

RESISTENCIA NATURAL DE MADERAS DE DIEZ ESPECIES FORESTALES AL ATAQUE DE TERMITES ⁽¹⁾

Por: Mario Loayza Villegas ⁽²⁾

RESUMEN

Bloques de madera de diez especies forestales fueron probados en cuanto a su resistencia al ataque de *Cryptotermes brevis* Walker y *Nasutitermes corniger* Motschulski, mediante ensayos de selectividad alimenticia y alimentación obligada y se probó la repelencia del aserrín húmedo de estas maderas al segundo de los termitos nombrados.

Los registros promedio de pérdidas de peso en las muestras de madera fueron analizados por la prueba de Duncan, aplicada a un nivel de significación de 5 por ciento. Los valores arco seno de los porcentajes de sobrevivencia de *C. brevis*, en la prueba de alimentación forzada y de *N. corniger*, en la prueba de repelencia del aserrín, se analizaron en forma similar. Con el fin de corregir errores provocados por la lixiviación de extractivos en el substrato húmedo, en las pruebas de selectividad y alimentación forzada de éste último, se hizo una evaluación visual de daños en los bloques de madera utilizados.

Los resultados obtenidos en estas evaluaciones permitieron la clasificación de la resistencia relativa de las especies investigadas, en el siguiente orden, siendo la primera la más resistente y la última la menos resistente. (Ver lista en el resumen en inglés).

SUMMARY

Blocks of wood (2,5 x 1,5 x 1,5 cm.) of ten forest species were exposed to feeding selection and, obligatory feeding trials with *Cryptotermes brevis* Walker and *Nasutitermes corniger* Motsch., and the repellency of humid sawdust of each of these forest species was tested with the later termite species.

A randomized complete block design with three repetitions was used for each test.

The average loss of weight of the samples was analyzed by the Duncan multiple range test at a significance level of 5 per cent. Similarly, the arc sine of the per cent survival of *C. brevis* in the forced feeding test and of *N. corniger* in the sawdust repellency test were analyzed with the Duncan test. In order to correct the errors derived from the leaching of wood extractives into the humid substrate in the feeding selection and forced feeding tests, a visual evaluation was made, as well, of the damage in the blocks of wood used.

The results obtained from these tests permitted the classification of the relative resistance of the tested species, with the following results:

¹ Presentado para su publicación en Marzo de 1982.

² Bachiller en Ciencias Agronomía. Magister Scientiae en Ciencias Agrícolas. Sub Director de Programación en la Dirección General Forestal y de Fauna.

Resistance to *Cryptotermes brevis*:
Cedrela odorata
Juglans olanchana
Cordia alliodora (*)
Terminalia ivorensis(*)
Gmelina arborea
Acrocarpus fraxinifolius
Pinus caribaea
Cupressus lusitanica
Araucaria cunninghamii
Eucalyptus deglupta

Resistance to *Nasutitermes corniger*:
Cedrela Odorata
Gmelina arborea
Juglans olanchana
Araucaria cunninghamii
Acrocarpus fraxinifolius
Cupressus lusitanica
Cordia alliodora
Pinus caribaea (*)
Terminalia ivorensis
Eucalyptus deglupta

(*) Equally resistant. (Igualmente resistentes)

INTRODUCCIÓN

La actividad de los termites, comejenes o termitas sobre las plantaciones, las estructuras y todo tipo de materiales de madera útiles al hombre, ocasionan un gran impacto en la economía de todos los países en que ocurren. Sus perjuicios son especialmente importantes en las regiones tropicales, donde se conocen casi 2,000 especies de termitas que en su mayoría son voraces consumidores de maderas.

A pesar de la gran importancia de los termites para América tropical, poca atención ha merecido su estudio en estos países, no obstante el gran impulso que se da actualmente a los programas de reforestación y uso integral de las maderas de bosques naturales.

El presente trabajo se efectuó con el objetivo de determinar grados de susceptibilidad al ataque de termitas de maderas que son de gran interés para la región tropical americana. Mediante técnicas de laboratorio que evaluaron la selectividad alimenticia, el consumo y la sobrevivencia de los insectos, y los efectos de repelencia de las maderas, se estudió el comportamiento de *Cryptotermes brevis* Walker y *Nasutitermes corniger* Motschulski y la resistencia natural de las maderas de diez especies forestales.

Los resultados obtenidos pueden servir de fundamento para la adopción de estas técnicas, que requieren de cortos períodos de experimentación en la evaluación de la resistencia natural de las maderas o la eficacia de algún tratamiento preservativo.

REVISIÓN DE LITERATURA

Muchos autores (4, 8, 9, 10, 11) coinciden en calificar a las termitas como los principales destructores de madera, enfatizando el mayor impacto de su acción en países de las regiones tropicales. Estos insectos, cuyos individuos están diferenciados morfológica y funcionalmente en castas, integran una unidad altamente organizada: la colonia, conformada por reproductores funcionales, obreras o pseudergatas, soldados, individuos inmaduros y huevos (13). En esta comunidad, la fisiología digestiva se caracteriza por continuos intercambios de nutrientes entre los individuos (trofalaxia) y por la necesaria colaboración de microorganismos simbióticos para la digestión de la celulosa (16).

El proceso digestivo es bastante complicado desde el punto de vista biológico (4). Se inicia cuando las pseudergatas u obreras mordisquean pequeños trozos de madera, que pasan sucesivamente por el

intestino anterior y el intestino medio hasta llegar; al intestino posterior en donde están localizados los microorganismos simbióticos (12). Las amilasas del intestino anterior y las proteasas del intestino medio, enzimas producidas por el termes, digieren los almidones y las proteínas de la madera (22). En cambio, las celulosas y hemicelulosas son digeridas en el endoplasma de los protozoarios flagelados simbióticos (12).

Las pocas investigaciones disponibles indican que los termites asimilan una proporción muy importante de la madera que ellos ingieren (16). Aproximadamente el 90 por ciento de los carbohidratos pueden desaparecer durante la digestión y una cantidad muy pequeña de lignina puede ser asimilada, probablemente por bacterias intestinales (4).

No obstante que las termites son conocidas por utilizar más intensamente la madera, en relación a otros insectos, la selectividad alimenticia y su nutrición aún no son claramente entendidos (20). En las maderas, conjuntamente con las sustancias nutritivas, se encuentran una serie de sustancias químicas, productos de secreción y extractivos que actúan como conservantes naturales y determinan que unas maderas sean más resistentes que otras (14). Becker (7), citando a Rudman y Gay, sostiene que estos investigadores encontraron que ciertas sustancias presentes en extractivos de maderas, previenen contra el ataque de *Nasutitermes exitiosus*. Menciona asimismo que se comprobó que la repelencia o toxicidad de extractivos de maderas tropicales se diferencia marcadamente según la especie de termes que se trata.

Wolcott (24) informa que muestras de *Delonix regia*, una madera muy susceptible al ataque de *Cryptotermes brevis*, tratadas con una solución al 0.01 por ciento de pinosylvin (extractivo de *Pinus sylvestris*), se tornaron tóxicas y repelentes por 565 días al ataque de este insecto. Asimismo, refiere que una muestra de madera del arbusto *Ryana speciosa*, colocada conjuntamente con muestras de otras maderas en una caja de Petri, no sólo se comportaba como un eficaz repelente a *C. brevis*, sino que a los pocos días mataba todos los individuos presentes.

Smythe y Carter (20, 21) encontraron que bloques de *Pinus elliotii* y *P. taeda*, permitían altos porcentajes de sobrevivencia de *Coptotermes formosanus*, *Reticulitermes flavipes* y *R. virginicus*, mientras que el aserrín de estas maderas era altamente tóxico. Estos autores presumían una mayor concentración de compuestos tóxicos relativamente volátiles, que dejaban sentir su acción en forma más violenta en el aserrín fresco, debido a la mayor superficie de volatilización que éste presentaba en relación a la muestra en forma de bloque.

Sem Sarma y Chatterjee (17) trabajando con *Neotermes bosei*, notaron que los termes evitaban todo contacto con muestras frescas de *Cedrus deodara*, mientras que, secadas al horno, eran rápidamente atacadas. Atribuyeron este comportamiento de los insectos a la presencia de sustancias químicas de naturaleza volátil que actuaban como repelentes.

Behr *et al* (7), al comparar diversas maderas al ataque de *Reticulitermes flavipes*, encontraron que el grado de dureza y el peso específico de las maderas estaban correlacionados con los porcentajes de pérdidas de peso, siendo más resistentes las maderas más duras.

En una misma especie, es notoria la mayor duración del duramen que la albura (14) como lo demuestran los trabajos de Wolcott (23) con *Cryptotermes brevis*, de Sem Sarma *et al* (18) con *Microcerotermes beelsoni* y de Smythe y Carter (19,20) con *Reticulitermes flavipes*. Se explica la mayor susceptibilidad de la albura por su mayor contenido de celulosa y menor cantidad de lignina en relación al duramen (23).

Ciertos hongos que infestan la madera producen materiales atractivos a los termes y/o estimulantes alimenticios (3). Becker y Lenz (6) confirmaron la absoluta preferencia de cinco especies de

Rhinotermitidae a maderas infectadas con nueve especies de hongos de la pudrición marrón. En otro estudio (5), probaron que *Heterotermes indicola* incrementaba su actividad alimenticia y constructiva bajo el estímulo de micelios (no accesibles al termes) de diferentes hongos.

MATERIALES Y MÉTODOS

Este estudio se llevó a cabo en el Laboratorio Entomológico del Programa de Recursos Naturales Renovables del Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza-CATIE, en Turrialba, Costa Rica.

Las especies de termites utilizadas, *Cryptotermes brevis* Walker (Fam. Kalotermitidae) y *Nasutitermes corniger* Motschulski (Fam. Termitidae) fueron identificados en el Departamento de Entomología del Museo Británico de Historia Natural.

Las especies se seleccionaron después de evaluar la importancia económica de los daños, el grado de infestación y amplitud de hospedadores de algunos termites de Turrialba. Se eligió a *C. brevis* por la evidencia de sus daños en edificaciones y maderas en uso. A *N. corniger* por su notoriedad sobre plantaciones (*Acrocarpus fraxinifolius*, *Grevillea robusta* y *Cedrela odorata* aunque ésta debilitada por ataques severos de *Hypsiphyla grandella* Zeller), postes y edificaciones.

Los individuos de *C. brevis* se extrajeron de madera seca naturalmente infestada que fue recolectada de edificaciones. Los de *N. corniger* de un nido localizado en un tocón de cedro rosado (*Acrocarpus fraxinifolius*). Parte del nido se llevó al laboratorio en caja de cartón acondicionada con papel de filtro húmedo.

Las maderas se dividieron con martillo y cincel, sacudiéndose los listones sobre una superficie lisa. El nido fue sacudido de igual forma. Las pseudergatas de buen desarrollo de *C. brevis* y las obreras de *N. corniger* se recogieron con pincel húmedo.

Las especies forestales seleccionadas son mostradas en el Cuadro 1. Estas están consideradas como las más promisorias del Programa de Recursos Naturales Renovables del CATIE.

CUADRO 1: Especies forestales utilizadas

Familia	Especie	Nombre común
Araucariaceae	<i>Araucaria cunninghamii</i> Sweet	Araucaria
Cupressaceae	<i>Cupresus lusitanica</i> Mill.	Ciprés
Pinaceae	<i>Pinus caribaea</i> Morelet	Pino
Leguminosaceae	<i>Acrocarpus fraxinifolius</i> Wight.	Cedro rosado
Verbenaceae	<i>Gmelina arborea</i> Roxb.	Melina
Combretaceae	<i>Terminalia ivorensis</i> A. Chev.	Terminalia
Meliaceae	<i>Cedrela odorata</i> L.	Cedro
Myrtaceae	<i>Eucalyptus deglupta</i> Blume	Eucalipto
Boraginaceae	<i>Cordia alliodora</i> (R.& P) Cham.	Laurel
Juglandaceae	<i>Juglans olanchana</i> Standl. & Will.	Nogal

Después de diez días de tumbados los árboles, se aserraron tablas de 2 cm. de espesor, utilizándose el duramen de la sección del árbol comprendida entre 0.50 y 1.10 m., medido desde la superficie del suelo. Las tablas se secaron al horno por tres días consecutivos, un día para cada una de las siguientes temperaturas. 40, 50 y 60° C. De ellas se prepararon bloques de 1.5 x 1.5 x 2.5 cm., con la mayor dimensión paralela a la fibra. Se pulieron para detectar los daños más leves y se desecaron a la estufa a 105° C durante 24 horas. Después de enfriados en una campana desecadora con silica gel azul, se pesaron con precisión de 0.0001 g. El aserrín para ensayos de repelencia se produjo con una motosierra.

Los ensayos se realizaron en una cámara medio-ambiental a temperatura constante de 28° C (+ 2°C). Para elevar la humedad relativa y mantenerla constante se preparó una solución sobresaturada de sulfato de potasio en la cubeta de 48 litros instalada en la parte inferior de la cámara.

Prueba 1: Selectividad alimenticia de *Cryptotermes brevis* Walker

Los bloques de madera se ordenaron al azar en cajas de Petri de 15 cm. de diámetro y 2 cm. de altura y se añadieron 100 pseudergates. Los recipientes permanecieron en la cámara durante 28 días y fueron examinados diariamente con el fin de extraer los individuos muertos. El consumo en cada bloque se determinó por diferencia entre los pesos secos inicial y final.

Prueba 2: Respuesta alimenticia y sobrevivencia de *Cryptotermes brevis*.

Una muestra de madera de cada una de las especies ensayadas se colocó en sendas cajas de Petri de 10 cm. de diámetro, conjuntamente con 50 pseudergates del insecto. Después de cuatro semanas se contaron los individuos vivos con el objeto de expresar el porcentaje de sobrevivencia en cada muestra. El consumo se evaluó por diferencia de pesos secos inicial y final de las muestras.

Prueba 3: Selectividad alimenticia de *Nasutitermes corniger*

En recipientes de vidrio de 15 cm. de diámetro y 6 cm. de altura se agregó 273 gr. de arena seca que se humedeció con 54.6 ml. de agua destilada. Los bloques de madera colocados al azar en la periferia fueron presionados levemente sobre la área húmeda. Se añadieron 1,000 obreras de *N. corniger* y se mantuvo el recipiente durante cuatro semanas en la cámara de pruebas. El consumo en cada bloque se determinó por diferencia entre los pesos secos inicial y final.

Prueba 4: Respuesta alimenticia y sobrevivencia de *Nasutitermes corniger*.

Se utilizaron recipientes de vidrio de 160 ml. de capacidad conteniendo 45.5 g. de arena humedecida con 13.7 ml. de agua destilada y una muestra de madera semi-enterrada. Se añadieron a cada uno de los recipientes 200 obreras del insecto y se cubrieron con platos de Petri.

Los recipientes se inspeccionaron diariamente con el fin de evitar fugas y para registrar el tiempo máximo de sobrevivencia de los termites. Al término del ensayo se registró el número de especímenes vivos y se evaluó el consumo en forma similar a lo expuesto en pruebas anteriores.

Prueba 5: Comportamiento y sobrevivencia de *Nasutitermes corniger* en aserrín

En cajas de Petri de 10 cm. de diámetro se colocó 2 g. de aserrín humedecido con agua destilada, extendiéndose sobre la mitad del recipiente. En la mitad libre se colocaron 20 obreras de *N. corniger*. Estas cajas se mantuvieron en la cámara de pruebas durante dos semanas, tiempo en el cual se hicieron observaciones ínter diarias.

El diseño experimental utilizado fue el de bloques completos al azar, con tres repeticiones para cada prueba. Los registros promedio de pérdidas de peso en las muestras de madera, fueron analizados por la prueba de Duncan, aplicada a un nivel de significación del 5 por ciento. Los valores arco seno de los porcentajes de sobrevivencia de *C. brevis*, en la prueba 2 de alimentación forzada y de *N. corniger*, en la prueba 5 de repelencia del aserrín, se analizaron en forma similar. Se efectuó una evaluación cualitativa de los daños ocasionados por *N. corniger* a los bloques de madera probados, debido a que se observó pérdidas de peso por lixiviación de extractivos en la arena húmeda de los recipientes.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

a) Resistencia natural de las maderas al ataque de *Cryptotermes brevis* Walker.

Los cuadros 2 y 3 expresan los resultados de las pruebas con *Cryptotermes brevis* Walker. Ambos muestran las comparaciones múltiples entre promedios de consumo por la prueba de Duncan y el Cuadro 3 además, las comparaciones de los porcentajes de sobrevivencia.

Una regresión lineal (Fig. 1) mide el grado de dependencia entre el número de termitas sobrevivientes y el consumo de madera en miligramos. El grado de asociación entre estas variables resultó sumamente estrecho como lo demuestra el alto valor del coeficiente de correlación ($r = 0.9416$). La ecuación de regresión muestra que cuando los termitas no se alimentan del material ($x = 0$), la sobrevivencia a los 28 días es de aproximadamente 19 por ciento ($y = 9.6919$). La proyección de la sobrevivencia al 100 por ciento ($y = 50$) muestra un consumo aproximado de 260 mg. de madera, de lo que se deduce que cada termita consume aproximadamente 5.2 mg. en este período.

En la prueba de selectividad alimenticia (Cuadro 2), las muestras de *Cedrela odorata*, *Junglans olanchana* y *Terminalia ivorensis* no sufrieron el más mínimo daño, lo que hace presumir la presencia de sustancias de efectos repelentes al insecto. En la prueba 2, al forzar la alimentación del termita en estas maderas, se registraron promedios de sobrevivencia sumamente bajos (Cuadro 3), de tal manera que la resistencia de estas especies puede ser atribuida a la acción combinada de sustancias repelentes y tóxicas. Debido a que la muerte de los protozoarios simbióticos, que se responsabilizan de la digestión de la celulosa, ocasionaría la muerte de sus hospedadores por inanición, no es posible definir sobre cuál de estos organismos se verifica la acción tóxica de esas sustancias.

Debido a que los termitas son incapaces de digerir la lignina, se ha sugerido que la resistencia del cedro en pruebas de selectividad se debía al alto contenido de este componente en el duramen (42,6 por ciento) (23). Asimismo, se ha mencionado al cadineno como componente tóxico de la madera de esta especie (23). La línea de regresión de la Fig. 1 muestra que a porcentajes de sobrevivencia menores a 18 no se produce consumo, lo que implica que el insecto prefiere morir de hambre antes que alimentarse de la muestra de cedro. De ello se deduce que la durabilidad natural de esta especie es consecuencia primordial de sustancias repelentes eficaces y que el alto contenido de lignina y la toxicidad de la madera son factores de resistencia involucrados en un orden de importancia secundaria.

Wolcott (25), uno de los pocos investigadores que establecieron preferencias alimenticias de *C. brevis* en maderas económicamente importantes de América tropical, clasificó 286 especies, de las que sólo tres son comunes a nuestro estudio: cedro, *Cedrela odorata*, laurel, *Cordia alliodora* y *Terminalia ivorensis*. En esa clasificación el cedro y el laurel fueron considerados como resistentes y la terminalia como susceptible. Los resultados de nuestros experimentos no muestran diferencias significativas entre las dos últimas especies, indicando que ambas son igualmente susceptibles. Presumimos que la pérdida de resistencia del laurel sea el efecto de variaciones en la naturaleza y

distribución de los extractivos y otras sustancias del duramen del árbol (14). Estas variaciones se dan entre partes de un mismo árbol y entre árboles de una misma especie; por diferencias del tiempo transcurrido entre el corte del árbol y el inicio de la prueba y por diferencias en la edad de los árboles al momento de cortarse (2). En la clasificación referida, *Juglans olanchana* podría ser incluida en la categoría de maderas resistentes, dado a que resultó más resistente que el laurel y a que sólo en promedios de sobrevivencia se encontró diferencias con el cedro. Las especies menos resistentes que terminalia podrían incluirse en la categoría de maderas muy susceptibles.

CUADRO 2

Consumo de *Cryptotermes brevis* Walker, en maderas de diez especies forestales y prueba de selectividad alimenticia. Período de prueba: 28 días

Especies	Consumo promedio (mg)*
<i>Cedrela odorata</i>	0.0 a
<i>Juglans olanchana</i>	0.0 a
<i>Terminalia ivorensis</i>	0.0 a
<i>Gmelina arborea</i>	9.7 a
<i>Pinus caribaea</i>	10.7 a
<i>Cordia alliodora</i>	27.7 a
<i>Acrocarpus fraxinifolius</i>	31.7 ab
<i>Cupresus lusitanica</i>	48.0 ab
<i>Araucaria cunninghamii</i>	82.3 bc
<i>Eucalyptus deglupta</i>	113.7 c

(*) Los promedios de consumo clasificados con una misma letra, no difieren significativamente al nivel del 5 por ciento

CUADRO 3

Consumo y sobrevivencia de *Cryptotermes brevis* Walker, en maderas de diez especies forestales y prueba de alimentación obligada. Período de prueba: 28 días

Especies	Consumo promedio (mg)	Especies	Sobrevivencia promedio (%)
<i>Cedrela odorata</i>	4.3 a**	<i>Cedrela odorata</i>	17.3 a**
<i>Juglans olanchana</i>	12.3 a	<i>Juglans olanchana</i>	24.7 ab
<i>Terminalia ivorensis</i>	17.0 a	<i>Cordia alliodora</i>	30.7 abc
<i>Cordia alliodora</i>	44.0 a	<i>Terminalia ivorensis</i>	32.0 abc
<i>Gmelina arborea</i>	46.3 ab	<i>Gmelina arborea</i>	37.3 abc
<i>Acrocarpus fraxinifolius</i>	62.0 abc	<i>Acrocarpus fraxinifolius</i>	38.7 abc
<i>Pinus caribaea</i>	108.3 bc	<i>Eucalyptus deglupta</i>	50.7 bc
<i>Araucaria cunninghamii</i>	110.7 c	<i>Araucaria cunninghamii</i>	52.0 bc
<i>Eucalyptus deglupta</i>	111.0 c	<i>Cupresus lusitanica</i>	52.7 c
<i>Cupresus lusitanica</i>	122.0 c	<i>Pinus caribaea</i>	55.3 c

(*) Para mejor interpretación de los resultados se presenta promedios de porcentajes de sobrevivencia, pese a que el análisis se efectuó con los valores arco seno de los mismos.

(**) Los promedios de consumo y sobrevivencia clasificados con una misma letra no difieren significativamente al nivel del 5 por ciento.

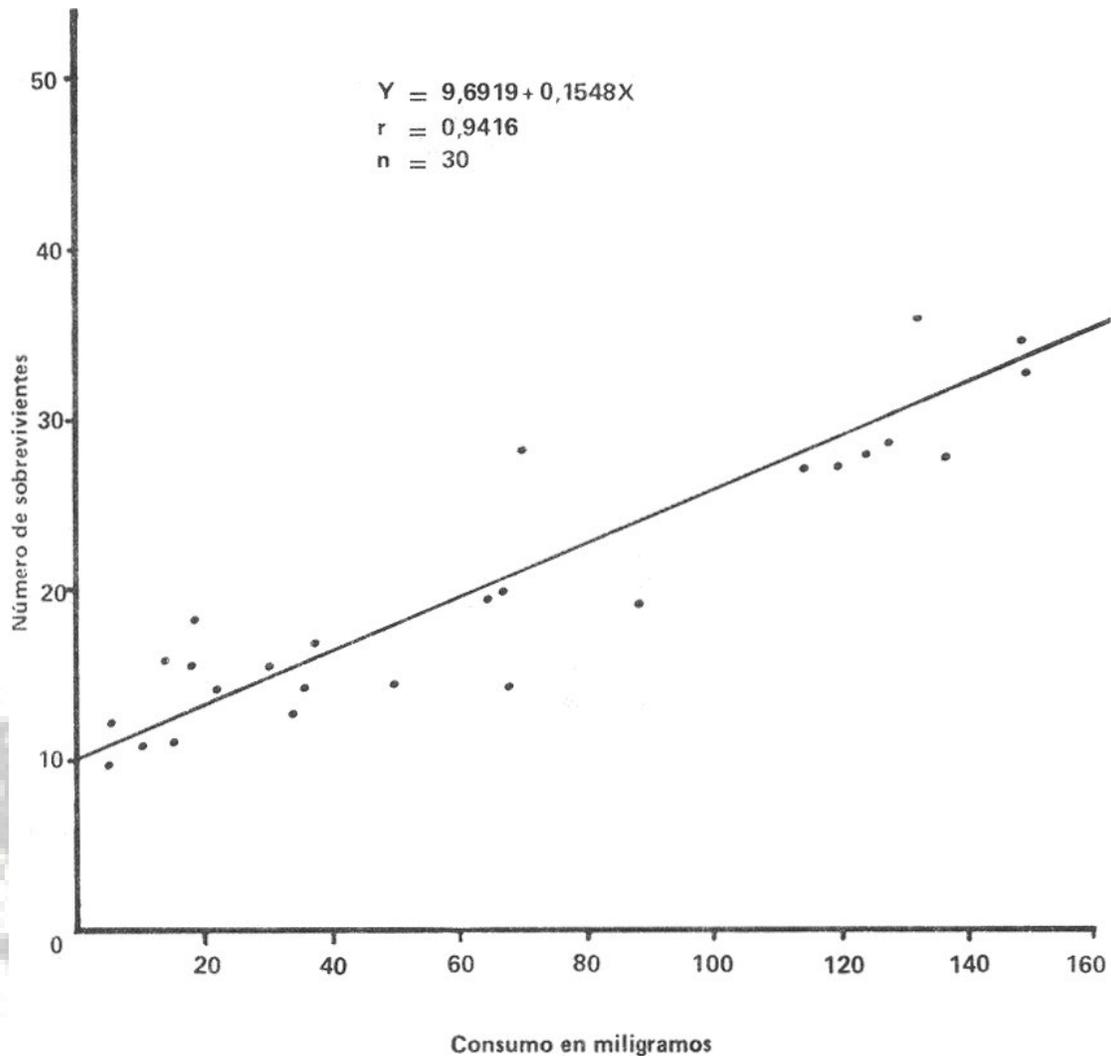


Figura 1.- Línea de regresión del número de sobrevivientes de *Cryptotermes brevis* Walter en función del consumo en diez especies forestales

Al relacionar el consumo expresado en miligramos de peso de madera perdidos durante 28 días, con el número de sobrevivientes en este período, los datos revelaron una alta correlación entre estas variables ($r = 0.9416$). Esto está de acuerdo con Smythe y Carter (19) quienes reportaron que la mortalidad de *Reticulitermes flavipes*, en nueve especies de maderas, fue inversamente proporcional a la cantidad de madera destruida. En esta relación se encontró que un solo termita consumía en 28 días 5,2 mg. de madera; valor dos veces más alto que el reportado para *R. flavipes* (19) y que demuestra las grandes repercusiones económicas de su acción sobre maderas que no tienen resistencia natural.

En la prueba de selectividad alimenticia, que se inició con 100 termitas, el consumo promedio total fue de 323 mg, mientras que en la prueba de alimentación forzada, iniciada con 50 termitas en cada recipiente, la suma de los dos promedios de consumo más altos alcanzó sólo 233 mg. Estos cálculos y la línea de regresión evidencian que existe mejores condiciones de sobrevivencia cuando los termitas tienen la oportunidad de seleccionar el material que mejor les satisface. Es posible que el denominado "efecto de grupo" (15) haya permitido una mayor eficiencia del consumo, mayor longevidad y vigor de los individuos de la prueba que se inició con 100 termitas.

La diferencia más notable entre las dos pruebas se da con *Pinus caribaea* y *Cupressus lusitanica*. En cuanto a selectividad muestran resistencia y en alimentación forzada prácticamente no ofrecen ninguna resistencia al insecto. Estos resultados contradictorios, ponen de manifiesto que la selectividad y nutrición de las termitas son susceptibles de variación según el método usado para probar la resistencia de las maderas al ataque de estos insectos (2).

b) Resistencia natural de las maderas al ataque de *Nasutitermes corniger* Motschulski.

Los cuadros 4 y 5 muestran las comparaciones de los promedios de consumo por la prueba de Duncan, correspondiente a los ensayos con *N. corniger* sobre bloques de madera. Debido a que la pérdida de peso de las muestras en estas pruebas estuvo sujeta a errores por lixiviación de extractivos en la arena húmeda, se hizo una evaluación visual de daños (Cuadro 6) aplicando los siguientes niveles visuales de resistencia relativa:

- 5 - Sin daños
- 4 - Roeduras leves
- 3 - Roeduras en forma de surcos superficiales
- 2 - Varios surcos superficiales
- 1 - Surcos profundos
- 0 - Muchos surcos profundos.

El comportamiento del insecto en presencia de aserrín húmedo permite clasificar las especies forestales utilizadas, según el Cuadro 7.

El Cuadro 8 muestra las comparaciones de los porcentajes de sobrevivencia (Valores arco seno) en la prueba de repelencia del aserrín.

Es importante dejar bien establecido que la ubicación del nogal en los cuadros 4 y 5 no responde a una preferencia alimenticia sino que es consecuencia de una fuerte lixiviación de sustancias de esta madera por la humedad. Las observaciones efectuadas en el transcurso del experimento, permiten afirmar que el nogal fue una madera repelente sobre la cual no transitaban los insectos y hacia la que no construyeron galerías de comunicación con la estructura principal de cobertura. Otra observación importante fue la presencia del hongo *Trichoderma* spp. sobre las muestras de esta especie después de 7 días de iniciado el experimento. Debido a la repelencia de las muestras, las termitas no la cubrieron con arena húmeda y en consecuencia éstas quedaron expuestas al ataque del ampliamente difundido *Trichoderma*.

CUADRO 4

Consumo promedio de *Nasutitermes corniger* Motsch., en maderas de diez especies forestales y prueba de selectividad alimenticia. Período de prueba: 28

Especies	Consumo promedio en m⁹	
<i>Cedrela odorata</i>	58.0	a*
<i>Gmelina arborea</i>	83.7	ab
<i>Araucaria cunninghamii</i>	114.0	abc
<i>Cordia alliodora</i>	148.0	bc
<i>A. crocarpus fraxinifolius</i>	150.0	bc
<i>Pinus caribaea</i>	177.7	cd
<i>Cupressus lusitanica</i>	184.7	cd
<i>Terminalia ivorensis</i>	236.0	de
<i>juglans olanchana</i>	271.7	e
<i>Eucalyptus déglupta</i>	1360.70	f

(*) Los promedios de consumo clasificados con una misma letra no difieren significativamente al nivel del 5 por ciento.

CUADRO 5

Consumo promedio de *Nasutitermes corniger* Motsch., en maderas de diez especies forestales y prueba de alimentacion obligada. Período de prueba: 28

Especies	Consumo promedio en m⁹	
<i>Gmelina arborea</i>		a*
<i>Cedrela odorata</i>	607	a
<i>Cupressus lusitanica</i>	693	a
<i>Araucaria cunninghamii</i>	1277	ab
<i>A. crocarpus fraxinifolius</i>	1407	ab
<i>juglans olanchana</i>	1663	b
<i>Pinus caribaea</i>	1883	b
<i>Cordia alliodora</i>	1977	b
<i>Terminalia ivorensis</i>	3357	c
<i>Eucalyptus deglupta</i>	3993	c

(*) Los promedios de consumo clasificados con una misma letra no difieren significativamente al nivel del 5 por ciento.

CUADRO 6

Evaluación visual de daños en muestras de madera probadas al ataque de *Nasutitermes corniger* Motsch.*

Especies	Selectividad alimenticia	Alimentación obligada
<i>Juglans olanchana</i>	5	5
<i>Cordia alliodora</i>	5	1
<i>Cedrela odorata</i>	4	4
<i>Gmelina arborea</i>	4	4
<i>Araucaria cunninghamii</i>	4	3
<i>Pinus caribaea</i>	4	2
<i>Terminalia ivorensis</i>	3	3
<i>Cupressus lusitanica</i>	2	3
<i>Acrocarpus fraxinifolius</i>	2	2
<i>Eucalyptus deglupta</i>	0	0

(*) El número mayor corresponde a la mayor resistencia de la madera.

CUADRO 7**Clasificación de la repelencia del aserrín de diez especies forestales a *Nasutitermes corniger* Motschulski**

Aserrín	Especie
Repelente y tóxico	<i>Terminalia ivorensis</i>
	<i>Juglans olanchana</i>
Tóxico y no repelente	<i>Cedrela odorata</i>
Repelente y no tóxico	<i>Cordia alliodora</i>
Repelencia y toxicidad	<i>Acrocarpus fraxinifolius</i>
Intermedias	<i>Pinus caribaea</i>
	<i>Araucaria cunninghamii</i>
	<i>Cupressus lusitanica</i>
No repelente ni tóxico	<i>Gmelina arborea</i>
	<i>Eucalyptus deglupta</i>

La elección de *N. corniger* como termita de prueba se decidió debido a la importancia de sus daños en maderas utilizadas en estructuras, postes de cercas, en plantaciones forestales y cultivos de caña de azúcar en Turrialba, Costa Rica. Estas observaciones confirman lo ya referido por Dietz y Snyder, citados por Araujo (1), y Harris (11), en el sentido de que es un insecto de gran importancia económica para Centro América y Panamá.

Durante los ensayos se observó que la termita evitaba todo contacto con las muestras de madera o aserrín de *Juglans olanchana*, lo que hace evidente que su resistencia natural esté determinada por la presencia de sustancias químicas de eficaz acción repelente. Estas sustancias aparentemente se encuentran en forma abundante en el duramen de esta especie, e hicieron sentir su acción tanto en el aserrín húmedo como en los bloques de madera que fueron sometidos a desecación previa a temperatura de estufa.

El cedro, *Cedrela odorata*, fue la madera más resistente. Esta resistencia se manifestó en forma sumamente tóxica en la prueba de repelencia del aserrín. No ocurrió así en las pruebas con los bloques de madera. Parece ser que la mayor área superficial relativa del aserrín permitió una más alta concentración de los compuestos tóxicos volátiles en los recipientes de prueba. En este caso, dado el corto tiempo que sobrevivieron las termitas, puede afirmarse que estas sustancias fueron directamente tóxicas al insecto.

CUADRO 8**Sobrevivencia de *Nasutitermes corniger* Mots., en aserrín de diez especies forestales y prueba de repelencia. Período de prueba: 14 días**

Especie	Promedios de sobrevivencia en % (*)
<i>Cedrela odorata</i>	0.0 a (**)
<i>Terminalia ivorensis</i>	0.0 a
<i>Juglans olanchana</i>	0.0 a
<i>Acrocarpus fraxinifolius</i>	8.3 b
<i>Pinus caribaea</i>	15.0 bc
<i>Cupressus lusitanica</i>	25.0 cd
<i>Araucaria cunninghamii</i>	25.0 cd
<i>Cordia alliodora</i>	31.7 cd
<i>Gmelina arborea</i>	36.7 d
<i>Eucalyptus deglupta</i>	71.7 e

(*) Para mejor interpretación de los resultados se presenta promedios de porcentaje de sobrevivencia, pese a que el análisis se efectuó con los valores arco seno de los mismos.

(**) Los promedios de sobrevivencia clasificados con una misma letra no difieren significativamente al nivel del 5 por ciento.

Con *Gmelina arborea* ocurrió una contradicción notable entre las pruebas con bloques de madera y con aserrín. El aserrín húmedo no fue repelente ni tóxico. Antes bien, permitió una sobrevivencia relativamente alta que sólo fue superada por el aserrín de *Eucalyptus deglupta*. En cambio, en las pruebas de selectividad y alimentación obligada, esta madera se mostró altamente resistente. Una interpretación adecuada de lo sucedido ha sido propuesta por Smythe y Carter (21), quienes presumen que la respuesta alimenticia y el comportamiento de los insectos se ven influenciados por variaciones de las propiedades físicas y químicas de extractivos específicos al ser sometidos a altas temperaturas.

Al probar muestras de *Acrocarpus fraxinifolius* al ataque de termites recolectados en un tocón de esta especie, se asumió a priori que esta madera resultaría muy susceptible. Sin embargo, los resultados muestran una madera de susceptibilidad intermedia. Existe evidencia que en condiciones naturales la plaga inicia su acción en la base del árbol vivo, atacando la albura y afectando directamente el cambium. Después de algún tiempo de progresivo debilitamiento, el árbol muere. Entonces el duramen es invadido por microorganismos que lo deterioran hasta formar un substrato adecuado para las termites y en asociación con estos lo destruyen totalmente. En este sentido, los antecedentes alimenticios del termite (20) no influenciaron decisivamente los resultados, debido a que en estos experimentos se usó duramen no deteriorado por microorganismos.

Muchos compuestos químicos presentes en la madera pueden ser repelentes a las termites pero no tóxicos (3). Las observaciones efectuadas en la prueba de repelencia mostraron que *Cordia alliodora* es una madera repelente pero no tóxica. Su repelencia se confirmó al no encontrarse rasgos de daños en los bloques de la prueba de selectividad. Asimismo, la no toxicidad de las sustancias repelentes se confirmó en la prueba de alimentación forzada, en donde las muestras resultaron nutricionalmente adecuadas a las termites.

Durante el experimento de repelencia con *Terminalia ivorensis* se observó que los termites permanecían alejados del aserrín húmedo y que después de pocos días no quedaba un solo individuo vivo. Es probable que el comportamiento de la termite estuviera determinado por la presencia de algunas sustancias que actuaban en forma repelente y tóxica. Estas sustancias no estuvieron presentes cuando los especímenes atacaron bloques de madera que habían sido desecados a la estufa, lo que indicaría que las altas temperaturas eliminaron sus propiedades repelentes y tóxicas, demostrando que los compuestos químicos responsables son de naturaleza volátil (17). Puede decirse que la madera de esta especie es susceptible porque basa su resistencia natural en sustancias volátiles cuya eficacia decrecerá con el envejecimiento de la madera. Es posible suponer también que las altas temperaturas aplicadas (105° C) provocaron reacciones químicas que dieron como resultado la formación de compuestos favorables a las termites.

Las coníferas utilizadas, *Araucaria cunninghamii*, *Cupressus lusitanica* y *Pinus caribaea*, permitieron un comportamiento uniforme del insecto en las tres pruebas. La araucaria ha sido clasificada en el tercer lugar de resistencia, mientras que el pino y el ciprés resultaron altamente susceptibles.

La madera de *Eucalyptus deglupta* es sumamente susceptible a *N. corniger*, el que la consume con voracidad, sobreviviendo óptimamente. Por tal motivo, esta madera sirve de indicador de la gran sensibilidad del insecto a sustancias tóxicas en otras especies. Los resultados de sobrevivencia en las pruebas de repelencia y alimentación forzada estuvieron próximos al 70 por ciento, lo que contrastó con la pobre supervivencia registrada en la mayoría de las otras especies. La madera de esta especie forestal es pues adecuada para la realización de investigaciones sobre los requerimientos de este insecto.

La alta tasa de mortalidad en la mayoría de las muestras de la prueba de alimentación obligada es indicación de que el número de animales de ensayo utilizado (200), no es el adecuado. En general, con números crecientes de individuos debe esperarse una tasa más baja de mortalidad y mayor rigurosidad de los resultados. Al parecer, el número apropiado debe superar los 500 individuos.

b) Importancia de las pruebas de laboratorio con termitas.

En el presente estudio, *Cryptotermes brevis* mostró un comportamiento y respuesta alimenticia marcadamente diferente a *Nasutitermes corniger* y su mayor agresividad frente a las maderas estudiadas. Se demostró que la tasa de consumo de este insecto es dos veces más alta que la de *Reticulitermes flavipes*, un termita muy destructivo en Estados Unidos. Estos resultados no hacen más que confirmar lo que diversos autores ya habían señalado en cuanto a la importancia económica de *C. brevis* en diversos países del mundo. Dourojeanni (8) ha señalado que en Lima, Perú, la madera susceptible a este insecto no tiene una duración mayor a cinco años. Es posible que bajo las condiciones ecológicas de Turrialba, una edificación construida a base de madera menos resistente que la de terminalia sea destruida también en menos de cinco años

Los métodos aplicados, si bien perfeccionables, han resultado eficientes para conocer la resistencia de las maderas a los termitas en lapsos de tiempo muy breves y a bajo costo; de allí que dichos métodos deberían ser aprovechados en mayor escala, para estudios prácticos que orienten el uso de maderas en construcciones de diversa índole, sustituyendo gradualmente los tradicionales métodos de "cementerio", de resultados excesivamente lentos, riesgosos y, por ende, costosos.

La extraordinaria resistencia natural de *Cedrela odorata* y *Juglans olanchana* a termitas en general y, en menor grado, de *Cordia alliodora* y *Terminalia ivorensis* a *C. brevis* evidencian, una vez más, la preeminencia de este tipo de estudios sobre los de preservación de maderas, los que estimulados por intereses comerciales suelen hacerse sin tener en cuenta la resistencia natural de las maderas. En programas de investigación sobre maderas tropicales para construcción de viviendas económicas es fundamental incorporar este aspecto que podría abaratar considerablemente el costo de las viviendas.

Finalmente, el conocimiento sistemático, basado en grandes muestras, de la resistencia natural de las maderas puede ser uno de los elementos de juicio para la programación de planes de reforestación en función de las necesidades de madera de obra (viviendas, postes, muebles, etc.).

CONCLUSIONES

Del estudio sobre la resistencia natural de diez especies forestales al ataque de termitas, realizado bajo condiciones controladas de humedad y temperatura, se puede extraer las siguientes conclusiones:

1. *Cedrela odorata* fue la especie de mayor resistencia al ataque de *Cryptotermes brevis* y *Nasutitermes corniger*. Se evidenció que estos insectos evitan esta madera si disponen de otras para alimentarse. Si sólo disponen de cedro, el primero se muere por inanición y en el segundo presenta una alta tasa de mortalidad. En la prueba de repelencia del aserrín fresco se demostró que esta madera es tóxica para *N. corniger*.
2. *Juglans olanchana* es una madera resistente al ataque de *C. brevis* y de *N. corniger* pues no fue dañada en las pruebas de selectividad alimenticia. En alimentación forzada, el consumo de *C. brevis* es mínimo y muy alta la tasa de mortalidad. *N. corniger* no la ataca en ningún caso debido a la fuerte acción repelente de la madera y del aserrín

3. *Cordia alliodora*, en pruebas de alimentación obligada, es resistente al consumo por *C. brevis* y es un alimento adecuado para *N. corniger*. En pruebas de selectividad alimenticia es resistente al ataque de los dos termites y el aserrín fresco repele el ataque de *N. corniger*.
4. *Terminalia ivorensis* es una especie resistente a *C. brevis* porque no la consume cuando dispone de otras maderas y lo hace lentamente cuando es la única fuente de alimentos. Es susceptible a *N. corniger* por el alto consumo en pruebas de selectividad y alimentación obligada. La madera fresca tiene propiedades repelentes y tóxicas que se pierden cuando es secada a altas temperaturas, lo que indica que las sustancias responsables de estas propiedades son de naturaleza volátil.
5. *C. brevis* no muestra preferencia alimenticia por la madera de *Gmelina arborea*, pero la ataca y sobrevive bien cuando es forzado a alimentarse de ella, demostrando así que esta madera es susceptible. Es resistente a *N. corniger* debido a que no es atacada mayormente cuando los termites tienen la oportunidad de elegir el material más adecuado a sus requerimientos alimenticios y porque el consumo es mínimo cuando no tienen otra opción. El aserrín fresco es adecuado al consumo y sobrevivencia de esta termite.
6. *Acrocarpus fraxinifolius* es susceptible al ataque de *C. brevis* y *N. corniger*. Ambas especies de termites muestran preferencia por esta madera que les resulta adecuada al consumo y sobrevivencia. El duramen fresco no deteriorado por microorganismos tiene cierta resistencia a *N. corniger*.
7. Las coníferas utilizadas en estos experimentos *Araucaria cunninghamii*, *Cupressus lusitanica* y *Pinus caribaea* resultaron susceptibles a los dos termites de prueba debido a que no se encontró ningún factor de resistencia natural en estas maderas.
8. La madera de *Eucalyptus deglupta* es la más susceptible de todas al ataque de los termites probados.
9. *C. brevis* es un termite que en condiciones de laboratorio muestra mayor agresividad y mejor adaptación que *N. corniger*.
10. Debido a la facilidad, la rapidez y el bajo costo de los métodos de laboratorio usados para probar la resistencia natural de las maderas al ataque de termites, es posible recomendar estos métodos para las etapas preliminares de los estudios de preservación.

BIBLIOGRAFÍA

1. ARAUJO, R.L. Termites of the neotropical region. In Krishna, K. y Weesner F.M., eds. Biology of termites. New York, Academic Press, 1969. v. 2, pp. 527-576.
2. BECKER, C. Beitrage zur Prufung und Beurteilung der Naturalichen Dauer haftigkeit von Holz gegen Termiten. Holz als Roh-Werkstoff 19 (6): 278-290. 1961,
3. ----- Physiological influences on wooddestroying insects of wood compounds and substances produced by microorganisms. Wood Science and Technology 5 (3): 236-246. 1971.
4. ----- Los termes y la madera. Unasyuva 28 (111): 2-11. 1976.
5. ----- y LENZ, M. Stimulation of termite feeding and gallery building by the odour of mycelia of wooddestroying fungi. Seitschrift fur Angewandte Zoologie 59 (3): 269-283.1972.

6. BECKER, C. y LENZ, M. Studies on the behaviour of termites in relation to different basidiomycetes. *Zeitschrift für Angewandte Entomologie* 78 (3): 255-279. 1975.
7. BEHR, E.A., BEHR, C.T. y WILSON, L. F. Influence of wood hardness on feeding by the eastern subterranean termite, *Reticulitermes flavipes* (Isoptera: Rhinotermitidae). *Annals of the Entomological Society of America* 65 (2): 457-460. 1972.
8. DOUROJEANNI, M.J. Apuntes bibliográficos sobre los termites (Isoptera Bruillé) peruanos. *Revista Peruana de Entomología* 7 (1): 75-92. 1964. -
9. ----- Consideraciones sobre el problema *Hypsipyla grandella* (Zeller) en las plantaciones de Meliaceae en el Perú. *IN* Whitmore, J., ed. *Studies on the shootborer Hypsipyla grandella* (Zeller), Lep. Pyralidae. San José, Costa Rica, CATIE, 1976. v. 3, pp. 60-62.
10. GRAHAM, S.A. *Forest entomology*. 3 ed. New York, Mc Graw Hill, 1952. 351 p.
11. HARRIS, W.V. *Termites, their recognition and control*. London, Longmans, 1961. 187 p.
12. HUNGATE, R.E. *La celulosa en la nutrición animal*. México. CECOSA, 1975. pp. 1-12.
13. KRISHNA, K. Introduction, In Krishna, K. y Weesner, F.M. eds. *Biology of termites*. New York, Academic Press, 1969. v. 1. pp. 1-77.
14. MARTIN, D.J. *Conservación de maderas: aspecto general y práctico de la protección de maderas de construcción contra pudriciones e insectos*. Madrid, Servicio de Plagas Forestales, 1964. 113 p.
15. Mc MAHAN, E.A. Feeding relationships and radioisotope techniques. In Krishna, K. y Weesner, F.M., eds. *Biology of termites*. New York, Academic Press, 1969. v. 1. pp. 387-406.
16. NOIROT, CH., y NOIROT-TIMOTHEE, C. The digestive system. In Krishna, K. y Weesner, F.M. eds. *Biology of termites*. New York, Academic Press, 1969. v. 1, pp. 49-88.
17. SEN-SARMA, P.K. y CHATTERJEE, P.N. Studies on the natural resistance of timbers to termite attack. IV. Qualitative and quantitative stimulations of resistance of sixteen species of Indian woods against *Neotermes bosei* Snyder (Isoptera: Kalotermitidae) based on laboratory test. *Indian Forester* 91 (11) 805-813. 1965.
18. ----- et al. Studies on natural resistance of some Indian woods to termites. *Van Vigyan* 11 (3-4): 23-26. 1973.
19. SMYTHE, R.V. y CARTER, F.L. Feeding responses to sound wood by the eastern subterranean termite, *Reticulitermes flavipes*. *Annals of the Entomological Society of America* 62 (2): 335-337. 1969.
20. ----- y CARTER, F.L. Feeding responses to sound wood by *Coptotermes formosanus*, *Reticulitermes flavipes* and *R. virginicus* (Isoptera: Rhinotermitidae). *Annals of the Entomological Society of America* 63 (8): 841-847. 1970.
21. ----- y CARTER, F.L. Survival and behavior of three subterranean termite species in sawdust of eleven wood species. *Annals of the Entomological Society of America* 63 (8): 847-850. 1970.

22. UTTANGI, J.C. y JOSEPH, K.J. Flagellate symbionts (Protozoa) of termites from India. In United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization. Termites in the humid tropics. Paris, 1962. pp. 155-162.
23. WOLCOTTI G.N. Factors in the natural resistance of woods to termite attack. The Caribbean Forester 7 (2): 121-134. 1946.
24. ----- Stilbene and comparable materials for dry wood termite control. Journal of Economic Entomology 46 (2): 374-374. 1953.
25. WOLCOTTI, G.N. Inherent natural resistance of woods to the attack of the West Indian dry wood termite, *Cryptotermes brevis* Walker. The Journal of Agriculture of University of Puerto Rico 41 (4): 259-311. 1957.

