

En Tumaco: Fenómenos del Niño y la Niña* **Eventos ENOS y su relación con el clima y la producción de palma de aceite**

Tumaco: El Niño and La Niña Phenomena

ENOS events and their relationship with the weather
and the production of oil palm in Tumaco

Martha C. Cadena
Andrea Devis M.
Igor Málikov
Javier R. Ortiz G.¹
José D. Pabón C.²

Resumen

A partir de la relación existente entre el ciclo El Niño-Oscilación Sur (Enos) y las condiciones oceanográficas de la región de Tumaco, se determinó el efecto de dicho ciclo sobre la climatología local y se encontró la correlación entre las alteraciones en las variables meteorológicas analizadas y la producción del cultivo de palma de aceite en el municipio de Tumaco. Se consideraron las particularidades regionales de la temperatura de la superficie del mar, como indicador del ciclo Enos, así como el efecto que este produce en el brillo solar, la temperatura del aire y la precipitación, tomados como indicadores climáticos de la zona; finalmente se analizó la relación entre las alteraciones en el clima de la región asociadas con el ciclo y los rendimientos del cultivo de palma de aceite. Como resultado se pudo confirmar que en condiciones tipo El Niño, se produce un incremento en las horas de brillo solar, los volúmenes mensuales de precipitación y aumento de la temperatura media mensual del aire; en otras condiciones con La Niña ocurre lo contrario. También fue posible establecer que estas variaciones tienen un efecto importante en las diferentes fases de desarrollo del fruto de palma de aceite, afectando así la producción de la misma; en especial, durante la fase fría (La Niña), que al coincidir con la época de menores lluvias del segundo semestre del año, puede ocasionar déficit hídrico en la región. La mayor correlación se encontró entre los parámetros climatológicos lluvia y brillo solar, con datos de producción del cultivo de palma de aceite en todas sus etapas de desarrollo; los periodos más afectados correspondieron a los últimos 15 meses anteriores a la cosecha. A largo plazo las anomalías mensuales de la precipitación, temperatura, brillo solar e índice de disponibilidad hídrica (IDH) con la producción, presentan una buena correlación, rezagando esta última 2.6 años. Los periodos de alta producción coinciden con los de anomalías positivas de los parámetros del clima, de igual forma, las anomalías negativas pueden producir una disminución de la producción con el mismo periodo de rezago.

Palabras clave

Fenómeno de El Niño, Fenómeno de La Niña, clima, palma de aceite, Tumaco.

* Fenómenos del Niño: 1997-1998 y de La Niña: 1999-2001. *El Niño (1997/ 1998) and La Niña (1999 / 2001) phenomena.*

1. División de Oceanografía, Centro Control Contaminación del Pacífico - CCCP.
mcadena@cccp.org.co martha_acuario2000@yahoo.com - adevismo@hotmail.com - jortiz@cccp.org.co
 2. Departamento de Geografía, Universidad Nacional de Colombia -jdpabonc@unal.edu.co
- Recibido: 21 de julio de 2004 Aprobado: 12 de enero de 2005

Summary

From the relationship of the Enso cycle and the oceanographical conditions of the Tumaco area, it was determined the effect of such cycle on the local climate and it was found the correlation between the meteorological alterations and the oil palm production of the Tumaco municipality. The regional features of the sea surface temperature were considered as Enso signals, and its effect on the solar radiation, air temperature and rain as climatic indicators of the area; finally, it was analyzed the impact produced by the climatic alterations associated to this events on the oil palm production. As a result it could be confirmed that El Niño produced in this area an increase on the solar radiation hours, on the mean air temperature and on the monthly mean precipitation rates; La Niña produced the inverse conditions. It was also possible to establish that such variations had an important effect on the different phases of the development of the oil palm fruit, having an important effect on its production, especially the cold phase (La Niña), which, in conjunction with the least rainy season of the second semester of the year could cause severe droughts on the region. The climatological parameters were related with the oil palm production, on every plant growing stages, highlighting the rain and solar radiation. The 15 months prior to the harvest were the most affected. The highest correlation between the semestral anomalies of precipitation, temperature, solar radiation and HDI (hydro-availability index) with the production was found delaying this last one 2.6 years. The highest production periods coincided with the positive anomalies on the climatic parameters, and, the negative anomalies with a decrease on the production within the same delayed period.

Introducción

La variabilidad climática influye en el desarrollo de diversas actividades humanas incluida la agricultura. Los países cuya economía depende de este sector económico, se ven con mucha frecuencia afectados por fases climáticas extremas que pueden llegar a tener impactos socioeconómicos negativos de gran magnitud. Por esta razón, desde hace varios años, la identificación del impacto de la ocurrencia de eventos Enos resulta de especial interés.

En la escala interanual, el ciclo Enos-oscilación sur induce oscilaciones extremas en la variabilidad climática de la región ecuatorial; estas condiciones extremas producen impactos socioeconómicos importantes (Glantz, 1996, 1998).

En el municipio de Tumaco, región sur del Pacífico colombiano, el cultivo de palma de aceite es uno de los principales renglones de la economía. Allí se registra 13,5% de la producción anual de Colombia, que es el cuarto productor en el mundo (Fedepalma, 2002); una alteración en la producción puede ocasionar consecuencias socioeconómicas considerables. A pesar de la importancia de este cultivo

y de las evidencias sobre el déficit de precipitación asociado al evento de La Niña, que ha ocasionado pérdidas económicas, se ha profundizado poco en el estudio de los efectos e impactos por eventos Enos (Montealegre y Pabón, 1992; Pabón y Montealegre, 1992; Póveda y Mesa, 1996, Ideam, 1997, 1998; entre otros), que ha ocasionado pérdidas económicas, según testimonios de los palmicultores. se ha profundizado poco en el estudio de los efectos e impactos por eventos Enos.

Según estimaciones realizadas por la Comisión Económica para América Latina y el Caribe (Cepal, 1999) y la Corporación Andina de Fomento (CAF, 1998), sólo los eventos cálidos de 1991-1992 y 1997-1998 produjeron pérdidas para Colombia cercanas a los 3.000 y 560 millones de dólares americanos, respectivamente. En el evento 1997-1998 los sectores más afectados fueron los servicios públicos, en especial, la electricidad (54% del total del impacto) y el abastecimiento de agua para la población y la salud. También se afectó el sector agrícola (18%) (CAF, 1998, 1999,2000).

En cuanto a la manifestación de El Niño y La Niña en el Pacífico co-

lombiano y su efecto climático regional se han realizado algunos estudios. En términos generales, se tiene establecido que El Niño genera aumento del nivel medio del mar y de la temperatura superficial del mar durante algunos meses. También se han evidenciado aumentos de la temperatura media del aire y de los volúmenes mensuales de precipitación. algunos sectores; en tanto La Niña produce efectos contrarios (Pabón, 1990; Pabón y Montealegre, 1992; Montealegre y Pabón, 1992).

En el presente estudio se hace una descripción de la climatología local y su alteración por la ocurrencia de eventos Enos, lo cual fue relacionado después con datos de producción de palma de aceite de la región de Tumaco, para identificar los principales efectos producidos durante los eventos presentados entre 1997 y 2001.

Área de estudio

El estudio se desarrolló para la zona productora de palma de aceite de Tilmaco, la región más representativa de ese sector productivo en el occidente del país. Esta zona, ubicada en el departamento de Nariño está delimitada al norte por el municipio de Francisco Pizarro (Salahonda), Payán y Barbaças, el río Mataje en la frontera con Ecuador y al occidente por el océano Pacífico, con su límite en tierra en Cabo Manglares.

El clima de la región es húmedo (el promedio anual de humedad relativa es de 86%) y la temperatura media anual está entre los 25 y 26-C; en la región predomina la nubosidad y una abundante precipitación durante gran parte del año (CCCP, 2003).

Todo el territorio está dentro de la planicie deltáica de Nariño, desarrollándose en su litoral los deltas de los ríos Patía y Mira. En la zona aluvial, sobre el margen occidental del río

Mira y sobre la región oriental del Caunapí, se localizan las principales plantaciones de la región.

Metodología

El estudio se desarrolló, basado en el modelo conceptual propuesto en (CCCP, 2005) en el cual se considera que una condición extrema (El Niño o La Niña) provoca alteraciones en los componentes del sistema climático de una región que inciden sobre diferentes fases de desarrollo del ciclo de las plantas.

Datos e información utilizada

La información oceanográfica corresponde a datos promedios mensuales de temperatura superficial del mar (TSM) de las regiones Niño 3.4, Niño 3 y Niño 1+2, para el periodo (1960/2002), se tomaron de los archivos que la *National Oceanic and Atmospheric Agency* (NOAA) de Estados Unidos presenta al público en internet <http://www.cpc.ncep.noaa.gov/data/indices/>. Para la información de la zona costera, se incorporó al análisis la serie de tiempo de los promedios mensuales de TSM registrados por más de 40 años en la estación costera de Tumaco.

Para establecer los patrones climáticos de la región, se tomaron los datos meteorológicos promedios mensuales de las estaciones existentes en el municipio de Tumaco, para el periodo (1960-2002); allí se encuentran instaladas cinco estaciones meteorológicas, de las cuales tres son pluviométricas y dos climatológicas, con registros de otras variables como temperatura, humedad del aire, brillo solar y evaporación. Como información complementaria se consideraron datos de algunas plantaciones que toman registros diarios de precipitación en la región. Como estación representativa se escogió Granja El Mira, localizada en el Centro de Investigaciones

del Mira (Corpoica) en la zona palmera, por su largo periodo de registro y la calidad de la información. Para el análisis se utilizaron los promedios mensuales multianuales de la precipitación, la temperatura y el brillo solar.

La información sobre producción se basó en datos de rendimiento en toneladas por hectárea al mes (t/ha-mes), de lotes representativos de algunas de las plantaciones; también se tomó información de lotes ubicados en el Centro de Investigación (CI) El Mira-Corpoica. Todos los lotes están sembrados con semillas tipo Ténera; en lo posible, se tomaron cultivos con edad mayor a siete años, para contar con un período donde la producción es relativamente estable. Se asumió que las plantaciones objeto de estudio tienen un manejo del cultivo óptimo, que realizan actividades de ploteo, podas, fertilización, control sanitario y cuentan con asesoría técnica permanente. La información de producción sólo cubre el período 1995-2002.

Preparación, procesamiento de datos y cálculo de índices

En un inicio se realizó una revisión exhaustiva de los datos a fin de identificar y descartar datos erróneos, *outliers*, etcétera. Esta verificación se hizo visualmente revisando las tablas de estadísticos descriptivos de cada una de las series de datos y verificando los datos que estuvieran por encima de tres desviaciones estándar (+ 3σ); la verificación se complementó con gráficos de *box-plot*. Revisada la información, se complementaron los datos faltantes en las series basándose en la relación entre una variable determinada en una estación con otras variables de la misma o de otra(s) estación(es) para un período de registro común.

Luego se calculó la normal climática definida dentro del estudio como el promedio mensual multianual para

el período 1969-1990 de la variable oceanográfica (TSM de las zonas Niño (3.4, y 1+2) y de Tumaco) y de las variables climatológicas (precipitación (P), temperatura del aire (Ta) y brillo solar (Bs) de la estación Granja El Mira). Algunas estaciones no contaban con observaciones para este período, en ese caso se consideró para el cálculo un período de 20 años mínimo.

Se calcularon como *índices* oceanográficos, climatológicos, agroclimatológicos y de producción, las anomalías estandarizadas de cada una de las variables analizadas:

- Variable oceanográfica: (TSM) de las regiones El Niño, para identificar las condiciones El Niño o La Niña
- Variables climatológicas: (P, Ta y Bs) para establecer la alteración del clima
- Variable agroclimática: índice de disponibilidad hídrica (IDH) para determinar la afectación en la humedad del suelo
- Variable de producción, rendimiento del cultivo en (t/ha-mes) para analizar la relación con el cultivo.

Los *índices* -que en adelante se denominarán las *anomalías*- se calcularon de acuerdo con la siguiente fórmula:

$$IX_{ij} = \frac{X_{i,j} - \bar{X}_i}{\sigma_i} \quad (1)$$

Donde LX₋ es el índice (o anomalía) de una variable; IX_{LJ} - el valor de la variable para un mes i del año j; la normal 1969-1990 (promedio multi-anual) para el mes i; - la desviación estándar de X para el mes i.

La variable agroclimática (IDH) se calculó según lo descrito por Hurtado, 1986. El IDH relaciona los déficit y excesos, así:

$$\text{IDH} = (\text{Exceso}/2 \cdot \text{ETP}) - (\text{déficit}/\text{ETP}) \quad (2)$$

Donde ETP es la evapotranspiración potencial calculada a partir de la ecuación modificada Penman-Monteith, 1965 (citado por Hurtado, 2000).

El IDH, se clasificó así:

	IDH	>	2	muy húmedo
2	>	IDH	>	1 húmedo
1	>	IDH	>	0 normal
0	>	IDH	>	-1 seco
-1	>	IDH	>	-2 muy seco

Los parámetros requeridos en el cálculo, se obtuvieron de los balances hídricos por décadas de la estación Granja El Mira para el periodo (1969-2002). Este cálculo se hizo según la metodología del balance hídrico de Palmer, 1968, (Hurtado y Santos, 1992); en el cual se relaciona la oferta de agua representada por la precipitación y la demanda o evapotranspiración necesaria en el desarrollo de las plantas, así como el almacenamiento de agua en el suelo. La técnica de Palmer considera un perfil de suelo dividido en dos capas; la capa superficial en la cual la extracción de agua se realiza a escala potencial y la capa profunda en la cual la extracción es proporcional.

Los parámetros derivados del balance hídrico del suelo, son:

ALMS - almacenamiento actual en la capa superficial

ALMP - almacenamiento actual en la capa profunda

ALMT - (ALMS + ALMP); ET - evapotranspiración real

ESC - esorrentía o exceso de agua;

DEF - déficit de agua

R = ET/ETP - índice de rendimiento (satisfactorio si $R > 0,6$).

Obtenida la serie del indicador agroclimático (IDH), se aplicó el mis-

mo procedimiento para obtener el índice, calculando las anomalías estandarizadas.

Con las series de anomalías se procedió a hacer los respectivos análisis y correlaciones, para establecer la afectación del clima y su repercusión en el desarrollo del cultivo de la palma de aceite.

Análisis estadísticos para establecer la relación entre El Niño y La Niña: parámetros meteorológicos y variaciones en la producción

Se hizo un análisis espectral de las series de anomalías de las variables climatológicas para determinar si las periodicidades encontradas en dichas series, coincidían con los cuasiciclos que conforman los eventos Enos. Este análisis también se aplicó a las series de anomalías de producción de palma de aceite, para establecer la relación clima-cultivo, a partir de la densidad espectral:

$$S(\omega) = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{\infty} R(\tau) e^{-i\omega\tau} d\tau \quad (3)$$

donde

$e^{-i\omega\tau}$ es una función exponencial de la frecuencia

$S(\omega)$ es la función de frecuencia o densidad espectral

$R(\tau)$ la función de autocovarianza.

Para el cálculo de la densidad espectral en el presente trabajo se utilizó el método de análisis de Fourier con un intervalo de confianza de 95%.

Posteriormente se calcularon las correlaciones entre las series de anomalías del Enos, con las anomalías climáticas y de estas últimas con las de producción. Se hicieron correlaciones cruzadas, con rezagos de 1 a 12 meses en el caso de las variables climatológicas y de 1 a 30 meses en el caso de

los rendimientos. Los coeficientes de correlación se obtuvieron a partir de la ecuación:

$$r = \frac{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})(Y_i - \bar{Y})}{n\sigma_X\sigma_Y} \quad (4)$$

Donde,

r - es el coeficiente de correlación

σ - es la desviación estándar

$\bar{X}$ - promedio de la serie X_i

$\bar{Y}$ - promedio de la serie Y_i

Finalmente se analizaron los coeficientes de correlación, entre las anomalías de cada una de las variables climatológicas (P, T, Bs), agroclimáticas (IDH) y las anomalías de producción mensual. Para la serie de anomalías de las variables climatológicas y agroclimáticas, se utilizaron rezagos mensuales $[t_1, t_2, t_3, \dots, t_{30}]$, correspondientes a las etapas de desarrollo del cultivo.

Para valorar la veracidad de los coeficientes de correlación elegidos r^* ante diversos n , se utilizó la distribución del coeficiente de student-

en el Pacífico colombiano. En Pabón, 1990; Pabón y Montealegre, 1992, se hace un análisis detallado sobre el comportamiento histórico de las anomalías de TSM y del nivel medio del mar (NMM) en Tumaco y Buenaventura y su relación con los indicadores globales de la presencia del Enos. Recientemente (Málikov y Villegas, 2003), han establecido esta misma relación por medio de análisis espectral y correlaciones entre las series de anomalías de TSM de las diferentes regiones Niño 1+2, 3, 4, 3.4 e índice oscilación sur (IOS) y zonas homogéneas de la cuenca Pacífica colombiana, detectando las cuasi periodicidades comunes que aparecen en la Tabla 1.

En el presente estudio se corroboró que estos ciclos característicos de los eventos Enos, también se encuentran en las series de anomalías de la región de Tumaco y en las de precipitación, temperatura, brillo solar y la variable calculada-IDH (Tabla 2).

Tabla 1 Densidad coespectral del IOS y las regiones El Niño

	Periodicidades (años)			
	El Niño 1+2	El Niño 3	El Niño 4	El Niño 3.4
	5,2	5,2	5,2	5,2
	3,4	3,4	3,4	3,4
IOS	2,1	2,6	2,6	2,6
	15,5	2,1	15,5	15,5
		15,5		2,1
				1,6

Fuente: Málikov y Villegas 2003.

Resultados y discusión

Eventos Enos y su relación con la climatología de Tumaco

En trabajos anteriores, se han establecido los ciclos característicos de los eventos Enos y se ha analizado la manifestación de El Niño y La Niña

Tabla 2 Densidad coespectral de las variables meteorológicas y las regiones Niño

Coespectral D	Periodicidades (años)					
	Niño 1+2		Niño 3.4		TSM (Tumaco)	
Precipitación	1,5 - 2,1	- 4,8	1,5 - 2,1	4,8 - 11,3	1,5 - 2,1	4,9
Temperatura del aire	1,5 - 2,1 - 2,8 - 4,9		2,1 - 2,6	4,8 - 11,6	1,5 - 2,1 - 2,8	4,9
Brillo solar	1,5 - 2,1 - 3,8 - 4,9		1,5 - 2,1 - 3,8	4,8 - 11,4	1,5 - 2,1 - 3,8	4,9
IDH	1,5 - 2,1	- 4,9	1,5 - 2,1 - 2,4 - 3,4	4,9 - 11,6	1,5 - 2,1	4,9

Fuente: Elaboración de los autores, año.

Las periodicidades encontradas, evidencian la variabilidad climática presente en la región (figura 1), donde aparecen las anomalías calculadas para la temperatura del aire de la estación de referencia. La ocurrencia de eventos El Niño y La Niña coincide en la mayoría de los casos con anomalías positivas y negativas de las variables meteorológicas analizadas, (ondulaciones de largo período sombreadas en gris oscuro y claro. Figura 1); aquellas fluctuaciones que se encuentran dentro de las zonas sombreadas, corresponden a periodicidades inferiores a un año y se asocian a procesos intraestacionales. La variabilidad climática interanual e intraestacional presente en las variaciones de la temperatura del aire, también fue detectada en el brillo solar y la precipitación de la región.

En el análisis espectral de la serie de la temperatura del aire (Figura 2-izquierda), donde se presenta la densidad espectral de la serie sin remover la estacionalidad (es decir, el dato absoluto, mas no la anomalía) es posible ver la estacionalidad de la variable.

que muestra un pico bastante marcado en la zona de las frecuencias medias-baja correspondientes al período de un año.

En dicha figura (a la derecha), se presenta la densidad espectral para la secuencia de anomalías de la misma variable. Aquí, descartada la estacionalidad (Periodicidad de un año), se hace más visible la señal de la variabilidad interanual y es posible identificar un pico (señal ligeramente perceptible) correspondiente al período cercano a los dos años y otro en la zona de cuatro o cinco años (la señal más marcada). El primero corresponde a una oscilación cuasibienal en esta variable y el segundo al ciclo Enos; estas periodicidades deben ser estudiadas con mayor profundidad en futuros análisis del clima regional. Al hacer este mismo análisis a las series de anomalías de brillo solar y precipitación, se detectaron períodos de casi tres meses en ambos casos y de casi siete y ocho meses en esta última.

De manera adicional, el análisis de correlación de las series de anomalías

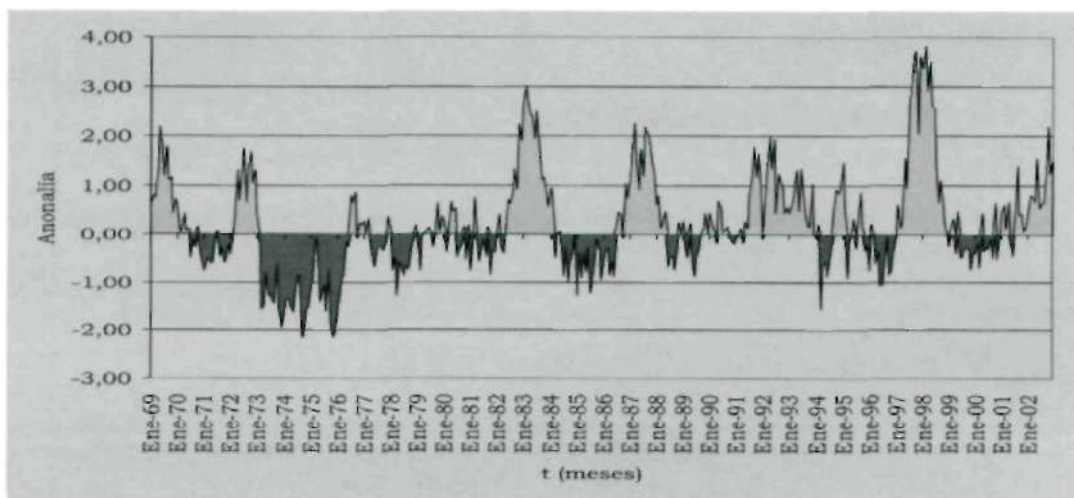


Figura 1 Índice (anomalía) de la temperatura ambiente (T_a), registrada en la Estación Granja El Mira durante el periodo 1969-2002

Nota: Los colores oscuro y claro representan valores por encima y por debajo del valor normal respectivamente.

Fuente: CCCP 2005.

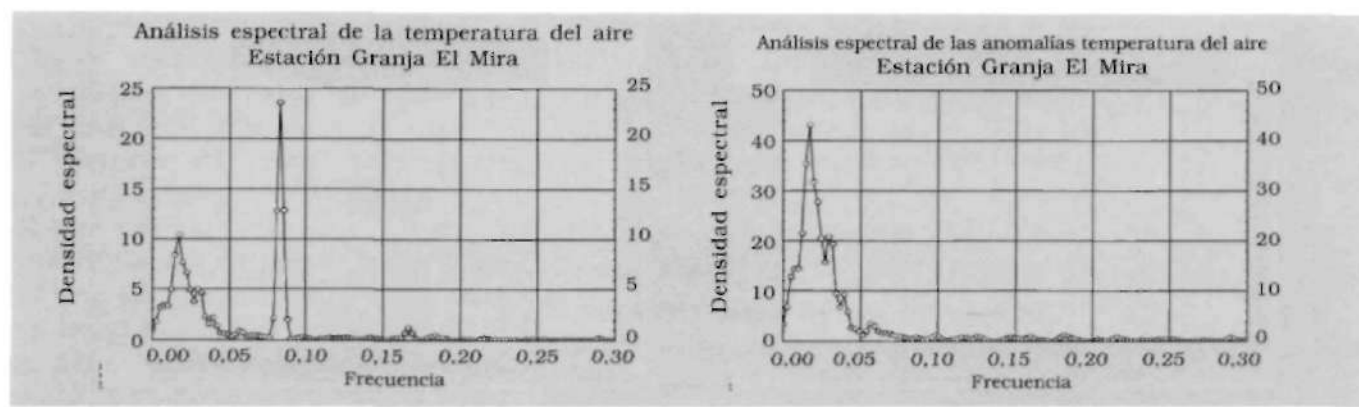


Figura 2 Periodogramas para la serie de temperatura del aire Estación Granja El Mira (periodo de registro 1969/2002)

Nota: A la izquierda se presentan los datos mensuales sin remover la estacionalidad (dato absoluto) y a la derecha las anomalías.

Fuente: CCCP 2005.

de las regiones Niño y Tumaco (Tabla 3), arrojó el coeficiente más alto para la región Niño 1+2, debido a su cercanía a la zona de estudio; estos coeficientes iban disminuyendo en la medida en que las regiones Niño se alejaban de Tumaco.

Tabla 3 Coeficiente de correlación entre los indicadores Enos y las anomalías de TSM Tumaco

Indicador global	Anomalía TSM (Tumaco)
TSM Niño (1+2)	0.74
TSM (Niño 3.4)	0.72
TSM (Niño 3)	0.60
IOS	-0.50

Fuente: CCCP 2005.

En el análisis de correlación cruzada entre la serie de anomalías de TSM de la región Niño 1+2 con las series de anomalías de las variables meteorológicas, se observó la mayor correlación con la temperatura del aire (0,83) y en segundo lugar el brillo solar (0,54). En el caso de la precipitación y el IDH, aunque el coeficiente es pequeño, se encuentra correlación con un rezago entre 2 y 5 meses (0,30).

Afectación de las variables meteorológicas durante el periodo (1997-2001)

Mediante análisis visual del comportamiento de las variables climatológicas, se observó un incremento en todos los parámetros analizados durante la ocurrencia de eventos El Niño; pero para el caso contrario. La Niña, se presentó disminución en los volúmenes de lluvia y en consecuencia en la disponibilidad hídrica, disminuciones en la temperatura media del aire y menor número de horas diarias de brillo solar. Este comportamiento se analizó para los eventos El Niño 1997/1998 y La Niña 1999/2001. al hallar la diferencia entre los datos registrados en la estación Granja El Mira durante el periodo (1997-2001), con el promedio tomado como norma (1969/1990). se encontraron los aspectos que se describen a continuación:

El efecto más destacado de El Niño 1997/1998 fue el incremento en el volumen de la precipitación en 150 mm en promedio. El incremento empieza a presentarse a partir de agosto de 1997 y se extiende durante el segundo semestre del año. que normalmente corresponde a la época

de menores lluvias, abarcando parte de 1998 (enero-julio), cuando los valores tienden a normalizarse. Con lo anterior se deduce que El Niño 1997/1998 produjo en esta región un aumento en las precipitaciones en más de 120 mm mensuales, tanto en la estación seca como húmeda.

Se observó también que 1999 presentó un comportamiento por encima del promedio para la temporada lluviosa de abril-junio y valores cercanos a los normales para el segundo semestre. La primera situación ocurrió sin haberse registrado condiciones El Niño, lo que indica que otro u otros procesos fueron los causantes de la situación anómala que se presentó en ese año. En el 2000, se observaron registros por debajo del promedio en 7 de los 12 meses del año, incluyendo la época lluviosa, con una ligera recuperación en octubre. Esta tendencia a la baja, continuó presentándose durante todo el 2001, donde se notaron disminuciones de 100 mm en promedio para el primer semestre y 80 mm para el segundo, obteniéndose un total de precipitación de 1.900 mm anuales, con una disminución del 40% sobre el promedio tomado como normal.

Se debe tener en cuenta que las condiciones frías fueron más acentuadas en el 2000-2001 y que los meses en que la precipitación estuvo por encima de lo normal fue por la acción de las ondas intraestacionales mencionadas. En consecuencia, es posible afirmar que en la región el evento La Niña 1999/2001 redujo los volúmenes mensuales de precipitación hasta en 100 mm.

Respecto a la temperatura media mensual del aire., en el período de permanencia de El Niño 1997/1998, las temperaturas medias mensuales registraron valores de 1,0°C por encima de lo normal, para 1997 y de 1,5°C para el primer semestre de 1998. Para

La Niña se registró una disminución aunque en menor proporción, (0,5°C) por debajo del promedio, en particular, para los segundos semestres del período 1998-2001. En resumen, el evento El Niño 1997/1998 propició en la región un incremento de la temperatura media mensual del aire entre 1,5 y 2,0°C; mientras que La Niña 1999/2001, por el contrario, indujo disminuciones cercanas a 0,5°C.

El comportamiento del brillo solar es similar. Para el segundo semestre de 1997 se presentó un incremento de 50 h/mes sobre el promedio y en 1998 el aumento fue de 8 y 15 h/mes. Durante La Niña hay una mayor frecuencia de valores por debajo de lo normal; se observaron disminuciones entre 10 y 20 horas, para el segundo semestre de 1999-2001.

La disponibilidad hídrica fue evaluada para distintos escenarios de probabilidad de ocurrencia de la precipitación. Durante todas las décadas en los años de condiciones medias (prob: 50%) y húmedas (prob: 25%), la disponibilidad hídrica es adecuada, ya que la precipitación excede la evapotranspiración (Figura 3). Sin embargo, para años con probabilidad de ser secos (prob: 75%), el segundo semestre de menores lluvias, se acentúa y se presentan décadas consecutivas dentro del periodo comprendido entre las dos últimas décadas de julio hasta septiembre y primera década de octubre hasta la segunda de diciembre, donde la evapotranspiración, no alcanza a ser cubierta por la precipitación. Estos «déficit», pueden reflejarse en la producción, razón por la cual es recomendable considerar dentro del manejo del cultivo estos periodos de menores lluvias.

De lo anterior se comprueba en el balance hídrico calculado en la Tabla 4. donde se presentan los cálculos para el año 1998, según datos de Granja El Mira y observa que durante

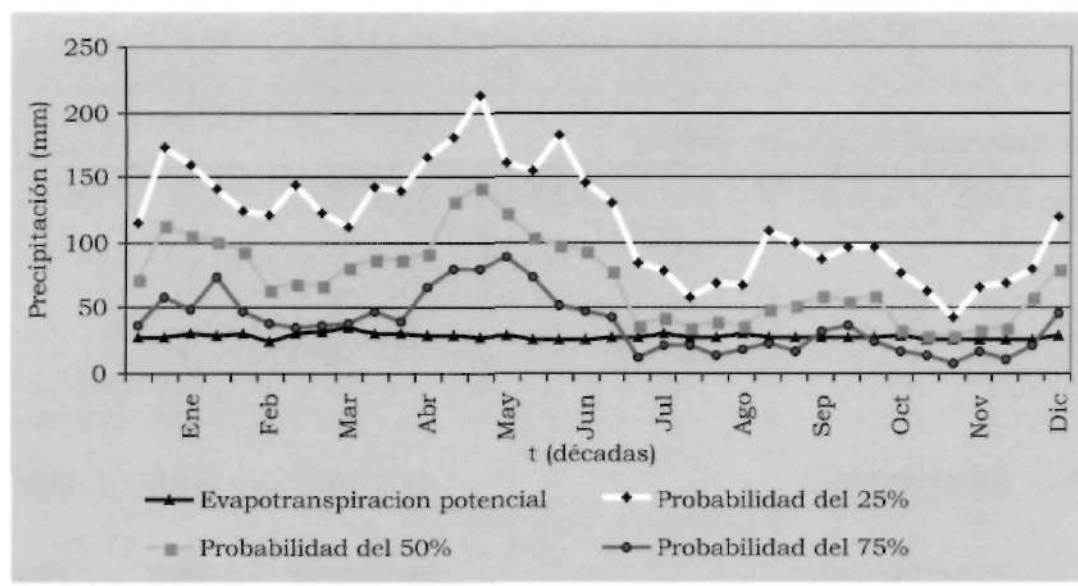


Figura 3 Condiciones por décadas promedio, para precipitación con probabilidad del 25, 50 y 75% de ser igualada o excedida, contemplando las condiciones de un año húmedo, normal y seco
Fuente: CCCP 2005

el fenómeno Niño 1997-1998 se presentaron excesos de precipitación en la región (resaltados en gris, con valores del IDH superiores a 2 muy húmedo) para décadas consecutivas, en varios meses, con escorrentías superiores a 200 mm. Este exceso de humedad genera condiciones de saturación de suelo y encharcamientos en las zonas planas. El cálculo del balance de la década de 2001 (Tabla 5), arroja déficit y valores negativos del IDH para algunas décadas de los meses de noviembre y diciembre (resaltados en gris), lo cual indica que el efecto de La Niña propicia cierto déficit de humedad en el suelo.

Relación entre el clima y la producción de palma de aceite

De igual modo, se hizo el análisis espectral de las series iniciales de la producción de palma de aceite donde se detectó un ciclo anual coincidente con la variación temporal de las variables meteorológicas analizadas. Lo anterior mostró que en el primer semestre cuando se presentan mayores volúmenes de lluvia, horas de insola-

ción y las temperaturas más altas del año, ocurre un pico en la producción (abril-mayo). De igual forma, en la época de menores lluvias los promedios de producción disminuyen y el mínimo se presenta en agosto-septiembre (Figura 4).

Por medio del análisis espectral de las anomalías de la producción no es posible detectar ciclos correspondientes a El Niño, porque las series tienen un periodo de registro muy corto y además la respuesta al Enos resulta aleatoria, ya que no hay una frecuencia definida. Sin embargo, para detectar la relación entre el rendimiento del cultivo y el comportamiento del clima, se calcularon los coeficientes de correlación entre las anomalías de producción de nueve lotes (seleccionados tanto en la región de colinas bajas: Plantación Astorga y Palmas de Tumaco, como en la zona plana: Centro Experimental El Mira y las anomalías de cada variable meteorológica (P, Ta y Bs), a estas últimas se aplicaron rezagos mensuales entre 1 y 30 meses ($t_1, t_2, t_3, \dots, t_{30}$), haciéndolas coincidir

Tabla 4 Balance hídrico del suelo. 1998. Estación Granja El Mira

Almacenamiento total: 100 mm. Almacenamiento profundo: 80. Almacenamiento superficial: 20

	Enero			Febrero			Marzo			Abril			Mayo			Junio		
PREC	95.1	168.6	159.8	85.8	235.1	196.1	296.3	62.7	68.7	36.1	5.2	48.5	339.8	246	76.8	191.2	18.4	141.7
ETP	27.3	27.7	31.3	29.2	30	25.5	31.3	32.1	35.7	31.1	30.6	29.7	28.8	27.9	29.9	26.5	25.9	26.4
ALMS	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	0	18.8	20	20	20	20	12.5	20
ALMP	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80	75.7	75.7	80	80	80	80	80	80
ALMT	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	75.7	95.5	100	100	100	100	92.5	100
ET	27.3	27.7	31.3	29.2	30	25.5	31.3	32.1	35.7	31.1	29.5	29.7	28.8	27.9	29.9	26.5	25.9	26.4
PERP	25.8	26.2	29	27.4	28	23.6	29	29.7	31.8	28.9	28.5	22.5	26.4	26.3	27.9	25.2	25.7	23.6
PER	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	25.3	0	0	0	0	0	7.5	0
ESC	67.8	140.9	128.5	56.6	205.1	171.6	265	30.6	34	5	0	0	305.5	218.1	46.9	165.7	0	107.8
DEF	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1.1	0	0	0	0	0	0	0
R	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0.96	1	1	1	1	1	1	1
IDH	1.24	2.54	2.05	0.97	3.42	3.5	5.23	0.48	0.49	0.08	-0.04	0	5.3	3.91	0.78	3.11	0	2.04
	Julio			Agosto			Septiembre			Octubre			Noviembre			Diciembre		
PREC	310.2	62.4	18.8	10.8	5.3	37.7	162.2	121.5	211	215.7	168.2	73.3	203.3	55.6	95.1	6.7	11.8	85.4
ETP	27	27.6	30.3	27.5	27.5	30.1	27.2	27.1	27.1	27.1	27.1	29.5	26.6	26.3	26.4	26.5	26.5	29.6
ALMS	20	20	8.5	0	0	7.6	20	20	20	20	20	20	20	20	20	0.2	0	20
ALMP	80	80	80	73.4	57.1	57.1	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80	68.4	80
ALMT	100	100	88.5	73.4	57.1	65.7	100	100	100	100	100	100	100	100	100	80.2	68.4	100
ET	27	27.6	30.3	25.9	21.6	30.1	27.2	27.1	27.1	27.1	27.1	29.5	26.6	26.3	26.4	26.5	23.6	29.6
PERP	25.6	26.1	28.2	23.7	20.2	17.2	18.8	25.7	25.7	25.7	25.7	27.6	25.3	25	25.1	25.2	21.2	20.2
PER	0	0	11.5	15.1	16.3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	19.8	11.8	0
ESC	283.2	35.8	0	0	0	0	99.7	95.4	183.9	188.6	141.1	43.8	176.7	28.3	67.7	0	0	23.2
DEF	0	0	0	1.6	5.9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2.9	0
R	1	1	1	0.94	0.79	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0.89	1
IDH	5.24	0.63	0	-0.06	-0.21	0	1.83	1.74	3.39	3.48	2.6	0.74	3.32	0.54	1.28	0	-0.11	0.39

	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
IDH mensual	1.95	2.63	1.73	0.02	3.33	1.72	1.96	-0.09	2.32	2.28	1.71	0.09

ALMS Almacenamiento actual de la capa superficial del suelo

ALMP Almacenamiento actual de la capa profunda del suelo

ALMT (ALMS+ALMP)

Fuente:CCCP 2005.

ET Evapotranspiración real

ESC Escorrentía o exceso de agua

EIP Evapotranspiración potencial

PREC Precipitación

R Índice de rendimiento (ET/ETP)

DEF Déficit de agua

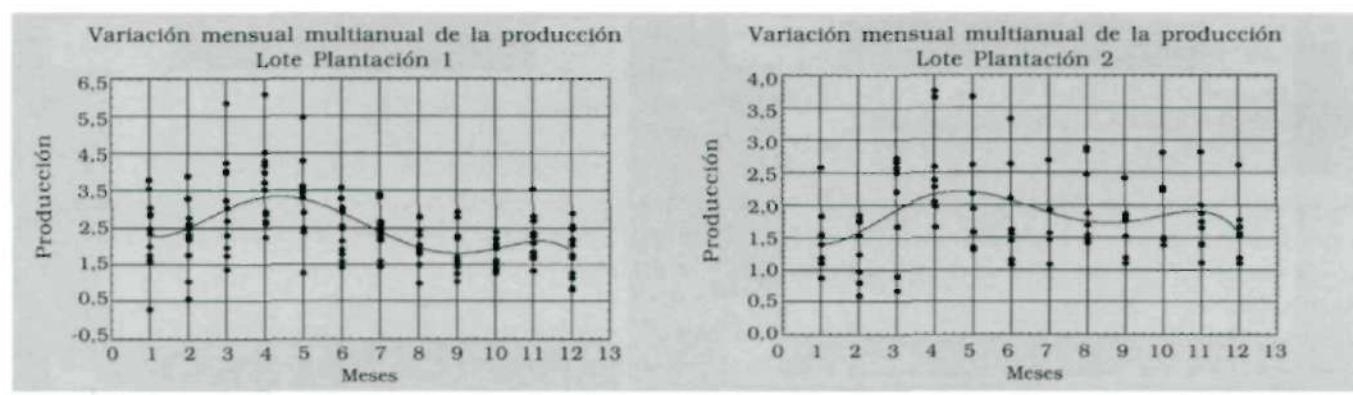


Figura 4 Variación mensual multianual de la producción para lotes representativos de dos plantaciones de la región
Fuente: CCCP 2005

Tabla 5 Balance hídrico del suelo. 2001. Estación Granja El Mira

Almacenamiento total: 100 mm. Almacenamiento profundo: 80. Almacenamiento superficial: 20

	Enero			Febrero			Marzo			Abril			Mayo			Junio		
PREC	37.9	95.9	33.5	165.8	195.3	55.4	35.8	6.5	42.8	6.5	2.7	83.9	45.5	108.1	65.3	87.5	96.3	60.2
EIP	27.3	27.7	31.3	29.2	30	25.5	31.3	32.1	35.7	31.1	30.6	29.7	28.8	27.9	29.9	26.5	25.9	26.4
ALMS	20	20	20	20	20	20	20	0	8.1	0	0	20	20	20	20	20	20	20
ALMP	80	80	80	80	80	80	80	75.5	75.5	63.1	45.5	79.7	80	80	80	80	80	80
ALMT	100	100	100	100	100	100	100	75.5	83.6	63.1	45.5	99.7	100	100	100	100	100	100
ET	27.3	27.7	31.3	29.2	30	25.5	31.3	31	35.7	27.1	20.3	29.7	28.8	27.9	29.9	26.5	25.9	26.4
PERP	25.8	26.2	29	27.4	28	23.6	29	29.7	26.2	25.5	19.3	13.5	27	26.3	27.9	25.2	25.7	25.1
PER	0	0	0	0	0	0	0	25.5	0	20.6	17.6	0	0	0	0	0	0	0
ESC	10.6	68.2	2.2	135.6	165.3	29.9	3.5	0	0	0	0	0	16.4	80.2	35.4	61	70.4	33.8
DEF	0	0	0	0	0	0	0	1.1	0	4	10.3	0	0	0	0	0	0	0
R	1	1	1	1	1	1	1	0.97	1	0.87	0.66	1	1	1	1	1	1	1
IDH	0.19	1.23	0.04	2.32	2.76	0.61	0.06	-0.03	0	-0.13	-0.34	0	0.28	1.44	0.59	1.15	1.36	0.64
	Julio			Agosto			Septiembre			Octubre			Noviembre			Diciembre		
PREC	69.2	0.5	65	2.1	32	56.4	101.5	9	65.7	19.8	97	7.4	29.5	6	9.8	15.9	19.2	47.5
EIP	27	27.6	30.3	27.5	27.5	30.1	27.2	27.1	27.1	27.1	27.1	29.5	26.6	26.3	26.4	26.5	26.5	29.6
ALMS	20	0	20	0	5.5	20	20	1.9	20	12.7	20	0	2.9	0	0	0	0	17.9
ALMP	80	75.3	80	75.7	75.7	80	80	80	80	80	80	78.3	78.3	65.7	54	47.7	45.2	45.2
ALMT	100	75.3	100	75.7	80.2	100	100	81.9	100	92.7	100	78.3	81.2	65.7	54	47.7	45.2	62.1
ET	27	26.2	30.3	26.4	27.5	30.1	27.2	27.1	27.1	27.1	27.1	29.1	26.6	22.5	20.5	21.2	22.7	29.6
PERP	25.6	26.1	22.5	26	20.8	23.9	25.8	25.7	22.1	25.7	25.2	27.6	20.8	21.2	17.1	15.3	12.6	13.1
PER	0	25.7	0	25.3	0	0	0	18.1	0	7.3	0	21.7	0	16.5	10.7	6.3	3.5	0
ESC	42.2	0	9	0	0	6.5	75.3	0	19.5	0	62.6	0	0	0	0	0	0	0
DEF	0	1.4	0	1.1	0	0	0	0	0	0	0	0.4	0	3.8	5.9	5.3	3.8	0
R	1	0.95	1	0.96	1	1	1	1	1	1	1	0.99	1	0.86	0.78	0.8	0.86	1
IDH	0.78	-0.05	0.15	-0.04	0	0.11	1.37	0	0.36	0	1.15	-0.01	0	-0.14	-0.22	-0.2	-0.14	0
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII						
IDH MENSUAL	0.49	1.9	0.01	-0.16	0.77	1.05	0.29	0.02	0.58	0.38	-0.12	-0.12						

ALMS Almacenamiento actual de la capa superficial del suelo

ALMP Almacenamiento actual de la capa profunda del suelo

ALMT (ALMS+ALMP)

Fuente: CCCP. 2005.

ET Evapotranspiración real

ESC Escorrentía o exceso de agua

EIP Evapotranspiración potencial

PREC Precipitación

R Índice de rendimiento (ET/ETP)

DEF Déficit de agua

con las anomalías de producción, para detectar la incidencia del clima en las diferentes etapas de desarrollo del cultivo.

Los lotes en los cuales los coeficientes de correlación entre las anomalías de las variables climáticas rezagadas de acuerdo con cada etapa de desarrollo del cultivo y las anomalías de las series de producción de los nueve lotes de la zona, resultaron significativos y se relacionan en la Tabla 6.

Los coeficientes no fueron mayores de 0.5 debido a varios factores, entre ellos, la ausencia de información que describa el comportamiento real de la producción y su afectación por el clima. No obstante, al tomar los coeficientes significativos fueron identificados ciertos periodos dentro del ciclo fenológico del cultivo, en los cuales se detecta la relación entre las variaciones climáticas y las de la producción.

En los resultados se pudo establecer que los coeficientes de corre-

Tabla 6 Cantidad de lotes con coeficientes de correlación significativos, entre anomalías de producción vs anomalías de las variables climáticas

Rezago variables meteorológicas (meses)	Fase de desarrollo del cultivo	Precipitación vs producción	Temperatura vs producción	Brillo solar vs producción	Índice de disponibilidad hídrica (IDH) vs producción
0-1	Cosecha (maduración)	7	0	4	2
5-6	Apertura de las flores (antesis)	6	0	4	2
9-11	Desarrollo de la inflorescencia	3	0	2	2
14-16	Desarrollo de la flecha central	5	4	4	5
28-32	Diferenciación sexual	5	6	2	5

Fuente: CCCP 2005.

lación calculados entre IDH, lluvia y producción son similares; se registraron correlaciones positivas para todos los lotes entre la lluvia ocurrida en el mismo mes o en los seis meses anteriores a la cosecha (0.26-0.32), también en el periodo correspondiente a las etapas iniciales de formación de los racimos (rezago 27 meses) hasta el desarrollo de la flecha central aproximadamente 17 meses atrás (0.25-0.49), donde la disponibilidad de agua en el suelo tiene mayor importancia. El rezago de 9-11 meses, registró el menor número de casos (etapa de la inflorescencia).

El brillo solar también mostró correlación en los mismos periodos detectados para la precipitación: maduración, antesis, desarrollo de la flecha central y diferenciación sexual. La etapa menos afectada fue la inflorescencia.

La temperatura es la variable que menor incidencia refleja sobre el desarrollo del cultivo, ya que sólo muestra correlación en las etapas de desarrollo de la flecha central y diferenciación sexual.

En conclusión los parámetros climatológicos se relacionan con la producción del cultivo de palma de aceite en todas sus etapas de desarrollo, destacándose la lluvia y el brillo solar. Los periodos más afec-

tados corresponden a los últimos 15 meses anteriores a la cosecha.

El comportamiento de las series de producción de los lotes de las plantaciones de Tumaco difieren entre sí, ya que cada lote está expuesto a factores adicionales al clima, que pueden aumentar o disminuir su producción; por tal razón, dentro del estudio se tomaron como referencia para efectos de comparación con las variables meteorológicas, aquellos que registran un comportamiento homogéneo, de ellos se tomó uno representativo y se relacionó con el clima (Figura 5).

Según la Figura 6, los picos en las anomalías mensuales de producción confirman la correlación directa entre las anomalías de la lluvia y aumentos o disminuciones en el rendimiento del cultivo. Los meses correspondientes a épocas de mayores precipitaciones aceleran el periodo de maduración de los racimos y viceversa.

La relación entre los parámetros climatológicos y la producción a largo plazo se puede observar en la Figura 7, donde se comparan las anomalías mensuales de la precipitación, temperatura del aire, brillo solar e IDH con la producción (desplazada 2.6 años atrás). Como se puede observar, periodos de alta producción coinciden con periodos de anomalías po-

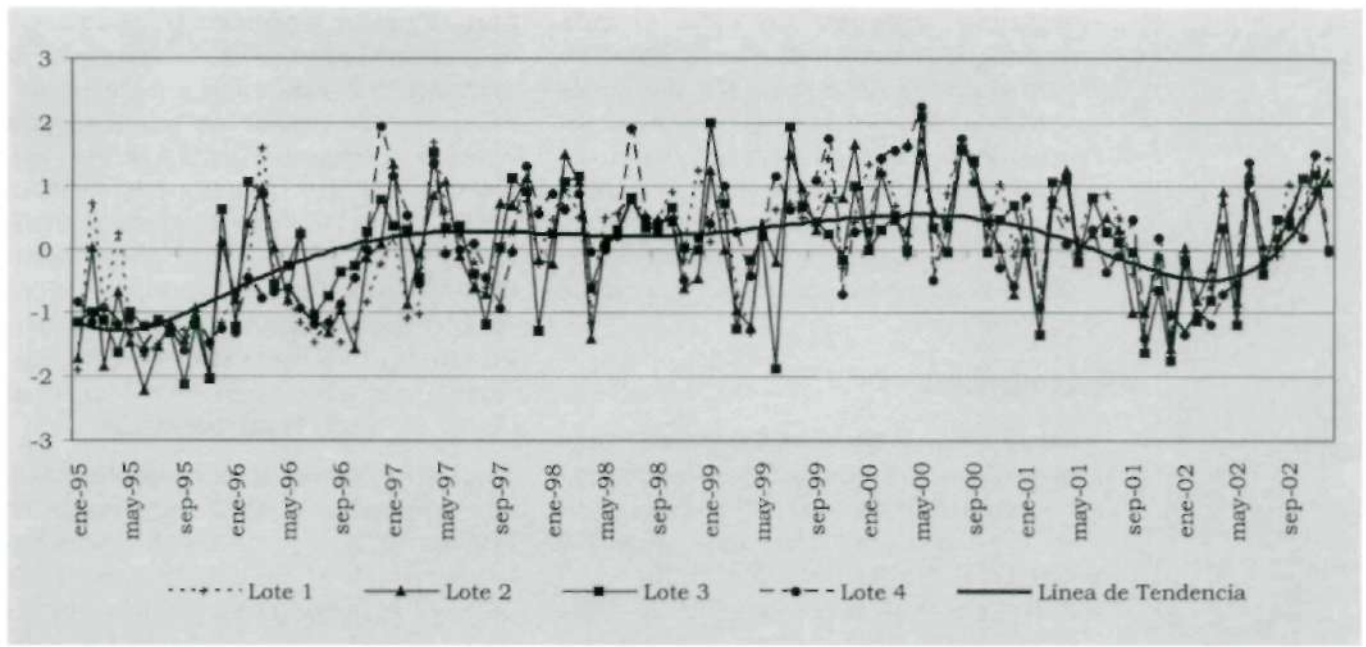


Figura 5 Series de anomalías de producción de cuatro lotes de la plantación Astorga (zonas de colinas bajas), periodo 1995-2002
Fuente: CCCP 2005.

sitivas de los parámetros del clima y las bajas producciones corresponden a anomalías negativas.

En la Figura 7 se identificó el evento El Niño ocurrido en 1997-1998, en el cual se registró un aumento en los valores de los parámetros meteorológicos que, a su vez, propiciaron condiciones óptimas para el desarrollo del cultivo (maduración, antesis, inflorescencia, aparición de la flecha central y diferenciación sexual), proporcionando un suministro de energía adicional a las plantas se reflejó en los rendimientos del período junio-diciembre 2000, entre 24 y 30 meses después de ocurrido el evento.

Al observar el comportamiento de las series, también se puede notar que las anomalías negativas de las variables climáticas en la región pueden producir una disminución de la producción; los picos de anomalías negativas de la lluvia y el brillo solar coinciden con anomalías negativas en los rendimientos. En el período analizado La Niña (1999/2001), se produ-

jo una reducción en el volumen de lluvias del 45% y una disminución en las horas de brillo solar, siendo el

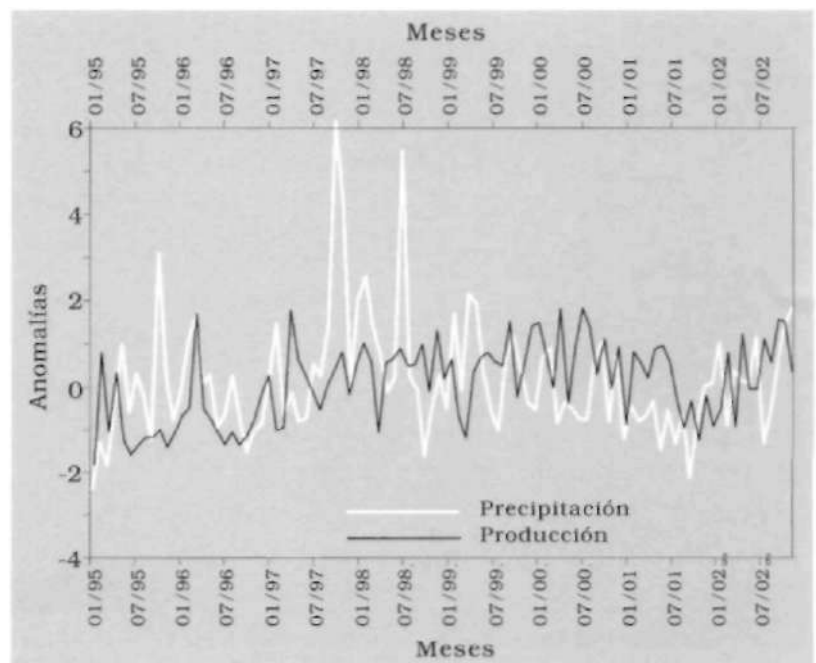


Figura 6 Comportamiento de las series de anomalías de la lluvia y la producción del lote tomado como referencia (periodo 1995-2002)
Fuente: CCCP 2005.

segundo semestre de 2001 el más deficitario. Se estima que la producción después de dos años y medio de ocurrida esta alteración registre un período de baja en la producción, es decir, en los rendimientos obtenidos en el segundo semestre de 2003 y primer semestre de 2004. Esto debe ser corroborado con datos reales de producción.

Conclusiones

En el análisis de la variabilidad interanual de los parámetros climatológicos de la estación de referencia, se identificaron mediante análisis espectral varios períodos comunes a todas las variables, incluida la TSM de las zonas Niño; dichos períodos son de casi dos, tres y cinco años.

Se corroboró que el ciclo Enos, induce una señal importante en la variabilidad interanual del clima re-

gional (zona palmera de Tumaco), originando condiciones extremas. Se evidenció la tendencia a condiciones cálidas y de déficit de precipitación cuando el océano Pacífico se encuentra en una fase fría (La Niña 1999/2001). Durante la fase cálida (El Niño 1997/1998) se presentó abundancia de precipitación y, en consecuencia, en la disponibilidad hídrica del suelo, incremento en los valores de temperatura del aire y en el número de horas de brillo solar mensual.

El coeficiente de correlación entre las anomalías de TSM registradas en Tumaco y las anomalías de las zonas Niño, fue de 0,74 con la zona Niño 1+2: este coeficiente es decreciente en la medida en que las zonas Niño se alejan de la bahía.

En el análisis de correlación cruzada entre la serie de anomalías de TSM de la región Niño 1+2, con las variables meteorológicas, se observó la mayor correlación con la temperatura del aire (0,83) y en segundo lugar el brillo solar (0,54). En el caso de la precipitación y el IDH, aunque el coeficiente es pequeño, se encuentra correlación con un rezago entre 2 y 5 meses (0,30).

Los coeficientes de correlación calculados entre IDH, lluvia y producción son similares y se registraron correlaciones positivas para todos los lotes entre la lluvia ocurrida en el mismo mes o en los seis meses anteriores a la cosecha (0,26-0,32), al igual que en las etapas iniciales de formación de los racimos (rezago 27 meses) hasta el desarrollo de la flecha central aproximadamente 17 meses atrás (0,25-0,49). El rezago de 9-11 meses, presentó el menor número de casos (etapa de la inflorescencia). El brillo solar asimismo mostró correlación en los mismos períodos detectados para la precipitación y la etapa menos afectada fue la de inflorescencia.

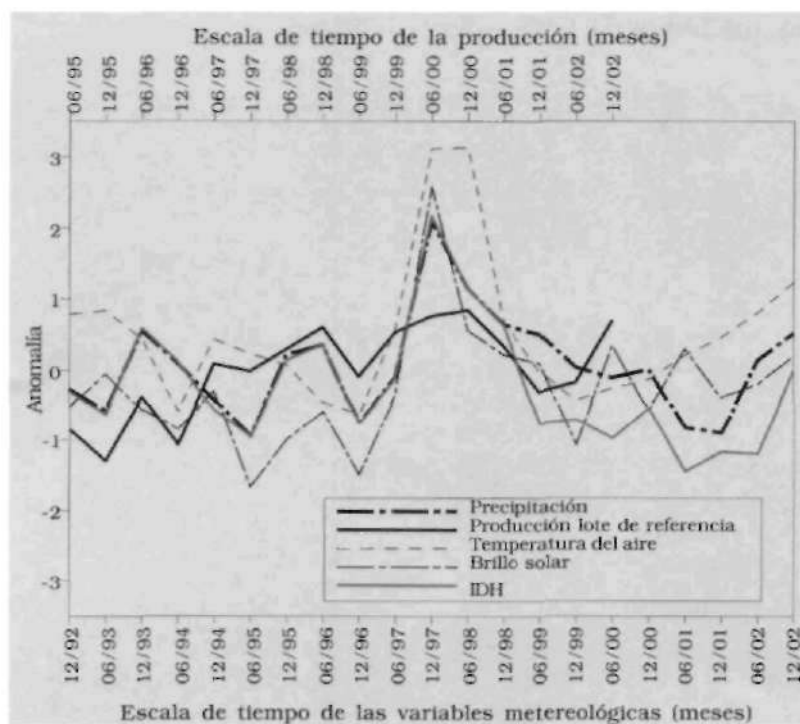


Figura 7 Relación entre el comportamiento de los promedios mensuales de las anomalías de las variables climatológicas y la serie de anomalías de producción del lote de referencia, ésta última desplazada 2.6 años atrás

Fuente: CCCP 2005.

La temperatura del aire es la variable que menor incidencia refleja sobre el desarrollo del cultivo, sólo muestra correlación en las etapas de desarrollo de la flecha central y diferenciación sexual.

La mayor correlación entre las anomalías de la precipitación, temperatura del aire, brillo solar e IDH con la producción, se encontró al rezagar esta última 2.6 años. Los períodos de alta producción coinciden con los de anomalías positivas de los parámetros del clima, de igual forma, las anomalías negativas pueden producir una disminución de la producción con el mismo período de rezago.

La metodología empleada en el análisis se aplicó a lotes con buena información, que reflejaran las condiciones climáticas y presentaran un comportamiento similar. Una de las mayores limitaciones fue la carencia de este tipo de información, ya que es difícil contar con unidades de muestreo homogéneas, que permitan regionalizar y hacer un análisis espacial de la incidencia del clima. De manera adicional, los datos sobre plagas, fertilización y en general un historial del desarrollo de las palmas, así como otras características que puedan producir aumento o disminución en la producción, deben ser monitoreadas y tenidas en cuenta en los análisis.

Determinar la producción considerada como normal o promedio, a partir de la cual se puedan detectar periodos que resultan anómalos, es fundamental; el promedio suministrado por las plantaciones está sujeto a errores

causados por eventualidades que distorsionan este dato. Por lo anterior, se recomienda al sector palmicultor del municipio de Tumaco fortalecer o crear una red de observación meteorológica y fenológica del cultivo, que permita obtener un historial de las plantaciones o al menos de algunos lotes experimentales, donde pueda identificarse y diferenciarse cada uno de los factores que ocasionan aumento o disminución en la producción.

Como aporte de esta investigación a la mitigación de los efectos negativos del ciclo Enos, se logró crear un directorio de plantaciones, con información suficiente para suministrar a los palmicultores un boletín de alerta temprana sobre la ocurrencia de un evento extremo, como La Niña que en esta región podría resultar perjudicial para el normal desarrollo de su actividad agrícola y que serviría como información adicional para la planificación de sus ciclos de siembra y cosecha. Lo mismo se haría con el fenómeno El Niño, que normalmente ocasiona incrementos en la lluvia y beneficios para los cultivadores.

Agradecimientos

Al ingeniero Franz Betancourt de Cenipalma-Tumaco y a los ingenieros Rafael Reyes, Silvio Bastidas y Eduardo Verdugo, de Corpoica-Tumaco. Al Ideam, por suministrar los datos climatológicos. Un reconocimiento especial a los profesionales representantes de las plantaciones de palma de aceite de Tumaco, quienes apoyaron la investigación desde su inicio.

Bibliografía

- Corporación Andina de Fomento (CAF). 1998. *Evaluación de los daños originados por el fenómeno de El Niño de 1997-1998 en la región andina*.
- CAF. 1999. *Las lecciones del fenómeno El Niño*. Serie. Caracas. Evaluación de las pérdidas económicas causada por fenómenos naturales adversos. 2000. www.cepal.org.
- CAF. 2000. *Los lecciones de El Niño*. Memoria del fenómeno El Niño 1997-1998. Retos y propuestas para la región andina. Volumen III. Colombia. Ex Libris. Caracas, Venezuela. 242.
- Cepal. 1999. *Efectos macroeconómicos del fenómeno El Niño 1997-1998: su impacto en las economías andinas*. Informe de consultaría; memo Interno no publicado.
- Centro Control Contaminación del Pacífico (CCCP). 2003. *Aportes al entendimiento de la bahía de Tumaco; entorno oceanográfico, costero y de riesgos*. Imágenes de la Naturaleza Editores. Tumaco. 168.
- Centro Control Contaminación del Pacífico (CCCP). 2005. Eventos ENOS y su relación con el clima y la producción del cultivo de palma de aceite en Tumaco. durante El Niño 97/98 y La Niña 99/01. (En Prensa).
- Fedepalma. 2004. Economía y Mercados. Geografía Palmera. Narifio. Mapa. Cultivo de palma de aceite. (en-línea) URL: <http://www.fedepalma.org>. (Consulta: 06 de junio de 2004).
- Glantz. MH. 1996. *Currents of Change. El Niño's impact on climate and society*. Cambridge University Press. Cambridge-London-New York. 208.
- Glantz, MH. 1998. Full Summary of Review of the Causes and Consequences of Cold Events: A La Niña Summit. 15-17 July/1998, Boulder Colorado. Tomado de la página Web <http://www.esig.ucar.edu/lanina>.
- Instituto de Hidrología. Meteorología y Estudios Ambientales. 1997. *Posibles efectos naturales y socioeconómicos del fenómeno El Niño en el período 1997-1998 en Colombia*. IDEAM. Bogotá D.C. 39 pp. Anexos.
- Instituto de Hidrología. Meteorología y Estudios Ambientales. 1998. *Posibles efectos naturales y socioeconómicos del fenómeno Frio del Pacífico (La Niña) en Colombia en el segundo semestre de 1998 y Primer Semestre de 1999*. IDEAM. Bogotá D.C. 88 pp. +Anexos.
- Hurtado. G. 1986. índices de sequía y su aplicación operativa en Colombia. *Revista Atmósfera* No. 5. Sociedad Colombiana de Meteorología. Marzo.
- Hurtado, G; Santos, L. 1992. *Agrometeorología aplicada a la adecuación de tierras*. 43.
- Hurtado. G. 2000. *La evapotranspiración potencial en Colombia*. Idcam. 35.
- Málikov, I. Villegas. N. 2004. Relación entre las oscilaciones de la temperatura superficial del mar de las zonas homogéneas de la cuenca del Pacífico colombiano y El Niño. *Boletín Científico CCCP* No. 11. Centro Control Contaminación del Pacífico. Tumaco. (En prensa).
- Montealegre. JE; Pabón. JD. 1992. Interrelación entre el Enos y la precipitación en el noroccidente de Suramérica. *Boletín Erfen*. (31) 12.
- Pabón. JD. 2003. Propuesta metodológica para el proyecto Impacto de los eventos Enos en la palma africana en el municipio de Tumaco. Informe técnico. San Andrés de Tumaco. CCCP. Colombia.
- Pabón, JD. 1990. Efecto climático del fenómeno El Niño en el suroccidente colombiano. *En: Memorias del IV Congreso Interamericano y II Colombiano de Meteorología*. Septiembre 17-21. Bogotá. 161-168.
- Pabón. JD; Montealegre. JE. 1992. Manifestación El Niño-oscilación del sur (Enos) en la costa Pacífica colombiana. *Boletín Erfen*. (31)3-11.
- Poveda, G. y O. Mesa. 1996. Caudales Medios Mensuales de Ríos Colombianos durante El Niño y La Niña. *In: Memorias del IV Congreso Colombiano de Meteorología*. IDEAM-SOCOLMET. pp. 291-298.
- Sanjinés, A. 1987. Efectos del Riego y la Sequía en el Crecimiento, Floración y Producción de la Palma Africana. *Palmas*. Vol. 8, No. 1. pp. 59-62.
- <http://www.cdc.noaa.gov/ClimateIndices>
- <http://www.cpc.ncep.noaa.gov/data/indices/>