

POTENCIAL DE LA LEY DE PODER DE TAYLOR PARA TRANSFORMAR DATOS DE TRAMPEO DE BROCA DEL CAFE, *Hypothenemus hampei*¹

Potential of the Taylor's power law to transform trapping data of coffee berry borer, *Hypothenemus hampei*

Juan F. Barrera, Javier Valle, Joel Herrera, Heber García, Jorge Villalobos y Jaime Gómez. El Colegio de la Frontera Sur, Carretera Antigua Aeropuerto km 2.5, Tapachula, Chiapas, México. Correo electrónico: jbarrera@tap-ecosur.edu.mx.

Palabras clave: broca del café, trampeo, transformación de datos, relación varianza-promedio.

Introducción

En 1961 L. R. Taylor publicó en *Nature* su famoso artículo “*Aggregation, variance and the Mean*” donde señalaba que en todos los grupos de muestras de diferentes especies de organismos que había analizado, la varianza (s^2) se relacionaba con la media o promedio de la densidad de la población (m) a través de una sencilla ley de poder. Dicha ley indicaba que la varianza era proporcional a la media elevada a una fracción de potencia:

$$s^2 = am^b \dots\dots\dots \text{Ecuación 1}$$

donde a y b son coeficientes (Taylor, 1961; 1965; 1984). Según Taylor, la Ecuación 1 es más convenientemente ilustrada, y ajustada, con una ecuación de regresión en logaritmos:

$$\log (s^2) = \log (a) + b \log (m) \dots\dots\dots \text{Ecuación 2}$$

donde $\log (a)$ y b son el intercepto y el coeficiente de regresión, respectivamente.

Esta relación, que a la postre habría de ser conocida como la Ley de Poder de Taylor (LPT), describió mejor la distribución de 102 especies de plantas y animales, en 200,000 muestras, que la media de apiñamiento y que el parámetro k de la distribución binomial negativa. En el caso de insectos asociados al café, la LPT se ajustó a datos de varias especies, entre las que se pueden citar: *Xylosandrus morigerus* (Barrera *et al.*, 2002), *Idiarthron subquadratum* (Barrera *et al.*, 2003a) e *Hypothenemus hampei* (Barrera *et al.*, 2004).

Taylor (*op. cit.*) también propuso que el coeficiente b es un índice de agregación característico de un organismo determinado y que toma valores que van desde una distribución espacial regular (b tiende a cero), pasando por una distribución al azar (b igual a cero), hasta una distribución altamente agregada (b tiende al infinito).

De acuerdo con Taylor (1984), todas las medidas de agregación cambian con el promedio de la densidad y requieren relaciones de regresión tanto para transformar datos como para optimizar el muestreo, por lo tanto, considerar al coeficiente b como característico de una especie tiene importantes implicaciones al proveer una transformación estándar y una base para desarrollar mejores programas de muestreo.

El presente trabajo tuvo el objetivo de analizar el potencial de la LPT para transformar datos provenientes de estudios de trampeo de broca del café (*H. hampei*). Se espera obtener

¹ Referencia bibliográfica: Barrera, J.F., J. Valle, J. Herrera, H. García, J. Villalobos y J. Gómez. 2006. Potencial de la Ley de Poder de Taylor para transformar datos de trampeo de broca del café, *Hypothenemus hampei*. Entomología Mexicana, 5 (2): 647-653.

un valor estándar de b , que al transformar las capturas de broca, estabilice la varianza y normalice los datos, de tal forma que éstos cumplan los supuestos de la estadística paramétrica para su apropiado análisis.

Materiales y Métodos

Taylor (1961) encontró que la varianza puede ser estabilizada al transformar los datos originales mediante:

$$X' = X^p \dots\dots\dots\text{Ecuación 3}$$

donde X es cada dato original, X' es el dato transformado y $p = 1 - b/2$; b es el coeficiente de regresión estimado con las Ecuaciones 1 ó 2. Ruesink (1980) menciona que la mejor transformación a utilizar depende de las siguientes consideraciones: si b es diferente de 2.0: $X' = X^{1-b/2}$; si $b = 2.0$: $X' = \log(X)$; si $b = 1.0$: $X' =$ raíz cuadrada de X ; y si $b = 1.5$: $X' = X^{1/4}$.

En el presente trabajo se analizó el potencial de la Ecuación 3 para estabilizar la varianza y normalizar los datos para series de datos de trapeo de la broca del café obtenidos en el ejido Alpujarras (15°04' N, 92°09' O; 1,116 msnm; temperatura anual promedio de 21.7°C; municipio de Cacahoatán) y en el rancho La Esperanza (15°06' N, 92°18' O; 484 msnm; temperatura anual promedio de 26.7°C; municipio de Tapachula). En el ejido Alpujarras se cultivaba café arábica (*Coffea arabica* L.) con un poco de café robusta (*C. canephora* Pierre ex Frohener), y en el rancho La Esperanza se cultivaba solo café robusta. En ninguno de los sitios se aplicaron insecticidas químicos durante el trapeo.

En aproximadamente una hectárea de cada uno de estos sitios se colocaron trampas ECOIAPAR cebadas con una mezcla de etanol-metanol en proporción de 1 a 3 con olor a café (Barrera *et al.*, 2003b), las cuales se colgaron de las ramas de los cafetos a una altura de 1.20 m sobre el suelo. En Alpujarras se colocaron 15 trampas. Parte de los datos obtenidos en Alpujarras se presentaron en Barrera *et al.* (2004). En rancho La Esperanza, los datos analizados procedían de un estudio para determinar la influencia de la altura de la trampa sobre las capturas de broca (Barrera *et al.* 2005). En dicho estudio se tuvieron cuatro alturas de trampa (1.0, 2.5, 3.5 y 5.0 m sobre el suelo) con cinco repeticiones. Las revisiones de las trampas para el conteo de la broca capturada se realizaron con frecuencia semanal en la mayoría de los casos.

Los datos de Alpujarras se tomaron entre octubre de 2002 y diciembre de 2005. Los datos de rancho La Esperanza se colectaron de diciembre de 2003 a noviembre de 2004. El promedio y la varianza del número de brocas capturas por trampa se calcularon para cada fecha de trapeo. Los datos de Alpujarras (n=148) se emplearon para estimar el valor del coeficiente b a través de la Ecuación 2, en tanto que los datos de rancho La Esperanza (cuatro tratamientos, n= 44 pares de datos por tratamiento), independientes a la estimación de b , se usaron para analizar el potencial de la Ecuación 3 en estabilizar la varianza de los tratamientos (alturas de las trampas) y normalizar los datos. El coeficiente b se estimó mediante un procedimiento de “regresión robusta MM” para atenuar el efecto de algunos datos influyentes (Rousseeuw y Yohai, 1984). Se usó la prueba no paramétrica de Spearman (r_s) para establecer la correlación entre varianza y promedio de los datos transformados y la prueba de Bartlett para saber si la transformación de los datos con la Ecuación 3 fue capaz de homogeneizar las varianzas. Se elaboraron gráficas antes y después de la transformación para ver el efecto sobre la normalidad de los datos. Los análisis se realizaron con S-PLUS (2005).

Resultados

La Fig. 1 presenta los resultados del análisis de regresión robusta MM aplicado a la varianza (s^2) y promedio (m) de los datos procedentes del trampeo de broca del café (*H. hampei*) realizado en el Ejido Alpujarras entre octubre de 2002 y diciembre de 2005.

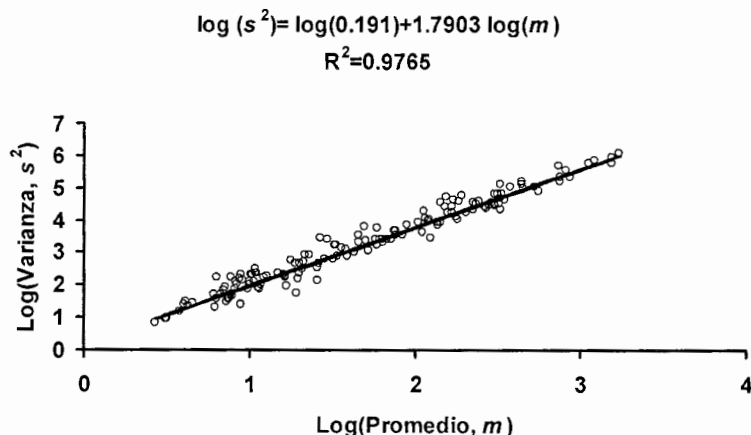


Fig. 1. Análisis de regresión robusta que establece la relación entre la varianza y el promedio de los datos correspondientes a las capturas de brocas en trampas de etanol-metanol ($n=148$). Ejido Alpujarras (Municipio Cacahoatán), 1,116 msnm. Octubre 2002- diciembre 2005. $\log(a) = 0.191$, $b = 1.7903$.

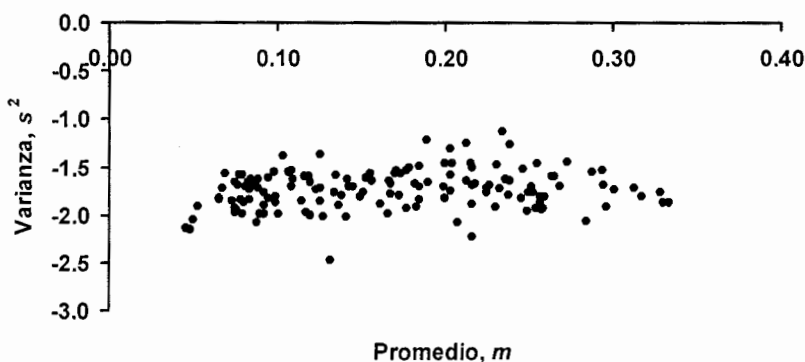


Fig. 2. Relación entre varianza y promedio de los datos de la Fig. 1 transformados con la Ecuación 3 ($X^2 = X^{0.10485}$). $r_s = 0.163982$, $P = 0.046424$, $n = 148$. Ejido Alpujarras.

El análisis de regresión robusta MM mostró una relación altamente significativa ($R^2 = 0.9765$; $n = 148$) entre s^2 y m con valores estimados de los coeficientes $\log(a)$ y b (+/- error estándar) de $\log(a) = 0.191$ (+/- 0.0842) y $b = 1.7903$ (+/- 0.0446) (Fig. 1). Al aplicar la transformación a los datos de la Fig. 1 con la Ecuación 3 ($X^2 = X^p$, $p = 1 - 1.7903/2 = 0.10485$) se obtuvo la Fig. 2. Aunque la prueba no paramétrica de Spearman mostró una relación significativa entre la varianza y el promedio después de la transformación ($r_s = 0.163982$; $P = 0.046424$; $n = 148$), se consideró que desde el punto de vista biológico dicha relación fue irrelevante, y con ello, se aceptó que los datos fueron transformados. Es común observar que grandes cantidades de datos (148, en este caso), hagan que estas pruebas sean muy sensibles al grado de detectar significativamente ($P < 0.05$) pequeñas correlaciones ($r_s = 0.163982$), que sin embargo, desde el punto de vista biológico carecen de importancia.

Cuadro 1. Prueba de Bartlett antes y después de transformar las capturas de broca en café robusta correspondientes a cuatro tratamientos de altura de la trampa (1.0, 2.5, 3.5 y 5.0 m sobre el suelo, n= 44). Datos transformados con $X^* = X^{0.10485}$. Rancho La Esperanza. Diciembre de 2003 a noviembre de 2004.

	Tratamientos				Prueba de Bartlett		
	t1_1m	t2_2.5m	t3_3.5m	t4_5m	Estadístico	gl	P
<i>Datos sin transformar</i>							
Promedio	435.83	342.31	283.90	77.44	76.973	3	1.11E-16
Varianza	1144323.00	770592.19	695920.40	52554.85			
<i>Datos transformados</i>							
Promedio	1.3307	1.1880	1.0397	0.8591	1.836	3	0.6071002
Varianza	0.3646	0.4492	0.4867	0.3397			

El Cuadro 1 presenta los resultados de la prueba de Bartlett para los datos de capturas de broca en café robusta del rancho La Esperanza (datos independientes a la estimación de $b=1.7903$), antes y después de la transformación con $X^* = X^{0.10485}$. Como se puede apreciar, la varianza de los tratamientos de altura de la trampa fue satisfactoriamente estabilizada.

La Fig. 3 presenta las gráficas de probabilidad normal de las capturas de broca (los cuatro tratamientos de altura de la trampa juntos, n=176) en la parcela de café robusta del rancho La Esperanza antes y después de transformar los datos con $X^* = X^{0.10485}$. Obsérvese que los datos se distribuyeron normalmente solo después de transformarlos.

Discusión y Conclusiones

La LPT ha tenido mucha aceptación en muestreo de plagas porque entre sus implicaciones se incluyen la transformación de datos (Harcourt 1965, Downing 1979), la determinación del tamaño de muestra (Ruesink 1980) y de las líneas de decisión de programas de muestreo secuencial numérico (Green 1970) y binomial (Wilson *et al.* 1983). En el caso del cultivo del café, en varias ocasiones se ha demostrado la utilidad que esta sencilla ley de poder tiene en la toma de decisiones de control por medio de mejorar el muestreo de insectos de importancia económica (Barrera *et al.*, 2002; 2003a; 2004; Ventura, 2004).

Como un logro más, en este trabajo se ha puesto de manifiesto el potencial de la LPT para transformar datos provenientes del trapeo de la broca del café (*H. hampei*) con trampas tipo ECOIAPAR cebadas con etanol-metanol. La aplicación de esta transformación permitirá hacer un análisis estadístico más apropiado de los datos de trapeo al respetar los supuestos que las pruebas estadísticas paramétricas establecen sobre la homogeneidad de las varianzas y la normalidad de los datos.

A manera de precaución, cabe mencionar que algunos estudios han mostrado que el coeficiente b no es siempre una característica de las especies y que el comportamiento de los organismos y los factores ambientales pueden afectar su valor (p.e. Taylor *et al.*, 1998). No obstante esta controversia, dicho coeficiente ha sido ampliamente usado por su "robustez", es decir, por su propiedad para usarse en un gran número de condiciones (Binns *et al.*, 2000).

No obstante que, futuros estudios con mayor número de sitios y condiciones más diversas son necesarios para probar la robustez de la transformación obtenida ($X^* = X^p$, $p = 1 - 1.7903/2 = 0.10485$), se concluye que se ha dado un paso importante para desarrollar una transformación estándar basada en la LPT, cuya aplicación permita optimizar el análisis de datos provenientes de capturas de broca con trampas de alcoholes.

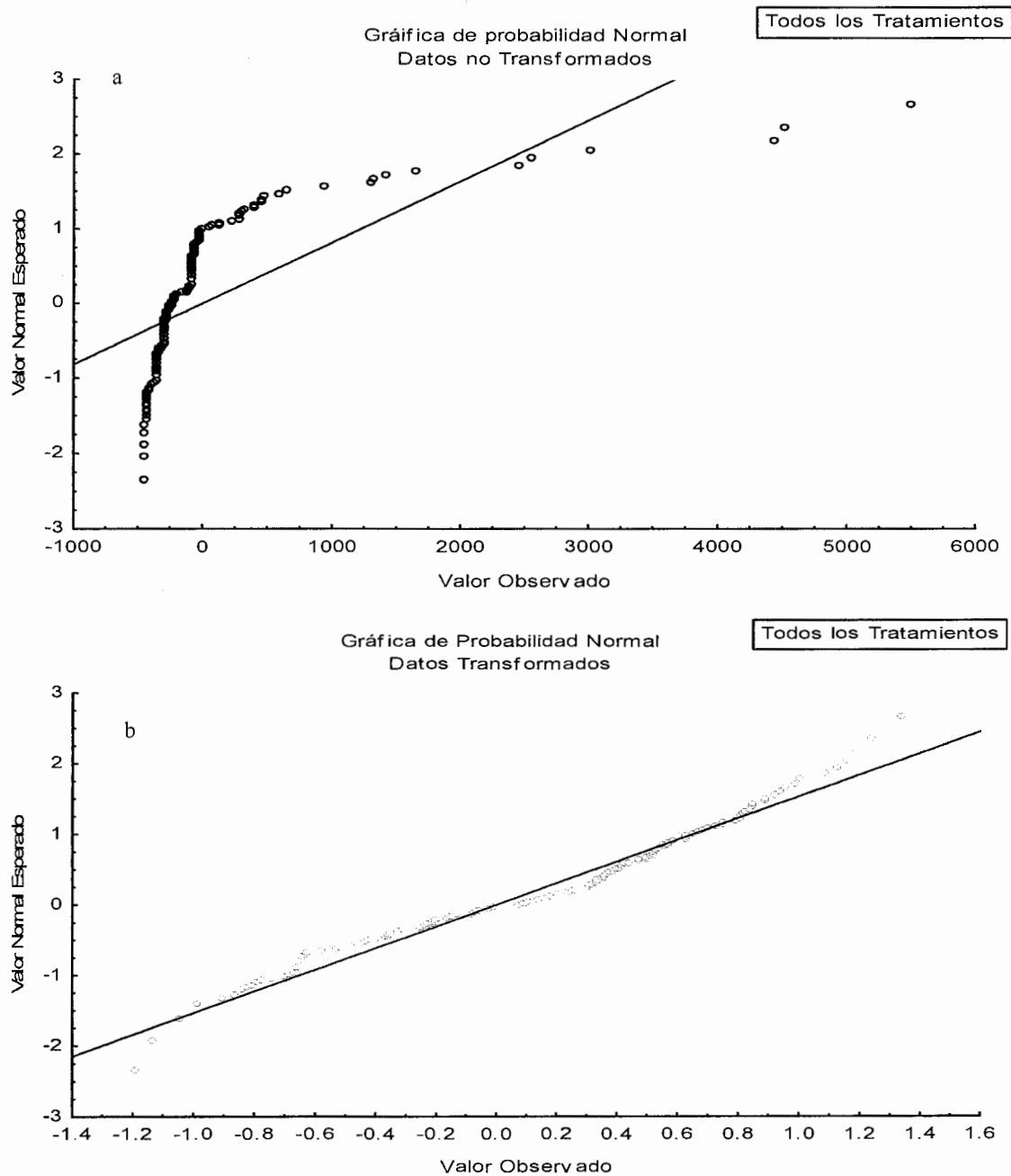


Fig. 3. Probabilidad normal de las capturas de broca en café robusta antes (a) y después (b) de transformar los datos con $X^* = X^{0.10485}$ ($n = 176$). Rancho La Esperanza. Diciembre de 2003 a noviembre de 2004.

Agradecimientos

Un profundo reconocimiento al señor Federico Ochoa (Ejido Alpujarras) y su hijo Germánico, así como al señor Germán Pérez y su hijo Germán (rancho La Esperanza), por las invaluable facilidades que nos han otorgado durante tantos años para realizar nuestra investigación en sus propiedades. También queremos agradecer el generoso financiamiento de la Fundación Produce Chiapas, A.C. por medio del proyecto “Bioecología y manejo de plagas del café en el Soconusco y Sierra de Chiapas”.

Literatura citada

- Barrera, J.F., J. Herrera y J. Valle. 2005. Efecto de la altura de la trampa en la captura de la broca del café: Implicaciones en dispersión y muestreo. *Entomología Mexicana* 4: 542-546.
- Barrera, J.F., J. Herrera y S. Ventura. 2003a. Muestreo de *Idiarthron subquadratum* (Orthoptera: Tettigoniidae) con trampas en plantaciones de café de Chiapas. *Entomología Mexicana*, 2: 416-422.
- Barrera, J.F., G. López, J. Herrera, S. Ventura y G. Nieto. 2002. Bioecología y hábitos del Taladrador de las ramas del café robusta en el Soconusco, Chiapas. En: J.F. Barrera (ed.), Tres plagas del café en Chiapas. El Colegio de la Frontera Sur, México, p.85-94.
- Barrera, J.F., A. Villacorta y J. Herrera. 2004. Fluctuación estacional de las capturas de la Broca del café (*Hypothenemus hampei*) con trampas de etanol-metanol e implicaciones sobre el número de trampas. *Entomología Mexicana*, 3: 540-544.
- Barrera, J.F., A. Villacorta, J. Herrera, R. Jarquín y H. García. 2003b. ECO-IAPAR el capturador de Broca del Café: Recicle botellas de plástico y gane contra la Broca. El Colegio de la Frontera Sur, Proyecto Manejo Integrado de Plagas, México. Folleto técnico No. 8, 16 p.
- Binns, M.R., J.P. Nyrop and W. van der Werf. 2000. Sampling and monitoring in crop protection. The theoretical basis for developing practical decision guides. CABI Publishing, UK, p. 54-55.
- Green, R.H. 1970. On fixed precision level sequential sampling. *Res. Popul. Ecol.* 12: 249-251.
- Downing, J.A. 1979. Aggregation, transformation, and the design of Benthos sampling programs. *J. Fish. Res. Board Can.* 36:1454-1463.
- Harcourt, D.G. 1965. Spatial pattern of the cabbage looper, *Trichoplusia ni*, on crucifers. *Ann. Entomol. Soc. Amer.* 58: 89- 94.
- Rousseeuw, P.J. and V. Yohai, (1984). Robust regression by means of S-estimators. In *Robust and Nonlinear Time Series Analysis*, J. Franke, W. Hardle, and R.D. Martin (Eds.). *Lecture Notes in Statistics*, 26: 256-272. New York: Springer-Verlag.
- Ruesink, W.G. 1980. Introduction to sampling theory. In: M. Kogan & D.C. Herzog (eds.) *Sampling methods in soybean entomology*. Springer-Verlag, NY, p. 61-78.
- S-PLUS. 2005. S-PLUS 7. Guide to Statistics, Volume 1. Insightful Corporation. Seattle, Washington.
- Taylor, L.R. 1961. Aggregation, variance and the mean. *Nature* 189:732-735.
- Taylor, L.R. 1965. A natural law for the spatial disposition of insects. In: *Proc. 12th Int. Congr. Entomol.*, London, 1964, p. 396-397.
- Taylor, L.R. 1984. Assessing and interpreting the spatial distributions of insect populations. *Annu. Rev. Entomol.* 29: 321-357.
- Taylor, R.A.J., R.K. Lindquist and J.L. Shipp. 1998. Variation and consistency in spatial distribution as measured by Taylor's Power Law. *Environ. Entomol.* 27: 191-201.
- Ventura V., S.J. 2004. Distribución espacial del Taladrador de las ramas del café robusta, *Xylosandrus morigerus* (Blandford) (Coleoptera: Scolytidae), en una finca del Soconusco, Chiapas. Tesis. Universidad Autónoma de Chiapas. México. 84 p.
- Wilson, L.T., C. Pickel, R.C. Mount and F.G. Zalom. 1983. Presence-absence sequential sampling for cabbage aphid and green peach aphid (Homoptera: Aphididae) on Brussels sprouts. *J. Econ. Entomol.* 76:476-479.