

# ESTUDIOS DE CAMBIO CLIMATICO EN COSTA RICA

## 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: PAPA

*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: PAPA**

**Roberto Villalobos Flores  
José A. Retana Barrantes**

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

**San José, Costa Rica  
1999**

## 2. CASO DE ESTUDIO: CULTIVO DE PAPA

### 2.1. INTRODUCCIÓN

La papa (*Solanum tuberosum*) es una planta herbácea de porte medio (0,50-1,00m) que se caracteriza por poseer tres tipos de tallos: los que forman la parte aérea de la planta, los subterráneos o estolones de crecimiento horizontal y los tubérculos que se forman en el extremo de los estolones y constituyen la parte típicamente comestible del cultivo (Jaramillo, 1979).

Este tubérculo ha jugado un papel importante en la nutrición de la humanidad, sustentando por sí solo, poblaciones enteras, y es el primer alimento como fuente energética (Jaramillo, 1979). Es rico en proteínas y aminoácidos, algunos minerales y en vitamina "C" (Guerrero, 1984). Actualmente es el cuarto cultivo de importancia mundial luego del trigo, el maíz y el arroz.

En Costa Rica se siembra desde hace 90 años. Por su consumo, la papa es el tercer producto en importancia a nivel nacional, luego del arroz y los frijoles (Amador, 1991; Brenes, 1995). Su producción se concentra principalmente en el cantón de Alfaró Ruiz de la provincia de Alajuela y en la zona norte de la provincia de Cartago (Chacón, 1993; SEPSA, 1993). Más del 90% de la producción nacional se obtiene de Cartago, donde además, se concentra el 95% del área nacional dedicada al cultivo (Villalobos, 1979; Thompson, 1983; SEPSA, 1993).

El cantón de Alvarado, perteneciente a la zona norte de Cartago, posee un área de 80 km<sup>2</sup> y una población de 8.000 habitantes. Está compuesto por los distritos de Pacayas, Cervantes y Capellades. Esta región es la mayor productora de papa de Costa Rica, aportando en promedio más del 60% de la producción nacional (Sibaja, 1995) y más del 90% del área sembrada en la zona de Cartago (Brenes, 1995). Según Brenes (1995), la producción agropecuaria es la principal fuente de ingresos, destacándose el cultivo de la papa como actividad prioritaria. De hecho, los mejores rendimientos provienen de esta zona. Esto obedece, según el mismo autor, a dos factores principales: el buen manejo de los paquetes tecnológicos por parte del agricultor, y las condiciones de suelo y clima.

El cultivo de papa es exigente con respecto a las condiciones climáticas por razones productivas y de vulnerabilidad a plagas y enfermedades (Amador, 1991; SEPSA, 1993). Según Thompson (1983), los factores térmico e hídrico, delimitan las áreas en: alto, medio y bajo potencial de productividad. Modelos de simulación de crecimiento, como el utilizado por Peiris *et al.*, (1996), utilizan la acumulación térmica y el balance hídrico como controladores de los estados fenológicos, la concentración de materia seca en el tubérculo, y la expansión foliar. En este sentido, Ramírez (1953) citado por Quevedo (1977), comprobó que los rendimientos de la papa son inversamente proporcionales al aumento de la temperatura. Parece que el efecto sobre el rendimiento es diferencial entre la temperatura máxima y la mínima. Conforme la temperatura mínima es más alta, la producción disminuye, mientras que si ésta se mantiene entre un rango de 12 a 18°C, la producción de follaje, tallos y tubérculos es mejor (Amador, 1991). Quevedo (1977), menciona que la temperatura nocturna es el factor dominante en el crecimiento de cultivos como papa, tomate y tabaco.

El cultivo de papa requiere de un buen suministro de agua, tanto en cantidad como en distribución, y tolera poco la sequía. Sin embargo, excesos hídricos pueden ocasionar un pobre desarrollo radicular, pudrición de tubérculos y estimular enfermedades fúngicas (Guerrero, 1984; Amador, 1991). Ronsén (1970), citado por Thompson (1983), indica que si la cantidad de precipitación es deficiente en el período final de crecimiento, se deben esperar rendimientos bajos. La etapa crítica en la cual la deficiencia de agua perjudica la producción es durante la formación de tubérculos (Amador 1991).

Se seleccionó la región de Pacayas como la más representativa de la producción de papa, esta escogencia obedeció al asesoramiento de funcionarios del Ministerio de Agricultura y Ganadería (MAG) y

la Oficina Nacional de Semillas (ONS), quienes consideran que esta región ha sido la mayor productora de papa comercial para mercado nacional a lo largo de la historia.

Las coordenadas geográficas del cantón VI Alvarado de la provincia de Cartago, están dadas por 09°56' latitud Norte y 83°48' longitud Oeste, a él pertenece el distrito primero, Pacayas, el cual localiza su centro urbano en las coordenadas 09°55' latitud Norte y 83°48' longitud Oeste (Chinchilla, 1987). Se ubica en la hoja topográfica Istarú, escala 1:50.000. Se asienta en el Valle Central Oriental, en las faldas del Volcán Irazú en la falda que da a la Vertiente Pacífica, a 1750 msnm.

El distrito de Pacayas y el cantón de Alvarado, corresponden a las sub-vertientes del Caribe y Norte, de la Vertiente del Caribe, a esta subvertiente pertenece la cuenca del río Reventazón-Parismina, el cual es drenado por el río Birrís, con sus afluentes los ríos: Ortiga, Carís, y las quebradas: Lajas, Presidio y Pacayas; que atraviesan el distrito en dirección noroeste a sureste (Chinchilla, 1987). Esta región presenta laderas con todo tipo de pendientes, el relieve predominante es de tipo muy accidentado con pendientes de 30 a 45 % (Ginneken y Calderón, 1978).

De acuerdo con el mapa de tipos de vegetación (Gómez, 1986), la vegetación de los alrededores de Pacayas se denomina "Bosque lluvioso tropical/subtropical montano". Según el mapa Ecológico de Costa Rica (Tosí, 1969), Pacayas pertenece a la zona de vida denominada "Muy húmeda premontano". Se presentan los suelos Typic Dystrandep, suelos muy desarrollados formados de lavas volcánicas, en regiones montañosas (Litosol) (Gómez, 1987).

Próximo a la ciudad de Pacayas, lo mismo que al Este, la región presenta limitaciones que la hacen apta únicamente para la utilización racional del bosque, hacia el norte de Pacayas, debe destinarse a la protección de las cuencas hidrográficas; son tierras aptas para el uso forestal, cultivos permanentes de tipo semibosque y ganadería. En general, el área presenta alta susceptibilidad a la erosión (Chinchilla, 1987).

Influye sobre Pacayas el régimen de precipitación del Caribe, y el del Pacífico en menor intensidad, es decir, la condición climática es mixta. Las pequeñas áreas de clima templado se presentan aisladas y es posible encontrarlas en altitudes entre los 1500 metros en el caso de pequeños valles y laderas altas de los edificios volcánicos. Se trata de pequeñas porciones del territorio en que se dan todo el año, promedios térmicos mensuales inferiores a 18°C y se localizan por lo general en las vertientes opuestas a los vientos alisios, como es el caso de Pacayas. En esta región se presentan de tres a cuatro meses secos.

La precipitación promedio anual en un período de 47 años, según los registros de la estación Pacayas, es de 2196.3 mm. Las lluvias se dan entre los meses de Mayo a Diciembre, siendo Septiembre y Octubre los meses más lluviosos con 241.4 y 274.6 mm respectivamente. Precipitaciones inferiores se registran en los meses de Febrero y Marzo, con 78.5 y 66.7 mm respectivamente.

La temperatura promedio mensual de Pacayas es de 16.7 °C, ésta presenta poca variación de un mes a otro, la amplitud térmica promedio entre la máxima (21°C) y la mínima (12°C), es de 9° C.

La humedad relativa promedio es de 88%, la humedad promedio más baja se registra en el mes de Enero (83%); y los valores promedio más altos se dan en los meses de Mayo a Diciembre (89%).

Según Herrera (1986), el clima de Pacayas, se clasifica como: "Clima húmedo, templado, con déficit moderado de agua". Según el mapa de amenazas hidrometeorológicas, esta área presenta peligro de avalanchas cercanas al cauce de los ríos Birrís y Pacayas.

Las proyecciones científicas sobre un eventual cambio climático indican aumentos en la temperatura (máxima, mínima y media) y cambios en el régimen pluviométrico para nuestras latitudes. Esto variará el entorno agroecológico de cultivos vulnerables como la papa, y la respuesta de su adaptación insidirá

directamente en las condiciones socioeconómicas de aquella población que directa e indirectamente depende del cultivo. Estudios que permitan vislumbrar el posible impacto de un cambio climático sobre actividades agrícolas tradicionales, se deben constituir en punto de partida para los tomadores de decisiones, razón por la cual, se pretende 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 papa, específicamente representado por la variedad Atzimba, 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 tubérculo.

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

## 2.2. MATERIALES Y METODOS

Para la calibración y validación del modelo SUBSTORE-Potato, se requirió obtener información real de cuatro componentes principales: suelo, planta, clima y manejo de cultivo. Con estos fines se estableció un ensayo en esta zona. Para evaluar las variables agronómicas y de producción, se estableció una parcela de terreno de aproximadamente 300 m<sup>2</sup>, en relieve accidentado.

La variedad de papa utilizada es la Atzimba, de piel crema oscuro y alta producción, regularmente tolerante a la enfermedad conocida como tizón tardío (*Phytophthora infestans*). Esta variedad se ha adaptado excelentemente a las condiciones de las zonas paperas de Costa Rica. Su ciclo es de aproximadamente 110 días (Amador, 1991; Chacón, 1993). Se sembró manualmente a una distancia entre plantas de 0,30 m, y 0,80 m entre surcos, para una densidad promedio de 83.000 tubérculos/ha.

La información de suelos de esta zona fue tomada de la base de datos de Recursos Naturales de Costa Rica (RNCR) provista por la Sección de Uso y Planificación de Suelos del Ministerio de Agricultura y Ganadería. El suelo principal de la zona del ensayo corresponde a un *Typic Dystrandept*, de topografía fuertemente ondulada, de origen volcánico y bien drenado. Presenta un color negro, textura franco-arenosa, con una profundidad que excede los 185 cm, con seis capas en el perfil.

Se determinó la humedad volumétrica del suelo por el método gravimétrico (González, 1980). Además, se realizó un análisis de fertilidad y textura de suelo en el laboratorio de suelos del Centro de Investigaciones Agronómicas (CIA) de la Universidad de Costa Rica. Se fertilizó con fórmula 10-30-10 a la siembra y adicionalmente boro al 3% y gallinaza. A los 30 dds (días después de siembra) se aplicó 15-2-22-6-22,2 a razón de 6 quintales por manzana. El combate de enfermedades se hizo con atomizaciones de Curzate y/o Daconil. El combate de malezas se realizó en forma manual.

Con la finalidad de dar seguimiento, determinar las variables agronómicas buscadas y estimar la duración en días fototérmicos de algunos estados fenológicos (altura de planta, densidad, biomasa por órganos, contenido de nitrógeno a prefloración y a cosecha, índice de área foliar, tamaño máximo de hoja, índice de crecimiento, índice de cosecha, producción promedio de tubérculos por planta, peso promedio de tubérculos (seco y fresco), concentración de nitrógeno en el tubérculo, biomasa total, número final de hojas, contenido de nitrógeno en la biomasa total, tiempo a floración, tiempo a inicio de tuberización, tiempo a madurez fisiológica, tiempo a final de expansión foliar, duración de llenado de tubérculos, entre otros), se muestreó un surco en competencia perfecta semanalmente (no de los bordes), tomando cuatro muestras (plantas) para análisis de laboratorio, y haciendo mediciones a diez plantas en el campo,

escogidas al azar y en competencia perfecta, para el cálculo de variables de crecimiento. El muestreo de los surcos se hizo en forma consecutiva y alternada, dejando un área específica de la parcela para ser cosechada y evaluar variables de producción <sup>1</sup>.

El cálculo de la biomasa se determinó como peso de materia seca según lo recomendado por IBSNAT (1990), mientras que el índice de área foliar y el tamaño máximo de las hojas se calculó por el método de conteo directo de milímetros (Burd y Lomas 1976).

Para medir las variables climáticas, se instaló en los alrededores de la parcela, a dos metros sobre el nivel del suelo, una estación meteorológica automática tipo W2000 Weather Watch, de la Campbell Scientific Inc., la cual fue programada mediante su propio software (PC208), con la finalidad de obtener lecturas horarias de temperaturas máxima y mínima del aire, humedad relativa del aire, presión de vapor, radiación solar, ráfaga máxima de viento, velocidad del viento y dirección predominante, total de lluvia en 24 horas, además de calcular la evapotranspiración en 24 horas de acuerdo al método Penman-Monteith (Monteith, 1981).

Con la información de campo, de laboratorio y meteorológica obtenida, se construyeron los archivos de entrada que requiere el modelo para iniciar la simulación (archivo de manejo del cultivo, archivo del cultivar, archivo de suelo y archivo de clima). Estas variables se necesitan para calibrar el modelo al comparar las variables observadas y compararlas con las variables estimadas por el modelo. Si el ajuste no era bueno, el modelo permite que se modifiquen coeficientes de cultivo que identifican a la variedad de papa utilizada para esta investigación. Las pruebas de calibración inician con los ajustes sobre la fenología del cultivo. Una vez estos hayan sido ajustados, se prosigue con las variables de rendimiento, hasta que el ajuste en las variables observadas en el campo, sea lo más cercano posible a lo observado en la parcela de investigación. La validación del modelo, se realizó con 10 corridas anuales del modelo, con una serie climática diaria desde 1987 hasta 1996, correspondiente a esta localización. No se consideró el año 1997, el cual fue en el que se realizó la calibración del modelo. La información de suelos fue la misma que para la calibración, así como la información del cultivo. En el manejo del cultivo, se supuso que había sido el mismo durante esta serie de tiempo, modificándose únicamente la fecha de siembra, la cual depende de las condiciones hídricas al momento de la siembra, y por lo tanto se utilizó la fecha promedio de mayor siembra en la zona en cada año en particular.

La información meteorológica para este análisis se tomó de la base de datos del Instituto Meteorológico Nacional, correspondiente a la estación de Pacayas localizada a 09°55' de latitud norte y a 83°49' de longitud oeste, con una elevación de 1.735 msnm.

Las estadísticas de producción y rendimiento para la zona, fueron provistas por el Consejo Nacional de Producción en cooperación con el Programa de Investigación y Transferencia de Tecnología en papa (PITTA-papa) del Ministerio de Agricultura y Ganadería. En la validación del modelo, se calcularon las estadísticas, sugeridas por Fox (1981) y Willmot (1982)

Para los ensayos con escenarios climáticos, fue necesario correr el modelo en un año climatológicamente normal (aquel año que no corresponde a puntos extremos de variabilidad climática interanual, principalmente influenciados por efectos directos de huracanes o ENOS de fuerte intensidad). La base climática de este año normal se tomó como el tratamiento testigo y sobre éste se ensayaron las variaciones en las temperaturas máxima, mínima, promedio, y la precipitación, sugeridas por los diferentes escenarios.

---

<sup>1</sup> Ing. Agr. Juan Ramón Navarro. Especialista en Biometría y Estadística. Facultad de Agronomía Universidad de Costa Rica. Comunicación personal. 1998.

Para caracterizar un año normal, se analizó el registro de precipitación de la zona, que abarca 45 años de información (desde 1952 hasta 1997). Los datos faltantes de la serie fueron estimados mediante un generador climático estadístico incorporado al DSSAT.

Se analizó la distribución del Total de Precipitación Anual (TPA), para todo el registro de años, encontrándose una distribución de la precipitación cercana a la normal para cinco clases. 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, seco-normal, normal, lluvioso-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 1987 para usarlo como testigo en el corrimiento del modelo sobre distintos escenarios climáticos.

Se estableció como modelo de un cambio global, el criterio del Programa Centroamericano sobre Cambio Climático (PCCC), el cual se basa en los pronósticos de los modelos de circulación general (GISS y GCM) (Campos, 1998). Se consideró que los rangos de variación máxima en la precipitación diaria serían de -20 y +20%, mientras que el rango de variación moderada serían de -10 y +10%. Las variaciones en la temperatura media se establecieron en +1 y +2°C, y se consideró la posibilidad de que la concentración de CO<sub>2</sub> se duplique, por lo que los escenarios propuestos fueron los siguientes:

- 1) Testigo ( año 1988).
- 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..
- 20) +2°C en la temperatura máx. y mín., +20% en la precipitación y +2 CO<sub>2</sub>.
- 21) +2°C en la temperatura máx. y mín., -20% en la precipitación y +2 CO<sub>2</sub>.
- 22) +2°C en la temperatura máx. y mín. y +2 CO<sub>2</sub>.
- 23) +2 CO<sub>2</sub>.

### 2.3. RESULTADOS

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 análisis climatológico de la precipitación determinó los siguientes rangos de Total de Precipitación Anual (TPA) para cinco grupos de años:

- Grupo de años secos: <1800 mm
- Grupo de años seco-normal: 1800-2000 mm
- Grupo de años normales: 2000-2400 mm
- Grupo de años lluvioso-normal: 2400-2600 mm
- Grupo de años lluviosos: >2600 mm

En la figura 14 se observa la distribución del TPA en estos cinco grupos. Del grupo normal (N), que presenta la mayor concentración de casos (37%), se seleccionó el año 1988 como testigo.

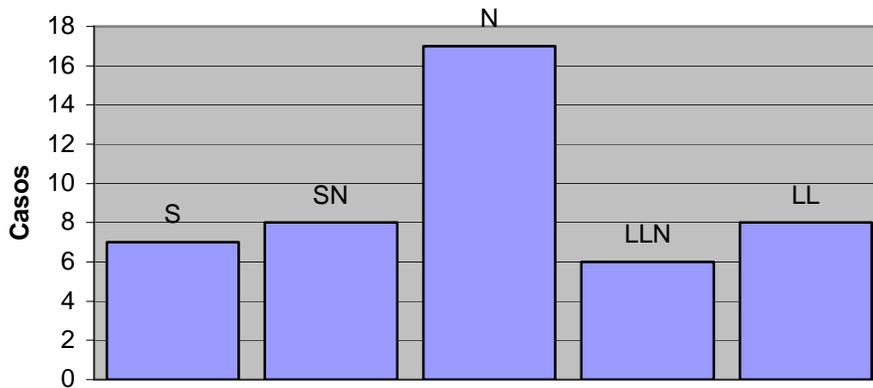


Figura 14. Grupos de años con características pluviométricas semejantes. Pacayas, Cartago.

El comportamiento mensual de los promedios de los tres grupos principales (se excluyen los grupos de transición) se puede observar en la figura 15.

El comportamiento promedio de un año normal, se caracteriza por tener un TPA comprendido entre los 2000 y 2400 mm. Posee dos períodos bien definidos: uno lluvioso que va desde mayo hasta diciembre y otro de disminución progresiva del régimen pluviométrico a partir de diciembre hasta abril. Los meses más secos son febrero, marzo y abril, mientras que los más lluviosos en promedio son julio y octubre. Al igual que durante los años secos, en los normales el mes de agosto puede presentar un período de disminución de lluvias que correspondería al veranillo. Este es más notorio en zonas ubicadas en el Pacífico Norte y Central.

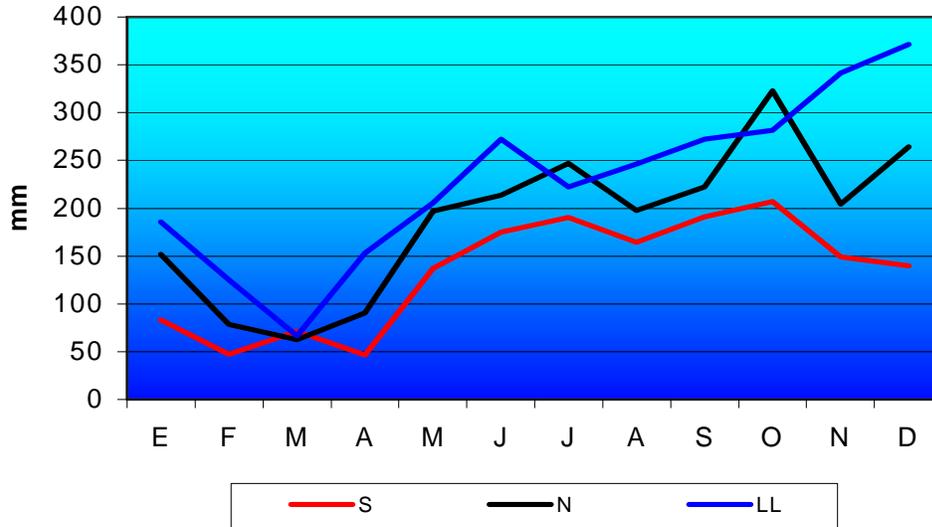


Figura 15. Comportamiento mensual del promedio de los grupos seco, normal y lluvioso. Pacayas, Cartago

Con respecto a la cantidad de días con lluvia (>1.0 mm), para un año normal se puede esperar en promedio un total de 187 días durante todo el año. Tal y como se observa en la figura 16, el comportamiento por mes de este parámetro es muy similar al de la precipitación (figura 12), coincidiendo con los períodos definidos anteriormente. El mes con menos número de días con lluvia es marzo (6), mientras que octubre representa el pico máximo (21).

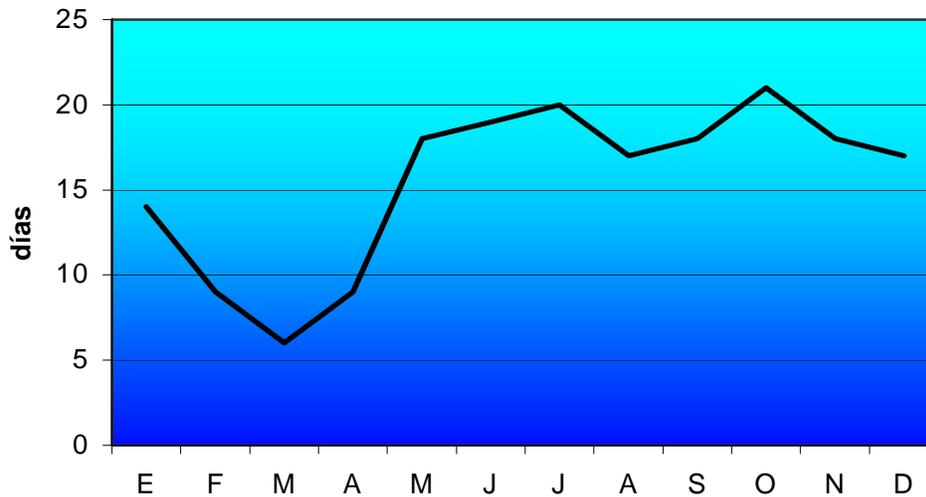


Figura 16. Comportamiento mensual del promedio días con lluvia para el grupo de años normal. Pacayas, Cartago

Los resultados de la calibración se presentan en el cuadro 5, donde se puede comprobar el grado de ajuste del modelo con respecto a los datos derivados del análisis de campo.

Cuadro 5. Resultados en algunas variables en la calibración del modelo SUBSTORE-Potato.

Variable	Valores Estimados	Valores Observados
Días a inicio de tuberización	36	45
Días a madurez fisiológica	101	102
Rendimiento en fresco(t/ha)	24.28	24.20
Rendimiento en seco(kg/ha)	4856	4926
Biomasa foliar seca a cosecha (kg/ha)	619	540
Biomasa aérea + tubérculos (kg/ha)	5464	6070
Máximo Índice de área foliar	1.54	1.12

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 6, que se encontró un coeficiente de determinación ( $r^2$ ) de 85% (0,8538), que corresponde al porcentaje de las observaciones que son explicadas por el modelo. La relación entre las variables es positiva y corresponde a un 92% (0,924) de coeficiente de correlación ( $r$ ). El índice de concordancia ( $d$ ) es de 94% (0,944), el cual indica que el modelo presenta solo un 6% de imprecisión con respecto a lo observado.

La papa es una planta con metabolismo fotosintético  $C_3$ , donde el  $CO_2$  se combina con difosfato de ribulosa, un fosfato de azúcar de cinco átomos de carbono, que se produce constantemente en las células vegetales, obteniéndose dos moléculas de ácido fosfoglicérico, un compuesto de tres átomos de carbono (Weier *et al.*, 1979).

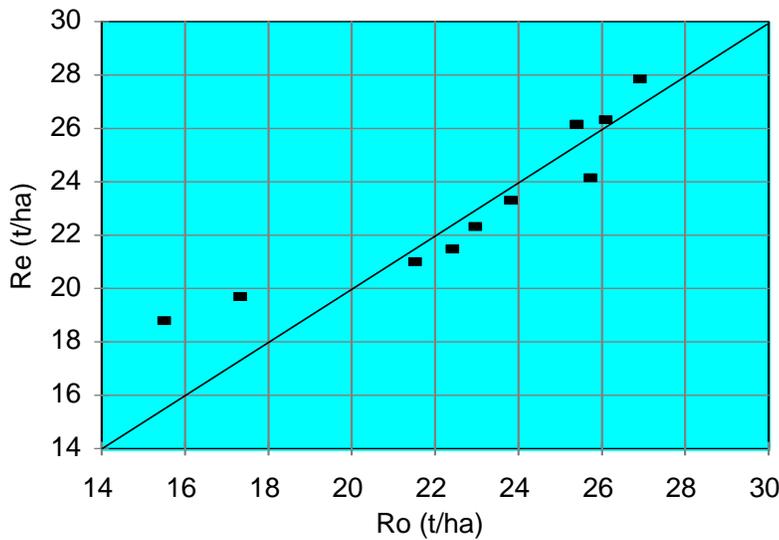


Figura 17 Rendimiento observado (Ro) y Rendimiento estimado (Re) de papa, mediante el modelo SUBSTOR. Período 1987-1996

Cuadro 6. Medidas cuantitativas sobre la evaluación del modelo.

Ro	Re	DS <sub>Ro</sub>	DS <sub>Re</sub>	a	b	MAE	RMSE	RMSE <sub>s</sub>	RMSE <sub>U</sub>	d	r <sup>2</sup>
22.8	23.1	3.594	2.847	6.457	0.732	1.176	1.496	1.026	1.088	0.944	0.854

Los términos b, d y r<sup>2</sup> son adimensionales, los otros términos tienen unidades de t/ha.

Aunque la mayor parte de la investigación actual sobre fotosíntesis está dirigida hacia un mejor entendimiento de la naturaleza del proceso, el conocimiento de la influencia de diversos factores sobre la tasa de fotosíntesis es actualmente de considerable valor práctico. Como la fotosíntesis es, en último término, la fuente de alimento de casi todos los organismos, la productividad fotosintética es de interés biológico general. Para los agricultores en general, cuyos ingresos dependen del rendimiento de sus cultivos, es asunto de importancia monetaria.

La máxima tasa de crecimiento para un cultivo C<sub>3</sub>, como la papa en regiones templadas, es alrededor de 20 gramos de biomasa seca por metro cuadrado de terreno por día (g Bs m<sup>-2</sup> d<sup>-1</sup>). Por eso, los factores ambientales que intervienen en la formación de biomasa, como la temperatura, la radiación solar y el agua disponible para la planta, juegan un papel preponderante en el período efectivo de crecimiento y la tasa máxima de crecimiento del cultivo (Pashiardis, 1987).

La figura 18 muestra algunos aspectos del balance hídrico durante el ciclo del cultivo de papa en Pacayas. Puede observarse la poca precipitación que se mantuvo por los efectos del fenómeno de El Niño (escala de la derecha), y como prácticamente toda la humedad disponible fue utilizada por el cultivo, en vista de que la evapotranspiración real (ET) iguala a la transpiración (EP), mientras que la evapotranspiración potencial (ETP), varía con la demanda atmosférica.

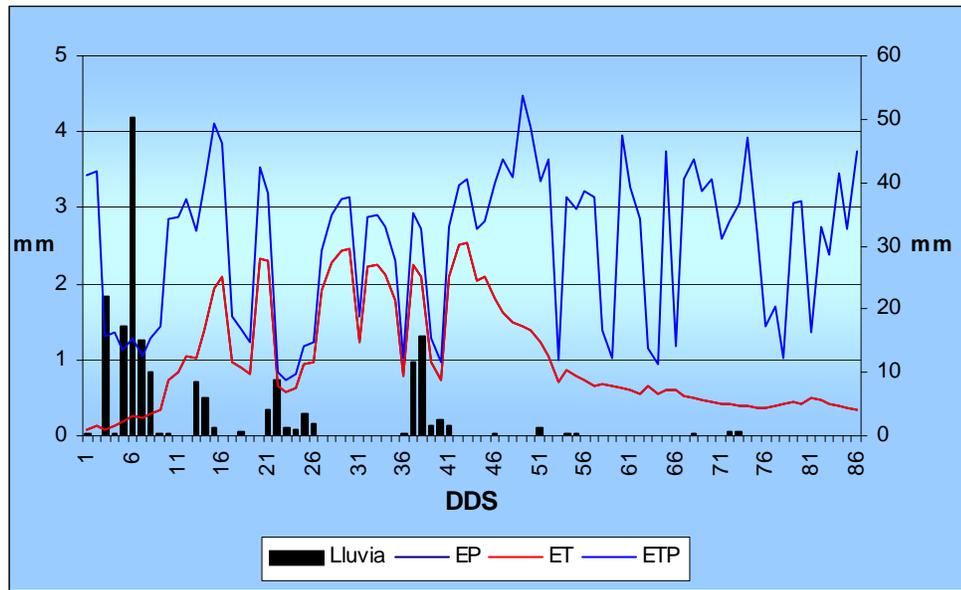


Figura 18 Precipitación, EP, ET y ETP durante el ciclo del cultivo de papa en Pacayas, Cartago. Noviembre 1997 – Marzo 1998.

La figura 19 presenta las curvas promedio de aumento en peso seco de la biomasa aérea por partición a hojas, tallos y raíces. Puede observarse que la partición a hojas juega un papel importante, manifestándose esto principalmente a partir del día 20 después de la siembra (DDS), lo cual está relacionado con la anatomía de la planta, dado que las hojas de la papa son compuestas y están constituidas por varios juegos de folíolos (cada una de las pequeñas divisiones en forma de hoja de una hoja compuesta), característica importante para la captación de recursos y en la formación y almacenamiento de fotoasimilados.

Le sigue en importancia la partición a tallo, siendo su incremento, en promedio, casi constante hasta la etapa de engrosamiento de los tubérculos. Estos frondosos tejidos juegan un papel muy importante en la estructura de sostén de la planta y en el almacenamiento de los recursos energéticos.

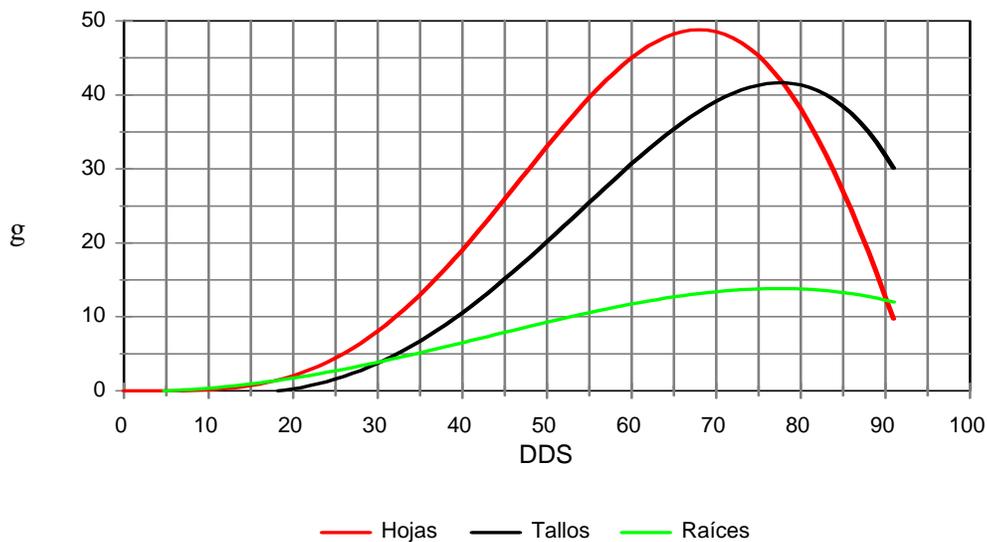


Figura 19. Biomasa seca de hojas, tallos y raíces durante el ciclo del cultivo de papa en Pacayas.

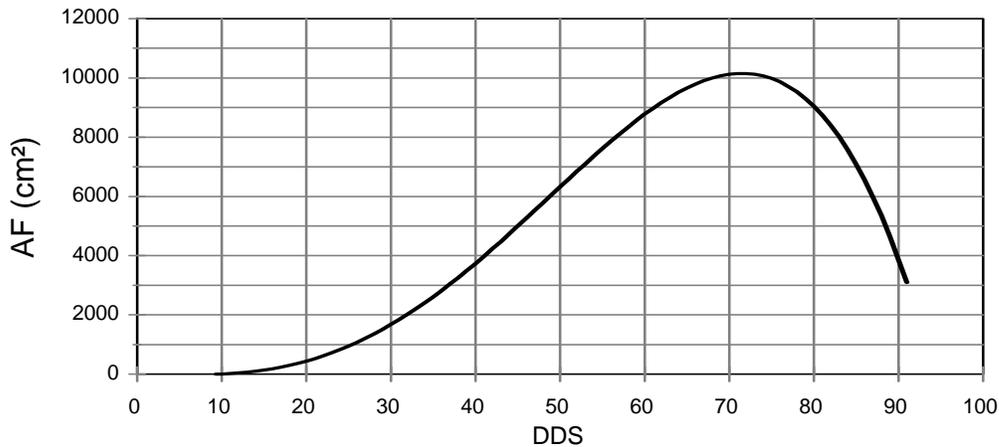


Figura 20. Área foliar promedio para una planta de papa durante el ciclo del cultivo en Pacayas

La partición a raíces crece principalmente durante los primeros dos meses del ciclo del cultivo, para luego mantenerse casi constante.

Con base en la figura 19 puede inferirse que los fotoasimilados acumulados en las hojas son los primeros en ser traslocados a los tubérculos, en vista de que el proceso de senectud del follaje da inicio alrededor de los 70 DDS, relacionándose con la disminución del área foliar (AF), tal y como puede apreciarse en la figura 20.

Coincidentemente, también es posible observar un cambio en la pendiente de la curva de crecimiento de la biomasa seca de los tubérculos a partir de los 70 DDS (Figura 21).

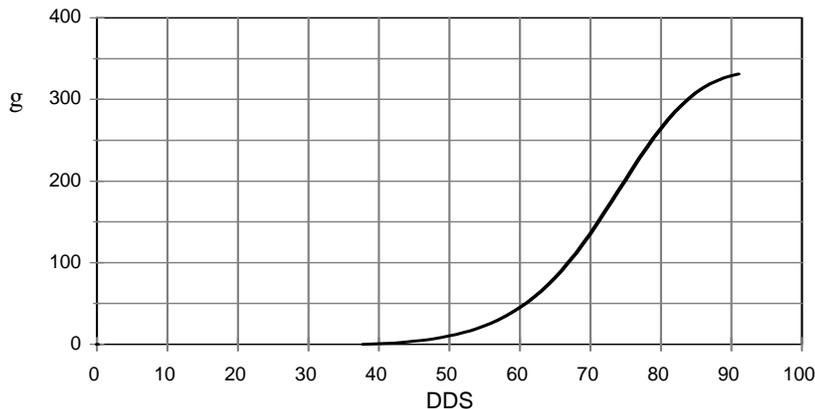


Figura 21. Peso seco de los tubérculos durante el ciclo del cultivo de papa en Pacayas.

Con la finalidad de conocer las variantes en la formación de biomasa y en los rendimientos del cultivo de papa, se procedió al análisis de las respuestas de los diferentes tratamientos propuestos, obteniéndose, de acuerdo al Cuadro 7, que los escenarios incrementales de temperatura y precipitación (escenarios 2-5), reducen los rendimientos con respecto al testigo. Los mismos resultados negativos se obtienen con escenarios incrementales de temperatura y detrimentales en precipitación (escenarios 6-9), pero los rendimientos disminuyen aún más que en los casos anteriores. Cuando se analizó el efecto separado de estos parámetros meteorológicos (escenarios 14,15 y luego 16,17), se encontró que los aumentos de temperatura representan un factor negativo sobre la producción de biomasa y de los rendimientos. Lo mismo es válido para escenarios detrimentales de precipitación tal y como se observa en la figura 22, pero

el efecto negativo sobre la producción de biomasa seca total no es tan severo como en el caso de la temperatura.

Por otra parte, se observó que los rendimientos aumentan bajo escenarios incrementales de precipitación (escenarios 18 y 19). La comparación de los resultados obtenidos demuestra que en el caso de los escenarios con efectos mixtos, el aumento en la temperatura siempre produce un efecto negativo, y que en el caso de los escenarios incrementales de temperatura y precipitación, la temperatura tiene un mayor peso que el efecto positivo de la lluvia.

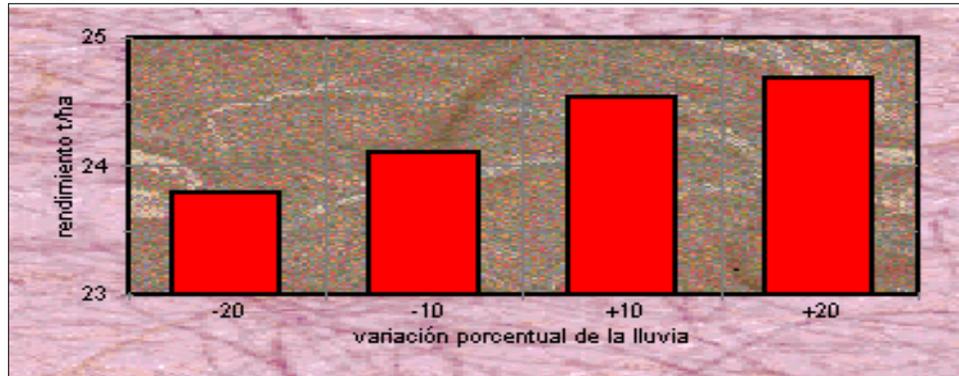


Figura 22. Efecto de variaciones porcentuales en la precipitación diaria sobre los rendimientos en el cultivo de papa.

En los escenarios en que se evaluó el efecto diferencial de la temperatura máxima y de la mínima (escenarios 10-13), se pudo comprobar que los efectos más perjudiciales se presentan bajo los escenarios incrementales de temperatura máxima, debido principalmente al mayor costo energético de la transpiración diurna producto del aumento en la temperatura.

Cuadro 7. Rendimiento y biomasa seca total por escenario propuesto

ESCENARIO	RENDIMIENTO (t/ha)	BIOMASA (kg/ha)
1. Testigo (año 1997)	24.28	5474
2. +1°C Tmáx y Tmín. +10%Prec.	22.99	5212
3. +1°C Tmáx y Tmín. +20%Prec.	23.17	5252
4. +2°C Tmáx y Tmín. +10%Prec.	21.48	4915
5. +2°C Tmáx y Tmín. +20%Prec.	21.74	4969
6. +1°C Tmáx y Tmín. -10%Prec.	22.50	5105
7. +1°C Tmáx y Tmín. -20%Prec.	22.28	5062
8. +2°C Tmáx y Tmín. -10%Prec.	20.99	4808
9. +2°C Tmáx y Tmín. -20%Prec.	20.73	4750
10. +1°C Tmáx.	23.37	5286
11. +1°C Tmín.	23.69	5349
12. +2°C Tmáx.	23.35	5075
13. +2°C Tmín.	23.08	5231
14. +1°C Tmáx. y Tmín.	22.76	5163
15. +2°C Tmáx. y Tmín.	21.23	4860
16. -10% Luvia	24.11	5435
17. -20% Luvia	23.80	5371
18. +10% Luvia	24.53	5526
19. +20% Luvia	24.69	5558
20. +2°C Tmed. + 20%Luvia +2 CO <sub>2</sub>	36.96	8584
21. +2°C Tmed. - 20%Luvia +2 CO <sub>2</sub>	35.88	8378
22. +2°C Tmed. +2 CO <sub>2</sub>	36.53	8517
23. +2 CO <sub>2</sub>	41.87	9508

En la figura 23, se presenta la respuesta del rendimiento de papa, ante los escenarios térmicos propuestos.

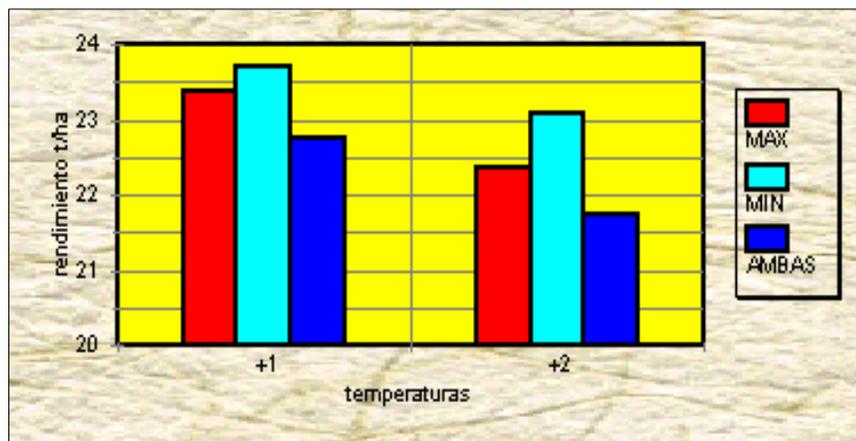


Figura 23. Efecto de la temperatura sobre el rendimiento del cultivo de papa en Pacayas.

En cuanto a los escenarios 20 a 23, la duplicación de la concentración de CO<sub>2</sub> juega un papel muy importante en los resultados obtenidos, en vista del efecto fertilizante del CO<sub>2</sub> sobre la fotosíntesis, los rendimientos se incrementan notablemente, tal y como lo presenta la figura 24. Puede notarse como el efecto aislado del CO<sub>2</sub> produce un incremento en el rendimiento que hace sobrepasar el testigo (100% en la escala). Sin embargo, al analizar los efectos combinados del CO<sub>2</sub> con los otros elementos meteorológicos se observa que aunque el efecto del con la precipitación es positivo, al aplicarse el efecto de la temperatura, este pesa más que el de la precipitación. Las variaciones en los resultados entre estos escenarios, se deben principalmente al efecto diferencial de cada uno de los parámetros meteorológicos analizados.

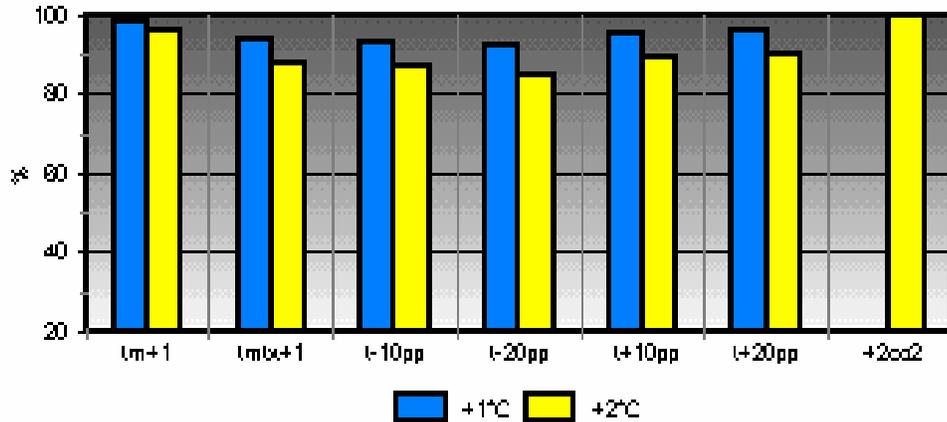
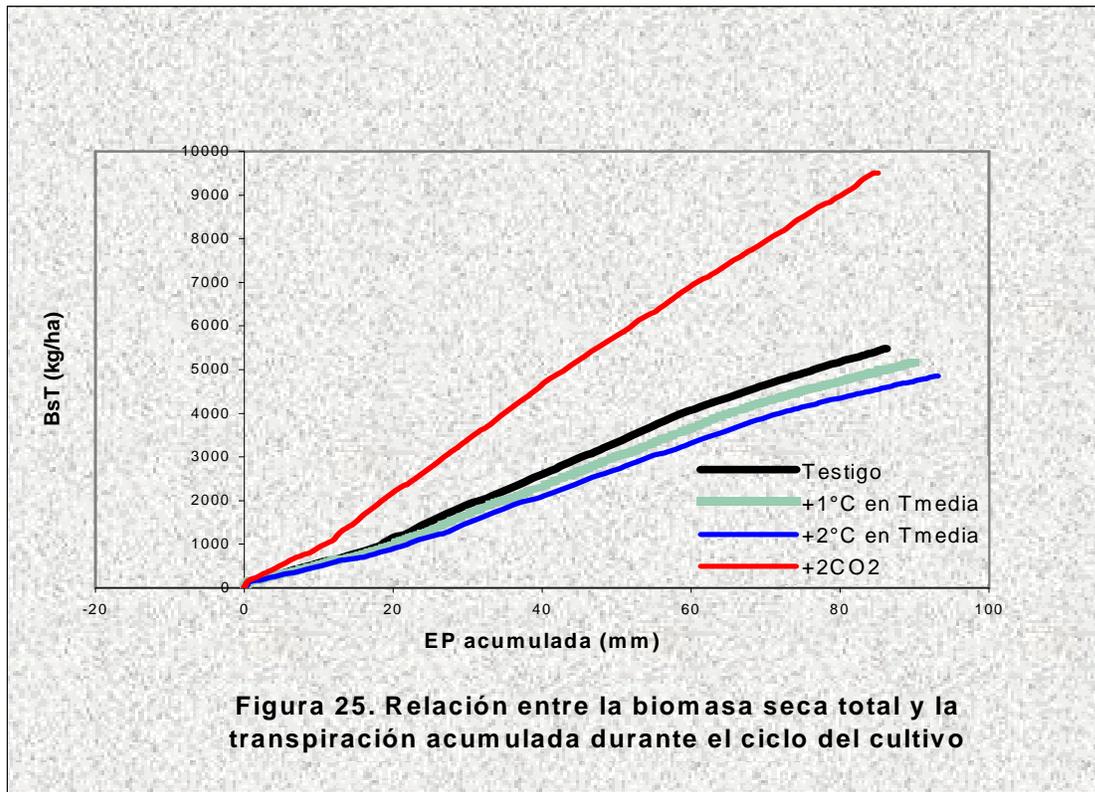


Figura 24. Efecto comparativo de algunos escenarios de cambio climático sobre los rendimientos de papa expresados como porcentajes de un tratamiento testigo

La figura 25 compara la relación existente entre la biomasa seca total durante el ciclo del cultivo y la transpiración acumulada en el ciclo, como respuesta del cultivo a algunos de los escenarios propuestos. La producción de biomasa por unidad de agua utilizada determina un índice de eficiencia en el uso del agua. Puede observarse que los escenarios incrementales de temperatura (14 y 15), presentan una menor eficiencia en el uso del agua, por consiguiente, para una misma cantidad de biomasa formada se requiere de un mayor consumo de humedad y de energía, lo cual se refleja a través de la pendiente de la relación biomasa-transpiración (Sadras y Hall, 1988).



Por otro lado, puede observarse también que el escenario incremental de concentración de  $\text{CO}_2$ , tiene un efecto fertilizante en el cultivo, haciendo que el proceso fotosintético se realice en una forma más eficiente, razón por lo cual, el aprovechamiento del recurso hídrico disponible es mayor, y aumenta notablemente la eficiencia en el uso del agua, representada por la pendiente de las curvas en la figura 19 (mayor pendiente, mayor eficiencia en el uso del agua) (Loomis y Connor, 1992).

## REFERENCIAS

- Amador, R. 1991. Papa. En: Aspectos técnicos sobre cuarenta y cinco cultivos agrícolas de Costa Rica. Ministerio de Agricultura y Ganadería. Dirección General de Investigación y Extensión Agrícola. Boletín técnico N°74. San José, Costa Rica. 560 p.
- Brenes, F. 1995. Información sobre censos de papa y otras actividades. Agricultura y Ganadería. (5):18-19p
- Campos, M. 1997. Escenarios Climáticos para Costa Rica. Proyecto de Cambio Climático Centroamericano (PCCC). San José, Costa Rica. 15 p. Comunicación Personal.
- Chacón, M. 1993. Producción de semilla certificada de papa. Oficina Nacional de Semillas. San José, Costa Rica. 128pp
- Guerrero, A. 1984. Cultivos herbáceos extensivos. Ediciones Mundi-Prensa. Tercera edición. Madrid, España. 743 p.
- International Benchmark Sites Network for Agrotechnology Transfer Project (IBSNAT). 1990. Technical report 2, *Field and laboratory methods for the collection of the IBSNAT minimum data set for DSSAT V2.1*. Departmente of Agronomy and Soil Science, Hawaii Institute of Tropical Agriculture and Human Resources, University of Hawaii. First edition. 66 p.
- Jaramillo, A. 1979. La papa: control de sus enfermedades y plagas en América Latina. Rohm and Haas Company. Latin American Region. Agricultural Business Team. 40p.
- Loomis, R. S. and Connor, D. J. 1992. Crop ecology: productivity and management in agricultural systems. Cambridge University Press. 536p.
- Pashiardis, S. M. 1987. Improvement of Potato Yields. In: Agrometeorology of the Potato Crop. Acta Horticulturae 214: 27-44.
- Peiris, D.; Crawford, J.; Grashoff, C.; Jefferies, R.; Porter, J.; Marshall, B. 1996. A simulation study of crop growth and development under climate change. Agricultural and Forest Meteorology. 79(1996):271-287.
- Quevedo, J. 1977. Influencia de los parámetros meteorológicos en los eventos fenológicos de la papa, variedad Cuzco. Tesis para optar al título de Ingeniero Agrónomo. Universidad Nacional Agraria La Molina. Programa Académico de Agronomía. Lima, Perú. 98pp.
- Secretaría Ejecutiva de Planificación Sectorial Agropecuaria (SEPSA). 1993. Diagnóstico del sector agropecuario. Tomo I. SEPSA. San José, Costa Rica. 165pp.
- Sibaja, J. 1995. Se agudiza crisis para los productores de papa en Alvarado. Agricultura y Ganadería (5):16-17p.
- Thompson, J. 1983. Influencia de los parámetros meteorológicos en la fenología y rendimiento de la papa (*Solanum tuberosum*) en tres elevaciones de la zona norte de Cartago, Costa Rica. Instituto Tecnológico de Costa Rica. Departamento de Agronomía. 67 p.
- Villalobos, A. 1979. Algunos aspectos del cultivo y comercialización de la papa (*Solanum tuberosum*) en la provincia de Cartago. Facultad de Agronomía. Escuela de Economía Agrícola. Universidad de Costa Rica. 26 p.
- Weier, T. E.; Stocking, G. R. y Barbour, M. C. 1979. Botánica. Editorial Limusa, 5ª edición. México. 41p.