosa que incluye los cantones de Acosta, Puriscal, Mora, Atenas, Grecia y Valverde Vega.
- 4) Valle Central Nororiental: Comprende los cantones Central y Poás en la provincia de Alajuela, así como la provincia de Heredia, con excepción de Sarapiquí.
- 5) Valle Central Occidental: Incluye los cantones de San Ramón, Palmares y Naranjo de la provincia de Alajuela.
- 6) Abarca las regiones de San Carlos de Alajuela y Sarapiquí de Heredia.
- 7) Comprende el Valle de El General, provincia de San José. La altura de esta zona fluctúa entre los 400 y los 1200 msnm.
- 8) Incluye la región de Coto Brus, provincia de Puntarenas.

9) Valle Central Oriental: Pertenece en su totalidad a la provincia de Cartago. Su régimen de lluvias es muy variado. La temperatura fluctúa entre 22°C a 600 msnm, y 9°C a 3000 msnm. Los límites de altura para las zonas productoras de café, comprenden terrenos entre 600 y 1200 msnm.

10) Incluye las zonas productoras de Tilarán, Nandayure y Hojancha de Nicoya en la provincia de Guanacaste (Ramírez,1988).

Al igual que todo cultivo, el café presenta límites de adaptación a las diferentes condiciones climáticas; existiendo rangos de temperatura y precipitación óptimas (Rojas,1987). Estos rangos óptimos de precipitación y temperatura para el café son muy variados. Carvajal (1972), indica que la precipitación anual debe ser entre 1600 y 1800 mm. García (1968), señala que la precipitación óptima debe ser entre 1400 y 2000 mm anuales. Alegre (1959), sugiere un rango entre 1200 y 1800 mm anuales. Para Campos (1970), el rango ideal es de 2000 a 2300 mm anuales.

Los rangos de temperatura óptimos están entre 17 y 25°C (Carvajal, 1972). Según Alegre (1959), el rango debe estar entre 18 y 21°C, mientras que para Carvajal (1972), éste debe ser entre 13 y 27°C.

Ramírez (1987), sugiere que los límites de altura para las zonas productoras de café comprenden tierras entre 600 a 1200 metros sobre el nivel del mar (msnm). Sin embargo, existen zonas productoras de café en alturas alrededor de los 1700 msnm, como San Cristobal y Frailes de Desamparados.

Comúnmente en estas alturas citadas anteriormente (600 a 1200 msnm), se registran lluvias promedio anual de entre 900 y 1200 mm, y temperaturas promedio anual que oscilan entre los 18 y 22°C.

La información básica de las relaciones agroclimáticas con el cultivo de café, fundamenta la formulación de algoritmos que permiten simular la respuesta de los cultivos ante una variedad de condiciones climáticas, basados en experimentos de campo y en el conocimiento disponible sobre procesos específicos tales como la fotosíntesis, transpiración, respiración, etc. Con la disponibilidad de los modernos medios de computación, los modelos agroclimáticos se han constituido en una valiosa herramienta de investigación. En función de la información disponible, uno de los objetivos de este estudio es validar un modelo agroclimático para el cultivo de café (COFFEA), específicamente para la región de Barba de Heredia, con la finalidad de que una vez validado, sea utilizado como herramienta para estudiar la respuesta del cultivo ante los escenarios climáticos propuestos, como marco de un posible cambio climático.

Las coordenadas geográficas medias del cantón Barva están dadas por 10°04' latitud Norte y 84°87' longitud Oeste. La anchura máxima del cantón es de catorce kilómetros, en dirección Norte a Sur desde unos 700 metros al Noroeste del cráter del volcán Barva, hasta unos 700 metros al Suroeste de villa San Roque (Chinchilla,1987).

Barva es el cantón II de la provincia de Heredia, comprende el centro urbano Barva con 1176 msnm y los distritos San Pedro con 1170, San Pablo con 1.300, San Roque 1110, Santa Lucía 1159 y San José de la Montaña con 1530 msnm respectivamente. El cantón forma parte de la Gran Área Metropolitana, su descripción se encuentra en la hoja cartográfica "Barva", escala 1:50.000 (Chinchilla,1987).

El sistema fluvial del cantón de Barva, corresponde a la Vertiente del Pacífico, el cual pertenece a la cuenca del río Grande de Tárcoles. El cantón es drenado por los ríos Segundo, Macarrón, Sanjón, Porrosatí, Ciruelas, Pacayas, Guararí y Quebrada Seca, y sus respectivos afluentes, nacen en las laderas del volcán Barva; los cuales presentan una dirección de Norte a Sur y de Noreste a Sureste (Chinchilla,1987).

De acuerdo con el mapa de tipos de vegetación de Costa Rica (Gómez, 1986), la vegetación en los alrededores de Barva se denomina "Bosque lluvioso tropical, submontano siempreverde. Según el mapa Ecológico de Costa Rica (Tosí,1969). El cantón pertenece a la zona de vida denominada muy húmedo

premontano. Se presentan los suelos Typic Dystrandept y Lithic Dystrandept, que corresponde con un suelo oscuro y profundo, con buen contenido de materia orgánica y bajo en bases, derivado de cenizas volcánicas (Gómez,1987). Sobresale el relieve plano ondulado, con pendientes de 5 a 15% (Ginneken y Calderón,1978).

Un 30% de la superficie cantonal, desde el sector aledaño al poblado de San Miguel hasta los cerros de Piedra y Guararí, obliga a una selección muy cuidadosa de su uso y prácticas especiales de conservación. En la parte sur es apta para cualquier uso, sin embargo requiere una selección de sus cultivos. En el sector próximo a Sacramento es apta para todo tipo de uso. El sector próximo al poblado de Montaña presenta limitantes que lo hacen apto para cultivos permanentes de tipo semibosque y ganadería, la zona norte del cantón es apta para el uso racional del bosque (Chinchilla,1987).

El Cantón de Barva por ser del régimen del Pacífico está caracterizado por precipitaciones abundantes en los meses de Mayo, Junio, Julio, Agosto, Septiembre y Octubre, los meses más lluviosos suelen ser Septiembre y Octubre. Tiene un período seco que va desde Diciembre a Abril, y un período lluvioso de Mayo a Noviembre.

La precipitación promedio anual varía entre los 2000 a 2500 mm en las partes bajas del cantón y entre los 2500 a 3000 mm en sus partes más altas. En los meses de Agosto, Septiembre y Octubre caen 1021.9 mm, lo que representa el 44% del total anual. En Diciembre, Enero, Febrero, Marzo, Abril (el período seco), la lluvia contribuye con 252.9 mm aproximadamente, lo que significa el 10% del total anual.

Durante el período seco el viento dominante es el alisio, con dirección Noreste-Suroeste, en el período lluvioso el alisio predomina en las mañanas y en la tarde se presentan los vientos del Oeste y del Suroeste provenientes del Pacífico.

La temperatura promedio mensual presenta poca variación de un mes a otro. Hay una oscilación entre la temperaturas promedio máxima y mínima aproximadamente de 7.5°C durante los meses de mayor precipitación, y de aproximadamente de 9.0°C en el período seco. La máxima promedio es de 24.8°C, la mínima promedio anual es de 15.2°C, y el promedio general es de 19.2°C. La temperatura media anual en el cantón oscila entre los 19.0 y 20.0°C en las partes bajas, y entre 15.0 y 18.0°C en sus partes más altas y montañosas.

En el Cantón de Barva de Heredia, el sol puede brillar teóricamente desde 11.5 hasta 12.5 horas diarias. Sin embargo, la nubosidad reduce hasta 4.5 horas diarias en promedio desde junio a noviembre las horas de brillo solar. En los meses que van desde Diciembre hasta Abril, el promedio de sol directo es de 7.7 a 8.0 horas diarias. Los meses más soleados son: Enero, Febrero y Marzo, con aproximadamente 9.0 horas de sol por día. Los más nublados son Junio y Julio, que registran en promedio 4.1 horas de sol por día.

La humedad relativa durante el mes más seco alcanza un promedio diario de 69% (Marzo), y sube a 83% durante los meses más lluviosos (Agosto a Noviembre). La humedad relativa varía muy poco durante el año y oscila entre el 72 y 80% en las partes bajas, y entre 80 y 90% en las partes más altas y montañosas.

Según Herrera (1986), el clima del cantón de Barva se clasifica como "Clima Húmedo Caliente, con déficit moderado de agua".

El modelo COFFEA (Rojas, 1995), fue diseñado y calibrado durante los años 1990 a 1992 para dos zonas cafetaleras de Costa Rica, en las provincias de Heredia y Alajuela. En la provincia de Heredia, el ensayo se ubicó en Barva de Heredia, en la Estación Experimental del Centro de Investigaciones en Café (CICAPE), a 1.180 metros sobre el nivel del mar (msnm). Se utilizó la información meteorológica de la estación ubicada en esta localidad. En esta región se calibró utilizando la variedad de café conocida como Catuaí, cultivado sin sombra, a dos metros entre hileras y un metro entre plantas.

En Alajuela, se realizó el ensayo en barrio San José de Alajuela (calle Fallas, finca privada de Dagoberto Soto), en una localidad a 850 msnm, con una plantación de café de 3 a 5 años, sembrada sin sombra, a una distancia entre hileras de 1,7 m y un metro entre plantas. Para medir las variables climatológicas, se instaló un pluviógrafo, un heliógrafo y un higrómetro en esta localidad.

Con base en la información de calibración, se pretende validar el modelo y concretar a través de este estudio, los siguientes objetivos específicos.

A.- Analizar los posibles efectos de la variación de la temperatura del aire y la precipitación sobre la fisiología general del cultivo de café, específicamente representado por la variedad Catuaí, en la Región Central de Costa Rica.

B.- Analizar el impacto de las variaciones climáticas sobre la producción de biomasa y el rendimiento de esta variedad de café.

C.- Sugerir medidas de mitigación, con base en las implicaciones socioeconómicas que los efectos de estas variaciones climáticas tengan sobre la actividad cafetalera nacional.

3.2. MATERIALES y MÉTODOS

El modelo COFFEA (Rojas, 1995), escrito inicialmente en lenguaje de programación Fortran y transcrito a Visual Basic para este estudio, simula los rendimientos de café bajo condiciones de campo. Básicamente consta de tres módulos: módulo de crecimiento, módulo fenológico y un módulo de balance hídrico. El módulo de crecimiento da inicio al proceso de modelización y considera las variables climatológicas para estimar la radiación fotosintéticamente activa (RFA). El módulo de balance hídrico interactúa con el módulo de crecimiento (Diagrama 1), para determinar la biomasa real, la cual va a depender de la humedad disponible. El módulo fenológico también interactúa con el balance hídrico, con la finalidad de determinar la iniciación de la floración y la repartición de los fotoasimilados, en vista de que estos se distribuyen hacia los órganos vegetativos y los reproductivos. La repartición de la materia seca se realiza periódicamente en forma decadal a través del ciclo del cultivo.

Los datos climatológicos históricos de la región analizada se obtuvieron del banco de datos del Instituto Meteorológico Nacional (IMN).

La información de rendimientos de café en grano para las localidades analizadas, se obtuvo del Instituto del Café de Costa Rica (ICAFFE).

En la validación del modelo, se calcularon las estadísticas, sugeridas por Fox (1981) y Willmott (1982).

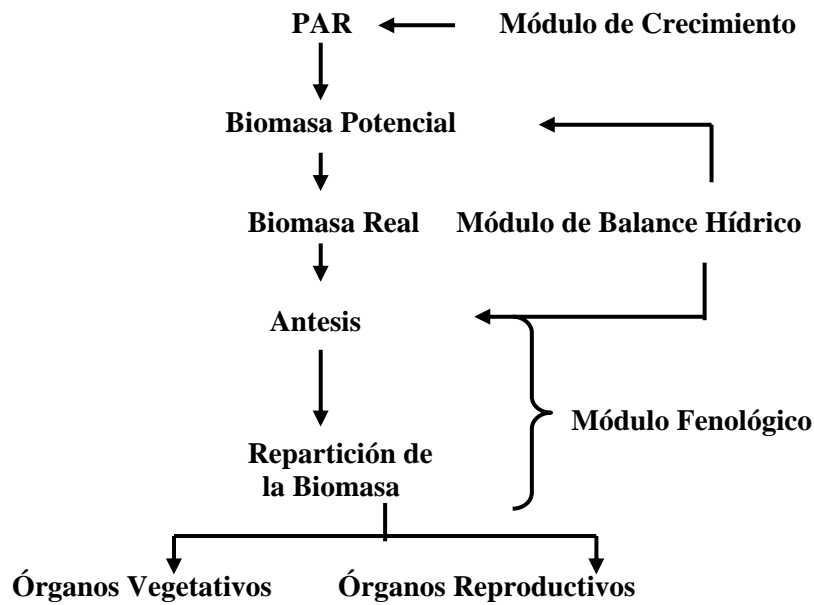


Diagrama 1. Interacciones entre los módulos del modelo COFFEA

Para caracterizar un año normal, se analizó el registro de precipitación de la zona, que abarca 16 años de información (desde 1982 hasta 1997). Los datos faltantes de la serie fueron estimados previamente mediante el generador climático estocástico del DSSAT.

Se analizó la distribución del Total de Precipitación Anual (TPA), para todo el registro de años y se formaron tres grupos de años. Como criterio de separación de clases se usó el promedio y la primera y segunda desviación estándar de la serie. Se conformaron los siguientes grupos: seco, normal, y lluvioso. Una vez obtenidos los grupos de años, se procedió a definir sus características promedio según el comportamiento de la lluvia mensual, la lluvia acumulada por mes, el porcentaje de aporte, el total de días con lluvia acumulados por mes y el porcentaje que esto significa.

Con esta información se caracterizó el comportamiento promedio de un año seco, normal y lluvioso. Del grupo de años clasificado como normal, se tomó el año 1991 para usarlo como testigo en el corrimiento del modelo sobre distintos escenarios climáticos.

Los escenarios propuestos fueron los siguientes:

- 1) Testigo (año 1991).
- 2) +1°C en la temperatura máxima y mínima, y +10% en la precipitación.
- 3) +1°C en la temperatura máxima y mínima, y +20% en la precipitación.
- 4) +2°C en la temperatura máxima y mínima, y +10% en la precipitación.
- 5) +2°C en la temperatura máxima y mínima, y +20% en la precipitación.
- 6) +1°C en la temperatura máxima y mínima, y -10% en la precipitación.
- 7) +1°C en la temperatura máxima y mínima, y -20% en la precipitación.
- 8) +2°C en la temperatura máxima y mínima, y -10% en la precipitación.
- 9) +2°C en la temperatura máxima y mínima, y -20% en la precipitación.
- 10) +1°C en la temperatura mínima.
- 11) +1°C en la temperatura máxima.
- 12) +2°C en la temperatura mínima.
- 13) +2°C en la temperatura máxima.

- 14) +1°C en la temperatura máxima y mínima
- 15) +2°C en la temperatura máxima y mínima.
- 16) +10% en la precipitación.
- 17) +20% en la precipitación.
- 18) -10% en la precipitación.
- 19) -20% en la precipitación

3.3. RESULTADOS

Para simular un cambio global, se seleccionó un año con precipitación normal. El análisis climatológico de la precipitación determinó los siguientes rangos de Total de Precipitación Anual (TPA) para tres grupos de años:

Años lluviosos	TPA > 2600mm
Años normales	TPA entre 1800 y 2600mm
Años secos	TPA < 1800mm

En la figura 26 se muestra la frecuencia de los años por grupo. Puede observarse que el mayor número de casos corresponde al grupo normal, mientras que para los demás grupos, la distribución es muy semejante.

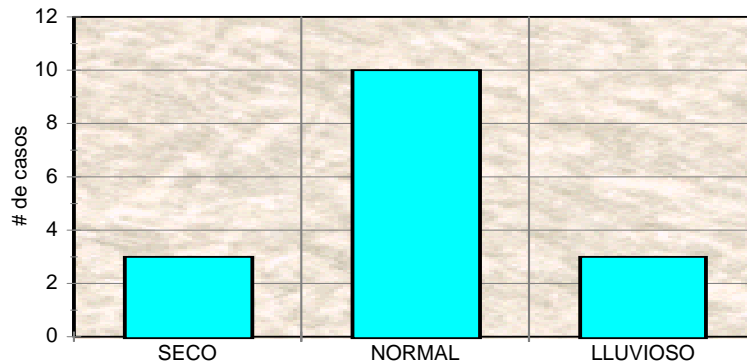


Figura 26. Distribución del Total de Precipitación Anual (TPA) en tres grupos de años con características pluviométricas similares.

El comportamiento mensual de los promedios de los tres grupos principales se puede observar en la figura 27.

El comportamiento promedio de un año normal, se caracteriza por tener un TPA comprendido entre los 1800 y 2600 mm. Posee dos períodos bien definidos: uno lluvioso desde abril-mayo hasta noviembre prácticamente, y otro de disminución progresiva del régimen pluviométrico a partir de diciembre y hasta marzo. Podría considerarse los meses de abril y noviembre como transición entre los dos períodos. Los meses más secos en promedio son enero y febrero, mientras que los más lluviosos en promedio son setiembre y octubre. Como una característica propia de zonas con influencia del Pacífico, se presenta entre julio y agosto un período de disminución de la precipitación, conocido como el veranillo.

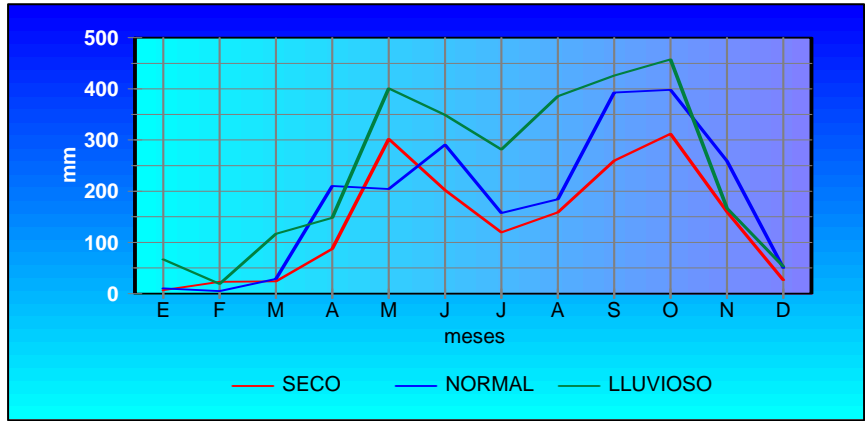


Figura 27. Comportamiento mensual del promedio de los grupos seco, normal y lluvioso.

La plataforma que soportó la corrida del modelo con diferentes escenarios climáticos que simularan un cambio global, se basó en la selección de un año con precipitación normal. El año elegido fue 1991.

Para la validación del modelo se utilizó la información de rendimientos de catorce años (1982-1996) del cantón Barva de Heredia. La figura 28 muestra cómo los datos de rendimiento estimado se agrupan respecto a la línea de relación 1:1 con la excepción de dos puntos. Precisamente son estos dos puntos principalmente, los que hacen que la desviación estándar de los datos estimados (DS_{Re}) difieran a la de los datos reales (DS_{Ro}). Sin embargo, los demás puntos representan un razonable grado de agrupamiento y distribución de los datos estimados. La correlación excluyendo estos dos puntos es del 90%. Los parámetros de regresión “a” y “b” permiten determinar que la relación de los resultados del modelo con respecto a los reales, es una correlación positiva.

Se puede apreciar en el cuadro 7, que se encontró un coeficiente de determinación (r^2) de 48% (0.483), que corresponde al porcentaje de las observaciones que son explicadas por el modelo. La relación entre las variables es positiva y corresponde a un 69% (0.695) de coeficiente de correlación (r). El índice de concordancia (d) es de 76% (0.764).

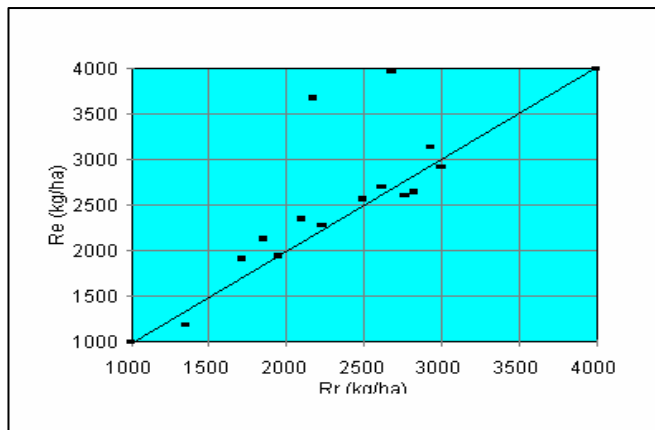


Figura 28. Rendimiento observado (R_o) y Rendimiento estimado (R_e) de café mediante el modelo COFFEA. Período 1982-1996.

Cuadro 7. Medidas cuantitativas sobre la evaluación del modelo.

Ro	Re	DS _{Ro}	DS _{Re}	A	B	MAE	RMSE	RMSE _s	RMSE _U	D	r ²
2334.6	2576.9	483.7	693.5	250.3	0.996	325.5	554.3	242.3	498.6	0.764	0.483

Los términos b, d y r² son adimensionales, los otros términos tienen unidades de kg/ha.

Si bien, las condiciones naturales bajo las que se desarrolló originariamente el café (bosques tropicales etíopes) son de sombra permanente, poca exposición a altas temperaturas y períodos de relativa sequía (Maestri y Santos, 1981), la amplia distribución que presenta el cultivo en la actualidad, permite encontrar una gran variedad de condiciones climáticas bajo las que se desenvuelve exitosamente el cultivo.

En el cuadro 8, se presentan los resultados obtenidos al someter el cultivo a los escenarios climáticos propuestos, sobre la plataforma climática de 1991 representativa del cantón de Barva, Heredia.

Cuadro 8. Rendimiento por escenario propuesto.

ESCENARIO	Rendimiento (kg/ha)
1. Testigo (año 1997)	2924.7
2. +1°C T _{máx} y T _{mín} . +10% Prec.	3058.3
3. +1°C T _{máx} y T _{mín} . +20% Prec.	2953.7
4. +2°C T _{máx} y T _{mín} . +10% Prec.	3532.8
5. +2°C T _{máx} y T _{mín} . +20% Prec.	3802.2
6. +1°C T _{máx} y T _{mín} . -10% Prec.	2879.2
7. +1°C T _{máx} y T _{mín} . -20% Prec.	2879.2
8. +2°C T _{máx} y T _{mín} . -10% Prec.	3393.5
9. +2°C T _{máx} y T _{mín} . -20% Prec.	3509.8
10. +1°C T _{mín} .	2751.2
11. +1°C T _{máx} .	3058.3
12. +2°C T _{mín} .	2908.7
13. +2°C T _{máx} .	3532.5
14. +1°C T _{máx} . y T _{mín} .	3058.3
15. +2°C T _{máx} . y T _{mín} .	3532.8
16. +10% Prec.	2751.2
17. +20% Prec.	2924.7
18. -10% Prec.	2546.5
19. -20% Prec.	2546.5

En la figura 29 se presentan parte de los resultados del cuadro anterior. Como puede observarse, los tratamientos con parámetros meteorológicos combinados detrimentales en la precipitación tienden a bajar los rendimientos.

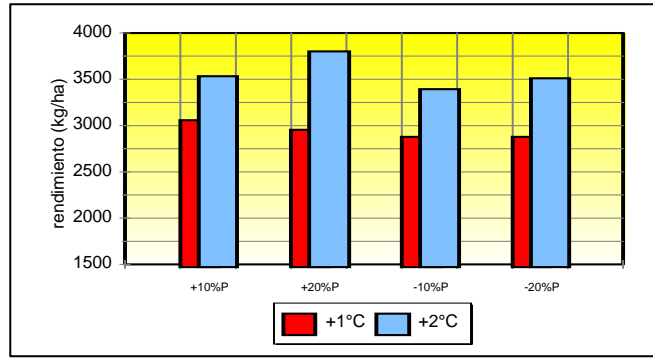


Figura 29. Rendimiento estimado de café (kg/ha de fruta), bajo diferentes escenarios climáticos.

Al aumentar la temperatura de 1 a 2°C en los tratamientos combinados, el rendimiento tiende a subir. En términos generales los tratamientos combinados con 1°C muestran rendimientos decrecientes con las reducciones de la precipitación; mientras que con los tratamientos combinados con 2°C, las respuestas son diferenciales al reducir la precipitación. Los resultados de comparar los tratamientos 2 y 4, permiten observar que un aumento de un grado en la temperatura media es importante, aunque la diferencia entre los tratamientos 2 y 3 (escenarios incrementales de precipitación) no es significativa con un incremento de 1°C, situación que se ve alterada cuando el escenario pasa a 2°C (tratamientos 4 y 5), siendo que un aumento en la precipitación incrementa los rendimientos. Estos resultados hacen notar que la temperatura en sí misma juega un papel importante en los rendimientos obtenidos, resultados que a la vez dan a entender que los rendimientos podrían incrementarse si la humedad disponible en el balance hídrico natural, permita una mayor eficiencia en el uso del agua, indicando de este modo, que bajo condiciones incrementales de temperatura, sería ideal tener un suministro hídrico de al menos un 20% de lo normal, como para causar un estímulo en la partición a floración. Cuando se comparan los tratamientos 6 y 7, puede observarse la ausencia del estímulo hídrico, razón por la cual no hay respuesta en los rendimientos entre tratamientos, pero sí con respecto al testigo, debido a que la falta de humedad debilita la formación de biomasa al evitarse la expansión foliar.

Los tratamientos 8 y 9 presentan un caso particular interesante, en el sentido de que bajo un mayor déficit hídrico y altas temperaturas, el cafeto como medida de subsistencia podría traslocar mayores recursos a grano, básicamente como medida de preservación de la especie. Sin embargo, es fácil notar en la figura 28, que el estímulo provocado por altas temperaturas con buen suministro hídrico, es superior al estímulo por déficit hídrico y altas temperaturas.

Observando la figura 29 que presenta el comportamiento de tratamientos aislados de precipitación, se puede deducir que el efecto solo de incrementar las lluvias tiende a disminuir los rendimientos. Respecto a los tratamientos incrementales de precipitación en sí mismos (16-19), los resultados permiten inferir que bajo las condiciones en que se desarrolló el testigo, incrementos del suministro hídrico no tienen un efecto significativo sobre los rendimientos, nuevamente estos resultados hacen pensar que la humedad disponible durante este año en particular fue apropiada y no una limitante. Los resultados de los tratamientos 18 y 19 básicamente representan lo ya comentado, años con una menor precipitación, también implican una menor nubosidad y la posibilidad de mayor radiación directa, con lo que se beneficiaría el cultivo con mayor horas de luz directa y mayor temperatura, la cual, de acuerdo a los resultados que se presentan, es el parámetro que juega un mayor efecto en los rendimientos (figura 28).

Tal y como lo mencionan Maestri y Santos (1981), el café puede crecer bajo una gran variedad de regímenes de lluvia, pero la distribución y la existencia de un período seco las condiciones que más favorecen al cultivo del café.

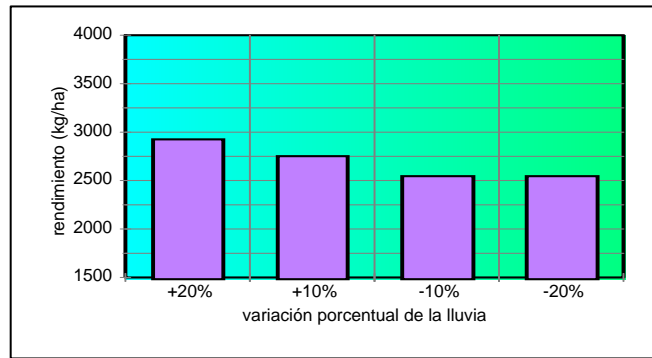


Figura 29. Rendimiento estimado de café (kg/ha de fruta), bajo tratamientos diferenciales de la precipitación.

Los aumentos en los rendimientos observados en los tratamientos combinados por efecto de elevar la temperatura ambiental, no concuerdan con lo citado por Maestri y Santos (1981), al advertir que el crecimiento del café se inhibe ante temperaturas altas, ya que luego de 24°C en la temperatura media, empieza a disminuir la fotosíntesis neta. Esto es probablemente porque aunque se incremente la temperatura, esta no alcanza niveles supra óptimos que inhiban el proceso fotosintético bajo las condiciones que se desarrollo este ensayo. Detallando sobre cuál temperatura es la responsable de la respuesta observada en este estudio, se encontró que el mayor peso lo tiene la temperatura diurna (máxima), y no la nocturna (mínima).

En la figura 29 , se presentan las respuestas en rendimiento al aumento en uno o dos grados centígrados de temperatura máxima, mínima y ambas.

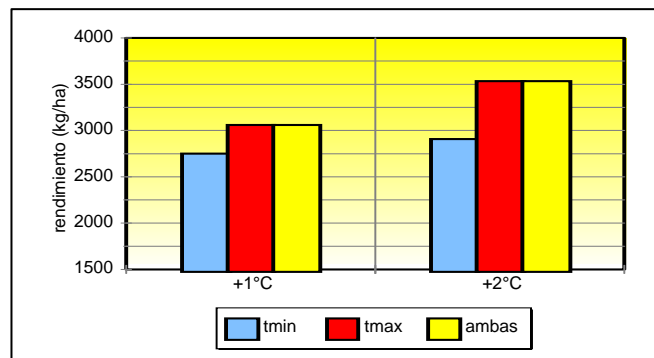


Figura 30. Rendimiento estimado de café (kg/ha de fruta), bajo tratamientos diferenciales de la temperatura.

Como puede observarse, uno o dos grados en la temperatura máxima, hacen aumentar los rendimientos con respecto al testigo (2924.7 kg/ha). De la figura 30 se puede inferir que el efecto de la temperatura media sobre los rendimientos, está claramente identificado con la temperatura máxima, siendo que el efecto comparativo de ambas expresiones térmicas es el mismo, no así el de la temperatura mínima. Por otra parte, se puede inferir que la amplitud térmica es importante y que si la misma está referida a aumentos en la temperatura máxima, se logran incrementos considerables en los rendimientos, como es el caso que se presenta en la figura 30 con +2°C. En general, los mayores rendimientos se alcanzan con altas temperaturas diurnas y un buen suministro hídrico.

REFERENCIAS

- Alegre, G. 1959. Climats et Cafeires d' Arabie. Agron. Trop. 14 (1): 23-58. Citado por Rojas, O.
- Campos, C. E. 1978. El Café en Costa Rica. Información General. Costa Rica. Departamento de Investigaciones del Café. 16 p. Citado por Rojas, O.
- Carvajal, J. F. 1972. Cafeto: Cultivo y Fertilización. Berna, Instituto Internacional de la Potasa, 141 p. Citado por Rojas, O.
- Chinchilla, E. 1987. Atlas Cantonal de Costa Rica, Instituto de Fomento y Asesoría Municipal (IFAN),
- García, J. 1972. Una Contribución a la Metodología de la Zonificación Ecológica de Cultivos Anuales. Tesis, CATIE. Turrialba, Costa Rica. 155 p. Citado por Rojas, O.
- Ginneken, V. y Calderón, J. 1978. Mapa de Categorías de Pendientes, (escala 1:200.000), Oficina de Planificación Agropecuaria. San José, Costa Rica.
- Gómez, L. D. 1996. Vegetación de Costa Rica. Editorial Universidad Estatal a Distancia, San José, Costa Rica. 385 p.
- Fernández, C. 1988. La Investigación Cafetalera en el Istmo Centroamericano. In: Prioridades de Investigación Aplicada en Café para Pequeños Agricultores. 9-14pp.
- Herrera, W. 1985. Clima de Costa Rica, Editorial Universidad Estatal a Distancia. San José, Costa Rica. 118p.
- ICAFFE (Instituto del café), 1998. Producción de café en Costa Rica. Página Web: <http://www.icafe.go.cr/produccion.htm>
- Maestri, M.; Santos, R. 1981. Ecofisiología de cultivos tropicales: Café. Programa cooperativo para la protección y modernización de la caficultura en México, Centro América y Panamá. IICA. San José, Costa Rica. 50p
- Peters, R. 1995. Cafetaleros buscan aumentar la producción de café. Agricultura y Ganadería. San José, Costa Rica. Nº5: 6pp.
- Pérez, V. M. 1977. Veinticinco Años de Investigación Sistemática del Cultivo del Café en Costa Rica: 1950-1975. Agronomía Costarricense 1 (2) 169-185.
- Pérez, S. Manual Descriptivo del Mapa de Asociaciones de Subgrupos de Suelos en Costa Rica. 1978, (escala 1: 200.000). Oficina de Planificación Sectorial Agropecuaria, San José, Costa Rica,
- Prioridades de la Investigación Aplicada en Café para Pequeños Agricultores. 1988. Editores: Mateo, N. y Escobar, G. Seminario Taller efectuado en San José, Costa Rica, del 15 al 17 de julio de 1987. Informe IDRC-MR195s (International Development Research Centre). 176 p.
- Ramírez, E. 1988, La Actividad Cafetalera en Costa Rica. In: Prioridades de Investigación Aplicada en Café para Pequeños Agricultores.
- Rojas, O. 1987. Zonificación Agroecológica para el Cultivo del Café (Coffea Arabica). En Costa Rica. IICA. SERIE Publicaciones Misceláneas No A1/OCR-87007-ISSN-0534-5391. 83 P.

Sandner, G. 1962. La Colonización Agrícola de Costa Rica. Instituto Geográfico de Costa Rica. Tomo I. San José, Costa Rica.

Tosi, J. 1969. Costa Rica. Mapa Ecológico, Según la Clasificación de Zona de Vida del Mundo de Holdridge. Escala 1: 750.000 San José, Costa Rica.