

Notas del Director

En todo proceso de producción es importante poder predecir las fluctuaciones de la producción para prepararse a la caída o incremento de las mismas. La predicción de este fenómeno se explicó en el Ceniavances de marzo de 2003: "Pronóstico de producción de aceite mediante modelos de series de tiempo". Si bien es importante predecir con cierta exactitud cuál es la producción de un cultivo, también es primordial conocer cuáles son las causas de sus fluctuaciones. En este Ceniavances está analizado el efecto del clima en la producción de fruto. Cenipalma ha querido estudiar este tema y presentar una herramienta sencilla que permita establecer esta relación y, así, pronosticar la producción en relación con el comportamiento actual de las variables meteorológicas.

En este Ceniavances se explica la metodología mediante la aplicación de Vectores Autorregresivos (VAR) a dos plantaciones objetivo, para que los ingenieros agrónomos la conozcan. Cenipalma es consciente de que la terminología empleada puede llegar a ser muy técnica; sin embargo, se hizo un esfuerzo para hacer la mayor claridad posible sobre los conceptos y de esta manera hacer de este documento una herramienta asequible para el palmicultor.

Finalmente, vale la pena destacar que el uso de herramientas econométricas para la determinación de relaciones de causalidad entre variables de interés, es una de las alternativas que permiten complementar la labor investigativa del Centro de Investigación en Palma de Aceite - Cenipalma. En efecto, la robustez estadística de estos modelos, permite dar cuenta de relaciones causa - efecto que de otra manera sería muy difícil advertir.

PEDRO LEÓN GÓMEZ CUERVO
Director Ejecutivo

Aplicación de vectores autorregresivos (VAR) para determinar los efectos de variables climáticas sobre la producción de fruto de palma*



Introducción

Las variables meteorológicas juegan un papel definitivo en todos los procesos de la actividad agrícola, desde el establecimiento del cultivo hasta la recolección de la cosecha, constituyéndose, junto con el cambio tecnológico, en factor determinante de la productividad y rentabilidad del agronegocio.

En las zonas tórridas del planeta, la variabilidad climática es muy baja y no se cuenta con estaciones temporalmente definidas como en las latitudes medias y altas. Sin embargo, en territorios ubicados en el trópico, existen fluctuaciones cíclicas de las variables atmosféricas como la precipitación y la temperatura.

En lo que se refiere a la palma de aceite en Colombia, ésta se ubica en cuatro diferentes regiones con condiciones atmosféricas homogéneas (Ideam, 2000), pero con diferencia en la intensidad y ocurrencia de los ciclos (Un claro ejemplo es la diferencia entre la intensidad de la precipitación entre la Zona Occidental y la Norte).

Con el ánimo de brindar información del efecto de algunas variables atmosféricas sobre el culti-

vo, el Centro de Investigación en Palma de Aceite (Cenipalma) ha venido buscando alternativas que, junto con información de carácter agronómico y fisiológico, permitan determinar la relación entre el clima y la producción de fruto.

Una de estas alternativas es el análisis de series temporales que se configura como una opción de tipo estadístico, con carácter complementario para la investigación de campo. La técnica de Vectores Autorregresivos (VAR) es una metodología, que al igual que los modelos ARIMA (Manjarrés y Guevara, 2003), permite analizar el comportamiento de variables a través del tiempo, además de brindar información sobre su causalidad con otras variables tanto contemporáneamente como con períodos pasados de las mismas.

Metodología

Tomando como base la producción de fruto y la información climática (precipitación, temperatura, brillo solar y humedad relativa) de una plantación de la Zona Central y una de la Oriental¹, con periodicidad mensual, se aplicó la metodología VAR con el objetivo principal de encontrar relaciones entre las variables climáticas y su comportamiento pasado, sobre la producción de fruto actual.

Un VAR es un sistema de n variables, donde cada variable es explicada por sus propios valores rezagados, más el valor pasado del resto de variables. Cada una de las ecuaciones del sistema va acompañada de un componente de error o residual, el cual contiene la información que las variables de la ecuación no puedan explicar (Enders W, 1995). Si se supone un sistema de dos variables (por ejemplo producción de fruto y precipitación) y sólo se contempla un rezago, el sistema sería:

$$Y_t = \phi_{11} * Y_{t-1} + \phi_{12} * Z_{t-1} + U_1$$
$$Z_t = \phi_{21} * Z_{t-1} + \phi_{22} * Y_{t-1} + U_2$$

*Mario E. Manjarrés Martínez. Economista. Estudiante de Maestría en Economía. Universidad Nacional de Colombia. memanjarresm@unal.edu.co; Mauricio Mosquera Montoya. M.Sc Economía Agrícola. Investigador programa economía y estadística de Cenipalma. mauricio.mosquera@cenipalma.org

¹ La metodología se aplicará a los datos de las dos plantaciones, sin embargo por motivos de brevedad, se expone el procedimiento para la plantación de la Zona Central, y al final se presentan los resultados de las dos plantaciones.

En donde:

Y_t = Producción de fruto de palma actual, Z_t = precipitación actual, Y_{t-1} = Producción de fruto un período atrás, Z_{t-1} = precipitación un período atrás, ϕ_{11} = efecto de la producción de fruto un período atrás sobre la producción de fruto actual, ϕ_{12} = efecto de precipitación un período atrás sobre la producción, ϕ_{21} = efecto de precipitación un período atrás sobre la precipitación actual. U_1 y U_2 son los residuales de cada una de las ecuaciones, respectivamente.

El objeto principal de la metodología es estimar los valores " ϕ " para conocer los efectos de una variable y sus rezagos sobre la otra.

Antes de la estimación de los parámetros (efectos), es esencial que las variables tengan un comportamiento estacionario. Esto significa que su media y su varianza sean estadísticamente constantes durante el período de tiempo en estudio. Si esto no ocurre, las variables deben ser transformadas para que adquieran estas características; las transformaciones más comunes son la aplicación de un logaritmo para estabilizar la varianza y de una diferenciación para estabilizar la media.²

Para la plantación de la Zona Central se tomaron las series mensuales de producción de fruto, brillo solar, precipitación y diferencia entre la temperatura máxima y mínima, comprendidas entre febrero de 1997 y junio de 2003. A cada una de estas series se les aplicaron dos pruebas estadísticas (KPSS y Dickey- Fuller) para determinar la presencia o no del comportamiento estacionario.

Se concluyó que: 1) La producción de fruto, el brillo solar y la diferencia de temperatura presentan características estacionarias únicamente con la aplicación de logaritmo; 2) La precipitación fue transformada con un logaritmo y una diferencia para que adquiriera las características deseadas.

Posteriormente, a la transformación de las variables se determinan las correlaciones existentes entre las variables y sus comportamientos pasados.

Por ejemplo, la correlación entre la producción de fruto hoy y la producción de fruto un mes atrás. Cuando se observa la correlación entre hoy y varios períodos, se tiene la función de autocorrelación (Autocorrs).

El gráfico permite apreciar que la producción de fruto está influenciada por ella misma 1, 2, 11 y 12 períodos atrás. Esta información, junto con las funciones de autocorrelación de las otras variables, permite decidir el número de rezagos que llevarán todas las variables.

Gráfico 2. Función de autocorrelación y autocorrelación parcial para la diferencia de temperatura

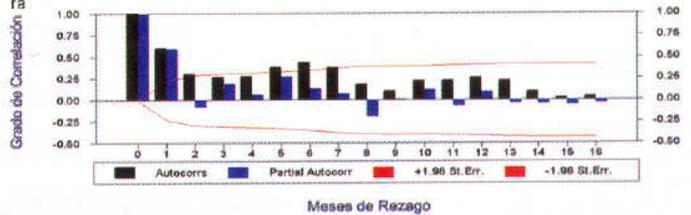


Gráfico 3. Función de autocorrelación y autocorrelación parcial para la precipitación

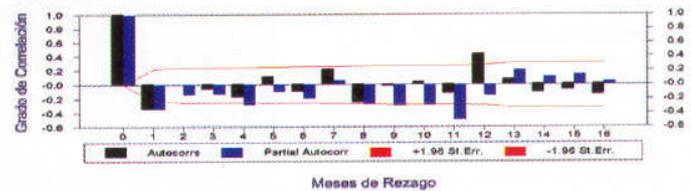
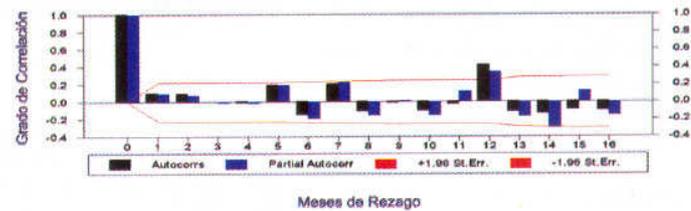


Gráfico 4. Función de autocorrelación y autocorrelación parcial para el brillo solar



La producción de fruto, la precipitación y el brillo solar, presentan autocorrelación con sus valores de 12 meses atrás. Esto, junto con otras pruebas de determinación de los rezagos, presenta indicio de que las ecuaciones se deben trabajar con 12 rezagos.

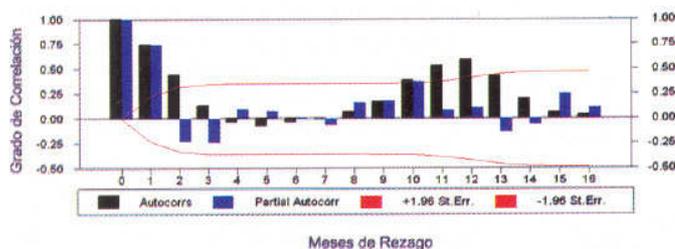
Estimación del modelo

Luego de comprobar estacionariedad y el número de rezagos para las variables, se estiman los parámetros (efectos) de las ecuaciones. Se estimaron los efectos de las variables climáticas sobre la producción de fruto, incluyendo 12 rezagos. A continuación se presentan los resultados de los coeficientes más significativos.

Tabla 1. Efectos más significativos de las variables climáticas sobre la producción de fruto.

Variable	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Precipitación										0.08	0.07	0.05 0.03
Brillo Solar			0.35			0.27		0.28				0.36
Diferencia Temperatura		-0.8	-0.5	-0.8			0.8				-0.9	-0.2
Humedad Relativa		-0.5				0.6					-0.9	

Gráfico 1. Función de autocorrelación y autocorrelación parcial para la producción de fruto



El eje vertical muestra el grado de correlación que va de -1 a 1, siendo 0 no correlación. En el eje horizontal se encuentran los períodos para los cuales se observa correlación, siendo 0 el tiempo presente. Para el caso de la serie de producción de fruto el tiempo presente es el último dato de información: junio de 2003. La línea roja indica el límite en el cual la correlación es estadísticamente significativa.

² Cuando se aplican estas dos transformaciones es como trabajar con la tasa de crecimiento de la serie y no con la serie original.

Los coeficientes marcados con rojo son los resultantes de los datos de la Zona Oriental y los negros corresponden a la Zona Central.

La primera conclusión que se puede sacar es que la precipitación de 10, 11 y 12 meses atrás tiene un efecto positivo sobre la producción de fruto. Para la Zona Oriental este efecto es marcado 12 meses antes de la cosecha únicamente.

De igual manera, el brillo solar 1 y 3 meses atrás favorece la producción del fruto en la Zona Central; en la Oriental son significativos los rezagos 6, 8 y 12. (Además del 1 y del 3).

Nótese que la variación en la temperatura registra efectos negativos sobre la producción de ambas regiones. En la Central los períodos significativos son 1, 3 y 10 meses antes de la cosecha y en la Oriental, 2, 7 y 10.

En la Zona Oriental se destacó la influencia de la humedad relativa pero con efectos encontrados. Uno y diez meses antes de la cosecha, esta variable afecta negativamente la producción de fruto. En el sexto reza go su efecto es positivo.

Debe aclararse que cada coeficiente indica cómo cambia porcentualmente la producción ante un cambio porcentual de las variables climáticas.

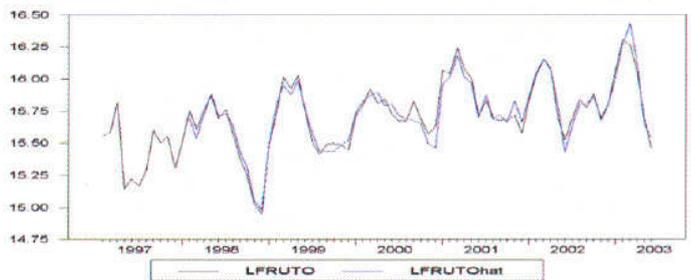
Ejemplo: Obsérvese en la tabla 1 que el efecto del brillo solar sobre la producción de fruto un período atrás es de 0.6. Esto quiere decir que si las horas sol de hace un mes aumentaron 5% respecto a las de hace dos meses, nuestra cosecha aumentará en 3% hoy, respecto al mes pasado ($0.6 * 5\% = 3\%$).

Cabe recordar que los resultados del modelo son específicos para una empresa de la Zona Central y una de la Oriental. El valor de los coeficientes puede variar de acuerdo con la región. Es posible que en la Zona Occidental el coeficiente de efecto de la lluvia sea negativo sobre la producción, ya que ante su intensidad puede dificultar las labores de cosecha. Sin embargo, lo que se espera concuerde, son los rezagos en que las variables afectan la palma significativamente, por su relación con eventos fisiológicos en el desarrollo del cultivo.

Una prueba que permite comprobar el buen funcionamiento de las ecuaciones es el comportamiento de sus residuales. Teóricamente los residuales de cada una de las ecuaciones no deben estar correlacionados, su valor esperado (media) debe ser estadísticamente cero y su varianza una constante.

Se observa que los residuales de la ecuación de fruto oscilan alrededor de cero, y que no están correlacionados con sus períodos pasados.

Gráfico 6. Comparación de la producción por la estimada con la ecuación



Donde "Lfruto" es el logaritmo del fruto observado y "lfrutohat" es el pronóstico de la ecuación.

Funciones impulso respuesta

Uno de los análisis más importantes de la metodología VAR son las funciones de impulso respuesta. Esta función permite apreciar la respuesta de la variable a un incremento equivalente a una desviación estándar en cualquiera de las otras variables. Para el caso de estudio, el ejercicio simula el efecto que tiene el aumento en una desviación estándar de las variables climáticas sobre la producción de fruto, en los seis meses siguientes al evento. Cabe anotar que se simula un incremento individual para precipitación, brillo solar y diferencia de temperatura, manteniendo para cada uno de los casos las demás variables constantes.

Gráfico 7. Respuesta de la producción de fruto a un aumento de 1.36 grados (Desviación estándar de la variable) en la diferencia de temperatura.



La gráfica indica que si en el período 1 existe un cambio en la diferencia de temperatura de 1.36 grados, la producción de fruto disminuirá durante los 5 períodos siguientes hasta alcanzar un decrecimiento en la producción de 60 toneladas de fruto (Cabe anotar que la producción de la plantación con la cual se construyó la función impulso respuesta oscila entre 5.000 y 11.000 toneladas de fruto/año).

A continuación se presenta la función de impulso respuesta para cambios en el brillo solar y la precipitación.

Gráfico 8. Respuesta de la producción de fruto a un aumento de 149.4 mm de lluvia mensual.

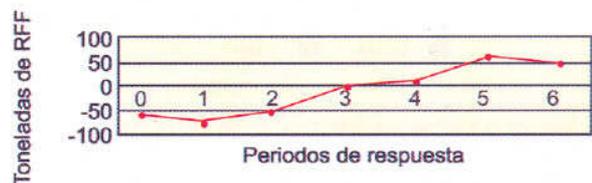


Gráfico 5. Comportamiento de los residuales de la ecuación de producción de fruto

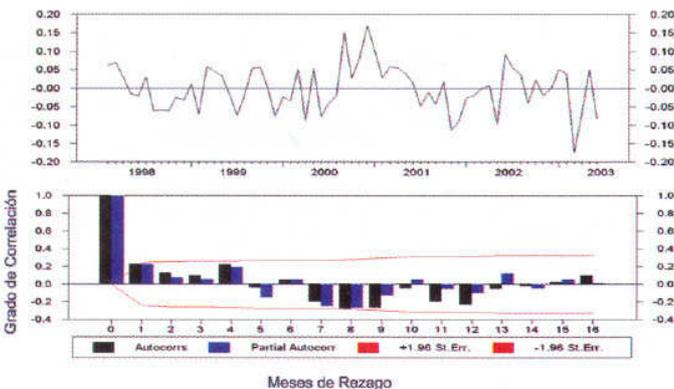
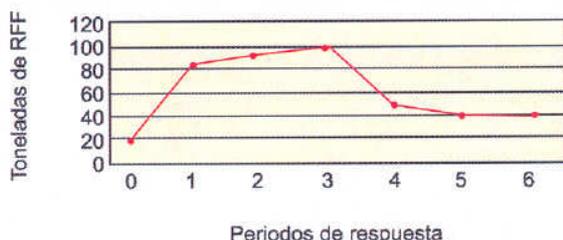


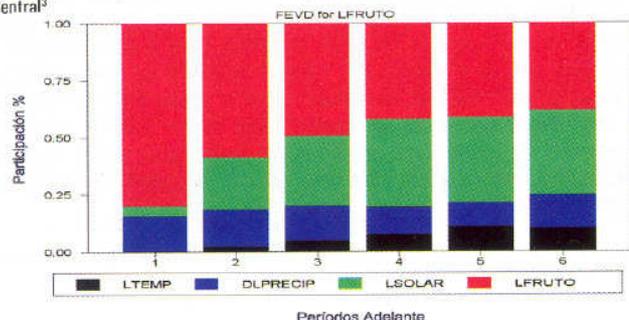
Gráfico 8. Respuesta de la producción de fruto a un aumento de 30.1 horas luz mensual



Descomposición de la varianza del error de pronóstico

Aunque se espera que los residuales de las ecuaciones sean cero, cuando se realiza el pronóstico generalmente existe un componente de error. El análisis de descomposición de varianza nos indica a qué variables se les atribuye el error de pronóstico. En otras palabras, este análisis permite deducir qué variables explican los cambios en la variable de interés.

Gráfico 9. Descomposición de varianza para la producción de fruto en la empresa de la Zona Central³



El gráfico presenta el porcentaje de la variación en la producción de fruto atribuible a las diferentes variables climáticas, para un ejercicio de simulación de seis meses adelante. Teniendo en cuenta que la serie de producción llegó hasta junio de 2003, se observa que la variación de la producción en julio se debió en cerca de 18% a la precipitación y en aproximadamente 3% al brillo solar. Para los períodos siguientes, el brillo solar es el factor determinante en la variación de la producción.

Para el caso de la Zona Oriental la participación de las variables climáticas sobre la variación de la producción oscila entre 10 y 30%.

Conclusiones

La metodología presenta un buen ajuste en la modelación de la producción de fruto de palma. Sin embargo, esta es una herramienta complementaria al medio ambiente agronómico que envuelve el cultivo. No todos los resultados obtenidos por la metodología son generalizables, ya que el trabajo se realizó con plantaciones específicas.

El análisis de la producción en la plantación de la Zona Central permite concluir que su varianza se debe entre el 20 y el 55% a las variables climáticas.

El mismo análisis en la plantación de la Zona Oriental indica que la producción de fruto está afectada entre 10 y 30% por el comportamiento de las variables climáticas.

La precipitación tiene efectos positivos sobre la producción de fruto 10, 11 y 12 meses antes de la cosecha. El brillo solar presentó efectos positivos sobre la producción de fruto 1, 3, 6, 8 y 12 meses antes de la cosecha.

A una mayor diferencia entre la temperatura máxima y mínima mensual 1, 2, 3, 7 y 10 meses antes de la cosecha, menor es la producción de fruto.

La caída en el rendimiento (Ton de RFF/Ha) presentado para el período 2001/2002 en la plantación de la Zona Oriental donde se desarrolló el ejercicio, se debió fundamentalmente a la disminución en las horas sol de cerca del 20%.

Bibliografía

Aznar, A. Trevez, F.J. (1993). Métodos de predicción en economía II. Análisis de series temporales. Editorial Ariel economía, Barcelona 1993.

Enders, W. (1995). Applied Econometric Times Series. John Wiley y Sons, Inc. United Estates.

Enders, W. (1996). RATS. Handbook for Econometric Time Series. John Wiley y Sons, Inc. United Estates.