

FACTORES AMBIENTALES QUE AFECTAN

*la densidad poblacional de *Oryctes rhinoceros* en la
resiembra de palma de aceite con cero quema*

ENVIRONMENTAL FACTORS AFFECTING

*the Population Density of *Oryctes rhinoceros* in a Zero-Burn
Oil Palm Replant*

AUTORES

Norman Kamarudin
Mohd Basri Wahid
Ramle Moslim

Malasian Palm Oil Board
PO Box 10620
50720 Kuala Lumpur (Malasia)
e mail: noman@mpob.gov.my

Palabras CLAVE

Oryctes rhinoceros, medio
ambiente, cultivos de
coberturas, contenido de agua,
Metarhizium, manejo integrado
de plagas

Oryctes rhinoceros,
environment, cover crops,
water content, *Metarhizium*,
pest management

Tomado de Journal of Oil Palm
Research, v.17, June 2005,
p.22-63

RESUMEN



El medio ambiente (los factores abióticos y bióticos) tiene una influencia sobre la supervivencia de un organismo. Este estudio muestra las diferentes relaciones significativas entre la población de *Oryctes rhinoceros* y el medio ambiente y las características físicas de su hábitat en una resiembra de palma de aceite. Primero que todo, se observaron bajas poblaciones de *O. rhinoceros* en áreas con altos cultivos de cobertura sobre los troncos cortados en descomposición. Segundo, un alto contenido de humedad en los troncos es esencial para la supervivencia y el desarrollo satisfactorio de *O. rhinoceros*. Tercero, se encontró una relación negativa entre el número de pupas en desarrollo versus la dureza de los pedazos del tronco. Esto demuestra que gran parte de la pupa se desarrolló en las partes suaves y en descomposición. La población de larvas aceleró la liberación de los nutrientes al suelo, en especial, K y Mg. Un pH más alto redujo indirectamente la población de larvas de *O. rhinoceros*, posiblemente promoviendo el crecimiento del hongo entomopatógeno *Metarhizium*, el cual infectó la larva. Esto se vio reflejado en el bajo número de escarabajos adultos que brotaron de los lotes con un pH alto. Finalmente, la precipitación indujo la reproducción de *O. rhinoceros* como se puede observar por la alta correlación positiva entre la precipitación y el número de larvas crisálidas tempranas. Si los productores tienen un buen conocimiento sobre algunos de estos factores, esto les permitiría manipular el hábitat y su microclima para poder así manejar las plagas de manera más efectiva.

SUMMARY

The environment (abiotic and biotic) influences the survival of an organism. This study revealed several significant relationships between the population of *Oryctes rhinoceros* and the environment and physical characteristics of its habitat in an oil replant.

Firstly, lower populations of *O. rhinoceros* occurred in areas with high cover crops over the decomposing chipped trunks. Secondly, high moisture content in the trunks was essential for the survival and satisfactory development of *O. rhinoceros*. Thirdly, there was a negative relationship between the number of developing pupae against the hardness of the trunk chips. This indicates that most of the pupae developed in the softer, decomposing chips. The larval population hastened the release of the trunk nutrients to the soil, especially K and Mg. Higher soil pH indirectly reduced the larval population of *O. rhinoceros*, possibly by promoting the growth of the entomopathogenic fungus, *Metarhizium*, which infected the larvae. This was reflected by the low number of adult beetles which emerged from the plots with high pH. Finally, rainfall induced the breeding of *O. rhinoceros* as shown by the high positive correlation between rainfall and the number of early instar larvae. Knowledge of some of these factors would enable planters to manipulate the habitat and its microclimate in order to manage the pest more effectively.



INTRODUCCIÓN

El medio ambiente tiene una influencia significativa sobre la supervivencia de un organismo. Allee *et al.* (1949) indicó que el medio ambiente comprende tanto factores abióticos (físicos) como bióticos. Por lo general, los ecólogos han definido la palabra *biótico* como organismos vivos y la palabra *abiótico* como organismos no vivos (Smith, 1935; Nicholson, 1993).

Andrewartha y Birch (1954) han definido las relaciones entre los cuatro componentes –clima, alimentación, patógeno y hábitat– como el medio ambiente para un organismo. Por ejemplo, en el *cerrado* brasileiro, las poblaciones de insecto fluctuaron sobre una base estacional, causada principalmente por factores ambientales, tales como precipitación, temperatura y humedad. Después de las precipitaciones los Coleópteros y otros insectos (Diptera, Homoptera, Hymenoptera, Lepidoptera, Orthoptera y Psocoptera) se volvieron más abundantes (Diniz y Pinheiro, 2000).

En un bosque nativo la abundancia y la riqueza de los escarabajos coleópteros se vieron seriamente afectados por el pH del suelo, cobertura de hierbas y densidad de su despojo (Elek *et al.*, 2000). En los Alpes, se documentó una especie coleóptera (genus *Nebria*) como el primer colonizador de nuevas áreas después de la retirada glacial. Una investigación comparativa sobre los patrones de distribución demostró que la selección del hábitat fue el mecanismo principal para la colonización de los escarabajos coleópteros en las nuevas áreas alpinas.

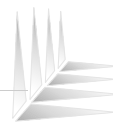
En el ecosistema de la palma de aceite, la abundancia de troncos de palma de aceite descompuestos

mediante la técnica de resiembra de cero quema es bastante atractiva para la reproducción de *O. rhinoceros* (Samsudin *et al.*, 1993). Estudios realizados por Word (1968) y Liew y Sulaiman (1993) han demostrado que la población y los ataques por parte de *O. rhinoceros* estuvieron influenciados por las plantas de coberturas, las cuales actuaron como barrera física en los sitios de reproducción, obviamente reduciendo la reproducción de *O. rhinoceros*.

Un estudio anterior en una resiembra de palma de aceite mostró que la población de *O. rhinoceros* fluctuó con el tiempo, más que todo debido a factores bióticos (Norman *et al.*, 2001). Aparte de los factores bióticos, tales como enfermedades y parasitismo, los abióticos, tales como el clima, suelo, hábitat y prácticas culturales también pudieron haber tenido una influencia (Hinckley, 1973).

La intención de este estudio es la de identificar los factores abióticos tales como altura de la planta de cobertura, la cual puede actuar como una barrera física para los sitios de reproducción; contenido de humedad y dureza de las astillas del tronco; pH del suelo, lo que posiblemente tiene una influencia sobre las etapas de larvas; y la precipitación, lo que puede tener una influencia sobre la actividad y la reproducción del escarabajo. Se espera que estos factores afecten directa o indirectamente a la población de *O. rhinoceros*.

Si los productores llegan a tener un conocimiento sobre estos factores pueden manipular el hábitat y el microclima de los sitios de reproducción para así poder manejar la plaga de manera más eficiente.



MATERIALES Y MÉTODOS

Sitios de estudio

Se realizó un censo de *O. rhinoceros* en tres bloques de resiembra con cero quema (A, B y C) en una plantación de palma de aceite en Sepang, Selangor (Malasia). La iniciación de la muestra correspondió a la disponibilidad de los sitios.

Bloque A. El área de este bloque fue de 21.6 hectáreas. La resiembra se realizó en octubre de 1994. Tres lotes de aproximadamente 1 ha cada uno (lotes 1-3) fueron marcados desde el borde hasta el centro del bloque. Se inició la muestra en las pilas de astillas de los troncos de las palmas de aceite haciendo el primer muestreo un año después de la siembra.

Bloque B. Este bloque era solo de 4.5 hectáreas. La resiembra se realizó en agosto de 1996. El bloque se dividió en tres lotes (lotes 1-3) de aproximadamente 1.5 hectáreas cada uno. El muestreo de las pilas de la palma se inició aproximadamente cuatro meses más tarde.

Bloque C. Este bloque era de 18.5 hectáreas. La resiembra se hizo en diciembre de 1996. El muestreo de las pilas de las palmas se realizó tres meses después de la resiembra. De manera similar, se organizaron tres lotes de una hectárea cada uno (lotes 1-3) desde el borde hacia el centro del bloque.

Procedimientos de muestreo

Se hizo un muestreo en cada bloque la población de *O. Rhinoceros* en réplicas de lotes de aproximadamente 1 hectárea (12 x 12 palmas). Dentro de los lotes, se recogió la población de *O. rhinoceros* dentro de los su-lotes de aproximadamente 1 metro cuadrado en las pilas. Estas pilas eran líneas amontonadas en cada tres hileras de palma. El muestreo se realizó de manera sistemática en las pilas, al lado de las palmas tres, seis, nueve y doce de cada hilera. La frecuencia del muestreo fue de cada tres meses y solo se interrumpió cuando la población media de los sublotos dentro de un bloque correspondía a menos de uno.

Se recopiló un rango de 27-36 palmas (a 9-12 palmas por lote) por bloque de cada muestra. Durante la muestra se registraron los diferentes parámetros

abióticos que tienen una influencia en la reproducción de *O. rhinoceros*, de la siguiente manera: se midió la altura de la cobertura de la leguminosa (mezclas de *Centrosema pubescens* y *Pueraria javanica*) sobre las astillas del tronco en descomposición usando una regla de 1 metro. Esta era la barrera física que le impedía a la plaga encontrar sus sitios de reproducción.

La dureza de las astillas del tronco se refería a su estado físico en su descomposición con el tiempo. Probablemente era difícil que la larva *O. rhinoceros* se desarrollara en los tejidos más duros. Se midió la dureza usando un dispositivo desarrollado específicamente para este estudio (figuras 1 y 2), con base en la fuerza (F) necesaria para empujar una varilla puntiaguda de metal (1 centímetro de diámetro) de



Figura 1. Un dispositivo para medir la dureza relativa de las astillas del tronco de la palma en descomposición.

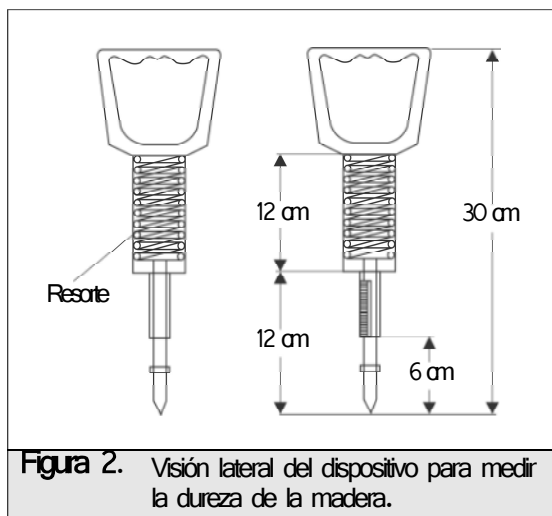


Figura 2. Visión lateral del dispositivo para medir la dureza de la madera.

3 centímetros dentro de la astilla. Este dispositivo usó un resorte cuya compresión había sido calibrada con F en una relación lineal (Figura 3). Por tanto F era proporcional a la dureza de la astilla.

Se obtuvo la información sobre la precipitación en la estación meteorológica de la plantación. La humedad presente en el hábitat había favorecido el desarrollo de la plaga en el laboratorio (Norman *et al.*, 2001). Por tanto, se estimó el contenido de humedad de las astillas del tronco usando un shigómetro (Osmose Word Preserving of America, 1980) basado en la relación inversa entre la resistencia eléctrica (kOhm) y el contenido de agua. Primero se calibró el shigómetro tomando las resistencias de las astillas del tronco con diferentes contenidos de humedad (Figura 4) y luego se determinaron los contenidos de humedad mediante un secado total en el horno (105°C durante 48 horas).

Las lecturas del shigómetro fueron retrocedidas en forma lineal en el contenido de humedad. Con base en la regresión, se podían obtener los contenidos de humedad de las astillas del tronco a partir de la resistencia eléctrica del shigómetro.

El pH del suelo debería indicar la conveniencia del hábitat para el desarrollo de la larva. El contenido de minerales en el suelo también deberá indicar la capacidad de las etapas larvales de digerir los tejidos del tronco y reincorporar los minerales al suelo. Para este propósito, se hicieron muestreos del suelo bajo las pilas del tronco para determinar el nitrógeno, fósforo, potasio, magnesio y calcio, empleando los

métodos analíticos de Schinner *et al.* (1996). Los adultos de *O. rhinoceros* recolectados en las trampas de feromonas fueron enterrados en un polvo fino en una licuadora para frutas. Luego se analizó el polvo de manera similar a las muestras del suelo para ver cuál era el contenido de minerales.

La frecuencia de *Metarhizium* se basó en el número de unidades de formación de colonias (CFU, por su sigla en inglés) encontrado en el suelo mediante la técnica de muestreo de Ramle *et al.* (1999).

Se hicieron muestras de aproximadamente 100 gramos de capa vegetal debajo de las astillas del tronco y éstos fueron colocados en frascos plásticos individuales. Luego el suelo fue triturado en el polvo. Se colocó un gramo en una botella universal de tapa roscada con 10 milímetros de agua destilada y luego se sometió a movimiento de torbellino durante 1 minuto a 8 revoluciones por segundo. Se diluyó el alícuota del suelo 10 veces con el agua destilada esterilizada. Trescientos microlitros de alícuota fueron pasados rápidamente por 90 mm de las placas del medio selectivo (modificado de Mohan *et al.*, 1982) utilizando un tubo de vidrio esterilizado en forma de L. Luego se incubaron las placas a 28°C. Se estimó la densidad de las esporas viables en números de CFU de 7 a 10 días después de la incubación (Ramle *et al.*, 1999).

Análisis de los datos

Se manejaron dos grupos de variables independientes. El primer grupo incluyó las características físicas del hábitat de *O. rhinoceros* -altura de la cober-

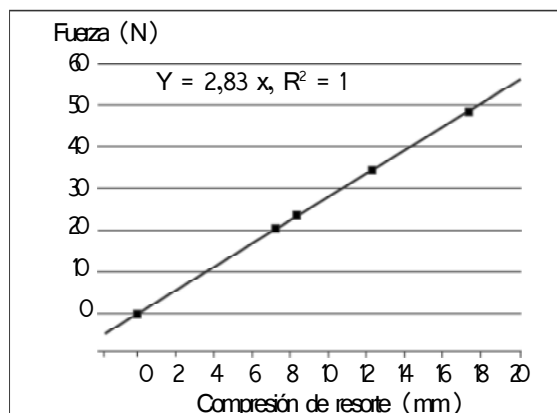


Figura 3. Regresión lineal para sacar la fuerza que mide la dureza de las astillas del tronco.

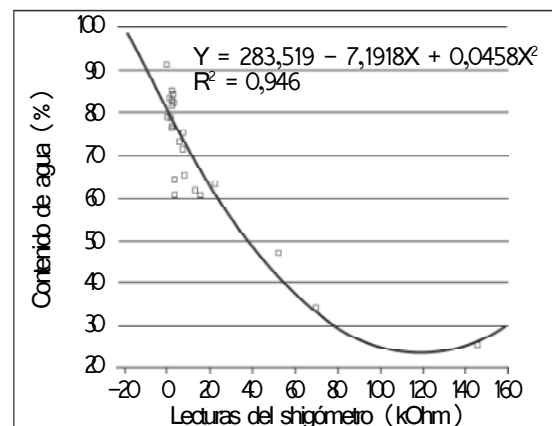


Figura 4. Calibración del contenido de agua en las astillas del tronco y lecturas del shigómetro.



tura, dureza de la madera y contenido de humedad. El segundo grupo incluyó los parámetros ambientales –precipitación, nutrientes del suelo, pH del suelo y la frecuencia de *Metarhizium*. Se realizó el análisis de regresión múltiple con dos grupos de parámetros sobre cinco variables independientes –las poblaciones de las primeras y segundas crisálidas, jóvenes (de las primeras a las terceras crisálidas), pupa, adultos y el total de los individuos (de todas las etapas). Se quitaron las variables independientes no significativas por cada variable dependiente mediante el procedimiento de eliminación en dirección contraria (SigmaStat, 1992), dejando únicamente las variables significativas para que encajen con la regresión lineal.

RESULTADOS

Relación entre las características físicas del hábitat y la población de *O. rhinoceros*

Este aspecto se analizó únicamente para los bloques B y C. No se pudo recopilar la información para el bloque A durante las primeras etapas de la resiembra, por tanto dicha información incompleta no puede describir las tendencias generales. Para el análisis completo se combinó la información de todos los lotes en uno solo. Posteriormente, se combinó la información de los bloques B y C para obtener las regresiones completas. Con las regresiones múltiples se pudo observar que tanto la altura de las plantas de cobertura como el contenido de humedad de las astillas del tronco eran igualmente importantes en la afectación del número de adultos y los individuos totales de *O. rhinoceros* (Tabla 1). La altura de las plantas de cobertura tuvo una correlación negativa con la población total de *O. rhinoceros* ($df = 2$, $F =$

4.87, $p < 0.05$), pupa ($df = 1$, $F = 7.78$, $p < 0.01$) (Figura 5) y adultos ($df = 2$, $F = 8.59$, $p < 0.01$).

Sin embargo, el contenido de humedad de las astillas del tronco tuvo una influencia positiva sobre los adultos ($df = 2$, $F = 9.36$, $p < 0.01$) y la población total ($df = 2$, $F = 5.86$, $p < 0.05$) (Tabla 1). Con el análisis de regresión múltiple, la dureza de las astillas no tuvo efectos significativos en la densidad total de *O. rhinoceros*. Sin embargo, se detectó una correlación negativa entre la dureza de las astillas con la densidad de la pupa ($df = 4$, $R^2 = 0.523$) (Figura 6).

Relación entre el suelo, las colonias de *Metarhizium* y los parámetros ambientales y la población de *O. rhinoceros*

Solo el potasio y el pH del suelo tuvieron relaciones significativas ($p < 0.05$) con la población de *O. rhinoceros* (Tabla 2). El pH del suelo, el cual indica la adaptabilidad del ambiente de reproducción alrededor de las astillas del tronco en descomposición, tuvo un

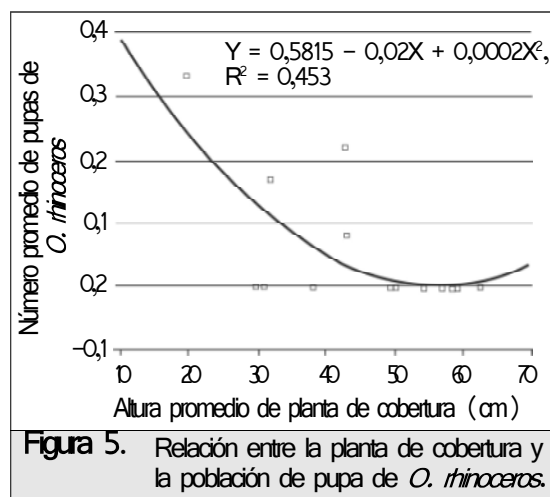


Figura 5. Relación entre la planta de cobertura y la población de pupa de *O. rhinoceros*.

Tabla 1. Relaciones entre las poblaciones de *O. rhinoceros* y las características físicas del tronco/hábitat

Variable dependiente	Variable independiente	Coefficiente de regresión	F	Significación (prob > F)	R²
Pupa	Altura planta cobertura	-0,0041	7,78	0,006	0,046
Adultos	Contenido de humedad de las astillas	0,0041	9,36	0,003	0,08
	Altura planta cobertura	-0,01	8,59	0,004	—
Total individuos	Contenido de humedad de las astillas	0,012	5,86	0,017	0,049
	Altura planta cobertura	-0,0278	4,87	0,029	—

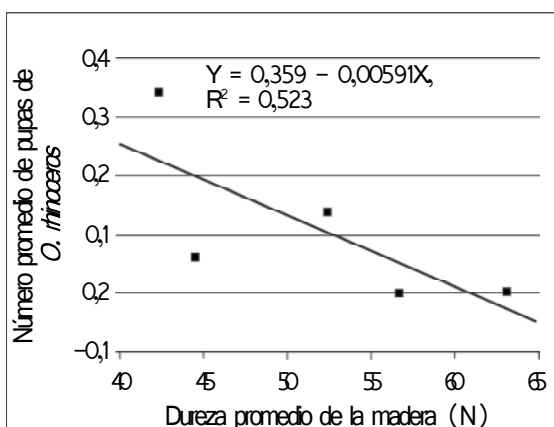


Figura 6. Relación entre la dureza de la astilla del tronco y las poblaciones de pupa de *Oryctes rhinoceros*.

efecto indirecto en los jóvenes (Tabla 2), afectando por tanto la población de la plaga. La Tabla 3 muestra que no hubo diferencias significativas en las densidades de *O. rhinoceros* que hayan ocurrido en suelos con pH menores a 4.2 (ácido) comparado con aquellas áreas que eran menos ácidas (mayores a 4.2). Sin embargo, se pudo observar que el máximo número de *O. rhinoceros* era mucho más alto en suelo con el menor pH (Tabla 3).

Tabla 2. Relaciones entre las poblaciones de *O. rhinoceros* con el K y el Ph del suelo

Variable dependiente	Variable independiente	Coefficiente de regresión	F	Significación (prob>F)	R²
Total de individuos	K	0,195	6,80	0,010	0,051
	pH	-0,233	9,68	0,002	
Jóvenes	K	0,191	6,53	0,011	0,051
	pH	-0,235	9,81	0,002	
Jóvenes (1ª y 2ª crisálida)	K	0,173	5,31	0,022	0,046
	pH	-0,228	9,21	0,003	
Pupa	K	0,079	6,44	0,012	0,029
Adultos	K	0,025	4,02	0,046	0,019

Tabla 3. Relación entre el pH del suelo y la población de *O. rhinoceros*

pH del suelo	Tamaño de muestra (n)	Población media de <i>Oryctes</i> (individuos m ⁻²)	Población máxima de <i>Oryctes</i> (individuos m ⁻²)
<4,2	108	4,20 ^a	78
>4,2	79	1,97 ^a	17

Nota: Los valores en las mismas columnas con las mismas letras no son significativamente diferentes las unas de las otras de la prueba t de los estudiantes ($p > 0.05$)

Los nutrientes del suelo (N, P, Ca, Mg y C) no mostraron una relación directa con la población larval. Sin embargo, la densidad de las larvas mostró una correlación positiva con el K del suelo, sugiriendo un retorno más alto de K al suelo por parte de las astillas con más larvas.

La Tabla 4 muestra una comparación de los contenidos promedios de nutrientes del suelo entre las áreas con o sin larvas de *O. rhinoceros*. Las larvas de *O. rhinoceros* contribuyeron con más K y Mg al suelo, tal como lo muestran las altas concentraciones de K y Mg en el suelo debajo de las astillas de los troncos con larvas de *O. rhinoceros* ($p < 0.05$) comparado con aquellos que no las tenían. Los niveles de N, C y P en el suelo bajo las astillas con larvas de *O. rhinoceros* fueron muy similares a aquellos que no las tenían.

De igual modo, se encontró una relación significativamente positiva entre la precipitación media durante 14 días antes de la muestra y el número de larvas tempranas (primera y segunda crisálidas) (Figura 7).

Se observó la infección de *Metarhizium* una sola vez durante el transcurso de este trabajo, exactamente en marzo de 1997. Sin embargo, la infección en los bloques B y C fue baja, de 2,8 y 4,5% de las larvas muestreadas y 4,0 a 12,5% de las pupas, respectivamente (Tabla 5). El número promedio de colonias de *Metarhizium* tuvo una correlación negativa con la población de escarabajos adultos en las pilas de los troncos (Figura 8).

DISCUSIÓN

Uno de los factores que influenciaron la población en el campo del rhinoceros fue la altura de las plan-



Tabla 4. Contenido de nutrientes en el tronco de la palma, suelos bajo las astillas del tronco con y sin población de *O. rhinoceros*, adultos y bolitas fecales de *O. rhinoceros*

Nutriente	Valores promedios (%)					
	N	P	K	Ca	Mg	C
En troncos de palma (Khalid <i>et al.</i> , 1999)	0,56	0,05	1,62	0,31	0,150	Na
Bajo troncos picados y desmenuzados sin <i>O. rhinoceros</i>	0,24 ^a	0,007 ^a	0,11 ^a	0,06 ^a	0,035 ^a	2,69 ^a
Bajo troncos picados y desmenuzados con <i>O. rhinoceros</i>	0,25 ^a	0,007 ^a	0,16 ^b	0,07 ^a	0,056 ^b	3,20 ^a
En adultos de <i>O. rhinoceros</i>	8,93	0,08	0,29	0,03	0,179	93,34
En bolitas fecales de <i>O. rhinoceros</i>	1,57	0,17	2,09	0,47	0,42	Na

Notas: Los valores en las mismas columnas con las mismas letras (en la segunda y tercera fila) no son significativamente diferentes los unos de los otros de la prueba t de los estudiantes ($p > 0.05$)

Na: información no disponible

Tabla 5. Tasas de infección en *O. rhinoceros* por el número de colonias de *Metarhizium* en el suelo

Ubicación	Tasa de infección por <i>Metarhizium</i> (%)		Colonias promedio de <i>Metarhizium</i> en el suelo (CFU)
	Crisálida 3	Pupa	
Bloque B (Marzo 1997)	2,83	4,00	3,64
Bloque C (Marzo 1997)	4,55	12,50	9,87

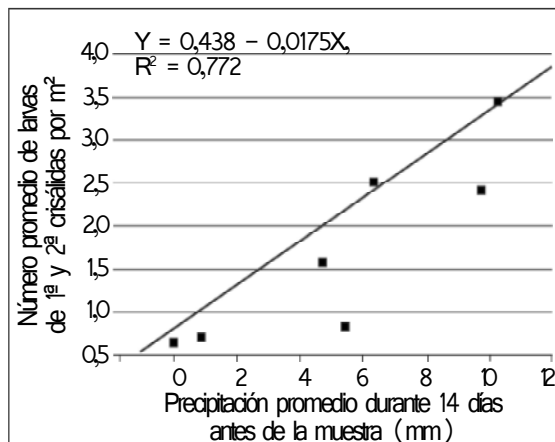


Figura 7. Relación entre la precipitación promedio durante 14 días antes del muestreo y la población de larvas crisálidas tempranas de *O. rhinoceros*.

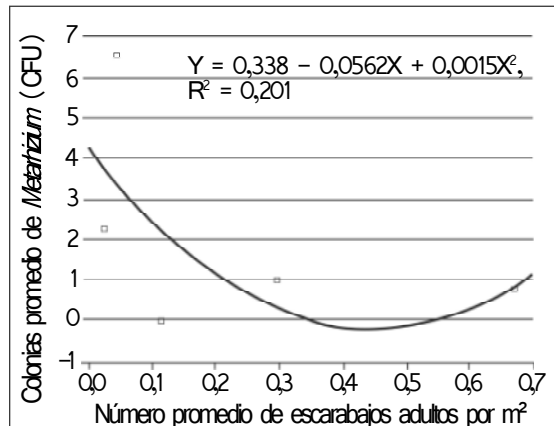


Figura 8. Relación entre el número de colonias de *Metarhizium* en el suelo y la población de *O. rhinoceros*.

tas de cobertura. Esto desempeña un papel muy importante en la determinación de la densidad poblacional de *O. Rhinoceros*, tal como lo demuestra el número de pupas, adultos y el total de individuos encontrados en las pilas de los troncos. El *O. rhinoceros* se detectó únicamente cuando la planta de cobertura era de menos de 70 centímetros de alto (Figura 5). Esto sustenta los hallazgos anteriores de Liew y Sulaiman (1993) de que una planta de

cobertura de más de 90 centímetros reducía la población de *O. rhinoceros*. En apariencia la planta de cobertura afecta al escarabajo en su búsqueda por sitios de reproducción. Las plantas de cobertura más altas o densas presentan un mayor impedimento para el escarabajo, tal como lo sugirió Word (1968). Sin embargo, a lo mejor no es el caso con una alta presión de inmigración de *O. rhinoceros* (Cheng, com. personal, 1997).

Aparte de servir de cobertura del suelo, el contenido de humedad de los tejidos del tronco en descomposición también desempeñan un papel muy importante en determinar la densidad poblacional de la plaga, en especial, para el desarrollo satisfactorio de las larvas de *O. rhinoceros* en los mismos. Se encontró mayor cantidad de larvas en niveles de humedad más altos, inclusive hasta en 80 a 100%. Al suponer que todos los adultos son nuevos emergentes, la relación del contenido de humedad con el número de adultos sugiere que las larvas necesitan un alto contenido de humedad de más de 77% para

el desarrollo satisfactorio de *O. rhinoceros* (Norman *et al.*, 2001). Esto también sustenta una observación anterior de Catley (1969) la que indica que el bajo contenido de humedad fue nefasto para las larvas. Un microclima seco y bajas condiciones nutricionales por lo general atrasaron el desarrollo de *O. rhinoceros* y esto resultó en una población de adultos más pequeños (Catley, 1969).

**Los productores
podrán manipular
el hábitat y su
microclima para
poder manejar
las plagas de
manera más
efectiva.**



Es muy probable que ocurra la conversión en pupas en la región semidescompuesta de las astillas del tronco, ya que gran parte de las pupas fueron encontradas en las áreas más suaves. Hinckley (1973) reportó este fenómeno, en el que el *O. rhinoceros* no puede reproducirse en los tejidos de plantas vivas ni puede desarrollarse bien en sustratos que son muy duros o están muy descompuestos. Se reportó únicamente la reproducción en materiales de planta en descomposición (Zelazny y Afler, 1991; Samsudin *et al.*, 1993). Sin embargo, estos autores no midieron la dureza de sus sustratos, la cual puede estar relacionada con su estado de descomposición. En este estudio, se desarrolló un dispositivo específica-

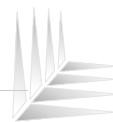
mente para medir la dureza de las astillas del tronco.

Se encontró una correlación positiva significativa entre la densidad larval y el K del suelo (Tabla 2). Debido a que las larvas fueron encontradas más que todo en los tejidos suaves, las astillas con más larvas tienden a descomponerse con más rapidez, así liberando más nutrientes del tronco al suelo. De manera interesante, se encontró que la concentración de Mg estaba alta en el suelo debajo de las astillas del tronco con un alto número de larvas (Tabla 4).

El tronco contenía una mayor cantidad de K de la que podía absorber el insecto, por tanto, gran parte fue excretada y devuelta al suelo de manera más rápida que mediante la descomposición normal del tejido. Esto estuvo de acuerdo con los hallazgos de laboratorio de que las bolitas fecales larvales tenían un alto contenido de K (Norman *et al.*, 2001). Sin embargo, el escarabajo adulto tiene una concentración mucho más alta de N (Tabla 4). Esto indica que N, siendo un bloque constructor para la proteína, es esencial para formar su dura estructura cuticular.

El pH del suelo afectó indirectamente la población de *O. rhinoceros*. Por lo general, las larvas de *O. rhinoceros* fueron encontradas en las astillas en descomposición ligeramente por encima del suelo. En los suelos ácidos se encontró mayor número de larvas (pH < 4.2) que en los suelos alcalinos (pH > 4.2) (Tabla 3). Un valor del pH de menos de 4.2 hubiera podido retrasar el crecimiento de los microbios en el suelo como el *Metarhizium*. Por ejemplo, un pH bajo (4.2) hubiera reducido la germinación del hongo del suelo, *Beauveria bassiana*, mientras que un pH (5.1 – 6.7) la hubiera aumentado (Grodén y Duna, 1996). Por tanto, se sugiere que los lotes con un pH > 4.2 tengan una mayor germinación de esporas de *Metarhizium*, causando una mortalidad más alta a las larvas y posteriormente reduciendo la población de *O. rhinoceros* en las astillas del tronco.

Un estudio anterior ha demostrado que es aconsejable la aplicación de cal para que el suelo se vuelva más alcalino y así poder controlar los abejorros (Lim, com. personal, 2000). Se ha sugerido también que los depósitos con alto contenido de cal también formen un repelente olfativo o táctil para las hembras, para inhibir la puesta de huevos en lugar de afectar las



larvas en el caso del escarabajo japonés o el abejorro europeo (Vittum y Tashiro, 1980). Por tanto, es también factible que el suelo con un pH alto repele a la hembra del *O. rhinoceros* inhibiendo así la puesta de huevos en el tronco.

El efecto del *Metarhizium* es mayor en la tercera crisálida larval (Ramle *et al.*, 1999). Esta crisálida tiene el periodo de desarrollo más largo y por tanto facilita una exposición más larga de la infección fangal. De igual modo, es evidente que la oportunidad de infección por medio del *Metarhizium* está relacionada con el número de colonias en el suelo. La infección ocurre principalmente en las etapas más tardías del desarrollo – en la tercera crisálida y etapas de pupa (Tabla 5) tal como lo observó Ramle *et al.* en el campo (1999). La correlación negativa entre el número de colonias de *Metarhizium* en el suelo y la población de escarabajos adultos en las astillas del tronco indican probablemente este fenómeno.

La precipitación tuvo un efecto directo sobre la reproducción de *O. rhinoceros*. Se presentó una correlación positiva significativamente alta ($p < 0.05$) entre la precipitación media durante los últimos 14 días y la población de larvas de primera y segunda crisálida (Figura 7). El hecho de tener estas crisálidas tempranas debe indicar que las actividades de reproducción son frecuentes durante la época de lluvias (Norman *et al.*, 2001).

Se recopilaron unos resultados similares de un estudio anterior (Norman *et al.*, 1999), en el cual se encontró al *O. rhinoceros* adulto volando activamente en la época húmeda, lo más probable es que buscaba afanosamente sitios para la reproducción. Bedford reportó en Nueva Bretaña (1975) que una baja precipitación nocturna aumentó las capturas en las trampas de los troncos de las palmas de coco, lo que indica que estos troncos actúan como un substrato de reproducción adecuado. La relación entre la precipitación y la fecundidad es a lo mejor un instinto de supervivencia del insecto, para asegurar el éxito y la supervivencia de la siguiente generación. El raspador de la hoja de la palma, *Coelonomodora minuta* también mostró una mayor fecundidad durante la época de lluvias (Mariau, 1999).

Con esta información disponible, los productores podrán manipular los microclimas dentro del hábitat de los escarabajos para que éste sea menos favorable para la reproducción de *O. rhinoceros*. Los troncos desmenuzados de la palma de aceite deben ser colocados en una sola capa que cubra las entre líneas. Esto facilitaría su secado, volviéndolos poco favorables como sitios de reproducción. Las coberturas de leguminosas deben ser sembradas con anterioridad tan pronto se inicie la resiembra, para así impedir la búsqueda afanosa de los adultos de sitios de reproducción. También se puede aumentar el *Metarhizium* durante la resiembra, por ejemplo, inoculando el suelo durante el proceso de picada. Se puede incorporar la cal al suelo durante la picada del tronco para inducir el crecimiento de los hongos para la infección temprana de la plaga o para impedir que los escarabajos hembras pongan huevos.

CONCLUSIÓN

Este estudio ha mostrado algunas relaciones significativas entre la población de *O. rhinoceros* con las características físicas y ambientales de su hábitat. La planta de cobertura influyó la densidad de *O. rhinoceros* en las pilas del tronco. El alto contenido de humedad en las astillas es esencial para la supervivencia y el desarrollo de *O. rhinoceros*. Se encontró una relación significativa entre la densidad media de la pupa y la dureza media de las astillas, lo que indica que la pupa se desarrolló en las astillas más suaves que ya estaban en descomposición. La población de larvas causó una descomposición más rápida de las astillas, liberando más K al suelo. El pH del suelo podría tener un efecto indirecto en la población de *O. rhinoceros*. Un pH más alto habría podido inducir el crecimiento de *Metarhizium*, causando una mayor mortalidad en las larvas. Por otro lado, la precipitación afectó directamente la reproducción de *O. rhinoceros*, tal como lo demuestra la alta correlación positiva entre la precipitación y la población de las primeras larvas crisálidas. Esta información es de gran utilidad para los productores en el manejo de sus campos, en especial, en la resiembra con cero quema, para que sea lo menos favorable posible para la reproducción de esta plaga.

RECONOCIMIENTOS

Los autores expresan su agradecimiento al Director General del MPOB por la autorización para publicar este estudio. También desean presentar sus agradecimientos al Dr. Zaidi Mohd Isa y al Dr. Maimon Abdullah de la Universiti Kebangsaan Malasia por su guía y apoyo y al Gerente de Teluk Merbau Estate, Sepang, Selangor por permitir realizar este estudio en dicha plantación.

Agradecimientos especiales al *staff* del MPOB, el cual ha contribuido con el presente estudio: al Sr. Abd

Razak Jelani por el desarrollo del probador de la dureza de la madera; al Sr. Ridzuan Ramli por las instalaciones en que se determinó el contenido de humedad en los troncos; al Dr. Idris Abu Seman por el préstamo del Shigómetro; al Hj Ahamad Tarmizi Mohammed, Dr. Zulfikri Hashim, Sta. Masnon Sarriá Mansor y al *staff* del Laboratorio de Análisis de Suelo, Agronomía y Sección de Fertilidad del Suelo por los análisis del suelo; al Sr. Norhassan Md Yob y al Sr. Mat Tahir Bond Ruziz del Laboratorio de Entomología 1 por las muestras en el campo y al *staff* del Laboratorio de Entomología 2 por el análisis microbiano.

BIBLIOGRAFÍA

- Alle, WC; Emerson, AE; Park, O; Park, T; Schmidt, KP. 1949. *Principles of Animal Ecology*. WB Saunders and Co. (Philadelphia). 704pp.
- Andrewartha, HG; Birch, LC. 1954. *The Distribution and Abundance of Animals*. Fifth edition. University of Chicago Press. 782pp.
- Catley, A. 1969. The coconut rhinoceros beetle *Oryctes rhinoceros* (L.) *PANS*, 15: 18–30.
- Chung, GF. 1997. Personal communication. Ebor Research, Sime Darby Plantations Berhad.
- Diniz, IR; Pinheiro, F. 2000. Patterns of insect abundance in the cerrado of Brasília and the effect of climate. Paper presented at the International Congress of Entomology, Brazil.
- Elek, L; Magura, T; Tóthmérész, B. 2000. Effects of non-native spruce plantation on Carabid beetles. Paper presented at the International Congress of Entomology, Brazil.
- Grodén, E; Dunn, t. 196. Germination, host infection and survival of *Beauveria bassiana* conidia in natural soils. *Proc. of the 3rd International Workshop on Microbial Control of Soil Dwelling Pests* (Jackson, TA; Glare, TR eds.). p.137–145.
- Hinckley, AD. 1973. Ecology of the coconut rhinoceros beetle, *Oryctes rhinoceros* (L.) (Coleoptera: Dynastinae). *Biotropica*, 5(2): 111–116.
- Khalid, H; Zin ZZ; Anderson, JM. 1999. Quantification of oil palm biomass and nutrient value in a mature plantation. II. Below-ground biomass. *J. Oil Palm Research* v.11 no.2: 63–71.
- Liew, VK; Sulaiman, A. 1993. *Penggunaan tanaman penutup bumi dalam kawalan pembiakan kumbang gadak (Oryctes rhinoceros) di kawasan penanaman semula-penemuan masaknya. Kemajuan Penyelidikan Bil.* 22 FELDA, Kuala Lumpur.
- Lim, GT. 2000. Personal communication. Tee The Sdn Bhd.
- Mariau, D. 1999. Knowledge of oil palm pests and population management. *Proc. of the PORIM International Palm Oil Congress – Agriculture Conference*. PORIM, Bangi. p.409–415.
- Mohan, KS; Pillai, GB; Pereira, JCR; Dinghra, OD; Chaves, GM. 1982. A selective medium for isolation of *Metarhizium anisopliae* from cattle dung. *Transactions of the British Mycological Society*, 78(1): 181–182.
- Nicholson, AJ. 1933. The balance of animal populations. *J. Animal Ecology*, 2: 132–178.
- Norman, HK; Zaidi, M; Maimon, A; Mohd Basri, W. 2001. Factor affecting development of *Oryctes rhinoceros* in some substrates commonly found in the oil palm environment. *J. Oil Palm Research* v.13 no.1: 64–74.
- Osmose Wood Preserving Company of America, Incorporated. 1980. *Operating Manual*. Buffalo, New York.
- Ramli, M; Mohd Basri, W; Norman, K; Sharma, M; Siti Ramli, AA. 1999. Impact of *Metarhizium anisopliae* (Deuteromycotina: Hyphomycetes) applied by wet and dry inoculum on oil palm rhinoceros beetles, *Oryctes rhinoceros* (Coleoptera: Scarabaeidae). *J. Oil Palm Research* v.11 no.2. 25–40.
- Samsudin, A; Chew, PS; Mohd, MM. 1993. *Oryctes rhinoceros*: breeding and damage on oil palm in an oil palm to oil palm replanting situation. *The Planter*, 69(813): 583–591.
- Schinner, F; Ohlinger, R; Kandeler, E; Margesin, R. 1996. *Methods in Soil Biology*. Springer Verlag, New York.
- Sigmastat V.2.0. 1992. *Statistical Analysis Programme*. Jandel Corporations.
- Smith, HS. 1935. The role of biotic factors in the determination of population densities. *J. Economic Entomology*, 28: 873–898.
- Vittum, PJ; Tashiro, H. 1980. Effect of soil pH on survival of Japanese beetle and European Chafer larvae. *J. Economic Entomology*, 73: 577–579.
- Wood, BJ. 1968. Studies on the effect of ground vegetation on infestations of *Oryctes rhinoceros* (L.) (Col., Dynastidae) in young oil palm replantings in Malaysia. *Bulletin of Entomological Research*, 59: 85–96.
- Zelezny, B and Alfier, A R (1991). Ecology of baculovirus infected and healthy adults of *Oryctes rhinoceros* (coleoptera: Scarabaeidae) on coconut palms in the Philippines. *Ecological Entomology*, 16(2):253–259