

**EL COMPONENTE SISTEMÁTICO DE LA  
VARIABILIDAD DE ALGUNOS PARÁMETROS  
DE PRODUCCIÓN EN PALMA AFRICANA ADULTA  
(*Elaeis guineensis*, Jacq) EN CASANARE**

Néstor Acevedo A.<sup>1</sup>; Daniel F. Jaramillo J.<sup>2</sup>

---

**RESUMEN**

*Mediante análisis de tendencia y geoestadísticos fue evaluado el componente determinístico de la variabilidad del peso de racimos de fruta fresca (PR), de la tasa de extracción de aceite (TEA) y de la cantidad de ácidos grasos libres (AGL), en palmas con diferente grado de recuperación de PC en un cultivo ubicado en la región del Bajo Uptá, Casanare.*

*Los análisis no detectaron ninguna variabilidad estructural en las propiedades evaluadas por lo que se concluye que las diferencias significativas encontradas por Acevedo (2000) entre ellas, mediante análisis de varianza, si están controladas por el grado de recuperación que muestran las palmas, después de haber sido atacadas por PC.*

**Palabras claves:** *Geoestadística, variabilidad espacial, análisis de tendencia, pudrición de cogollo (PC), palma africana, Elaeis guineensis Jacq.*

---

**ABSTRACT**

**THE SYSTEMATIC COMPONENT OF THE VARIABILITY OF SOME PARAMETERS OF PRODUCTION IN MATURE OIL PALM (Elaeis guineensis, Jacq) IN CASANARE.**

---

<sup>1</sup> Ingeniero Agrónomo. Universidad Nacional de Colombia, Sede Medellín. Facultad de Ciencias Agropecuarias. e-mail: nacevedo@perseus.unalmed.edu.co

<sup>2</sup> Profesor Titular. Universidad Nacional de Colombia, Sede Medellín. ICNE. A.A. 3840. e-mail: djaramal@perseus.unalmed.edu.co

*By means of tendency and geostatistical analysis the deterministic component of the variability of the weight of bunches of fresh fruit (PR) was evaluated, of the rate of extraction of oil (TEA) and of the quantity of free fatty acids (AGL), in palms with different degree of recovery of PC in a cultivation located in the region of the Bajo Upría, Casanare.*

*The analyses didn't detect any structural variability in the properties evaluated by what you concludes that the significant differences found by Acevedo (2000) among them, by means of variance analysis, they are controlled by the recovery degree that show the palms, after having been attacked by PC.*

**Key words:** *Geostatistic, Spatial variability, Tendency analysis, But rot, oil palm, Elaeis guineensis Jacq.*

## INTRODUCCIÓN

La pudrición de cogollo (PC) en la palma africana ha motivado múltiples investigaciones en diversos tópicos desde su reaparición en los Llanos Orientales de Colombia en el año de 1988 (Nieto, 1996). Las investigaciones sobre este complejo patológico han aumentado, motivadas por su alta incidencia, por el incremento en los costos de manejo y por su efecto deletéreo en la tasa de extracción de aceite (TEA) y en el porcentaje de ácidos grasos libres (AGL) en él (Acevedo, 2000; Henríquez, 1999; Nieto, 1991; Acosta, 1991).

La alta incidencia de la enfermedad, sumada a las múltiples observaciones de campo, han permitido establecer patrones característicos de afección en las plantas a partir de los cuales se elaboró una escala para establecer el grado de recuperación de las palmas afectadas por PC (Comité Asesor Agronómico Zona Oriental, sin publicar). El Comité Asesor Agronómico de los cultivadores de palma africana propuso, para la zona del bajo Upría, una escala para calificar el grado de recuperación de plantas que han estado afectadas por PC, la cual fue complementada por Acevedo (2000) y se presenta en la Tabla 1.

**Tabla 1.** Escala para calificar el grado de recuperación de palmas afectadas por PC y signos que identifican (Tomada de Acevedo 2000).

Estado	Signos de PC presentes
--------	------------------------

---

Planta sana	Sin daño aparente alguno.
PC Evidente	Amarillamiento en el paquete de flechas y presencia de algunos folíolos quemados.
Planta en transición	Pudrición baja. Emisión de ñocos y/o hojas de 2m de longitud.
Recuperación	Pudrición alta en flecha y amarillamiento. Hojas de más de 4m
Recuperación media	Hojas sanas hasta la número 12. Puede haber amarillamiento. Palmas con más de 12 hojas. Puede haber hoja ligeramente corta.
Recuperación avanzada	Inflorescencias ó racimos por encima del nivel de daño.

---

Con base en la escala propuesta anteriormente Acevedo (2000) estudió el efecto del grado de recuperación de las palmas sobre el peso de los racimos de fruta fresca (PR), la Tasa de Extracción de Aceite (TEA) y los Ácidos Grasos Libres (AGL) en una plantación de palma africana en Villanueva, Casanare, encontrando, mediante análisis de varianza, algunas diferencias significativas estadísticamente entre ellas debidas a los diferentes grados de recuperación de las palmas que habían estado afectadas por PC.

La variabilidad total de un conjunto de datos posee un componente aleatorio y otro sistemático o estructural (Daniel, 1996). De acuerdo a lo expuesto por Jaramillo (1997), cuando el valor que toma una variable en un sitio depende de la distancia y/o de la dirección a la cual se encuentra de otro sitio vecino, se tiene una variable con dependencia espacial. El mismo autor considera que si una variable presenta dependencia espacial, durante el muestreo se puede violar el principio de la

independencia entre las muestras haciendo que la estadística clásica no sea adecuada para su estudio.

Journel y Huijbregts (1978; citados por Jaramillo, 1997), han llamado a estas variables que presentan dependencia espacial "variables regionalizadas". Ellas son una función que describe un fenómeno que se encuentra geográficamente distribuido y tiene, de acuerdo con Viera et al. (1983; citado por Jaramillo, 1997), cierto grado de autocorrelación. Para el estudio de estas variables existe un grupo de herramientas estadísticas conocido con el nombre genérico de "Geoestadística" (Jaramillo, 1997).

Uno de los métodos empleados para evaluar la variabilidad espacial es el análisis de semivariografía. El producto fundamental de este análisis es el semivariograma (ver Figura 1), el cual es una gráfica que representa los valores de la semivarianza que adquiere la variable en relación con el espaciamiento entre

muestras. La semivarianza se calcula mediante la relación:

$$\gamma(h) = 1/2n \sum [Z(x) - Z(x+h)]$$

Donde:

$\gamma(h)$ : Semivarianza.

n: Número de pares de observaciones comparadas en cada distancia.

Z (x): Valor de la variable en el sitio X.

Cuando se conoce el componente determinístico de la variabilidad y se elimina, dejando sólo el componente aleatorio al momento de hacer el análisis de varianza se pueden mejorar las interpretaciones y recomendaciones de los experimentos analizados, como lo han demostrado Bhatti *et al.*(1991). Estos investigadores, estudiando la respuesta de algodón y trigo a la fertilización, en un diseño de factores, encontraron diferencias significativas entre factores pero no entre tratamientos cuando hicie-

Z (x + h): Valor de la variable en un sitio ubicado a una distancia h del sitio X.

El semivariograma suministra información acerca del componente estructural de la variabilidad y determina la distancia hasta la cual hay dependencia espacial entre muestras, como puede observarse en la Figura 1.

ron el análisis de varianza sin eliminar la variabilidad espacial de los datos pero cuando eliminaron dicha variabilidad, la diferencia significativa se presentó entre tratamientos y no entre factores, situación que cambia radicalmente las recomendaciones que puedan desprenderse de este experimento.

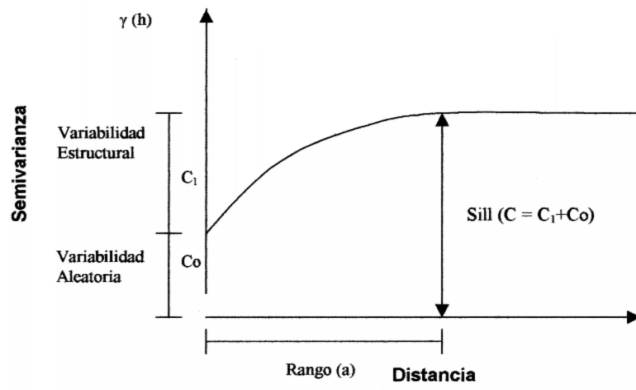


Figura 1. El semivariograma y sus propiedades.

En este trabajo se estudia el componente sistemático de la variabilidad en la producción de racimos de fruta fresca (PR) y de aceite (TEA) y en la calidad del aceite (AGL), encontrada por Acevedo (2000) mediante análisis de varianza y, de presentarse ese

Para este trabajo se utilizaron los resultados de producción de racimos de fruta fresca (PR), tasa de extracción de aceite (TEA) y contenido de ácidos grasos libres (AGL) obtenidos por Acevedo (2000). Estos resultados fueron conseguidos para estudiar el efecto de 6 niveles de afección de PC, correspondientes a las categorías definidas en la escala que se presentó anteriormente (Ver Tabla 1), con un diseño completamente aleatorio. En cada nivel de afección se evaluaron 25 palmas (replicaciones) para un total de 150 unidades experimentales. A este diseño se le hizo un análisis de varianza y su correspondiente análisis de comparación de promedios, además de los análisis univariados tradicionales. Se encontraron diferencias significativas estadísticamente al 95%, entre niveles de afección para las variables estudiadas en este trabajo

Para evaluar el componente estructural propuesto para este trabajo se procedió a georreferenciar cada una de las palmas que habían sido muestreadas, mediante la definición de sus coordenadas en un plano cartesiano. A continuación se hizo un análisis de tendencias de los valores obtenidos para las variables estudiadas, con el fin de establecer si se presentaba

componente, establecer su efecto sobre dicho análisis de varianza del experimento estudiado.

## MATERIALES Y MÉTODOS

algún patrón en la distribución de ellos en el terreno, mediante un análisis de regresión múltiple, de la forma Stepwise hacia atrás, entre las variables analizadas (Variables respuesta) y las coordenadas establecidas para las palmas, con el modelo genérico:

$$VR = a + bx + cy + d(xy) \quad (2)$$

donde:

VR: Variable respuesta

a,b,c,d: Coeficientes

x: Valor de las abscisas

y: Valor de las ordenadas

En caso de encontrarse algún modelo de tendencia, se calculan los residuales respectivos. Después del análisis de tendencias se lleva a cabo el análisis de semivariografía, con los valores originales en caso de no haberse encontrado tendencia ó con los residuales de ella si la hubo.

Si el análisis de semivariografía reporta dependencia espacial en los resultados, se estima el valor de las variables mediante un análisis de Kriging puntual y con estos valores estimados se calculan unos nuevos residuales, bien de los valores originales, si no se presentó tendencia en la variable,

bien de los primeros residuales, si la variable sí presentó tendencia. De presentarse algún componente estructural en alguna de las variables estudiadas, se realizará un nuevo análisis de varianza con los residuales que corresponda, con el fin de corroborar las conclusiones del análisis original realizado por Acevedo (2000).

Cabe aclarar que, para el análisis de semivariografía, se hace una prueba de normalidad y de sesgo para los datos: originales o primeros residuales; si ellos no presentan sesgo apreciable, con o sin normalidad, se analizan en su forma original, si tienen sesgo, se transforman para eliminarlo.

Los análisis de la estadística univariada, de las correlaciones y de las tendencias se llevaron a cabo con el programa Statgraphics Plus 4,0 y los análisis geoestadísticos con el programa GS+ 3,1.

## RESULTADOS

**Estadística Univariada.** En la Tabla 2 se presentan los estadísticos estimados para los valores originales de las varia-

bles analizadas: Media, desviación estándar (SD), varianza ( $S^2$ ), valor mínimo, valor máximo, sesgo y kurtosis (K); además se hizo una prueba de normalidad con el estadístico de Shapiro-Wilks (SW).

Se observa en la Tabla 2 que la distribución de los valores de TEA Y AGL presenta un sesgo y una kurtosis fuertes y que no se ajustan a una distribución normal al hacer la prueba de normalidad de Shapiro-Wilks (SW); solo PR se ajusta a una distribución normal, sin sesgo ni kurtosis; las variables TEA y AGL fueron, entonces transformadas: la tasa de extracción de aceite fue elevada al cuadrado (TEA2) y los ácidos grasos libres se transformaron a raíz cuarta (R4AGL).

Se observa en la Tabla 2 que la distribución de los valores de TEA Y AGL presenta un sesgo y una kurtosis fuertes y que no se ajustan a una distribución normal al hacer la prueba de normalidad de Shapiro-Wilks (SW); solo PR se ajusta a una distribución normal, sin sesgo ni kurtosis; las variables TEA y AGL fueron, entonces transformadas: la tasa de extracción de aceite fue elevada al cuadrado (TEA2) y los ácidos grasos libres se transformaron a raíz cuarta (R4AGL).

**Tabla 2.** Valores de los estadísticos estimados para las variables evaluadas.

Variable	Media	SD	Varianza	Mínimo	Máximo	Sesgo	K	SW*
PR	22,93	7,55	57,03	2,09	43	0,416	0,959	0,552
TEA	22,53	5,44	29,64	8,30	34,71	-2,19	-0,213	0,332
AGL	1,527	1,649	2,718	0,16	14,96	226,43	87,85	0,0
TEA2	537,07	236,11	55747,26	69,01	1204,85	1,023	-0,726	0,188

R4AGL	0,9673	0,1464	0,0214	0,509	1,581	1,038	5,764	0,295
-------	--------	--------	--------	-------	-------	-------	-------	-------

\*Valor de la probabilidad: Si es  $> 0,05$  la distribución es normal

**Análisis de Tendencias.** Como se indicó en materiales y métodos, se llevó a cabo un análisis de regresión entre las variables de producción analizadas (PR, TEA2, R4AGL) como variables respuesta y las coordenadas (X,Y) que definieron la posición de cada una de las palmas en el área experimental. En la Tabla 3 se presentan los resultados de este análisis, los cuales muestran que no se presenta ninguna tendencia entre las variables respuesta analizadas y la ubicación que tienen las palmas estudiadas. Se elimina así esta parte del componente determinístico de la variabilidad total de dichas variables y, de paso, se confirma el cumplimiento del supuesto de estacionaridad exigido para los análisis geoestadísticos.

**Tabla 3.** Valores de la probabilidad a partir del análisis de regresión múltiple y que permite establecer algún tipo de tendencia para las variables estudiadas.

Parámetro	PR	TEA2	R4AGL
Interacción X*Y	0,0629*	0,3026	0,2165
Coordenada en X	0,2607	0,1463	0,0886
Coordenada en Y	0,4876	0,3853	0,9348

\* Valores inferiores a 0,05 establecen la presencia de Tendencias

**Análisis de Semivarianza.** En todas las variables el modelo que mejor ajusta los datos es isotrópico. Además, en las variables PR y R4AGL el modelo ajustado es lineal de nugget puro, lo que implica ausencia total de dependencia espacial en estas variables (ver Tabla 4). En TEA2 se ajusto mejor un modelo esférico, aunque con un  $R^2$  muy bajo que



sólo explica aproximadamente el 24% de la variación de esta propiedad. De acuerdo con Cambardella *et al* (1994), según el porcentaje de Sill que le

corresponda al nugget, es de esperarse que haya una alta dependencia espacial en esta variable. Sin embargo, como se observa en la Figura 2, el comportamiento del semivariograma después del primer lag es estrictamente lineal y la diferencia en semivarianza entre ese lag y los demás no es apreciable; estas consideraciones permiten seleccionar también un modelo lineal para ajustar a TEA2, quedando esta variable en las mismas condiciones de dependencia espacial que las demás.

**Tabla 4.** Parámetros estimados por el análisis de semivariografía.

Variable	Modelo	Rango1	Co	sill	Co(%)*	r <sup>2</sup>
PR	Lineal	-	55,83	55,83	100	0,798
TEA2	Esférico	55	12400	55160	22,48	0,235
TEA2	Lineal	-	54643,72	54643,72	100	0
R4AGL	Lineal	-	0,0213	0,0213	100	0,393

\* Participación del nugget en el sill, en porcentaje

Del análisis de semivariografía puede decirse que las variables estudiadas no presentan dependencia espacial en el rango de observación utilizado en este

trabajo y, por lo tanto, este otro componente determinístico también está ausente en ellas.

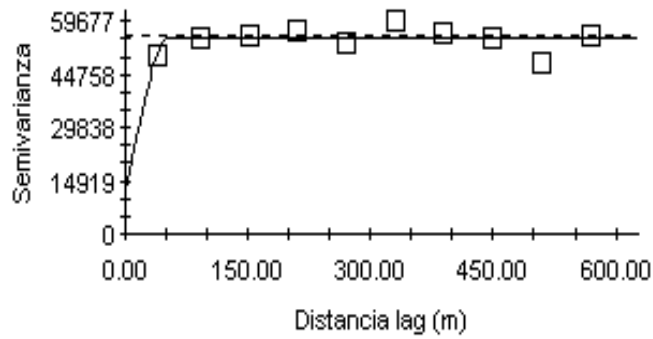


Figura 2. Semivariograma isotrópico de TEA2, ajustado con un modelo esférico.

### CONCLUSIÓN

Teniendo en cuenta los resultados que se han obtenido con respecto a la ausencia de un componente estructural (determinístico) en la variabilidad del peso

de los racimos de fruta fresca, de la tasa de extracción de aceite y de la cantidad de ácidos grasos libres presentes en el aceite, se puede decir que las diferencias significativas encontradas por Acevedo (2000) entre los grados de recuperación de

palmas afectadas por PC, mediante los análisis de varianza, son reales y se deben, efectivamente, al estado de recuperación en que estaban las plantas analizadas..

## AGRADECIMIENTOS

Al Centro Nacional de Investigación en Palma de Aceite (CENIPALMA) y a la empresa Palmas del Casanare, por facilitar los medios y datos pertinentes, necesarios

ACOSTA, Álvaro. Pudrición de Cogollo en Palma de Aceite: observaciones y manejo en Colombia. En: Palmas. Vol 12, No 2 (1991); p. 49-54.

BHATTI, A. U. et al. 1991. Identifying and removing spatial correlation from yield experiments. En: Soil Science Society of America Journal. Vol. 55 (1991); p.1523-1528.

CAMBARDELLA, C..A. et al. Field - scale variability of soil properties in Central Iowa soil. En: Soil Science Society of America Journal. Vol 5 (1994); p 1501-1511.

DANIEL, Wayne. Bioestadística: bases para el análisis de las ciencias de la salud. México: Limusa, 1996. 48p.

HENRÍQUEZ, S. Influencia de la pudrición de cogollo en la extracción de aceite en la palma africana (*Elaeis guineensis* Jacq) en los llanos orientales. Bogotá, 1999. 80p. Trabajo de grado ( Ingeniero Agrónomo). Universidad Nacional de Colombia. Facultad de Agronomía.

Aprobado para su publicación:  
Mayo 17 de 2001

para la elaboración de este trabajo.

## BIBLIOGRAFÍA

ACEVEDO A., Néstor J. Influencia de los diferentes estados de la pudrición de cogollo en la tasa de extracción de aceite en Palma Aceitera (*Elaeis guineensis* Jacq). Medellín, 2000. 86p. Trabajo de grado (Ingeniero Agrónomo). Universidad Nacional de Colombia. Facultad de Ciencias Agropecuarias.

JARAMILLO J., Daniel F. Variabilidad espacial de los suelos. En: OSORIO V., Walter, ed. Diagnóstico químico de la fertilidad del suelo. Medellín: Sociedad Colombiana de la Ciencia del Suelo, 1997. p.167-187.

MARTÍNEZ, J.C.; NIETO, L.E. y HERNÁNDEZ, M.L. Efecto de algunos fungicidas en el control del complejo pudrición de cogollo de la palma de aceite (*Elaeis guineensis* Jacq). En: Palmas. Vol 18, No 4 (1997); p.9-16.

NIETO, Luis. Características del complejo pudrición de cogollo de la palma de aceite en los Llanos Orientales de Colombia. En: CONGRESO DE LA ASOCIACIÓN COLOMBIANA DE FITOPATOLOGÍA Y CIENCIAS AFINES (12: 1991: Manizales). Memorias del XII Congreso de la Asociación Colombiana de Fitopatología y Ciencias Afines. Manizales: El Congreso; 1991. 90p.