

ISSN 1808-8092



**Biología-Química-Física  
Matemática-Estadística**

# TECNOCIENCIA



Revista de la Facultad de Ciencias Naturales, Exactas y Tecnológicas  
Universidad de Panamá



## **VALORIZACIÓN DE LA GLICERINA CRUDA OBTENIDA COMO PRODUCTO SECUNDARIO EN LA PRODUCCIÓN DE BIODIESEL**

**<sup>1</sup>Shainshka Johnson, <sup>2</sup>Sebastián Vásquez Bonilla y <sup>3</sup>Nicanor Yao**

<sup>1</sup>Universidad de Panamá, FACINET, Escuela de Química; <sup>2</sup>Universidad de Panamá, FACINET, LIDI, Tel. (507)523-6227, Cel. (507)6604-1122.

E-mail:svasquezb@cwpanama.net; <sup>3</sup>Centro Experimental de Ingeniería, UTP

### **RESUMEN**

La glicerina obtenida de la producción de biodiesel fue purificada por destilación fraccionada a presión reducida, lográndose un producto que superó las normas ASTM D1257-07 para la glicerina industrial. Se evaluó la utilización de la glicerina cruda como materia prima para la producción de jabón sólido, jabón en pasta y jabón líquido. Los análisis de laboratorio demostraron que los jabones en pasta y líquidos presentaron propiedades comparables a diversos jabones comerciales, con la ventaja de que en su utilización mostraron mejores propiedades para mejorar las condiciones de la piel luego de utilizarse. También se aprovecharon las propiedades lubricantes y humectantes de la glicerina cruda, ensayándola como curador y como en estructuras de concreto. En el desencofrado se observaron algunas ventajas técnicas y ambientales sobre otros productos, como el aceite de motor usado. Al utilizarse como curador se observó que aumentaba la resistencia de las estructuras donde era aplicada. Se concluye que estas aplicaciones de la glicerina cruda le ofrece un valor agregado a este subproducto, haciendo más rentable la producción de biodiesel.

### **PALABRAS CLAVES**

Biodiesel, glicerina cruda, jabón, curador, desencofrado.

## **ASBTRACT**

The glycerin obtained from the biodiesel production was purified by fractioned distillation at reduced pressure, where it was achieved a product superior to the norms ASTM D1257-07 for industrial glycerin. Crude glycerin was tested as raw material for the production of solid soap, using 40 g of NaOH, diluted in 250 mL of water, for each liter of methanol free glycerin, at 60 – 70 °C. The soap was reformulated as paste soap, and liquid soap. Laboratory analysis demonstrated that paste and liquid soaps presented similar properties to several commercial soaps, with the advantage that they improve the skin conditions after they were used. The lubricant and moisture properties of the crude glycerin were also used, testing it in the cure and mold stripping of concrete structures. The stripping was made with some technical and environmental advantages, as it was compared with other products, as used motor oils. Its use as curer showed that it increased the resistance of the structures where it was applied. It is concluded that these applications of crude glycerin offer a value-added to this byproduct, making more profitable the biodiesel production.

## **KEYWORDS**

Biodiesel, crude glycerin, soap, curer, mold stripping.

## **INTRODUCCIÓN**

Con el desarrollo de la producción de biodiesel por la transesterificación del aceite vegetal con metanol en medio básico, la producción de glicerina, que se obtiene como subproducto de este proceso, ha crecido tanto que su precio ha bajado a niveles tales que ha provocado que algunas plantas de glicerina sintética tengan que cerrar operaciones. La sobreoferta de glicerina ha sido tal que ha motivado la realización investigaciones para la producción de biodiesel por otros medios, como enzimáticos, en los que no se produzca glicerina (Hernández-Martin *et al.*, 2008).

De enero a diciembre del 2007, el precio de la glicerina cruda subió de 11 a 33 centavos el kilogramo, demostrándose una recuperación de esta industria, posiblemente debido a las nuevas aplicaciones y derivados que de ella se obtienen como propilenglicol, epíclorohidrina ácido oxálico, gliceraldehído, acroleína, etc.; sumado a su conversión directa a productos de mayor valor agregado como monoglicéridos.

entre otros. La lista es tan extensa que se pronostica que la glicerina se podría convertir en la principal fuente natural de materia prima química.

Cuando la glicerina se obtiene de la producción de biodiesel a partir de aceite vegetal usado, como en efecto es la tendencia mundial, su purificación o conversión directa a otros productos es más complicada; por lo que usualmente se recurre a métodos enzimáticos o microbiológicos (Johnson *et al.*, 2007; Yang *et al.*, 2012) para su transformación a productos de mayor valor agregado como propilenglicol, ácido cítrico, hidrógeno, polihidroxialcanoatos, ácido docosahexaenoico, etc. o a su utilización directa en diversas aplicaciones, como suplemento alimenticio de animales y como fertilizante orgánico de suelos. Una de las aplicaciones más utilizada artesanalmente de la glicerina cruda consiste en la producción de jabón, particularmente jabón en barra.

La industria farmacéutica es la que mayormente utiliza glicerina en Panamá, seguida de la alimentaria. Ambas hacen uso de su propiedad edulcorante y humectante. También es utilizada como lubricante en maquinarias donde lubricantes minerales son inaceptables. Contamos con varias empresas que producen biodiesel a pequeña escala, pero no se tiene mucha información sobre el destino que le dan a la glicerina que producen. Biocar, S.A., sin embargo, nos ha manifestado que utiliza parte de su glicerina para producir jabón para uso interno y para algunas empresas amigas. Gran parte de su glicerina se encuentra almacenada, por lo que se vislumbra que los problemas de la sobreoferta de glicerina también será una realidad en Panamá, particularmente por la recién aprobada ley de biocombustible en Panamá (Ley 42, del 20 de abril de 2001), con la que se espera que se desarrolle la producción de biodiesel en nuestro medio.

El presente trabajo se realizó con el objetivo de evaluar la opción de purificar, por destilación fraccionada a presión reducida, la glicerina obtenida en la producción de biodiesel a partir de aceite vegetal usado; así como evaluar su utilización, sin purificar, en la producción de jabón y en su aplicación directa como curador y como desencofrante

en estructuras de concreto. Curadores son materiales que se colocan sobre la superficie del concreto, con la intención de evitar su rápido endurecimiento, lo cual bajaría su resistencia a la compresión. Desencofrantes son lubricantes que se colocan en la superficie de los moldes de estructuras de concreto para facilitar su remoción. Estas últimas aplicaciones se diseñaron luego de observar los trabajos de Rossi *et al.*, 2006, quienes utilizaron la glicerina tanto como aditivo en el concreto, como en la molienda del clinker.

## **MATERIALES Y MÉTODOS**

### **Purificación de la glicerina:**

**Procedimiento:** La glicerina cruda fue primeramente acidulada al papel tornasol con HCl 6M, para separar los ácidos grasos que contenga en un embudo de separación; seguida de su neutralización con NaOH 0,1 M. 500 cm<sup>3</sup> de esta glicerina libre de ácidos grasos se transfirieron a un balón de destilación de 1 L y se procedió a calentar hasta que el destilado tuviese 100 °C. Dicho destilado contiene metanol y fue reutilizado para la producción de biodiesel. La destilación se continuó, pero a presión reducida (15-20 mmHg), descartándose la fracción que destiló a menos 135 °C. La glicerina destiló a 135 – 140 °C. La glicerina obtenida tenía una coloración amarillenta, que se eliminó al re-destilarla con una columna de fraccionamiento de 20 platos teóricos. Para la caracterización del producto final se utilizó la metodología de la norma ASTM D1257-07, para la glicerina industrial.

### **Producción de jabón:**

**Procedimiento:** 2,5 L de glicerina cruda fueron destilados en un balón de destilación de 5 L, para eliminar todo el metanol. A la glicerina todavía caliente, se le adicionó 250 cm<sup>3</sup> de NaOH 4 M por cada litro de glicerina libre de metanol. Posteriormente se agregó 12,5 cm<sup>3</sup> de aromatizante (aceite esencial de pino navideño producido en nuestro laboratorio). Luego de adicionado el aromatizante, el producto fue vertido en 6 recipientes de 475 cm<sup>3</sup> y dejado endurecer hasta el día siguiente. Para la producción de jabón líquido se realizó el mismo

procedimiento, con la diferencia de que se utilizaron 3 partes de agua por cada parte de glicerina, y el producto final fue tamizado para eliminar los grumos de jabón formados.

A los jabones sólidos se les determinó pH, solubilidad, alcalinidad total y humedad siguiendo métodos adoptados por el Laboratorio de Análisis Industriales, S. A., LAISA. Las pruebas de campo se realizaron ofreciendo los productos al personal de aseo de la Facultad de Ciencias Naturales, Exactas y Tecnología de la Universidad de Panamá, así como a las cafeterías de la Universidad de Panamá, para que los utilizaran en todas las actividades de limpieza posible. También se ofrecieron a familiares y amigos, con la misma intención.

#### **Usos en construcción:**

##### **Procedimientos:**

**Desencofrado:** Con la ayuda de un paño limpio y seco, la glicerina cruda, libre de metanol, fue esparcida en las superficies internas de varios moldes de cilindro y viguetas. Una vez verificada la fluidez del concreto preparado, por medio de un equipo de revenimiento, la mezcla se vertió en los moldes. La remoción de los moldes se realizaron a las 48 horas, evaluándose, empíricamente, la facilidad con que se realizaba el proceso. Concluida la remoción de los moldes, se procedió al lavado de los mismos, para observar el estado de las superficies, tanto de las estructuras de concreto como de los moldes.

**Curado:** La preparación del concreto se realizó en la misma forma como se indicó en el ensayo de desencofrado. Luego de 45 minutos de haberse vertido el concreto a los cilindros y viguetas, una delgada capa de la glicerina fue esparcida en la superficie de algunas de las mezclas ya fraguadas, dejando otras como referencia. El proceso se realizó en la mañana, al mediodía y en la tarde. Para la determinación de las resistencias de las piezas de concreto se utilizó la norma ASTM 39/C 39M05 para la compresión de cilindros y la ASTM C78-02 para la flexión de las viguetas.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### Purificación de la glicerina:

La destilación directa de la glicerina cruda presentó muchos problemas técnicos, por lo que se optó por la separación previa de los ácidos grasos presente en ella, representando un 43 % por volumen. 12 % del destilado correspondió a metanol, 35 % a glicerina y el resto (10 %) correspondió a agua, biodiesel y residuos en el balón de destilación.

El Cuadro 1 presenta los resultados de los análisis de la glicerina pura conforme a la norma ASTM D1257-07. Los datos muestran que superaron con creces la norma. El color de la muestra 1 se debió a que no se esperó suficiente tiempo para la colecta del destilado, por lo que para los siguientes destilados se esperó un tiempo adicional. Para la viscosidad cinemática se utilizó el método ASTM D445, a 40 °C.

Cuadro 1. Análisis de la glicerina purificada por destilación fraccionada a presión reducida (15-20 mmHg). La muestra 1 fue obtenida de la primera destilación realizada. La muestra 2 fue de otra destilación, en la que se esperó un tiempo adicional, 5 min., para la colecta del destilado.

Ensayo	Muestra 1	Muestra 2	Límite
Densidad (g/cm <sup>3</sup> )	1,2607	1,2608	---
Humedad (%)	0,028	0,094	2,0
Cenizas sulfatadas (%)	0,0088	0,0036	0,1
Acidez total (mg KOH/g muestra)	0,10	0,11	0,3
Color	20	15	20
Viscosidad cinemática (cSt)	186.2	192.4	179.2

### Usos de la glicerina cruda:

**En la producción de jabón:** El Cuadro 2 muestra los resultados del análisis realizado a los jabones sólido y líquido obtenidos. El menor pH observado para el jabón sólido, a pesar de estar más concentrado,

se atribuye a que su determinación se realizó a una pasta del mismo, por lo que las sales de los ácidos grasos no disueltos no contribuyeron en el pH. Prueba de ello es que la alcalinidad total sí fue mayor en el jabón sólido. Los pH de los jabones se compararon con los pH de productos comerciales similares, observándose que se encontraban dentro de los rangos de pH de dichos productos, ya que el pH desengrasantes líquidos industriales osciló entre 11 y 13, mientras que el pH de jabones cosméticos locales osciló entre 9,99 y 10,25.

Cuadro 2. Análisis de los jabones obtenidos.

Ensayo	Jabón sólido	Jabón líquido
pH	10,38	12,03
Alcalinidad total (% Na <sub>2</sub> O)	5,24	4,18
Humedad (%)	20	---

El jabón en barra producido resultó muy suave e higroscópico, por lo que se optó por reformularlo como jabón en pasta, y fue utilizado como lavaplatos por personal de las cafeterías de la Universidad de Panamá. Ellas manifestaron su satisfacción por sus excelentes propiedades para cortar las grasas y por la suavidad de sus manos luego de utilizarse. El jabón en barra se usó en el taller de mecánica de la Universidad de Panamá, de quienes también se obtuvieron buenos testimonios sobre su capacidad para eliminar la grasa mineral propia de la actividad de la mecánica automotriz y de las condiciones de la piel luego de su uso. El jabón líquido fue utilizado para limpieza de todo tipo, tanto en las cafeterías como en la Facultad de Ciencias de la Universidad de Panamá; de quienes también se obtuvieron buenos comentarios, muy particularmente sobre su poder para eliminar malos olores de los baños. No obstante, se observó cierta inestabilidad de este jabón luego de varias semanas de almacenamiento (formación de grumos y ligero olor a amoníaco).

**En construcción:** El uso de la glicerina cruda como desencofrante fue exitoso, al lograrse remover sin dificultad los moldes de las estructuras de concreto, con la ventaja de que tanto los moldes como las estructuras se pudieron lavar sin dificultad y sin dejar manchas en las

estructuras. Esto no es posible cuando se utilizan otros productos, como el aceite de motor usado, como es frecuente en esta actividad. El Cuadro 3 muestra las resistencias a la compresión de los cilindros y a la flexión de las viguetas en las que se aplicó la glicerina como curador. Los resultados muestran que la glicerina cruda no sólo cumplió su función como curador, sino que lo hizo en una forma similar a otros productos locales utilizados para estos propósitos; con la ventaja adicional de que por ser biodegradable es más amigable para el ambiente.

Cuadro 3. Resistencias de estructuras de concreto con y sin glicerina cruda como curador. Para los cilindros se realizaron resistencias a la compresión y para las viguetas se realizaron resistencias a la flexión. El "patrón" no usó curador.

		7 días		14 días	
Tipo de concreto		Carga (kN)	Resistencia (N/mm <sup>2</sup> )	Carga (kN)	Resistencia (N/mm <sup>2</sup> )
Vigueta	Patrón	13,89	1,79	17,8908	2,310
	Muestra	16,11	2,08	19,8307	2,565
Cilindro	Patrón	85,30	10,36	92,90	11,46
	Muestra	89,90	10,92	95,50	11,77

### CONCLUSIONES

La glicerina cruda obtenida en la producción de biodiesel puede utilizarse directamente como curador o como desencofrante, requiriendo solo de la eliminación del metanol, que puede ser reutilizado en la producción de biodiesel. También puede ser utilizada como materia prima para la producción de jabón, obteniéndose productos que no sólo poseen propiedades limpiadoras similares o superiores a otros productos en el mercado, sino que demostraron ser más suaves para la piel. La glicerina obtenida ofrece un valor agregado a la producción de biodiesel.

## **AGRADECIMIENTOS**

Agradecemos a Saybolt Core Laboratory por su apoyo en el análisis de la glicerina purificada, a LAISA, S.A. por su apoyo en el análisis de los jabones obtenidos, al Centro Experimental de la Universidad Tecnológica de Panamá por brindarnos sus facilidades para los ensayos como curador y desencofrado en la glicerina cruda, al Taller de vidrio de la UP, por su apoyo en la construcción del sistema de destilación, al personal de aseo de las cafeterías y de la Facultad de Ciencias Naturales, Exactas y Tecnología y al Taller de Mecánica de la Universidad de Panamá, por apoyarnos en los ensayos de campo de los jabones producidos y a Biocar, S.A. y el Laboratorio SAR, por sus atinadas asesorías para el desarrollo de este trabajo.

## **REFERENCIAS**

Aimaretti, N., L. Intilángelo, A. Clementz, J. Ansaidi & J. Yori. 2008. Aprovechamiento de la glicerina obtenida durante la producción de biodiesel. *Rev. Cient. Redalyc Invenio* 11(20): 137-144.

Apesteuguía, MR. C. 2009. Catalytic processing of glycerol to fuels and chemical. *In: ICS Core Programme on Next Generation Biofuels and Bio-Based Chemicals*. ICS-UNIDO, 21-24 April 2009. Trieste, Italy.

Aponte, I. A. 2009. Separación y evaluación de los residuos de la producción de biodiesel a partir de aceite vegetal usado. Tesis de Licenciatura en Química. FACINET, Universidad de Panamá.

Cardona, S., R. González, A. Franco, F. Cardeno & L. Rios. 2010. Obtención de monoglicéridos de aceite de ricino empleando glicerina refinada y cruda: estudio de las principales variables del proceso. *Rev. Cient. Redalyc*. Extraído de la Revista Vitae, Vol. 17, núm. 2, 2010. Universidad de Antioquia, Facultad de Química Farmacéutica. Medellín, Colombia. 128-134. Disponible en: <http://redalyc.uaemex.mx/src/inicio/ArtPdfRed.jsp?iCve=169815396003>

Ferrero, A., I. Rosa & E. Veneciano. 2009. Proceso de purificación de la glicerina obtenida del biodiesel a pequeña escala. Argentina,

Universidad Tecnológica Nacional. Facultad Regional Villa María, CITELAC. 7 p.

Ferretti, C. A. 2010. Valoración catalítica de glicerol: síntesis de monoglicéridos. Tesis de Doctorado. Universidad Nacional del Litoral, Facultad de Ingeniería Química. Santa Fé, Argentina. II-3 – II-5.

Gaceta Oficial 26770, jueves, 21 de abril de 2011. Gobierno Nacional, República de Panamá. Ley N° 42, de 20 de abril de 2011, que establece lineamientos para la política nacional sobre biocombustibles y energía eléctrica a partir de biomasa en el territorio nacional.

Hernández-Martín, E. & C. Otero. 2008. Different enzyme requirements for the synthesis of biodiesel: Novozym® 435 and Lipozyme® TL IM. *ELSEVIER. Bioresour. Technol.* 99(2): 277-286.

Johnson, D. T. & K. A. Taconi. 2007. The glycerin glut: Options for the value-added conversion of crude glycerol resulting from biodiesel production. *Environ. Prog.*, 26: 338–348.

Johnson, S. 2012. Evaluación de potenciales usos de la glicerina obtenida en la producción de biodiesel. Tesis de Licenciatura en Química, FACINET, Universidad de Panamá, 76 p + anexos.

Joshua, 2006. Glycerin Soap Recipes. From the fryer to the fuel tank. New Orleans, Louisiana. Disponible en <http://www.electricitybook.com/glycerin-soap-recipes/>

Liu, X., P. R. Jensen & M. Workman. 2012. Bioconversion of crude glycerol feedstocks into ethanol by *Pachysolen tannophilus*. *Bioresour. Technol.* 104: 579-586.

OPTIM™ Glycerine - The Dow Chemical Company. Disponible en <http://www.dow.com/products/market/healthcare-and-medical/product-line/optim-glycerine/>

Rossi, M., M. Pagliaro, R. Ciriminna, C. & Della Pina, W. 2007. From glycerol to value-added products. *Angew. Chem. Int. Ed.* 46: 4434-4440.

Rossi, M., M. Pagliaro, R. Ciriminna, C. Della Pina, W. Kesber & P. Forni. 2006 Improved compression strength cement. WO2006051574. The Ohio State University. Turning crude glycerin into polyurethane foam and biopolyols. <http://ohioline.osu.edu/aex-fact/pdf/0654.pdf>

Yang, F., M. A. Hanna & R. Sun. 2012. Value-added uses for crude glycerol--a byproduct of biodiesel production. *Biotechnol. Biofuels* 5: 13.

Young N. & I. Fernando. 2009. Transformación química de la acroleína en productos útiles. Tesis de Licenciatura en Química. FACINET, Universidad de Panamá.

*Recibido septiembre de 2012, aceptado agosto de 2013.*



## BIOLOGÍA EVOLUTIVA. ¿CÓMO DEBEMOS ENSEÑARLA?

C. Alfonsi<sup>1</sup>, J.E. Pérez<sup>1</sup>, J.A. Gómez<sup>2</sup> y C. Muñoz<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Instituto Oceanográfico de Venezuela. Universidad de Oriente. Núcleo de Sucre. Venezuela.

<sup>2</sup> Departamento de Biología Marina. Universidad de Panamá. Panamá.

<sup>3</sup> Facultad Ciencias de la Salud. Universidad Arturo Prat. Iquique. Chile.

Autor a quien dirigir la correspondencia: J.E. Pérez. e-mail: jeprezr@yahoo.com

### RESUMEN

Con este artículo se pretende estimular y mejorar la enseñanza de la evolución. Es conocido que la enseñanza de las ciencias en general, de la biología y de la evolución en particular debe ser un ingrediente básico, para el logro del alfabetismo científico, incorporando la curiosidad, el escepticismo y una actitud crítica. Se presenta una visión de lo que debería ser la enseñanza de la Biología Evolutiva, donde el estudiante debe aprender a buscar la verdad, mediante la discusión, la investigación y la experimentación. Este, es un verdadero reto que solamente puede ser enfrentado con la acción conjunta de los ministerios de educación, los pedagógicos y las universidades.

### PALABRAS CLAVES

Biología evolutiva, enseñanza, evolución.

### ABSTRACT

This article aims to stimulate and enhance the teaching of evolution. It is known that teaching of science in general, and biology and evolution in particular, should be a basic ingredient for achieving the scientific literacy, incorporating the curiosity, skepticism and a critical attitude. It presents a vision of how should be the teaching of evolutionary biology, where the student must learn to seek the truth through discussion, research and experimentation. This is a challenge that can only be faced with the joint action of the ministries of education, the pedagogic institutes, colleges and universities.

## **KEYWORDS**

Evolutionary biology, teaching, evolution.

## **INTRODUCCIÓN**

Una visión del mundo biológico, con un enfoque evolutivo, permite superar el aspecto fragmentario y descriptivo que se tiene de la biología tradicional. El abordaje evolutivo, favorece el reconocimiento de los procesos y patrones biológicos que se presentan en diferentes escalas espaciales y temporales; posibilita concebir la biodiversidad y sus relaciones, como el resultado de su historia y contribuye a enriquecer la imagen que el hombre tiene de si mismo, permitiéndole dimensionar su lugar en la naturaleza.

Los índices de comprensión de la biología evolutiva en la mayoría de los países, son muy bajos, así lo demostró el estudio de Miller *et al.*, (2006) en el cual se realizaron encuestas en 32 países europeos, Japón y Estados Unidos. Estos autores señalaron que los países con mayor comprensión de la evolución son: Islandia, Dinamarca, Suecia, Francia, Japón y Gran Bretaña. Este estudio fue realizado en un público general y su resultado pudiera ser explicado porque muchas personas, a nivel mundial, nunca han tomado un curso de biología que aborde la evolución, ni han leído un libro en donde se explique con lucidez la teoría evolutiva actual (Quammen, 2004).

Se esperaría que si los encuestados son estudiantes de ciencias el resultado fuese distinto pero, Chinsamy & Plagányi (2008) quienes encuestaron estudiantes antes y después de aprobar un curso de evolución en la Universidad de Ciudad del Cabo, Sudáfrica, no encontraron diferencias estadísticamente significativas analizando las respuestas a preguntas acerca de la creación, la biodiversidad y el diseño inteligente; indicando que indudablemente la enseñanza no fue exitosa. En una encuesta similar, al iniciar y al finalizar un curso de Evolución aplicada a estudiantes de Educación mención Biología de la Universidad de Oriente, Venezuela en el año 2012, se encontró que luego del curso, aumentó el número de estudiantes que consideran la evolución como un hecho que ha sido probado más allá de toda duda razonable. Sin embargo, alrededor del 60% de los estudiantes (el mismo porcentaje que al inicio), consideraron que aunque la religión

no proporciona la mejor explicación del origen del universo; el origen de la mente y conocimientos humanos no pueden ser explicadas por evolución y que ésta forma parte de la creación divina. Resultó notorio en los resultados de esa encuesta, que por lo menos en el caso de Venezuela, existe una buena receptividad en lo referente a la evolución como un principio general aplicable al mundo y a todos los seres vivos, pero no al hombre.

En encuestas realizadas por Pérez *et al.*, 2011, a nivel universitario, de Chile, Panamá y Venezuela se pudo observar que un alto porcentaje de estudiantes y profesores, consideran que el creacionismo debe enseñarse en las escuelas públicas para explicar la evolución del hombre, mientras que en la misma encuesta señalan que la teoría de la evolución es la más adecuada para explicar el origen y evolución del resto de los seres vivos. Estos resultados coinciden con el estudio de Miller *et al.*, (2006), el cual indicó que ante el planteamiento: *los seres humanos se desarrollaron de especies anteriores. ¿Verdadero o falso?* Los habitantes de 32 países europeos, Japón y Estados Unidos, presentaron en su mayoría altos porcentajes de rechazo a la evolución del ser humano.

En Latinoamérica, particularmente en Venezuela, Chile y Panamá, la enseñanza de la evolución se inicia en la mitad o fase final de la educación media (bachillerato). En el caso de Venezuela, es a partir del tercer año de bachillerato cuando se abordan temas como: el origen de la vida, los mecanismos de evolución, bases moleculares de la herencia, evolución del hombre, entre otras y en cuanto a la enseñanza de las teorías evolutivas se consideran como tales a la teoría evolucionista y también al creacionismo, siendo que ésta última, una creencia religiosa y no una teoría científica. En Chile, en ese mismo nivel educativo, la enseñanza de la biología evolutiva se ve reducida a un tema, que describe la variabilidad, evolución y procesos de adaptación. En Panamá, es en el noveno nivel donde el tema de evolución aparece y se desarrollan contenidos conceptuales y actitudinales como el origen de las especies y la tolerancia ante las diversas ideas tanto científicas como religiosas que explican la evolución humana.

La enseñanza de las ciencias en general, de la biología y la evolución en particular debe ser un ingrediente básico, para el logro del

alfabetismo científico, incorporando la curiosidad, el escepticismo y una actitud crítica. El estudiante debe aprender a buscar la verdad, mediante la discusión, la investigación y la experimentación (Pérez *et al.*, 2007). Con este artículo y el anterior (Pérez *et al.*, 2012) se aspira estimular la enseñanza de la evolución y mejorarla.

## **ASPECTOS QUE PERJUDICAN LA ENSEÑANZA DE LA EVOLUCIÓN**

Antes de analizar cómo debe ser enseñada la biología evolutiva, es preciso señalar una serie de aspectos que perjudican esta enseñanza tales como: profesorado con deficiencias en su formación científica, lo que a su vez genera desmotivación y escasa curiosidad científica del alumnado; falta de coordinación entre el profesorado de los niveles básicos y universitarios; un abordaje equivocado ante posibles enfrentamientos con la religión, escasez de recursos para favorecer el aprendizaje; limitaciones para la organización de actividades prácticas y falta de textos apropiados (Smith, 2010 a y b).

A continuación, se analizarán algunos de estos problemas, examinándolos en detalle y planteando posibles soluciones al respecto, para que profesores y estudiantes entiendan y realicen de una manera adecuada el proceso enseñanza-aprendizaje.

**Profesores** - Antolín & Herberts (2001), señalaron que muchos maestros y profesores tienen una base de conocimientos inadecuados sobre la evolución, hecho que los hace sentirse inseguros en sus habilidades y, por lo tanto, incapaces de motivar adecuadamente al alumnado. En Venezuela, en la encuesta realizada por Pérez *et al.* (2011), se pudo constatar que, la gran mayoría de los profesores de educación universitaria, carecen de una buena preparación en el tema que garantice los conceptos fundamentales de la biología evolutiva, así como de información actualizada sobre los últimos avances, alcances y discusiones que se llevan al respecto a nivel mundial. En general, durante los cursos de Biología evolutiva, no se crea una sana polémica ni se da al estudiante una visión evolutiva de los procesos biológicos.

Lynch (2005) señaló, que la falta de preparación de los profesores, lleva a los estudiantes a una falsa visión de la evolución, ya que ésta se enseña como una historia con conceptos aislados, con escasa

consideración a los complejos mecanismos que la sustentan. La evolución va más allá, se trata de que la teoría de la evolución ocupa un lugar central en la Biología integrando todas las demás áreas de esta disciplina (Futuyma, 2009). Se estudia la evolución como una materia teórica, carente de cualquier aspecto experimental y cuantitativo de los procesos causantes de la evolución. Los estudiantes la consideran una materia poco interesante. Esto es contradictorio con el hecho de que la evolución es uno de los campos más experimentales y cuantitativos de la biología. Por supuesto, esta información llegará al estudiante en la medida en que éste cuente con la orientación de un profesor que tenga la motivación científica necesaria, así como la noción cuantitativamente correcta.

**Libros.** La importancia de los libros de texto en el proceso educativo, es indiscutible. Son las herramientas principales, a veces únicas, utilizadas por los docentes para preparar sus clases y depositan en ellos un alto grado de confianza. Pero, no se considera el hecho de que las grandes editoriales siguen manteniendo textos con ciertas ideas del pasado, porque consideran que de esta forma aseguran la aceptación del profesorado (poco inclinado a renovarse) y con ello sus beneficios económicos. Muchos libros parecen detenidos en el tiempo, repitiendo algunos de los argumentos de Darwin para convencer al público de la importancia de la selección natural, en lugar de emplear ejemplos actuales que puedan permitir ver a la evolución como un excitante campo de investigación con nuevos descubrimiento y nuevas aplicaciones (Hillis, 2007).

Otro aspecto a considerar dentro de la problemática de los libros, es que algunos de los textos mayormente usados, especialmente de nivel universitario y básico, proporcionan una perspectiva incorrecta e incompleta de la evolución. Linhart (1997) llevó a cabo una revisión de los textos de evolución y de biología general, con resultados desalentadores. Los libros de texto en varios aspectos no alcanzan la definición de línea base y suelen contener conceptos antiguos y términos en desuso. Muchos libros no se actualizan y exponen temas donde igualan la evolución con la selección o la adaptación natural, restándole importancia a otros procesos como son la deriva genética, la migración, la recombinación y la mutación (Yamanoi *et al.*, 2012). Aunado a esto, en Latinoamérica, se encuentran textos con

traducciones deficientes que generan una equivocada interpretación de los procesos, así como de los conceptos más importantes. Tamayo-Hurtado & González-García, (2010) señalaron inconvenientes en los textos del área de la Biología Evolutiva, señalando que esto, junto con breves contenidos obligatorios y algunos optativos de los programas de la enseñanza media chilenos, sin duda dificulta el proceso de aprendizaje.

Afortunadamente, en la actualidad, existe mucha bibliografía gratis por internet, tanto libros como artículos científicos. Pero, debemos ser cuidadosos en la elección ya que es necesario evitar el uso de libros que reflejen el aspecto ideológico del autor.

**Creencias religiosas.** Otro aspecto que ha resultado un problema en la enseñanza de la biología evolutiva, ha sido el enfrentamiento de la educación científica con la religión a nivel mundial, el cual provoca que muchos profesores en las aulas de clases traten el tema de la evolución con superficialidad, hecho que lleva en ocasiones a dictar una clase muy general u omitirla para no entrar en polémicas. En otras ocasiones, muchas veces las creencias religiosas de los profesores se reflejan en el aula de clases al enseñar evolución. Aspecto particularmente dañino y peligroso, para lo cual es necesario una estricta supervisión.

Es importante señalar, que en países como USA se ha intentado agregarle el apellido de científico, con la finalidad de enseñar el creacionismo científico en las clases de ciencia.

### **¿CÓMO DEBEMOS ENSEÑAR EVOLUCIÓN?**

La enseñanza de la evolución, debería empezar en los primeros años de educación, con el uso de estrategias adecuadas. Se deberían explorar posibilidades de enseñar evolución a los más pequeños contando historias capaces de transmitir ideas evolutivas, en lugar de la teorización abstracta. Anderson & Fisher (2002), desarrollaron el concepto de las tiras humorísticas como una herramienta para enseñar evolución (<http://www.biologylessons.sdsu.edu/cartoons/concepts.html>). Éstas, pueden ser usadas también como herramientas de evaluación. Las tiras humorísticas, se acomodan mejor para esos primeros años.

Los conceptos mostrados en ellas se deben derivar de conceptos y concepciones sencillas y comunes, que tienen los niños.

El alumno debe ser parte de la enseñanza en lugar de un mero receptor pasivo. Por lo tanto, las clases deben ser impartidas a un número de estudiantes que permita la participación individual. Lo ideal, es la discusión sobre la evolución, la realización de simples experimentos de laboratorio que permitan al alumno "ver" la evolución en acción. Los estudiantes necesitan de una sólida instrucción (clases organizadas con objetivos claros) para corregir muchas concepciones falsas sobre la evolución, así como desarrollar ejercicios que le permitan un mejor entendimiento de los eventos evolutivos (Staub, 2002).

Es importante, que los estudiantes sean expuestos a problemas verdaderos y específicos del ámbito evolutivo, que desafíen sus habilidades intelectuales. Así, los estudiantes serán capaces de apreciar el papel de la imaginación y la creatividad en la indagación científica. Nuevamente volvemos a destacar que todas estas premisas deben aplicarse obviando cualquier explicación de tipo teológica, las que deben excluirse de las clases de ciencias.

A nivel universitario y como resultado de muchas discusiones sobre el tema de la enseñanza de la evolución, talleres, experiencias de investigadores y científicos del área, ha surgido una alternativa que pudiera mejorar la formación no sólo de los profesores sino de los estudiantes. Se trata del intercambio entre instituciones, lo que permitiría llevar a cabo prácticas en laboratorios diferentes, aprendiendo de otros investigadores. Otra alternativa, serían los intercambios de estudiantes, donde estos sean orientados a visitar escuelas primarias para hacer una presentación sobre la materia. Ellos trabajarían con los maestros para llegar a familiarizarse con los programas educativos y desarrollar una programación que ellos coordinarían con el maestro y en cuyas clases participa. Los futuros profesionales pudieran pensar inicialmente que esta tarea es la parte más fácil pero a la vez la más importante, y pueden no sólo disfrutar la tarea, sino también considerarla un comienzo en la carrera de la docencia.

Por otra parte, una característica de la universidad moderna, es la fuerte relación entre investigación y enseñanza. Algunos estudios han indicado la existencia de una relación simbiótica, en la cual la inclusión de la investigación fortalece la enseñanza y, en una menor extensión, la enseñanza estimula la investigación (Robertson & Bond, 2005). Esta relación puede y debe servir de estímulo, con ejemplos adecuados, en la enseñanza de la evolución.

Internet marca un antes y un después en la enseñanza de las ciencias, especialmente de la biología evolutiva. A este respecto, son numerosos los sitios de libre acceso para la búsqueda de información en cuanto a docencia se refiere, que permiten la descargas de videos, películas y una extensa bibliografía fácilmente consultable en bases de datos o revistas con versión electrónica de enseñanza de las ciencias. Por otra parte, como señalan Fuentes *et al.*, (2005), el desarrollo de "software" educativos contribuye a elevar la calidad de la enseñanza y a mejorar el aprendizaje de los estudiantes, ya que en éstos se despierta la atención al ver los colores, fotografías, dibujos, así como al escuchar los sonidos, ayudando a la comprensión de la información percibida por medio de la vista y el oído. Además, estos desarrollos ayudan al docente a realizar clases más amenas, interesantes y de mayor calidad. Asimismo, el "software" educativo eleva la calidad y productividad de los proyectos de estudios de los alumnos, pues permiten la utilización de estrategias motivadoras para que el educando desarrolle sus habilidades cognitivas.

Es interesante resaltar la actividad del grupo de trabajo para la Enseñanza de la Evolución, nombrado por la Academia Nacional de Ciencias de los Estados Unidos (NSF, por sus siglas en inglés), el cual produjo un interesante libro "Teaching about Evolution and the Natural Science", en 1998. Este libro se encuentra disponible en versión gratuita en la dirección: [www.nap.edu/openbook.php?record\\_id=5787](http://www.nap.edu/openbook.php?record_id=5787) y allí se indican entre otros aspectos, las actividades sugeridas para una buena enseñanza de la evolución y ciencias de la naturaleza así como una selección del material de instrucción más adecuado. Además, existen páginas que se actualizan constantemente como la del Instituto de Evolución y Ciencias de la Naturaleza (ENSI) ([www.indiana.edu/~ensiweb/](http://www.indiana.edu/~ensiweb/)).

Es importante destacar, que ni las páginas electrónicas ni los "software" sustituyen la labor del docente, sólo le sirve, de apoyo en sus clases para elevar la calidad del proceso de aprendizaje. En la actualidad con la globalización y el desarrollo de la informática podemos ser cada día mejores profesores de evolución. Por ejemplo, la Sociedad Española de Biología Evolutiva proporciona un recurso virtual en español, para docentes que los ayuda no solo a prepararse mejor en esta área sino a preparar sus clases, este recurso se encuentra disponible en: [www.sesbe.org/evosite/evohome.html](http://www.sesbe.org/evosite/evohome.html) y este está basado en el sitio web en inglés, <http://evolution.berkeley.edu/evosite/evohome.html>.

Sin embargo, aún existe una gran necesidad de que cada país cree material didáctico y prácticas de laboratorio adaptadas y adecuadas a sus necesidades de enseñanza, que permitan al estudiantado observar los procesos evolutivos como algo que ocurre a su alrededor y no como algo que ha sido observado en el pasado o que puede observarse en un lugar lejano.

En Venezuela, actualmente, en la página electrónica del Ministerio del Poder Popular para la Educación: <http://www.me.gov.ve/se> encuentran recursos didácticos para la educación media, en forma digital denominados Actividades de Aprendizaje Computarizadas (AAC), donde se manejan conceptos breves, claros y precisos de lo que se quiere enseñar, con la ayuda del computador. Estas herramientas de acceso libre, pueden permitir también la entrada desde la siguiente dirección electrónica: <http://www.portaleducativo.edu.ve/>. El mencionado Ministerio ofrece además algunos "software" para ayudar de manera amena, con crucigramas o juegos diversos al entendimiento de los temas más problemáticos. Se trata, de un valioso esfuerzo que, rendirá sus frutos en breve tiempo. Por ahora, está restringido a las asignaturas de Lengua y Matemáticas, principalmente. Esperamos, que pronto se extienda a otras áreas como en nuestro caso la enseñanza de las ciencias naturales y particularmente la enseñanza de los procesos evolutivos.

Fuentes *et al.*, (2005), realizó en Venezuela un primer esfuerzo a este respecto con el Software Bio Tutor 2000, el cual, junto con los aportes de la página electrónica del Ministerio para el Poder Popular de

Ciencia y Tecnología denominada Red Escolar Nacional (RENA) (<http://www.rena.edu.ve/>), están diseñadas y elaboradas para satisfacer las necesidades en diversas áreas, incluyendo la Biología, de los estudiantes desde sus inicios hasta el último grado de enseñanza, el preuniversitario.

Un aspecto muy importante en la enseñanza de la evolución, que a menudo no es considerado en profundidad, son las prácticas de laboratorio. Muchos estudiosos de la enseñanza de la evolución han intentado desarrollar material educativo que ilustre especialmente la selección natural por la importancia en el proceso evolutivo (Christenson - Dalsgaard & Kannevorff, 2008; Frey *et al.*, 2010; Heim, 2002.; Kalimowski *et al.*, 2006; Yamanoi *et al.*, 2012). Las encuestas realizadas a los docentes (Pérez *et al.*, 2011), evidenciaron las limitaciones para la organización de actividades prácticas y de laboratorios, de suma importancia para el aprendizaje de la evolución, actividades que permitirían demostrar algunos de los hechos que la sustentan. El corregir esta falla, suministraría a los estudiantes las habilidades necesarias para competir en un mundo técnico-científico. En el caso de las matemáticas éstas pueden ser más digeridas y aún atractivas, cuando los estudiantes ven su aplicación inmediata. ¡Qué mejor tema para empezar que el de la teoría evolutiva y la genética poblacional, basadas en términos algebraicos accesibles a los alumnos, incluso a los de la escuela secundaria!

El papel de los museos, destacando el Museo de Historia Natural de Londres, ilustrando conceptos tales como: selección natural, especiación y “descendencia con modificación”. Este aspecto, se analiza en el volumen especial de la revista científica *Evolution: Education Outreach* (vol. 5). Los trabajos publicados ofrecen un muy interesante recuento de experiencias recientes de educadores y científicos para ilustrar conceptos teóricos evolutivos.

Por otra parte, a nivel universitario, tratando de mejorar la calidad de la enseñanza de la evolución, González del Solar & Marone (2001), señalaron que los estudiantes, deben ser alentados a leer los trabajos clásicos, así como también algunas publicaciones recientes pertinentes. Leyendo un clásico, los estudiantes tendrán la oportunidad de conocer algunas de las ideas originales, inclusive de

problemas teóricos y prácticos. Asimismo, insisten estos investigadores, que comparando las lecturas clásicas con las recientes, los estudiantes estarían expuestos a la dimensión histórica de la evolución.

### **CONCLUSIÓN**

La enseñanza de la evolución es un verdadero reto que solamente puede ser enfrentado con la acción conjunta de los ministerios de educación, los pedagógicos y las universidades.

### **RECOMENDACIONES**

La enseñanza de la evolución debería empezar en los primeros años de educación, con el uso de estrategias adecuadas. El alumno siempre debe ser parte activa del proceso enseñanza en lugar de un mero receptor, pasivo. Por lo tanto, las clases deben ser impartidas a un número de estudiantes que permita la participación individual. Lo ideal es la discusión sobre la evolución, la realización de simples experimentos de laboratorio que permitan al alumno "ver" la evolución en acción.

Los estudiantes necesitan de una sólida instrucción (clases organizadas con objetivos claros) para corregir muchas concepciones falsas sobre la evolución, así como desarrollar ejercicios que le permitan un mejor entendimiento de los eventos evolutivos.

A nivel universitario y como resultado de muchas discusiones sobre el tema de la enseñanza de la evolución, talleres, experiencias de investigadores y científicos del área, ha surgido una alternativa que pudiera mejorar la formación no sólo de los profesores sino de los estudiantes. Se trata del intercambio entre instituciones, lo que permitiría llevar a cabo prácticas en laboratorios diferentes, aprendiendo de otros investigadores.

Otra alternativa, sería que los estudiantes de biología avanzados y con altos promedio, sean orientados a visitar escuelas primarias para hacer una presentación sobre la materia. La aparición de Internet marca un antes y un después en la enseñanza de las ciencias en general y de la evolución en particular, y su utilización constituye una muy

valiosa herramienta. Sin embargo se debe tener cuidado con el material presentado ya que no siempre posee suficiente calidad o veracidad. El papel de los museos de historia natural puede ser otra herramienta valiosa.

Con relación a los textos, existen esfuerzos, a nivel mundial por mejorarlos y en el presente trabajo se dan algunas observaciones y sugerencias al respecto. Así por ejemplo, basado en la revisión de numerosos libros de biología, se han desarrollado una serie de recomendaciones para los autores y editores, algunas de las cuales citamos:

“Dejar en claro que en la actualidad se desarrolla investigación sobre la evolución. Esto nos permite emplear ejemplos actuales.”

“Ser cuidadosos de no dar a entender que evolución es sinónimo de selección natural.”

“Demostrar como la evolución es relevante a los humanos igual que para el resto de los seres vivos.”

“Enfatizar la diversidad de vida, explicándola mediante la biología evolutiva.”

#### **REFERENCIAS**

Antolin, M. F. & J. M. Herbers. 2001. Perspective: evolution's struggle for existence in America's public schools. *Evolution*, 55(12), 2379-2388.

Chinsamy, A. & E. Plagányi. 2008. Accepting evolution. *Evolution*, 62-1, 248-254.

Christenson - Dalsgaard, J., & M. Kannevorff. 2008. Evolution in Lego: a physical stimulation of adaptation by natural selection. *Evol. Educ. Outreach.*, 2, 518-526.

Frey, F.M., M. Curtis, C.M. Lively & E.D. Brodie. 2010. Selection and evolution with a deck of cards. *Evol. Educ. Outreach.*, 3, 114-120.

Fuentes, L., M. Villegas & I. Mendoza. 2005. Software educativo para la enseñanza de la Biología. *Revista de Ciencias Humanas y Sociales*, 21 (47) 62-75.

González Del Solar, R. & L. Marone. 2001. The "Freezing" of Science: Consequences of the Dogmatic Teaching of Ecology. *BioScience*, 51 (8), 681-683.

Heim, W.G., 2002. Natural selection among playing cards. *Am. Biol. Teach.*, 64, 276-278.

Heim, W.G., 2002. Natural selection among playing cards. *Am. Biol. Teach.*, 64, 276-278.

Hillis, D.M. 2007. Making evolution relevant and exciting to biology students. *Evolution*, 61, 1261-1264.

Kalimowski, S.T., M. L., Taper, M.L., & Metz, A.M. 2006. Can random mutation mimic design? A guided inquiry laboratory for undergraduate students. *Genetics*, 174, 1073-1079.

Linhart, Y. B. 1997. The teaching of evolution-we need to do better. *BioScience*, 47 (6): 385-391.

Lynch, M. 2005. Intelligent design or intellectual laziness? *Natura*, 434(1053), 1062-1065.

Miller J., D.E., C. Scott, S.O. Okamoto. 2006. Public acceptance of evolution. *Science*, 313, 765 - 766.

Pérez, J.E., C. Alfonsi, J.A. Gómez. 2012. Biología Evolutiva ¿Por qué enseñarla?. *Scientia (Panamá)*, 22 (2), 91-102.

Pérez, J.E., C. Alfonsi, S. Salazar & C. Muñoz. 2011. Evolucionismo y Creacionismo. Editorial Universitaria de la Universidad de Oriente. Cumaná, Estado Sucre, Venezuela. 174pp.

Pérez, J. E., I. Pérez & G. Ojeda. 2007. La enseñanza de las Ciencias Biológicas. *Saber*, 18, 234-240.

Quammen, 2004. Las pruebas de la evolución son arrolladoras. *National Geographic*. Noviembre 4-31.

Robertson, J. & C. Bond. 2005. The research/teaching relation: A view from the edge. *Higher Education*, 5, 509-535.

Staub, N.L. 2002. Teaching evolutionary mechanism: Genetic drift. *BioScience*, 52, 373-377.

Tamayo – Hurtado, M. & F. González - García. 2010. La enseñanza de la evolución en Chile. Historia de un conflicto documentado en los textos de estudio de enseñanza media. *Investigaciones en enseñanza de ciencias*, 15, 310-316.

Yamanoi, T., K. Suzuki, M. Takemura, & O. Sakura. 2012. Improved “Origami bird” protocol enhances japanese students understanding of evolution by natural selection: a novel approach linking DNA alteration to phenotype change. *Evol. Educ. Outreach*, 5, 292-300.

*Recibido junio de 2013, aceptado agosto de 2013.*



## **PERFILES DE PLAYA COMO INDICADORES DEL IMPACTO DE LA ACTIVIDAD DE EXTRACCIÓN DE ARENA SUBMARINA EN EL ARCHIPIÉLAGO DE LAS PERLAS**

**Luis Miguel González<sup>1</sup> y Arturo Domínicí-Arosemena<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>Departamento de Física, Universidad de Panamá.

<sup>2</sup>Conservación Internacional/FUNDESPA

E-mail: <sup>1</sup>lreal9@yahoo.es, <sup>2</sup>adominici@fundespa.org

### **RESUMEN**

Las playas son un recurso natural valioso. En Panamá la arena proveniente de fuentes marinas es usada para la industria de la construcción. Una manera en que la extracción de arena submarina puede afectar la estabilidad de las playas tiene que ver con el hecho de que, debido a su posición y forma, el sitio de extracción puede constituirse en una defensa para las playas. Esto es así debido a que el sitio de extracción puede consistir de una zona de menor profundidad que sus alrededores (bajo), por lo que la energía del oleaje incidente puede ser desviada (refracción) o disipada (rompientes). Hemos analizado perfiles de playa medidos en varias islas del Las Perlas ubicadas frente a un sitio de extracción de arena submarina. Dichos perfiles fueron medidos utilizando una técnica de topografía conocida como nivelación diferencial. En la isla Mogo Mogo encontramos que en el año 2010 la parte noreste de la playa estaba por debajo de su condición de equilibrio. El análisis de refracción del oleaje incidente del sureste mostró que la zona de extracción desviaba dichas olas e impedía que llegaran a la playa de estudio. Esto sugiere que dicha zona proporcionaba una defensa a la playa contra el oleaje proveniente del sureste.

### **PALABRAS CLAVES**

Panamá, Archipiélago de Las Perlas, perfiles de playa, extracción de arena, refracción de oleaje, coastal erosion.

## **ABSTRACT**

We seek to assess the impact of underwater sand mining activity on beaches located near the extraction area. Beach profiles measured on the beaches of interest are used as indicators. Baseline beach profiles were obtained in 2006. Beach profiles for comparison purposes were obtained in 2010. We used the concept of equilibrium profile to assess the changes found. At Mogo Mogo Island there was evidence of a significant deficit of sand. This can be explained if we consider that the area of underwater sand mining gave this beach a natural defense from waves that come from the southeast.

## **KEYWORDS**

Panama, Las Perlas Archipelago, beach profiles, sand mining, wave refraction, coastal erosion

## **INTRODUCCION**

La Zona Marina Especial de Manejo de las Perlas, creada por la Ley 18 de mayo de 2008 de Panamá, es la más reciente adición a un extenso corredor marino de conservación que se extiende desde Costa Rica hasta Ecuador. La zona de manejo de 1688 km<sup>2</sup> incluye 250 islas e isletas rocosas aproximadamente. El Instituto Smithsonian de Investigaciones Tropicales ha realizado varios estudios científicos en el Archipiélago de Las Perlas, entre ellos una evaluación de las características de las playas que existen en las diferentes islas que lo componen.

Existen varias maneras en que la extracción de arena submarina puede afectar a las playas. Por ejemplo, las condiciones del oleaje que llega a la orilla pueden cambiar como resultado del dragado de bancos de arena o bajíos cercanos a la costa, lo cual reduce la protección que los mismos proporcionan a la orilla. La desaparición, o el descenso en el nivel, de los bancos de arena cambiará los patrones del oleaje entre el banco y la costa; esto a su vez inducirá cambios en el transporte de sedimentos y por consiguiente en los patrones de erosión y depósito en las playas (Kortekaas *et al.*, 2010).

Estas zonas en donde el fondo se eleva pueden influenciar la abundancia y riqueza de especies que se encuentren en un área marina

determinada. En estas áreas se encuentra una mayor abundancia de peces en comparación con la plataforma continental que la rodea. De manera que los bajíos parecen ser zonas con características importantes y debe evaluarse su extracción con fines comerciales (Vasslides & Able, 2007).

En este estudio hemos realizado una estimación de la función de protección a la costa de una zona de baja profundidad que fue dragada. Para esto, se realizó un análisis de perfiles de playa en varias islas de Las Perlas, así como un análisis de refracción del oleaje incidente. Se encontró que en la playa de estudio de isla Mogo Mogo la zona de baja profundidad dragada desviaba el oleaje incidente del sureste.”

## **METODOLOGIA**

Para realizar la investigación se seleccionaron playas en la Isla Mogo Mogo, en la Isla Bolaño, y en la Isla La Mina. Estas playas se encuentran ubicadas en las cercanías de un área de extracción de arena submarina y fueron parte de un estudio anterior efectuado en el año 2006.

Para localizar la ubicación de las secciones transversales que se midieron en la zona intermareal de las diferentes playas en el año 2010, se utilizaron las coordenadas (Latitud, Longitud) registradas para dichas secciones durante el estudio de Goarin en el año 2006. Para efectuar las mediciones de la posición geográfica en ambos trabajos se utilizó como instrumento un GPS Etrex Garmin de 12 canales en modo WAAS. Pruebas efectuadas con uno de estos equipos y un punto de control geodésico mostraron una exactitud  $< 5$  m.

Para la medición de las secciones transversales o perfiles de playa se utilizó la nivelación diferencial. Esta técnica de topografía consiste en medir las diferencias de altura entre dos o varios puntos. Para este efecto se utilizó un nivel topográfico marca Topcon, un estadal graduado y una cinta de agrimensor. En cada playa se midieron tres perfiles o transectos perpendiculares a la orilla, desde la ubicación del punto de control en la costa hasta el borde del agua en marea baja. En

gabinete se utilizó el programa de computo Tides & Currents para realizar predicciones de la altura de la marea para los días en que se realizó el trabajo de campo, y de esta manera ubicar el nivel de referencia. Las mediciones se efectuaron en agosto del 2010. Los datos de los perfiles para el año 2006 (mayo y junio) se tomaron del trabajo de Goarin 2006. Para generar las gráficas de los perfiles se utilizó el programa de computo MATLAB.

Con la finalidad de estimar el perfil de equilibrio utilizamos una de las propuestas más conocidas (Dean *et al.*, 2004):

$$h(y) = Ay^{2.3}$$

Donde:

y = distancia perpendicular a la costa medida desde el nivel medio del mar,

h = profundidad del fondo con relación al nivel medio del mar,

A = coeficiente que depende del tamaño del sedimento.

El análisis volumétrico se efectuó con el programa de computo SURFER, utilizando como superficie de referencia la correspondiente a 1 m. Con los datos de oleaje disponibles se hicieron diagramas de refracción para evaluar el efecto que pueda tener las dimensiones del área de extracción de arena submarina, sobre las características del oleaje incidente. Para construir las ortogonales (perpendiculares a las crestas de las olas) se utilizó el método manual explicado en el Shore Protection Manual, volumen 1.

## RESULTADOS Y DISCUSION

La playa en isla Mogo Mogo se ubica al Sureste de la sección principal de la Isla (Fig. 1). La playa tiene alrededor de 300 metros de largo. En la Figura 2 se presentan graficados todos los perfiles levantados en la playa de isla Mogo Mogo en el 2006 y en el 2010, para compararlos con el perfil de equilibrio (PE). Se observa que en la parte alta de la playa, la variabilidad de los perfiles, con respecto al PE, es baja, con excepción del perfil 3 levantado en el 2010. El perfil 3 medido en el 2010 se encuentra por debajo del PE en toda su extensión.

La playa en isla Bolaño en la que se midieron los perfiles tiene el área de extracción hacia el Este. El levantamiento de los perfiles se efectuó en junio del año 2006 y en agosto del año 2010. En la Figura 3 se presentan graficados todos los perfiles levantados en la playa de isla Bolaño en el 2006 y en el 2010, para compararlos con el perfil de equilibrio (PE). Puede observarse aquí que en la parte alta de la playa los perfiles medidos tienden a ubicarse debajo del PE, mientras que en la parte media de la playa se encuentran sobre el PE. En la parte baja de la playa se presenta una situación mixta.

La playa en isla La Mina en la que se midieron los perfiles tiene el área de extracción hacia el Norte. En la Figura 4 se presentan graficados todos los perfiles levantados en la playa de isla La Mina en el 2006 y en el 2010, para compararlos con el perfil de equilibrio (PE). Vemos aquí como en la parte alta de la playa la mayoría de los perfiles medidos se ubican por debajo del PE, mientras que en la parte baja de la playa sucede lo contrario: los perfiles observados se ubican por encima del PE.

En el cuadro N° 1 mostramos el resultado de comparar el estimado del volumen de arena presente en las playas de estudio en los años 2006 y 2010. Los cálculos se realizaron en el área de coincidencia de los perfiles y por encima de la elevación de un (1) metro.

Cuadro 1. Análisis Volumétrico en las playas de interés.

Playa de Isla	Volumen 2010 menos Volumen 2006 (m <sup>3</sup> )	% del total
Mogo Mogo	-1055	-19.4
Bolaño	-386	-10
La Mina	+1028	+6

En la Figura 1 se muestra un diagrama de refracción hecho manualmente para oleaje que se aproxima, desde el Sureste, a la playa de estudio en Mogo Mogo. Las líneas (ortogonales) que se muestran (en color rojo) son perpendiculares a las crestas y corresponden a olas con un periodo de 5 segundos. Se aprecia en esta figura como la zona de poca profundidad desvía el oleaje proveniente del Sureste. Esta zona de menor profundidad es parte de las zonas de extracción de arena submarina.

El concepto de perfil de equilibrio establece que cada perfil de playa de un tamaño de grano de arena específico puede alcanzar una forma estable bajo condiciones de oleaje incidente constante en un intervalo de tiempo suficientemente largo. Las mediciones de campo y los modelos hidráulicos muestran que los perfiles de las playas cambian de forma como respuesta a los cambios en la intensidad del oleaje incidente, pero si permanecen el tiempo suficiente bajo condiciones de oleaje uniformes, adquieren una forma constante (Jenkins & Inman, 2006). Generalmente las mediciones de los perfiles de playa muestran que éstos fluctúan alrededor del perfil de equilibrio calculado para la playa de que se trate y que el promedio de ellos se asemeja al perfil de equilibrio (Dean & Dalrymple, 2004). La determinación de este perfil de equilibrio puede ayudar a distinguir entre la variabilidad natural y eventos erosivos significativos que puedan acontecer en las playas.

Una parte de la playa de estudio en isla Mogo Mogo en el año 2010 difiere considerablemente y en toda su extensión, del perfil de equilibrio (Fig. 2). Esto puede ser interpretado como que en esta zona se registra un faltante considerable de arena. Como se aprecia en el Cuadro 1, el déficit de arena en la playa de Mogo Mogo entre los años 2010 y 2006 fue de 19.4%, lo cual también es un indicio de que en esta playa se ha perdido arena de manera significativa.

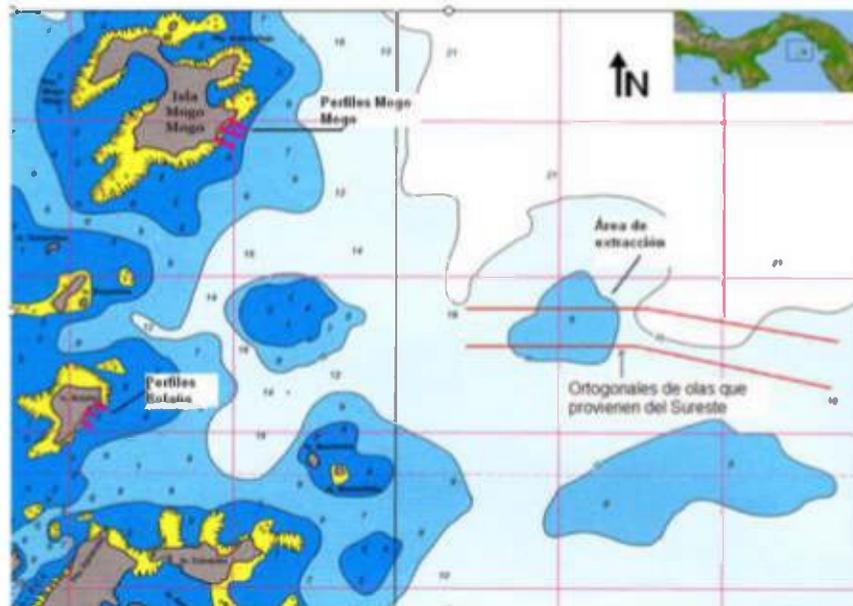


Fig. 1. Localización de la isla Mogo Mogo, el área de extracción de arena submarina y el diagrama de refracción. Dos ortogonales (perpendiculares a las crestas de las olas), marcadas en color rojo, son desviadas (refracción) por parte de la zona de extracción de arena submarina.

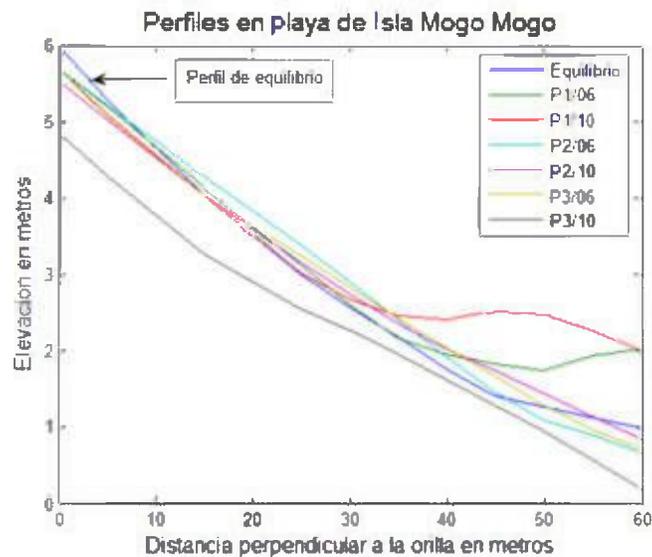


Fig. 2. Perfiles en playa de isla Mogo Mogo comparados con el perfil de equilibrio (PE).

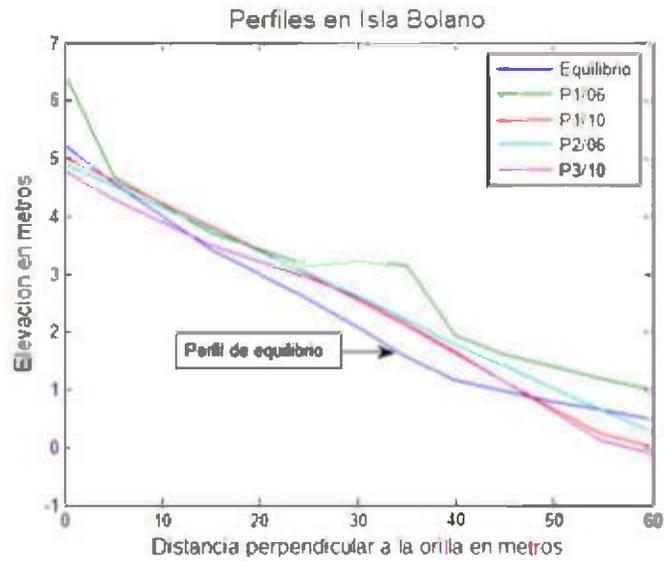


Fig. 3. Perfiles en playa de isla Bolaño comparados con el perfil de equilibrio.

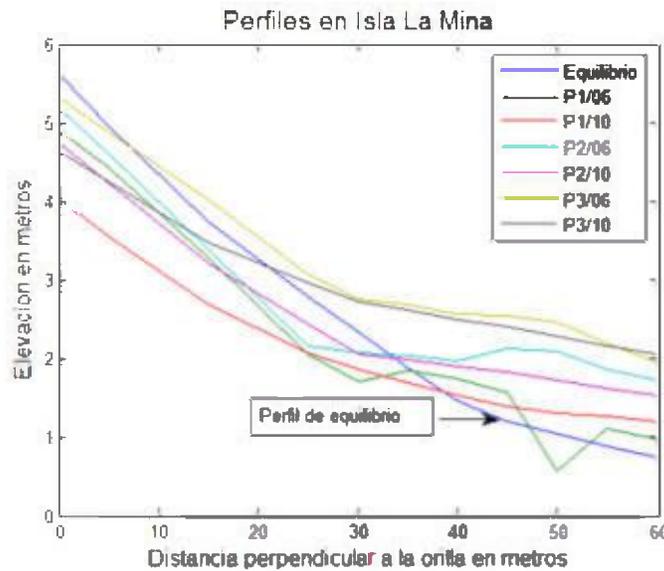


Fig. 4. Perfiles en playa de isla La Mina comparados con el perfil de equilibrio.

## **CONCLUSIONES**

Hemos mostrado como el perfil de equilibrio (PE) nos permite distinguir la fluctuación normal en los perfiles (alrededor del PE) de fluctuaciones que responden a otras causas.

Apoiados en este concepto planteamos que en la zona Noreste (perfil 3) de la playa en Isla Mogo Mogo se registró socavación en el año 2010.

Por otro lado, encontramos evidencia de que la zona de extracción de arena submarina desviaba el oleaje que llegaba a la playa de Mogo Mogo.

Considerando estos hechos, así como la disminución del volumen de arena presente en dicha playa, se propone que la zona de extracción de arena submarina (bajío) le proporcionaba una defensa contra el oleaje incidente del sureste.

## **AGRADECIMIENTOS**

La Organización No Gubernamental Conservación Internacionales proporcionó el financiamiento y revisión técnica del presente trabajo con fondos provenientes del Plan de Trabajo 2008 – 2013 del corredor ETPS, como una asistencia técnica a la Autoridad de los Recursos Acuáticos de Panamá. Cuando se realizó el diseño preliminar del proyecto, el autor principal laboraba como Oceanólogo en la ARAP. Como parte de la Iniciativa Darwin se han realizado varios estudios científicos en el Archipiélago de Las Perlas, entre ellos la Tesis de Maestría titulada “MONITOREO Y GESTION DE PLAYAS EN EL ARCHIPIELAGO DE LAS PERLA PANAMA”, en el año 2006. Los datos de campo recabados en dicha tesis fueron utilizados como línea base en el presente trabajo.

## **REFERENCIAS**

Dean, R. & R. Dalrymple. 2004. Coastal Processes with Engineering Applications. Cambridge University Press.

Goarin, M. 2006. Monitoring and Management of Beaches in the Archipelago of Las Perlas, Panama. Heriot-Watt University, Edinburgh. United Kingdom.

Jenkins, S. & D. Inman. 2006. Thermodynamic solutions for equilibrium beach profiles. Journal of Geophysical Research, Vol. 111. C02003, 21 PP. American Geophysical Union.

Kortekaas, S., I. Bagdanaviciute, P. Gyssels, J. Alonso Huerta & A. Héquette. 2010. Assessment of the Effects of Marine Aggregate Extraction on the Coastline: an Example from the German Baltic Sea Coast. Journal of Coastal Research SI 51: 205-214.

Saizar, A. 1997. Assessment of impacts of a potential sea-level rise on the coast of Montevideo, Uruguay. Climate Research. Vol. 9: 73 – 79.

Vasslides, J. & K. Able. 2008. Importance of shoreface sand ridges as habitat for fishes off the northeast coast of the United States. Fish. Bull. 106:93–107.

Waterways Experiment Station. 1984. SHORE PROTECTION MANUAL, VOLUMENES I Y II. Department of the Army, USA.

Zawadzka-Kahlau. 2009. Influence of sea bottom relief on coastal processes of the Southern Baltic. GEOLOGIJA. Vol. 51. No. 3–4: 109–124.

*Recibido noviembre de 2011, aceptado agosto de 2013.*



## **HONGOS ENTOMOPATÓGENOS ASOCIADOS A INSECTOS RECOLECTADOS EN PLANTACIONES DE CAFÉ EN EL OESTE DE PANAMÁ**

**Sumling Y. Castillo<sup>1</sup>, Juan A. Bernal Vega<sup>1</sup>, José Lezcano<sup>2</sup>, Melke Piepenbring<sup>3</sup> & Orlando Cáceres<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>Universidad Autónoma de Chiriquí 0427, Escuela de Biología, David, Chiriquí, Panamá.

<sup>2</sup>Instituto de Investigación Agropecuaria de Panamá, sub-centro Boquete, David, Chiriquí, Panamá.

<sup>3</sup>Department of Mycology, Goethe University, 60054 Frankfurt am Main, Germany. [sumlingcastillo@hotmail.com](mailto:sumlingcastillo@hotmail.com), [juanbern@gmail.com](mailto:juanbern@gmail.com), [piepenbring@em.uni-frankfurt.o\\_caceres@hotmail.com](mailto:piepenbring@em.uni-frankfurt.o_caceres@hotmail.com).

### **RESUMEN**

Este estudio se realizó con la finalidad de determinar la diversidad de hongos entomopatógenos nativos asociados a insectos presentes en plantaciones de café en Boquete (sin la presencia de *Hypothenemus hampei* Ferrari). El trabajo de campo se realizó entre octubre y noviembre de 2005. Se recolectaron insectos con la sintomatología del ataque de hongos entomopatógenos y se aislaron e identificaron. Un total de 33 cultivos de hongos se obtuvieron del aislamiento de micelio presente en las muestras de insectos. Los cultivos corresponden a siete especies en cinco géneros de hongos patógenos: *Acremonium charticola*, *A. crassum*, *Beauveria bassiana*, *B. brongniartii*, *Fusarium oxysporum*, *Lecanicillium tenuipes*, *Metarhizium anisopliae* y *Torrubiella tenuis*, los cuales se encontraron en insectos de los órdenes Dermáptera y Hemiptera. De éstas especies, solo *Acremonium* y *Beauveria* han sido documentadas en otros estudios como enemigos naturales de *H. hampei*. *Torrubiella tenuis* fue el único teleomorfo encontrado parasitando insectos escamas.

### **PALABRAS CLAVES**

Boquete, control biológico, cultivo de café, *Hypothenemus hampei*, hongos entomopatógenos.

## ABSTRACT

This study was carried out in order to determine the diversity of native entomopathogenic fungi associated to insects present in coffee plantations in Boquete (without the presence of *Hypothenemus hampei* Ferrari). Fieldwork was conducted between October and November 2005. Insects were collected with the symptoms of entomopathogenic fungi attack and were isolated and identified. A total of 33 fungal cultures were obtained from the isolation of mycelia present in samples of insects collected in the field. The cultures correspond to 7 species in 5 genera of pathogenic fungi: *Acremonium charticola*, *A. crassum*, *Beauveria bassiana*, *B. brongniartii*, *Fusarium oxysporum*, *Lecanicillium tenuipes*, *Metarhizium anisopliae* and *Torribiella tenuis*, which were found on insects of the orders Dermaptera and Hemiptera. Of these species, only *Beauveria* and *Acremonium* have been documented in other studies as natural enemies of *H. hampei*. *T. tenuis* was the only teleomorph found infesting scale insects.

## KEYWORDS

Boquete, biological control, coffee plantations, *Hypothenemus hampei*, entomopathogenic fungi.

## INTRODUCCIÓN

La broca del café, *Hypothenemus hampei* Ferrari (Coleoptera: Curculionidae: Scolytinae), se considera uno de los principales problemas entomológicos a nivel mundial. Implica pérdidas importantes en los rendimientos por cosecha desde un 5 % hasta un 24 %, en casos extremos hasta un 50 % (Bustillo *et al.*, 2002). Hay más de 35 000 hectáreas de café atacado por este insecto en México, América Central y el Caribe (De la Rosa *et al.*, 2000). El cultivo de café (*Coffea arabica* L.) es uno de los rubros agrícolas más importantes de la región de Boquete en el oeste de Panamá. Actualmente es amenazado por el ataque de *H. hampei*, detectada desde 2005 en Renacimiento (zona fronteriza de Panamá con Costa Rica). En estudios realizados entre diciembre de 2005 y marzo de 2006, se detectaron niveles de infestación de *H. hampei* entre 1.4 % y 1.6 % en las localidades de Río Sereno y Monte Lirio, respectivamente (Guerra & Bernal, 2012). Por ello, surge la necesidad de buscar alternativas para el manejo de esta plaga en el país. Los hongos entomopatógenos son el grupo de mayor importancia en el control biológico de insectos plaga. Actualmente se conocen aproximadamente 100 géneros y 750 especies de hongos patógenos de insectos (Monzón, 2001). Las especies más importantes

se clasifican en géneros como *Akanthomyces*, *Aschersonia*, *Beauveria*, *Entomophthora*, *Erynia*, *Fusarium*, *Hirsutella*, *Hymenostilbe*, *Metarhizium*, *Paecilomyces*, *Verticillium* y *Zoophthora* (Tzean *et al.*, 1997; González-Castillo *et al.*, 2012). En Panamá se conocen aproximadamente 25 especies de hongos patógenos de insectos registradas en los géneros *Aschersonia*, *Ascopolyporus*, *Cordyceps*, *Hirsutella*, *Hymenostilbe*, *Isaria*, *Mattirolella*, *Metarhizium*, *Nectria*, *Tompetchia*, *Torrubiella* y *Verticillium* (Piepenbring, 2006). Aparentemente, estos hongos han sido poco investigados en Panamá. Sin embargo, para controlar insectos plagas utilizando los hongos como agentes de biocontrol, son necesarios más estudios que determinen la diversidad de hongos nativos que infecten insectos en ecosistemas naturales y así explotar sus posibles usos en el país.

## **MATERIALES Y MÉTODOS**

### **Sitio de estudio**

El estudio se desarrolló en el distrito de Boquete, donde se ubicaron siete fincas de café al azar en los corregimientos de los Naranjos en las áreas de: Alto Lino (8° 46' 29.09" N, 82° 25' 40.44" O), Alto Quiel (8° 48' 23.79" N, 82° 27' 51.84" O), El Huacal (08°47'8.19" N, 82°26'5.98" O), El Salto (8° 47' 44.01" N, 82° 28' 25.67" O), Jaramillo centro (8° 46' 29.09" N, 82° 25' 40.44" O), Palmira arriba (08°45'56.88" N, 82°27'36.35" O) y Palmira centro (8° 44' 30.76" N, 82° 27' 3.97" O).

### **Método de cultivo y aislamiento de los hongos**

Para el cultivo de los hongos se utilizó el medio de cultivo Agar Papa Dextrosa (PDA) con antibiótico (Cloranfenicol 0.5 g/L). Se tomaron fracciones de micelio del hongo recolectado en el insecto muerto infestado y se colocaron en los medios de cultivo dentro de una cámara estéril de flujo laminar. Luego de inocular fracciones de micelio presentes en el cuerpo del insecto en los platos de Petri con el cultivo, se colocaron en bolsas plásticas con cierre hermético y se incubaron a 30 °C, hasta observar el crecimiento del micelio. Se realizaron aislamientos recurrentes hasta obtener cultivos puros. Para conservar los cultivos se tomaron fracciones de micelio y agar, se colocaron en viales estériles con agua estéril y se colocaron en refrigeración. Los procedimientos de siembra, traspaso de cultivo, aislamiento y

conservación se realizaron dentro de una cámara de flujo laminar para evitar la contaminación de los cultivos.

### **Método de identificación de los hongos**

Se prepararon placas de cada cultivo de los hongos utilizando el método de Estrada & Vélez (2003). Se consideraron las características morfológicas macroscópicas del cultivo (color, forma, crecimiento) y las microscópicas (estructuras reproductivas vegetativas, forma, color, tamaño y otras estructuras presentes). Para la identificación de los hongos se utilizaron las claves publicadas sobre hongos en insectos de Tzean *et al.* (1997) y Zare & Gams (2001).

### **RESULTADOS**

Se recolectaron 80 insectos muertos en las fincas de café seleccionadas en el distrito de Boquete, en los cuales solo se obtuvo 33 cultivos de hongos de siete especies, en cinco géneros. Se obtuvieron cultivos de las especies: *Acremonium charticola* (Lindau) Gams (seis aislamientos), *A. crassum* Petch (10 aislamientos), *Beauveria bassiana* (Bals.) Vuill (nueve aislamientos), *B. brongniartii* (Sacc.) Petch (dos aislamientos), *Fusarium oxysporum* Schlecht (tres aislamientos), *Lecanicillium tenuipes* (Petch) Zare & Gams (dos aislamientos), *Metarhizium anisopliae* (Metsch.) Sorok (un aislamiento). Además, se encontró un solo hongo en su fase sexual o teleomorfo (*Torrubiella tenuis*) parasitando insectos escamas (Heteroptera), de la cual no se pudo obtener un cultivo.

### **Descripción de las especies**

*A. charticola* (Fig. 1A): en medio de cultivo presentó micelio de color blanco, blanco-amarillento con la edad del cultivo, conidióforos ramificados, células conidiógenas con forma de punzón, conidios elipsoidales (Fig. 1B), tamaño 3-4.5 (-5) x 1-2  $\mu\text{m}$ , en cadenas cortas o solitarias sobre las frálides. Se obtuvieron un total de 6 aislamientos de *A. charticola* en insectos escamas (Fig. 1) de las fincas de café de Alto Lino (3), Huacal (2) y el Salto (1). La especie *A. crassum* (Fig. 1C): en medio de cultivo presentó micelio de color blanco, blanco-amarillento con la edad del cultivo, se diferencia de la anterior por la formación de conidios en falsas cabezas y los conidios son cilíndricas de 5-7 x 2-3  $\mu\text{m}$ . Se obtuvieron un total de 10 aislamientos de *A. crassum* en insectos

escamas de las fincas de café en Huacal (6), Palmira (2) y el Salto (2). Ambas especies se encontraron parasitando insectos del orden Heteroptera (escamas verdes), recolectados sobre las hojas de café.

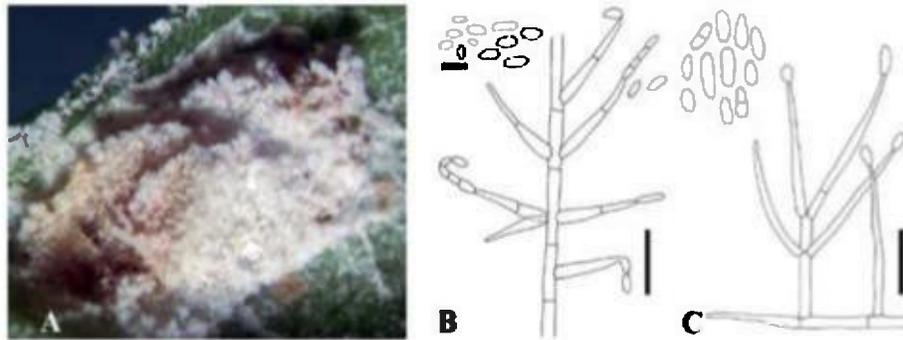


Fig. 1. A-C. A. Insecto escama con micelio del hongo *Acremonium charticola*. B. Conidióforos y conidios de *Acremonium charticola*. C. Conidióforos y conidios de *Acremonium crassum*. Escala (5 y 10  $\mu\text{m}$ ). Foto y dibujos por S.Y. Castillo, 2006.

***B. bassiana*** (Fig. 2A): en cultivo presentó un micelio de color blanco algodonoso, conidióforos con grupos de células conidiógenas con partes basales globosas y raquis alargados, delgados y denticulados, conidios globosas (Fig. 2B), tamaño 2-3.5 (-4) x 1-2.5 (-3)  $\mu\text{m}$ . Esta especie se encontró como parásito de insectos del orden Hemiptera (chinchas), cubriéndolos de micelio algodonoso de coloración blanquecina en hojas de café y en el suelo alrededor de la planta. Se obtuvieron 8 aislamientos de *B. bassiana* en los chinchas recolectados en Palmira arriba (6) y Palmira centro (2). La especie *B. brongniartii*: se diferencia de la anterior por la forma de las células conidiógenas que son más alargadas a cilíndricas, con un raquis alargado y denticulado, conidios elipsoidales a cilíndricas (Fig. 2C), tamaño 3-4.5 (-5) x (1-) 1.5-2.5 (-3)  $\mu\text{m}$ . Esta especie se encontró en insectos de los órdenes Dermáptera y Homóptera. Se obtuvieron 2 aislamientos de muestras en Alto Lino.

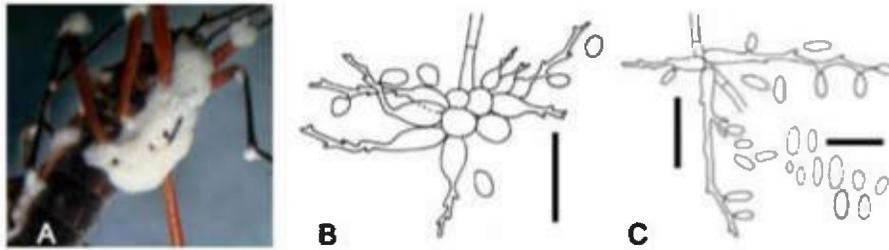


Fig. 2. A-C. A. Insecto (Hemiptera) cubierto por micelio del hongo *Beauveria bassiana*. B. Conidióforos y conidios de *Beauveria bassiana* (escala: conidióforos 10 µm). C. Conidióforos y conidios de *Beauveria brongniartii* (escala: conidióforos 10 µm, conidios 5 µm). Foto y dibujos por S.Y. Castillo, 2006.

***F. oxysporum*:** en cultivo presentó un micelio de color blanco algodonoso con pigmentación violeta púrpura en el medio de cultivo, conidióforos simples, cilíndricos, laterales, con clamidósporas laterales e intercalares, microconidios cilíndricos ovoides (Fig. 3A), tamaño 5-13 (-18) x (2-) 2.5-3.5 (-4) µm, macroconidios fusiformes, tres septos, tamaño (20-) 22-31 (-35) x 3-4.5 (-5) µm. se obtuvieron 3 aislamientos de insectos del orden Hemiptera de Alto Quiel (1) y Palmira centro (2).

***L. tenuipes*:** en cultivo presentó micelio blanco lanoso, conidióforos erectos con una o varias fiálides en espiral, onduladas, esbeltas, alargadas, 1-2 µm de ancho, células conidiógenas cortas con la base hinchada y el ápice estrecho ligeramente geniculado a denticulado. Conidios primarias alargadas a fusiformes, las secundarias pequeñas de forma elipsoidal, agrupadas en fascículos o solitarias sobre cada fiálide (Fig. 3B), tamaño (3-) 3.5-5 x (1-) 1.5-2 µm (Fig. 3A). Se obtuvieron 2 aislamientos *L. tenuipes* de muestras de un insecto Homóptera en Huacal (1) y de un Hemíptera en Alto Quiel (1).

***M. anisopliae*:** en cultivo presentó un micelio con coloraciones de blanco, verde amarillo a verde oscuro con la edad del cultivo, conidióforos ramificados con forma de empalizada, formados por metulae con fiálides en las puntas de color verde hialino, conidios elipsoidales a cilíndricos (Fig. 3C), tamaño (4-) 5-8 (-10) x (2-) 2.5-3 µm (Fig. 3B). Se obtuvo aislamiento de un insecto Dermáptera en Palmira arriba (1).

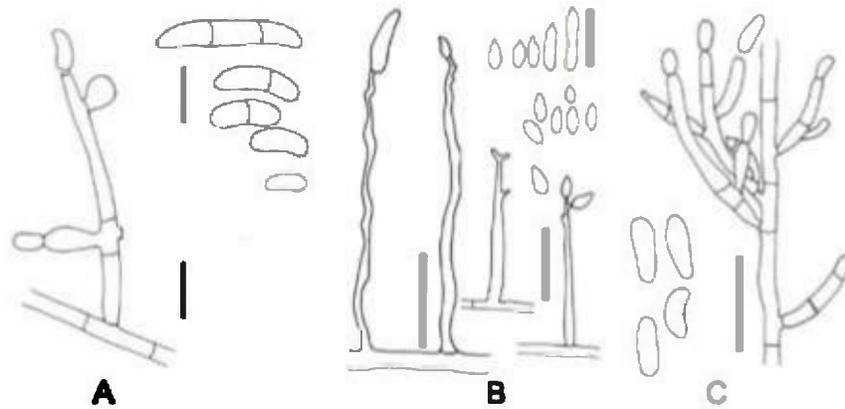


Fig. 3 A-C. A. Conidióforos y conidios de *Fusarium oxysporum* (escala: 10  $\mu\text{m}$ ). B. Conidióforos y conidios de *Lecanicillium tenuipes* (escala: conidióforos 10  $\mu\text{m}$ , conidios 5  $\mu\text{m}$ ). C. Conidióforos y conidios de *Metarhizium anisopliae* (escala 10  $\mu\text{m}$ ). Dibujos por S.Y. Castillo, 2006.

*T. tenuis* (teleomorfo): se encontró parasitando insectos escama del orden Homóptera sobre las hojas de café. Emergen de los insectos cuerpos fructíferos compactos, tipo peritecio con forma de cono, coloración naranja a chocolate brillante, crecimiento solitario o gregario, subículo formado por una trama de hifas blancas con margen desprendible. Ascosporas con más de 200  $\mu\text{m}$  de longitud, cilíndricas, capitadas, ascosporas filiformes, multiseptadas, arreglo en filas paralelas, aproximadamente con 1.5  $\mu\text{m}$  de ancho.

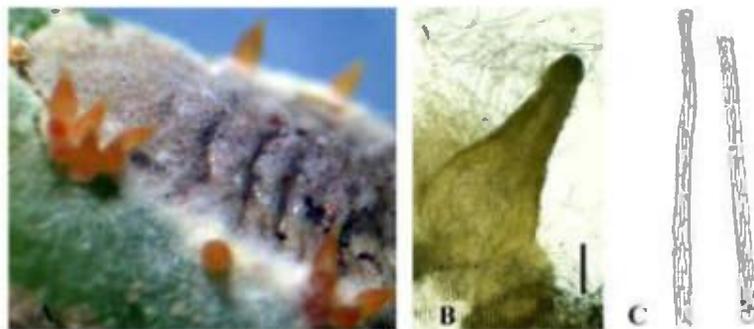


Fig. 4 A-C. A. Estado sexual de *Torrubiella tenuis* en Heteroptera. B. Peritecio y Ascos de *Torrubiella tenuis* (escala: 25  $\mu\text{m}$ ). C. Asco con

ascosporas de *Torrubiella tenuis* (escala: 10 µm). Fotos y dibujos por S. Y. Castillo, 2006.

## DISCUSIÓN

La mayoría de los insectos recolectados pertenecen a los órdenes Dermáptera, y Hemiptera (subórdenes Heteroptera y Homoptera). La presencia de estos órdenes fue común en todas las fincas en estudio. Los especímenes mayormente recolectados fueron insectos escamas (Homóptera), de los cuales se obtuvieron aislamientos del género *Acremonium*. En cambio en chinches (Heteroptera) se obtuvieron aislamientos del género *Beauveria* y *Fusarium*. Bustillo *et al.* (2002), sugiere que *F. oxysporum* puede actuar como saprofito o ser un patógeno débil y que bajo las condiciones de laboratorio y en el campo no causa una tasa elevada de mortalidad. Los aislamientos menos frecuentes fueron del género *Lecanicillium* y *Metarhizium*. Las especies aisladas en este estudio fueron: *A. charticola*, *A. crassum*, *B. bassiana*, *B. brongniartii*, *L. tenuipes* y *T. tenuis*, que de acuerdo con la literatura se consideran como especies entomopatógenas (Tzean *et al.*, 1997, Trabanino *et al.*, 2001, Morales *et al.*, 2009). De la especie *T. tenuis* no se logró obtener aislamientos, pero fue el único hongo en estado sexual encontrado en campo. La especie desarrolló fructificaciones en forma de peritecios sobre el cuerpo de insectos escamas. Johnson *et al.* (2009), menciona que esta especie es normal encontrarla parasitando insectos escamas y que presenta un peritecio con forma cónica alargada y un estroma aplanado.

Los resultados encontrados en este estudio son similares a los encontrados en cafetales de México y Colombia, donde se estudió la micobiota asociada en forma natural a *H. hampei* (Pérez *et al.*, 2003, Bustillo *et al.*, 2002), encontrando los hongos *Acremonium* sp., *B. bassiana*, *F. oxysporum* y *M. anisopliae* como enemigos naturales. Igualmente Morales *et al.* (2009), realizó estudios sobre hongos entomopatógenos asociados a la muerte de la broca en cafetales de Renacimiento-Panamá, en los cuales se registró solo los hongos *Beauveria* sp. y *Fusarium* sp.

## CONCLUSIONES

Los hongos mayormente aislados de insectos muertos recolectados en siete fincas de café en Boquete fueron los géneros *Acremonium* y *Beauveria*. En menor grado se obtuvieron aislamientos de *Fusarium*, *Lecanicillium* y *Metarhizium*. Se ha documentado que *Acremonium* sp., *B. bassiana*, *F. oxysporum* y *M. anisopliae* son los hongos que podrían tener mayor potencial para ser utilizadas en el control biológico de plagas. Aunque en la investigación no se pudo corroborar si los hongos aislados infectaron a los insectos en su estado vivo o muerto, se presume que la infección ocurrió cuando el insecto aún estaba vivo. Por lo que, hace falta realizar ensayos de patogenicidad con los cultivos obtenidos, determinar niveles de infestación y obtener luego biopreparados fúngicos para el control biológico de la broca y otros insectos plagas.

## AGRADECIMIENTOS

Este trabajo se realizó con el apoyo del Instituto de Investigaciones Agropecuarias de Panamá (IDIAP), la Universidad Autónoma de Chiriquí, la Universidad Goethe, Frankfurt am Main y el Servicio de Intercambio Académico Alemán (DAAD). Se agradece a R. Kirschner por su apoyo en la identificación de las muestras.

## REFERENCIAS

Bustillo, A.E., R. Cárdenas & F.J. Posada. 2002. Natural enemies and competitors of *Hypothenemus hampei* (Ferrari) (Coleoptera: Scolytidae) in Colombia. *Neotrop. Entomol.* 31: 635-639.

De la Rosa, W., H.R. Segura, J.F. Barrera & T. Williams. 2000. Laboratory evaluation of the impact of entomopathogenic fungi on *Prorops nasuta* (Hymenoptera: Bethyridae), a parasitoid of the Coffee Berry Borer. *Environ. Entomol.* 29: 126-131.

Estrada, M.N. & P.A. Vélez. 2003. Procedimiento para el registro, aislamiento, mantenimiento, preservación y sistematización de una colección de hongos entomopatógenos. *Manejo Integrado de Plagas y Agroecología (Costa Rica)* 70: 1-7.

González-Castillo, M., C.N. Aguilar & R. Rodríguez-Herrera. 2012. Control de insectos-plaga en la agricultura utilizando hongos entomopatógenos: retos y perspectivas. *Revista Científica de la Universidad Autónoma de Coahuila* 4 (8): 42-55.

Guerra, T. & J.A. Bernal Vega. 2012. Determinación de los niveles de infestación de *Hypothenemus hampei ferrari* (Coleoptera: Curculionidae) en dos fincas de café en renacimiento, Chiriquí, Panamá. *Scientia* 22(1): 21-32.

Johnson, D., G. Sung, N.L. Hywel, J.J. Luangsa, J.F. Bischoff, R.M. Kepler & J.W. Spatafora. 2009. Systematics and evolution of the genus *Torrubiella* (Hypocreales, Ascomycota). *Mycol. Res.* 113: 279-289.

Monzón, A. 2001. Producción, uso y control de calidad de hongos entomopatógenos en Nicaragua. *Manejo Integrado de Plagas (Costa Rica)* 63: 95-103.

Morales, R.A., E. Sánchez, S. Caballero & J. Muñoz. 2009. Inventario de hongos asociados a la muerte de la broca del café (*Hypothenemus hampei* Ferr.) en Renacimiento, Panamá. Nota de investigación en progreso. *Revista del Instituto de Investigación Agropecuaria de Panamá* 13 (4): 1-4.

Pérez, J., F. Infante, F. Vega, F. Holguin, J. Macias, J. Valle, G. Nieto, S. Peterson, C. Kurtzman & K. O'Donnell. 2003. Mycobiota associated with the Coffee Berry Borer (*Hypothenemus hampei*) in Mexico. *Mycol. Res.* 107: 879-887.

Piepenbring, M. 2006. Checklist of Fungi in Panama. *Puente Biológico (Universidad Autónoma de Chiriquí)* 1: 1-190.

Trabanino, R., C. Kuniyoshi & M. Michel. 2001. Manual de agentes de control biológico. Centro de control biológico para Centroamérica. Honduras, Zamorano. Biblioteca Wilson Popenoe [Consultado 01 enero 2006]. Disponible en: <http://www.zamorano.edu/biblioteca>.

Tzean, S.S., L.S. Hsieh & W.J. Wu. 1997. Atlas of entomopathogenic fungi from Taiwan. Council of Agriculture, Executive Yuan, Taiwan. 214 pp.

Zare, R. & W. Gams. 2001. A revision of *Verticillium* section *Prostrata* IV. The genera *Lecanicillium* and *Simplicillium* gen. nov. Nova Hedwigia 73: 1-50.

*Recibido abril de 2012, aceptado agosto de 2013.*



## ASPECTOS BIOLÓGICOS Y PESQUEROS DE *SCOMBEROMORUS SIERRA* (PERCIFORMES: SCOMBRIDAE) EN EL GOLFO DE MONTIJO, PACÍFICO DE PANAMÁ

Ángel J. Vega, Fernando Quezada G. y Yolani A. Robles P.

Universidad de Panamá, Centro Regional Universitario de Veraguas. Facultad de Ciencias Naturales, Exactas y Tecnología.

E-mail: angeljv@cwpanama.net

### RESUMEN

La sierra (*Scomberomorus sierra*) es una de las principales especies que se captura en el Golfo de Montijo, catalogado como Humedal de Importancia Internacional, además de ser un importante sitio de pesca en el Pacífico de Panamá. En el presente trabajo se describen aspectos biológicos y pesqueros de *Scomberomorus sierra* procedentes de Palo Seco y estero Caté en el Golfo de Montijo, Pacífico de Panamá. Las muestras fueron colectadas mensualmente entre marzo de 2003 y febrero de 2004, con el uso de redes agalleras de 7.62 cm (malla 3) por espacio de tres días en cada sitio. Cada ejemplar se midió en su longitud total (LT, 0.1 cm), se pesó total (PT, 0.1 g) y se le extrajo las gónadas y el estómago para los análisis reproductivos y alimentarios. La longitud total promedio fue de 47.39 cm ( $\pm 6.16$  DE) y el peso promedio fue de 559.79 g ( $\pm 239.15$  DE). La talla media de captura se estimó en 46.87 cm de LT. La proporción sexual favoreció a las hembras (1.7:1) y la reproducción fue continua durante todo el periodo de muestreo, con mayor intensidad entre octubre y febrero, lo que se reflejó en valores altos del índice gonadosomático y mayor porcentaje de gónadas maduras. Comparando datos de desembarque para 2003 y 2004, se observó una disminución de las capturas en un 42 %. Esta disminución en los volúmenes de desembarque, el aumento de las capturas durante el principal momento reproductivo y la talla media de captura inferior a la talla media de primera madurez ( $L_{50}$ ) reportada, son indicios de sobrepesca.

## **PALABRAS CLAVES**

Pacífico Oriental Tropical, sierra, Scombridae, estructura de tallas, alimentación, reproducción.

## **ABSTRACT**

The Pacific sierra (*Scomberomorus sierra*) is one of the main species that is captured in the Gulf of Montijo, site listed as a wetland of international importance, in addition to being an important site of fishing in the Pacific from Panama. This study describes biological and fisheries aspects of *Scomberomorus sierra* from Palo Seco and Estero Caté, Gulf of Montijo, Pacific coast of Panama. Samples were collected monthly of March 2003 to February 2004, during three days of catch efforts for locality, using gillnets of 7.62 cm stretch mesh. Specimens were measured (total length, Lt:  $\pm 0.1$  cm) and weighted (W,  $\pm 0.1$  g). Stomach and gonads were removed to access food and reproductive analysis. Mean total length was 47.39 cm ( $\pm 6.16$  SD), and the mean weight was 559.79 g ( $\pm 239.15$  SD). The minimum catch length was determinate in 47.39 cm Lt. The analysis of stomach contents showed a feeding mainly based on fishes. The sex ratio was 1.7 female to 1 male. Results showed a continuous reproduction throughout the year, but at higher intensity between the months of October and February. Due to individuals breeding at different times, with the consequence that presents gonads at different stages of maturity. An impact of overfishing was determinate for *S. sierra*, declining in a 42% of volume of fishing of 2003 to 2004. This decrease in the volumes of landings, catches increased during the main reproductive moment and means size of capture less than the mean size at first maturity ( $L_{50}$ ) reported, is signs of overfishing.

## **KEYWORDS**

Pacific Eastern Tropical, sierra, Scombridae, structure of size, feeding, reproduction.

## **INTRODUCCIÓN**

El Golfo de Montijo es uno de los principales caladeros de pesca en el Pacífico de Panamá, donde la sierra (*Scomberomorus sierra*) aporta importantes volúmenes de captura a la pesca artesanal del área, sin embargo hay pocos trabajos que contribuyan a entender aspectos biológicos y pesqueros sobre esta especie, que apoyen en la toma de decisiones para lograr una pesquería sostenible.

La sierra es una especie pelágica que puede alcanzar los 112 cm de longitud total, forma cardúmenes y habita en zonas costeras, entre 0-15 m de profundidad (Robertson & Allen, 2008). Como juveniles se le

encuentra muy cerca a las bocas de estuarios y a medida que alcanzan mayor tamaño se ubican hacia zonas más abiertas, formando cardúmenes cerca de la superficie (Box y Salgado, 2009). Esta especie, junto con algunos de sus congéneres son importantes en las pesquerías tropicales destinadas al consumo humano, mientras las macarelas y atunes, además de ser parte de las pesquerías comerciales, son importantes en la pesca deportiva (Schmidt *et al.*, 1993, Sadeghi *et al.*, 2009).

La sierra, nombre con el que se conoce entre pescadores, se encuentra asociada a la pesca artesanal desarrollada en zonas cercanas a la costa y para las capturas se utilizan redes de enmalle, lo que representa una desventaja en el aprovechamiento sostenible del recurso. Lucano-Ramírez *et al.* (2011), reportan que la talla promedio capturada con redes de 7.6 cm de luz de malla fue de 48.3 cm, por debajo de la talla de primera madurez ( $L_{50}$ ) que para machos y hembras fue de 59.3 cm y 56.4 cm, respectivamente. Aguirre - Villaseñor *et al.* (2006), indican que el 70 % de las hembras de *Scomberomorus sierra* capturadas en la zona sur del Golfo de California están por debajo de la talla de primera madurez, en ambos casos el impacto es negativo para la sostenibilidad de esta especie, adicional al hecho de que esto puede ser el reflejo de lo que sucede con muchas de las pesquerías en todo el Pacífico.

La reproducción en el Golfo de California y el Pacífico mexicano ha sido descrita como continua, con mayor intensidad entre los meses de abril y junio, cuando las gónadas alcanzan su máxima madurez, tanto para machos como hembras (Aguirre- Villaseñor *et al.*, 2006 y Lucano- Ramírez *et al.*, 2011). Se alimenta exclusivamente de peces, particularmente anchoas (*Anchoa* y *Cetengraulis*) y clupeidos (*Odontognathus* y *Opisthonema*) (Vega *et al.*, 2004, Box y Salgado 2009).

Considerando la importancia de este recurso en la pesca artesanal que se desarrolla en las costas del Pacífico de Panamá, se analizó los volúmenes de captura, la estructura de tallas, reproducción y alimentación de la sierra (*Scomberomorus sierra*) en el Golfo de Montijo.

## **MATERIALES Y MÉTODOS**

### **Área de Estudio**

El Golfo de Montijo, 7° 35' 42" y 7° 50' 45" N y 80° 59' 27" y 81° 13' 30" W, se configura con una disposición meridiana de 30 km desde la parte más interna de los manglares de la Trinidad, al norte, hasta la Isla de Cébaco, que lo cierra al sur. Su litoral está flanqueado por manglares, excepto al suroeste en Hicaco (entre el Tigre y Punta Brava) y al sureste, en Llano Mariato. Los ríos más importantes son el río Caté al sureste, río San Pablo al noreste, río San Pedro al norte, río Ponuga al noroeste, río Suay al oeste y río Mariato al suroeste. En las desembocaduras de estos ríos se distribuyen los manglares del Golfo de Montijo (Cámara *et al.*, 2004).

Los movimientos de las aguas en el Golfo están condicionados al movimiento de las mareas y a los patrones de descargas de los ríos, lo cual está relacionado con el régimen de lluvias imperante. La existencia de dos temporadas climáticas bien marcadas (lluviosa y seca) producen variaciones en los volúmenes de agua dulce, lo cual repercute sobre variables como temperatura, salinidad, oxígeno disuelto, nutrientes y sedimentos en suspensión (Vega *et al.*, 2004).

### **Muestras**

Las muestras analizadas fueron obtenidas de las faenas de pesca realizadas con pescadores de dos zonas dentro del Golfo de Montijo: desembocadura del río Caté (07°42'46.65" N, 81°12' 31.28" W) y Palo Seco (07° 35' 27.2" N, 80° 58' 41.4" W). Para los muestreos se utilizaron embarcaciones tipo panga de 7.5 m de eslora, redes de enmalle (trasmallos) de 7.62 cm de apertura de malla (malla 3).

A cada ejemplar capturado se le registró la longitud total (LT) (cm), la longitud horquilla (LH) (cm) y el peso total (PT) (g), se le extrajeron las gónadas y se analizó el contenido estomacal. Las gónadas fueron pesadas inmediatamente ( $\pm 0.1$  g) y clasificadas cualitativamente según Rojas (1997) y Torres *et al.* (1999):

1. Indiferenciadas: desarrollo gonadal incipiente. Difícil de diferenciar el macho de la hembra.
2. Inmaduras: Ovarios y testículos cerca de 1/3 de la longitud de la cavidad abdominal. Ovarios rosáceos, translúcidos y huevos invisibles, a simple vista. Testículos blancuzcos.

3. Gónadas en maduración y maduras: ovarios y testículos vascularizados, ocupando entre 2/3 de la longitud total de la cavidad abdominal. Ovarios rosáceos, amarillos o naranjas, de aspecto granular con huevos transparentes o translúcidos. Testículos blancuzcos a crema.
4. Desovados: ovarios y testículos flácidos o contraídos cerca de la mitad de la longitud de la cavidad abdominal. Vasos sanguíneos rotos.

El índice gonadosomático (IGS) se estimó con la ecuación:  $IGS = \frac{\text{Peso de la gónada (g)}}{\text{peso total (g)}} * 100$  (Rojas 1997, Maddock & Burton 1998).

Los volúmenes de captura fueron obtenidos del Departamento de Estadísticas Generales, Autoridad Marítima de Panamá- Misión Técnica de Taiwán quienes llevaban las estadísticas de la Asociación de Pescadores Artesanales de Palo Seco y Malena (APPASEMA).

**Análisis de los resultados:** Se obtuvo la relación longitud total-peso total a través de la ecuación potencial  $PT = a * LT^b$ , donde: PT = peso total (g), LT = LT (cm), a: factor de condición y b= pendiente de la curva o factor de alometría. La relación entre la LT y LH se estimó a través de una regresión lineal y para determinar el tipo de crecimiento (alométrico-Isométrico) se utilizó la prueba "t" donde se contrastó el parámetro de alometría con respecto a 3. El valor de t se obtuvo de la ecuación:  $t = \frac{Sx(\sqrt{n-1})(b - \beta_0)}{Se}$ , donde Sx= desviación estándar de los valores de LT; n= tamaño de la muestra; b = pendiente de la relación PT-LT;  $\beta_0 = 3$ , valor de crecimiento isométrico; Se= desviación estándar del estimado (Medina-Gómez, 2006).

Se aplicó la prueba estadística Chi cuadrado ( $X^2$ ) para analizar la proporción sexual y la U de MannWhitney para comparar tallas y pesos entre machos y hembras (Zar, 2009).

## RESULTADOS

**Estructura de tallas y pesos:** Se midieron y pesaron 396 ejemplares de sierra, 253 machos y 143 hembras. La longitud total varió entre 31.5 y 74.3 cm ( $\bar{x} = 47.39 \pm 6.16$  cm DE). La comparación por sexo indicó que las hembras resultaron más grandes ( $\bar{x} = 48.08 \pm 6.59$  cm

DE) que los machos ( $\bar{x} = 46.17 \pm 5.10$  cm DE) (Mann-Whitney U-test;  $z = -2.98$ ,  $P = 0.003$ ,  $n = 396$ ). El peso total vario entre 145.30 y 2291.00 g ( $\bar{x} = 559.79 \pm 239.15$  cm DE). De igual forma, la comparación por sexo indicó que las hembras resultaron más pesadas ( $\bar{x} = 590.27 \pm 276.09$  g DE) que los machos ( $\bar{x} = 507.31 \pm 172.52$  g DE) (Mann-Whitney U-test;  $z = -3.09$ ,  $P = 0.002$ ,  $n = 396$ ) que los machos (Fig. 1).

La relación entre el LT y el LH está dada por la ecuación:

$$LH = 0.8690*LT - 0.9091, \quad r^2 = 0.95 \text{ (Fig. 2).}$$

La relación entre el largo total y el peso total está dada por la ecuación:

$$PT = 0.064 LT^{2.9372}, \quad r^2 = 0.97 \text{ (Fig. 2).}$$

donde la pendiente de la relación entre el largo total y el peso total es de 2.9372 y resultó diferente de 3 (prueba t,  $p < 0.05$ ), por lo que el crecimiento es alométrico.

**Talla media de captura:** La talla media de captura se estimó en 46.87 cm de LT, lo que implica que el 50 % de las capturas estuvieron por debajo de dicha talla (Fig. 3).

**Proporción sexual y variación de los estadios de madurez:** Se analizaron las gónadas de 397 ejemplares, 146 machos y 251 hembras, en proporción 1.7:1, favorable a las hembras ( $\chi^2 = 14.2$ ,  $P = 0.0002$ ). De los machos el 54.79% (80) estaban maduros, mientras que el restante 45.20% (66) estaban en estadios tempranos de maduración gonadal. De las hembras capturadas el 77.2% (194) estaban en estadios tempranos de madurez y el 22.7% (57) maduras. La condición de hembras inmaduras (H2) estuvo presente durante todos los meses del año, mientras que las hembras maduras (H3) aparecieron a partir de septiembre hasta febrero con mayor frecuencia de diciembre a febrero (temporada seca). En el caso de los machos la condición inmadura (M2) se presentó durante todos los meses, al igual que los machos maduros (M3) con excepción del mes de septiembre y la mayor frecuencia para esta condición se registró entre octubre y noviembre (Fig.4).

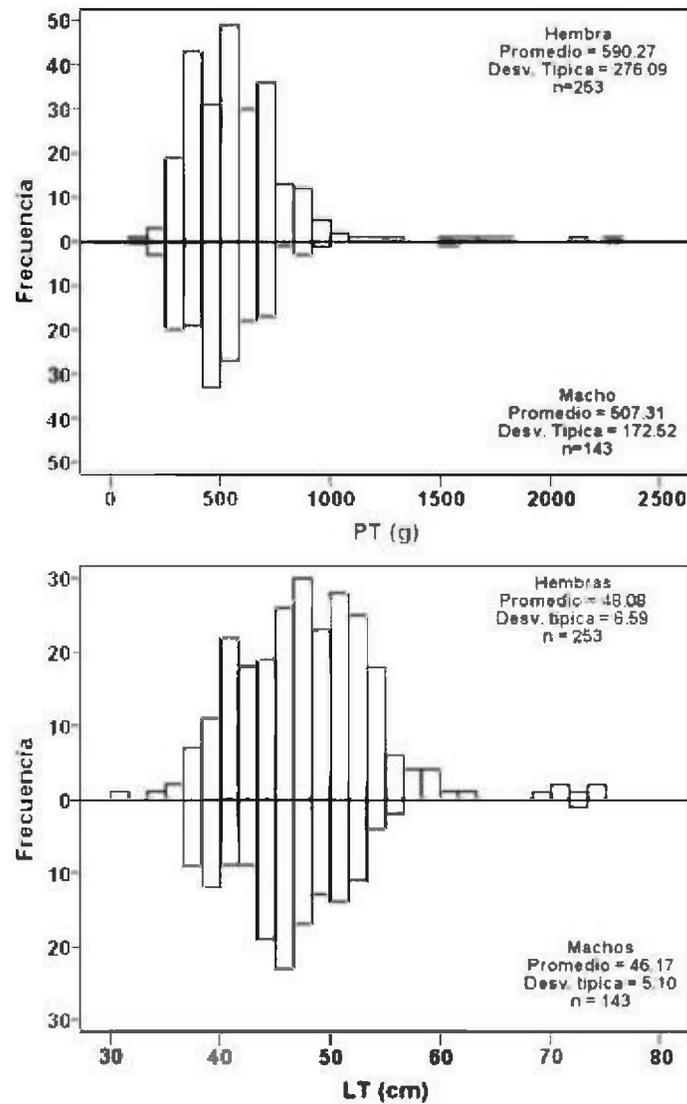


Fig.1. Estructura de tallas (largo total) y pesos (peso total) según sexo para *Scomberomorus sierra* obtenidas de la pesca artesanal en el Golfo de Montijo, Pacífico de Panamá.

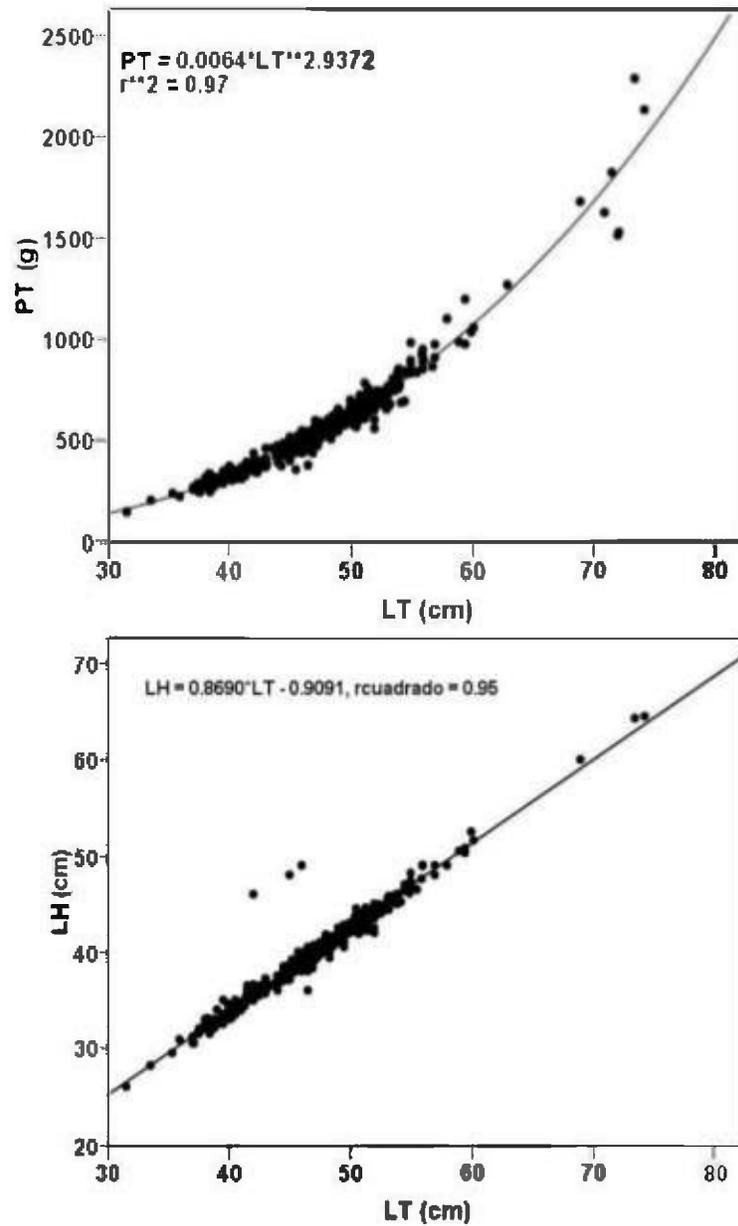


Fig. 2. Relación longitud total (LT) - peso total (PT) y longitud total (LT) - longitud horquilla (LH) para *Scomberomorus sierra* obtenidas de la pesca artesanal en el Golfo de Montijo, Pacífico de Panamá.

### Índice gonadosomático (IGS)

El IGS presentó correlación positiva y significativa con el peso ( $r = 0.92$ ,  $p < 0.05$ ) y la longitud total ( $r = 0.93$ ,  $p < 0.05$ ). Las tres variables presentaron un aumento sostenido entre octubre y febrero, lo que indica la presencia de sierras de mayor tamaño, más pesadas y con mayor grado de madurez sexual desde finales de la temporada lluviosa y durante inicio de la temporada seca. (Fig. 5).

**Alimentación:** Del total de estómagos analizados (397) el 29 % presentaron contenido estomacal y el restante 71 % correspondió a estómagos vacíos. En los estómagos sólo se encontró peces, principalmente pequeños pelágicos (Engraulidae y Clupeidae).

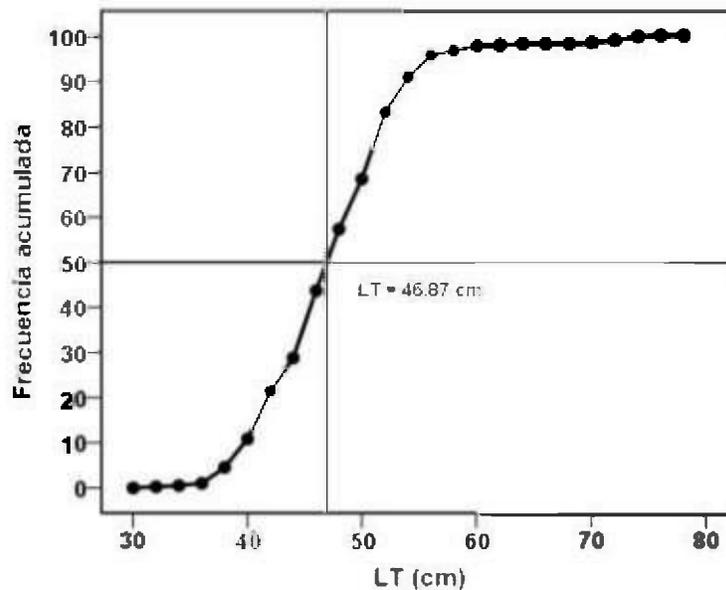


Fig. 3. Talla media de captura estimada con base en la longitud total (LT) para *Scomberomorus sierra* obtenidas de la pesca artesanal en el Golfo de Montijo, Pacífico de Panamá.

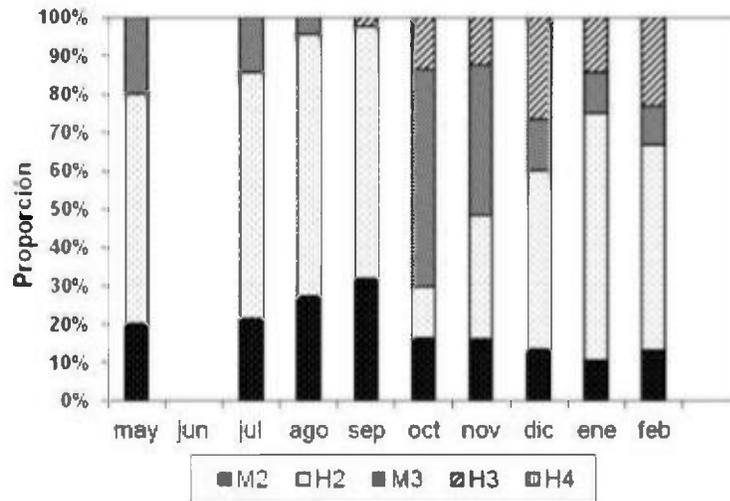


Fig. 4. Proporción mensual de los diferentes estadios de desarrollo gonadal para *Scomberomorus sierra* obtenidas de la pesca artesanal en el Golfo de Montijo, Pacífico de Panamá.

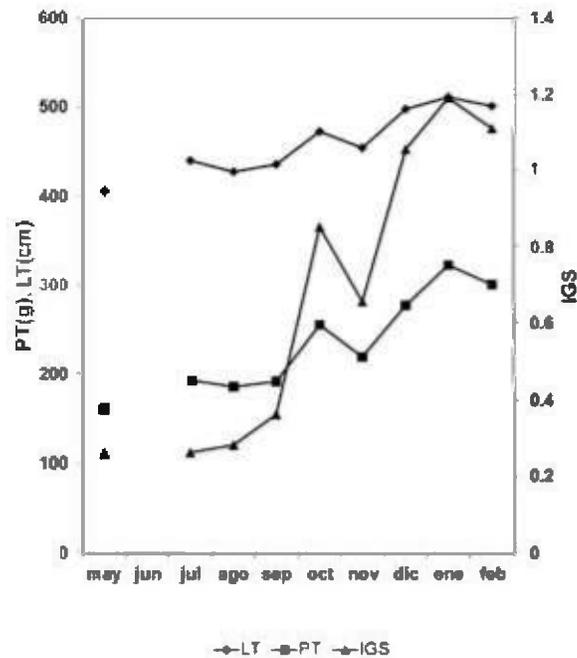


Fig. 5. Relación entre la longitud total (LT), el peso total (PT) y el índice gonadosomático (IGS) para *Scomberomorus sierra* obtenidas de la pesca artesanal en el Golfo de Montijo, Pacífico de Panamá.

**Volumen de captura y precios de venta:** Se obtuvo información sobre capturas para los años 2002 y 2003, en ambos periodos las mayores capturas se presentaron hacia finales del año, entre septiembre y diciembre, meses en los cuales se practica la pesca de sierra con trasmallo “bollao” (a la deriva) debido a la entrada de cardúmenes importantes de sierra al Golfo de Montijo (Fig. 6). En el 2002 y 2003 la sierra se pagó al pescador a US\$ 0.35 por libra de pescado eviscerado. En el 2002 y 2003, APPASEMA comercializó 4338 kg y 2527 kg, respectivamente, lo que representó una reducción del 42% en las capturas.

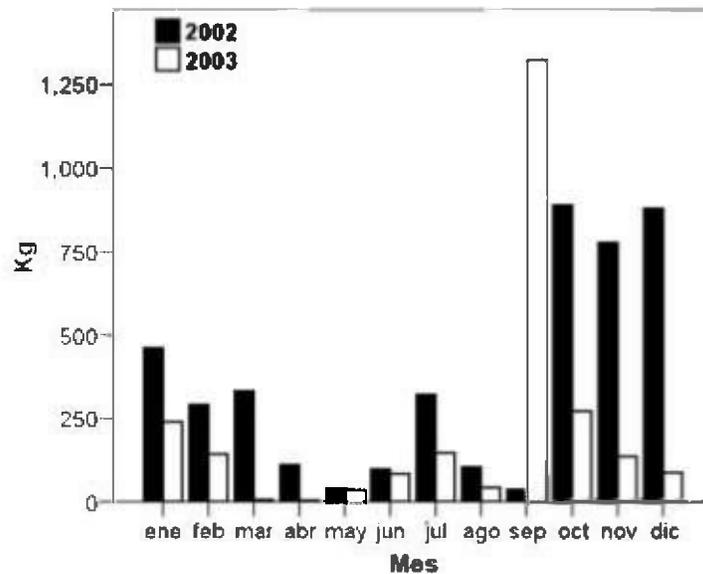


Fig. 6. Volúmenes de captura de *Scomberomorus sierra* obtenidas de la pesca artesanal en el Golfo de Montijo, Pacífico de Panamá durante los años 2002 y 2003. Fuente: Asociación de Pescadores Artesanales de Palo Seco y Malena (APPASEMA).

## DISCUSIÓN

La sierra es una especie pelágica que entra en cantidades importantes al Golfo de Montijo hacia finales de la temporada lluviosa e inicio de la temporada seca, provocando cambios en la técnica de pesca, donde el mismo arte de pesca, la red agallera, se coloca a la deriva, específicamente para capturar este recurso. Su entrada en estos meses

parece estar asociada a eventos reproductivos pues coinciden con aumentos en la condición de madurez gonadal.

Otros factores vinculados a su presencia en este periodo en el Golfo, es la disminución de las lluvias y el aumento de la salinidad y transparencia de las aguas en el sistema. Además, al ser una especie que se alimenta de pequeños pelágicos, según los pescadores su presencia se asocia con la entrada de cardúmenes de engraulidos y clupeidos al Golfo.

Las tallas de captura de *Scomberomorus sierra* en el Golfo de Montijo variaron entre 31.5 y 74.3 cm de longitud total. Para el Golfo de California se comunican tallas de captura de 10.5 cm a 74.0 cm de longitud furcal (Aguirre-Villaseñor, 2006), en el Pacífico Central de México de 26 a 102.8 cm de longitud total (Lucano- Ramirez *et al.*, 2011) y para Colima, México, entre 29.26 y 100 cm, en promedio 52.79 cm de longitud total (Espino-Barr *et al.*, 2003). Excepto en el Golfo de California, donde se incorporan a las pesquerías sierras de 10.5 cm, en el resto de las localidades, la menor talla de captura se ubica cerca de los 30 cm. La diferencia con el Golfo de California puede estar dada por el uso de trasmallos de 6.35 cm (malla 2.5 pulgadas), el cual está prohibido su uso en Panamá.

La talla máxima capturada, en todas las localidades de México, son superiores a las del Golfo de Montijo, lo cual puede ser resultado del arte de pesca utilizado o de la captura de especímenes en áreas utilizadas por juveniles y adultos para suplir necesidades tales como alimentación, reproducción, crecimiento, migraciones o diferencias entre poblaciones (Medina- Gómez, 2006).

### **Reproducción**

La proporción sexual a favor de las hembras es similar a lo encontrado para esta misma especie por Lizárraga-Rodríguez (1984) en Nayarit México y diferente a lo reportado por Aguirre – Villaseñor *et al.* (2006) para el Golfo de California y Lucano – Ramirez *et al.* (2011) para el Pacífico Central de México, donde no encuentran diferencias significativas en la proporción sexual de *S. sierra*. La proporción sexual es una condición que puede estar influenciada por patrones de comportamiento, segregación espacial para la reproducción o el arte de

pesca en función del crecimiento diferencial entre machos y hembras, e inclusive errores en la identificación macroscópicas de las gónadas (Aguirre-Villaseñor *et al.*, 2006, Lucano-Ramírez *et al.*, 2011).

Los valores del índice gonadosomático y del análisis de los estadios de desarrollo gonadal sugieren una fuerte actividad reproductiva hacia finales e inicio de año, lo que corresponde al periodo de culminación de la época lluviosa e inicios de la temporada seca. Este aumento en la actividad reproductiva coincide con la entrada de la sierra a la parte externa del sistema estuarino, donde es objeto de una actividad intensa de pesca con el uso de trasmallos a la deriva, reportándose los mayores volúmenes de captura en el mismo periodo donde se presentan los picos reproductivos.

En el Pacífico mexicano, la sierra muestra una fuerte actividad reproductiva entre mayo y septiembre, periodo que coincide con la primavera y verano, donde se presentan temperaturas más elevadas (Aguirre-Villaseñor *et al.*, 2006, Lucano-Ramírez *et al.*, 2011). Para latitudes bajas, evidencias sobre reproducción de la sierra se obtuvieron a partir de estudios de dinámica larvaria, donde se sugiere que la sierra desova cerca de la costa (Klawe, 1966, Lauth & Olson, 1996) y que este desove ocurre entre diciembre y abril (Klawe, 1966). Este periodo coincide con la entrada de la sierra al Golfo de Montijo y con la presencia de gónadas en máximo grado de desarrollo, como efectivamente lo demuestran nuestros resultados.

La talla de primera madurez ( $L_{50}$ ) estimada para Mazatlán, Pacífico de México fue de 44.3 cm de LH (Aguirre-Villaseñor *et al.*, 2006), lo que equivale a 52.02 cm de LT. Sin embargo, Espino-Barr (2012), para Colima, México, estimaron la  $L_{50}$  en 48 cm de LT. En el Golfo de Montijo la talla media de captura se estimó en 46.87 cm de LT, lo que implica que este valor está muy por debajo de la talla media reproductiva, lo que repercute de manera negativa en la capacidad reproductiva de la población de sierra.

### **Alimentación**

La preferencia por los peces en la alimentación de *S. sierra* ha sido señalada por varios autores Allen y Robertson (1994), para los escómbridos del Pacífico; Bussing y López (1993), en peces

demersales de Costa Rica y Fischer *et al.*, 1995 quienes señalan a *S. sierra* como depredador de Anchoas; Lagler (1984) para las macarelas en el mar del norte, los cuales son depredadores que siguen de cerca las concentraciones de arenque y con Ramírez-Arredondo (1994), para la especie *Euthymus alletteratus* (Scombridae), que es un depredador principalmente de peces.

Según la naturaleza del alimento ingerido y a las categorías del mismo, *S. sierra* se puede ubicar dentro de la categoría de los organismos carnívoros ictiofagos. Dicho comportamiento es similar a lo indicado para otras especies de la familia Scombridae: Ramírez-Arredondo (1994), en *Euthymus alletteratus*, Beaumariage (1973) en *Scomberomorus cavalla*.

Sin duda la sierra representa un recurso importante para los pescadores artesanales en el Golfo de Montijo, donde las mayores capturas coinciden con los meses de finalización de la temporada lluviosa e inicio de la seca. Este periodo coincide también con la mayor actividad reproductiva, lo que sugiere que la pesca de sierra tiene un impacto sobre la actividad reproductiva de la especie, por lo que se debe establecer una estrategia de manejo que garantice el mantenimiento de un stock desovante.

El Golfo de Montijo, al ser un área protegida, debe contar con un plan de manejo que debe incluir un plan de aprovechamiento pesquero sostenible, por lo que la información generada en este trabajo ayudaría de manera importante en la toma de decisiones sobre temas relacionados a la gestión pesquera. Por ejemplo, al ser un especie que captura principalmente con red agallera a la deriva, el establecimiento de controles en el esfuerzo, limitando la cantidad de permisos específicamente para este tipo de pesca, acompañado de registros serios y sistemáticos de los volúmenes de captura puede ayudar a entender mejor la dinámica de la explotación de este recurso.

## CONCLUSIONES

Es poco lo que se conoce sobre los temas biológicos y pesqueros de la sierra en las aguas del Pacífico centroamericano. En este sentido, este estudio aporta información importante para entender estos aspectos.

Sin duda es información de línea base para análisis comparativos, de la evolución de la pesquería de esta especie, sobre todo dentro del contexto de la generación del Plan de Manejo que es necesario desarrollar para el Humedal de Importancia Internacional Golfo de Montijo

### **AGRADECIMIENTOS**

A la Cooperación Española (Fondo Mixto Araucaria), a la Autoridad Nacional del Ambiente y a la Autoridad de Recursos Acuáticos de Panamá por el apoyo brindado para el desarrollo de la investigación. También se agradece a los pescadores artesanales de Palo Seco y Caté por el apoyo brindado, así como a los revisores anónimos que ayudaron a mejorar la calidad del documento.

### **REFERENCIAS**

- Aguirre-Villaseñor, H., E. Morales-Bojórquez, R.E. Morán- Angulo, J. Madrid-Vera & M.C. Valdez-Pineda. 2006. Biological indicators for the Pacific sierra (*Scomberomorus sierra*) fishery in the southern Gulf of California, Mexico. *Ciencias Marinas* 32(3): 471-484.
- Allen, G.R. & D. R. Robertson. 1994. *Fishes of the Tropical Eastern Pacific*. University of Hawaii. Honolulu. Hawaii. 332 pp.
- Box, S. J. & R. Salgado B. 2009. Evaluación de las prácticas pesqueras en Pesquerías de pequeña escala del Golfo de Fonseca, Honduras. Recomendaciones para el manejo. Informe Técnico. 39 pp.
- Beaumariage, D. S. 1973. Age, growth, and reproduction of king mackerel, *Scomberomorus cavalla*. *Fla. Mar. Res. Publ.* 1:1-45.
- Bussing, W. A. & M. I. López S. 1993. Peces demersales y pelágicos costeros del Pacífico de Centroamérica Meridional. Guía Ilustrada. Publicación Especial de la Rev. Biol. Trop. 263 pp.
- Cámara A., R., F. Díaz Olmo, J.R. Martínez B., M. del C. Morón M., C. Gómez-Ponce, E. Tabares, & J.A. Vega. 2004. Directrices de gestión para la conservación y desarrollo integral de un humedal

centroamericano: Golfo de Montijo (Litoral del Pacífico de Panamá). Cooperación Española, Fundación Demuca, MEF-ANAM.

Espino-Barr, E., M. Cruz-Romero & A. Garcia-Boa. 2003. Peces marinos con valor comercial de la costa de Colima, México. CONABIO, INP, CRIP-Manzanillo, ISBN 970-9000-23-3, México D.F., México. 106 p.

Espino-Barr, E., R. A. Nava-Ortega, M. Gallardo-Cabello, E. G. Cabral-Solis, M. Puente-Gómez & A. Garcia-Boa. 2012. Aspects of *Scomberomorus sierra* fishery from the coast of Colima, México. *Cienc. Pesq.* 20(1): 77-88.

Fischer, W., F. Krup, W. Schneider, C. Sommer, K. E. Carpenter & V. H. Niem. 1995. Guía FAO para la Identificación de Especies de para los fines de la Pesca. Pacífico Centro-Oriental. Volumen III. Vertebrados - Parte 2., FAO3:1201-1813.

Klawe, W. L. 1966. Notes on Occurrence of Young and Spawning of *Scomberomorus sierra* in the Eastern Pacific Ocean. *Pac. Sci.* 20: 445-451.

Lagler, K.F., J.E. Bardach, R.R. Millar & D.M. Passino. 1984. *Ictiología*. AGT Editor, México D.F., México.

Lauth, R. R. & R. J. Olson. 1996. Distribución y abundancia de escómbridos larvales en relación al ambiente físico en el noroeste del recodo de Panamá. Comisión Interamericana del Atún Tropical. *Bull.* 2. 127-167.

Lizárraga-Rodríguez, H. 1984. Contribución al conocimiento de la pesquería de la sierra *S. sierra* en la costa del estado de Nayarit. Tesis Profesional. Escuela Ciencias del Mar, Universidad Autónoma de Sinaloa.

Lucano-Ramírez, G., S. Ruiz-Ramírez, F.I. Palomera-Sánchez & G. González-Sansón. 2011. Biología Reproductiva de la sierra *Scomberomorus sierra* (Pisces, Scombridae) en el Pacífico Central de México. *Ciencias Marinas* 37(3): 249-260.

Maddock, D.M. & M. P. Burton. 1998. Gross and histological observations of ovarian development and related condition changes in American plaice. *J. Fish Biol.* 53(5): 928–944.

Medina-Gómez, S.P. 2006. Edad y crecimiento de la sierra del Pacífico *Scomberomorus sierra* (Jordan & Starks, 1895), en el Golfo de California, México. Maestría en Manejo de Recursos Marinos. Thesis, Instituto Politécnico Nacional. Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas, La Paz, B. C. S., México vi, 51 pp.

Ramirez-Arredondo, I. 1994. Aspectos alimenticios de la cachama pintada, *Euthynnus alletteratus* (Pisces: Scombridae) de los alrededores de la isla Picua, Estado de Sucre, Venezuela. *Bol. Inst. Oceanogr. Venezuela, Univ. Oriente*, 33(1-2): 113-120.

Robertson, D. R. & G. R. Allen. 2008. Peces Costeros del Pacífico Oriental Tropical: Sistema de Información en línea. Versión 1.0 (2008). Instituto Smithsonian de Investigaciones Tropicales, Balboa, República de Panamá. [www.neotropicalfishes.org/sftep](http://www.neotropicalfishes.org/sftep), [www.stri.org/sftep](http://www.stri.org/sftep)

Rojas M., J. R. 1997. Fecundidad y época reproductiva del pargo mancha *Lutjanus guttatus* (Pisces: Lutjanidae) en el Golfo de Nicoya, Costa Rica. *Rev. Biol. Trop.* 44 (3)/ 45 (1): 477-487.

Sadeghi, M. S., F. Kaymaram, S. Jamili, M. R. Fatemi & M. S. Mortazavi. 2009. Patterns of reproduction and spawning of the *Scomberomorus commersoni* in the coastal waters of Iran. *J. Fish. Aquat. Sci.* 4: 32–40.

Schmidt, D. J., M. R. Collins & D. M. Wyanski. 1993. Age, growth, maturity, and spawning of Spanish mackerel, *Scomberomorus maculatus* (Mitchill), from the Atlantic Coast of the southeastern United States. *Fish. Bull.* 91: 526-533.

Torres C., L., A. Santos-Martínez & A. Acero P. 1999. Reproducción de *Bairdiella ronchus* (Pisces: Sciaenidae) en la Ciénaga Grande de Santa Marta, Caribe Colombiano. *Rev. Biol. Trop.* 47(3): 553-560.

Vega, A. J., Y. A. Robles P., L. Jordán & J. C., Chang. 2004. Estudio Biológico pesquero en el Golfo de Montijo. Informe de Investigación. Universidad de Panamá. 171 pp.

Zar, J. H. 2009. Biostatistical analysis. 5<sup>th</sup> edition. Pearson Prentice All Education. 944p.

*Recibido junio de 2013, aceptado noviembre de 2013.*



## CARACTERIZACIÓN FLORÍSTICA Y ESTRUCTURAL DE UNA PARCELA DE BOSQUE SEMICADUCIFOLIO EN EL PARQUE NACIONAL SOBERANÍA, PANAMÁ

Juan F. Carrión<sup>1</sup>, Karina E. Víquez<sup>2</sup>, Jorge A. Mendieta<sup>3</sup>, Luis Carrasquilla<sup>3</sup>, Carmen Vergara<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO)

<sup>2</sup> Instituto Smithsonian de Investigaciones Tropicales (STRI)

<sup>3</sup> Departamento de Botánica, Universidad de Panamá (UP)

<sup>1</sup> carrionjf@gmail.com, <sup>2</sup> karinaemperatriz@yahoo.es

### RESUMEN

Se determinó la composición florística arbórea, así como la estructura horizontal (EH) de una parcela de bosque semicaducifolio en el tramo final del sendero "Espíritu del Bosque", Parque Nacional Soberanía, Panamá. Para ello, se delimitó una parcela de 1 ha, la cual a su vez se subdividió en 10 subparcelas de igual tamaño (20 x 50 m). Se midieron e identificaron todos los árboles con un DAP  $\geq$  10 cm y se calculó el índice de valor de importancia (IVI) de las especies arbóreas, para determinar la EH. En promedio por cada subparcela se encontraron 48 individuos y 22 especies. Se registraron en total 480 individuos distribuidos en 78 especies, 59 géneros y 29 familias, siendo la familia Arecaceae (22%) la más abundante, mientras que la familia Fabaceae con 10 especies, presentó la mayor diversidad. El Coeficiente de Mezcla de las especies es de 0.16. La especie *Anacardium excelsum* registró el mayor valor de IVI (18%), lo cual indica que tiene una gran importancia ecológica dentro del área de estudio.

### PALABRAS CLAVES

Espíritu del Bosque, estructura de bosque, IVI, composición florística, *Anacardium excelsum*, Arecaceae.

## ABSTRACT

This work has characterized tree species composition and horizontal structure (HS) of a semideciduous forest plot in the final stretch of the "Espíritu del Bosque" trail, Soberanía National Park. For this purpose, we delimited a 1 ha plot, which in turn was subdivided into 10 equal sized subplots (20 x 50 m). We measured and identified all trees with DBH  $\geq$  10 cm and calculated the Importance Value Index (IVI) of tree species to determine HS. On average for each subplot were found 48 individuals and 22 species. A total of 480 individuals were registered, distributed in 78 species, 59 genera and 29 families, being the family Arecaceae (22%) the most abundant, while Fabaceae family with 10 species had the highest wealth. *Anacardium excelsum* species registered the highest IVI value (18%), indicating that it has a great ecological importance within the studied area.

## KEYWORDS

Forest Spirit, forest structure, IVI, floristic composition, *Anacardium excelsum*, Arecaceae.

## INTRODUCCIÓN

La Cuenca Hidrográfica del Canal de Panamá (CHCP) tiene una superficie de 3 396,5 km<sup>2</sup>, de los cuales 1 585,3 km<sup>2</sup> (47%) están cubiertos por bosques (Pérez, 2008). Esta cuenca es muy importante, ya que provee de agua potable a las ciudades de Panamá y Colón, las más grandes y pobladas del país, así como también abastece a muchas comunidades aledañas. Además, el almacenamiento de las aguas de esta cuenca permite el funcionamiento del Canal de Panamá (CICH-ACP, 2007).

En los últimos 20 años se han efectuado varios censos biológicos dentro del área de la CHCP, con los cuales se ha acumulado gran cantidad de información florística (Pérez, 2008). Uno de los más relevantes se realizó a finales de la década de 1990, como parte del Monitoreo de la CHCP, en el cual se realizaron varios censos de árboles. Otra fuente de información botánica para esta área es el Centro de Ciencias Forestales del Trópico (CTFS) del Instituto Smithsonian de Investigaciones Tropicales (STRI), que ha estudiado y marcado individualmente decenas de miles de árboles en toda la cuenca (Pérez, 2008).

Es ampliamente conocido que los bosques naturales localizados en áreas cercanas a centros urbanos y áreas de futura expansión urbana, sean considerados como ecosistemas de importancia ambiental y ecológica, debido a los innumerables beneficios que prestan a los habitantes de ciudades y pueblos (Alvis, 2009). Por ello, en este estudio, con la finalidad de generar información básica descriptiva, se caracterizó la vegetación arbórea local que rodea el tramo final del sendero “Espíritu del Bosque” en el Parque Nacional Soberanía (PNS). Para ello, se determinó la composición florística arbórea así como la estructura horizontal, mediante el cálculo del IVI. Este tipo de estudio representa un aporte valioso para el entendimiento de la estructura y dinámica de un fragmento de bosque, lo que a su vez es fundamental para comprender los diferentes aspectos ecológicos y para el manejo exitoso de los bosques tropicales (Bawa & Mcdade, 1994).

## **MATERIALES Y MÉTODOS**

**Área de estudio:** el presente estudio se realizó en la parte central de la República de Panamá, en el Parque Nacional Soberanía (PNS), Corregimiento de Ancón, Distrito de Panamá (Provincia de Panamá), en el sendero interpretativo “Espíritu del Bosque” (Fig. 1). Este sendero se encuentra localizado a 9°03’40.5” N y 79°38’26.3” O, aproximadamente a 90 msnm.

Según registros históricos de la estación meteorológica ubicada en Gamboa, la más próxima al área de estudio, la precipitación promedio anual es de 2 146,3 mm ([http://www.hidromet.com.pa/clima\\_historicos.php](http://www.hidromet.com.pa/clima_historicos.php), consultada el 3 de marzo de 2013). La temperatura máxima promedio para el área es de 30,2°C y la mínima promedio es de 23,5°C (ANAM, 1999). De acuerdo al sistema de clasificación de zonas de vida de Holdridge, el área se ubica en la categoría de Bosque Húmedo Tropical (IGNTG, 2007).

**Métodos y análisis de datos:** Se delimitó con la ayuda de una cinta métrica una parcela de 1 ha y ésta a su vez se dividió en 10 subparcelas de igual tamaño (20 x 50 m = 0.1 ha) de acuerdo a la metodología de Sánchez-Merlos et al. (2005). Con una cinta diamétrica se midió el DAP (diámetro a la altura del pecho, 1.3 m sobre el suelo) de aquellos árboles con diámetro  $\geq 10$  cm. Los individuos ubicados en el límite de

cada subparcela, sólo se incluyeron, si al menos la mitad de su tronco se encontraba dentro del área delimitada. En el caso de plantas con tallos múltiples o que se ramificaban por debajo de 1.3 m de altura, se midió el diámetro de cada rama independientemente. Aquellos árboles que no lograron ser identificados en campo, se les recolectaron muestras para llevarlas al Herbario de la Universidad de Panamá (PMA), donde fueron, prensadas, secadas e identificadas.



Fig. 1. Ubicación del área de estudio.

Para el análisis florístico, las especies fueron agrupadas de acuerdo con el sistema de clasificación de APG III (2009). La nomenclatura binomial que se siguió fue la utilizada en el Catálogo de las Plantas Vasculares de Panamá (Correa *et al.*, 2004). En los casos donde hubo un cambio reciente en la taxonomía, se indicó entre paréntesis la antigua clasificación, empleada en dicho catálogo.

Para indicar el nivel de complejidad de la estructura del bosque se calculó el valor del cociente de mezcla (CM), el cual equivale a la relación del número de especies de árboles entre el total de individuos de la parcela. El CM permite tener una idea general de la intensidad de

mezcla de especies en una superficie dada, es decir, la forma como se distribuyen los individuos de las diferentes especies dentro del bosque.

La estructura horizontal (EH) permite evaluar el comportamiento de los árboles individuales y de las especies en la superficie del bosque. Esta estructura puede evaluarse a través de índices que expresan la ocurrencia de las especies, lo mismo que su importancia ecológica dentro del ecosistema. En este estudio la EH se determinó en función del índice de valor de importancia (IVI), el cual se obtiene de la sumatoria de los valores de: abundancia relativa (A%) + frecuencia relativa (F%) + la dominancia relativa (D%) (Lamprecht, 1990). En donde: (A%) = (núm. de individuos de la especie / núm. total de individuos de la parcela) x 100; (F%) = (núm. de subparcelas en la que aparece la especie /  $\Sigma$  de las frecuencias de todas las especies) x 100; (D%) = ( $\Sigma$  área basal (AB) de todos los individuos de la especie /  $\Sigma$  área basal (AB) de todos los árboles en la parcela) x 100. El AB se calculó mediante la siguiente ecuación (Mueller-Dombois & Ellenberg, 1974):  $AB = \pi \times DAP^2 / 4$ .

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

**Composición florística arbórea:** Se registraron un total de 480 individuos con  $DAP \geq 10$  cm, distribuidos en 78 especies, de las cuales 72 se determinaron a nivel de especie, sólo dos hasta género y cuatro (5%) no lograron ser identificadas, ya que carecían de hojas. Estos árboles se distribuyen en 29 familias y 59 géneros. En promedio por cada subparcela se encontraron 48 individuos y 22 especies. De los 480 individuos registrados, el 85% se ubica en 10 familias, siendo las familias *Arecaceae* (22%) y *Anacardiaceae* (19%) las más abundantes (Fig. 2). La familia *Fabaceae* con 10 especies, presentó la mayor riqueza, seguido de *Rubiaceae* y *Salicaceae* con siete y seis especies respectivamente (Fig. 4).

Las 10 especies con el mayor número de individuos fueron *Anacardium excelsum* (74), *Elaeis oleifera* (63), *Luehea seemannii* (25), representando cerca de 1/3 del total de individuos de la parcela. Luego le siguen *Attalea butyracea* (18), *Cupania seemannii* (17), *Trichilia pallida* (16), *Oenocarpus mapora* (15), *Spondias mombin* (15), *Cupania rufescens* (14) y *Guarea guidonia* (13). Estas 10

especies suman 270 individuos que representan el 56% del total de individuos presentes en la parcela, el resto de los 210 individuos se ubican en 68 especies y corresponden al 44% (Fig. 3).

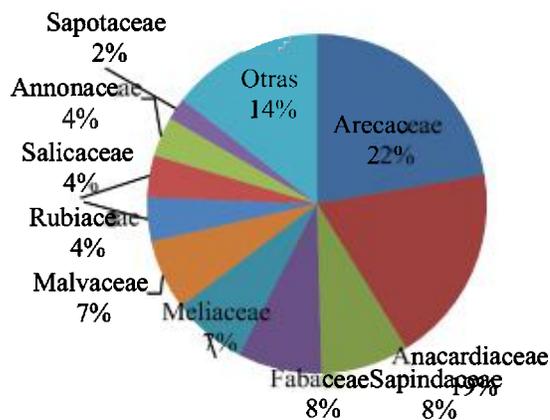


Fig. 2. Familias con mayor porcentaje de individuos.

Los datos obtenidos, coinciden con la mayoría de los estudios realizados en bosques de tierras bajas del Neotrópico. Gentry (1990), citado por Berry (2002) comparó cuatro bosques Neotropicales, dos sitios se ubicaban en Centroamérica y los otros dos en Suramérica, en todos ellos la familia Fabaceae fue la dominante. En la parcela de 50 hectáreas en la isla de Barro Colorado en el Centro de Panamá, también la familia Fabaceae presenta la mayor riqueza de especies, seguido respectivamente de las familias Moraceae, Rubiaceae, Malvaceae (Bombaceae, Sterculiaceae y Tiliaceae) y Salicaceae (Flacourtiaceae). A excepción de Moraceae, el resto de las cinco familias coinciden con las cuatro familias más diversas de este estudio. Los resultados de abundancia y riqueza de especies coinciden con los obtenidos por Aguilar (2011), para una parcela de una hectárea en el PNS, donde la familia Arecaceae presentó el mayor porcentaje de individuos (19%) y la familia Fabaceae la mayor riqueza de especies (19).

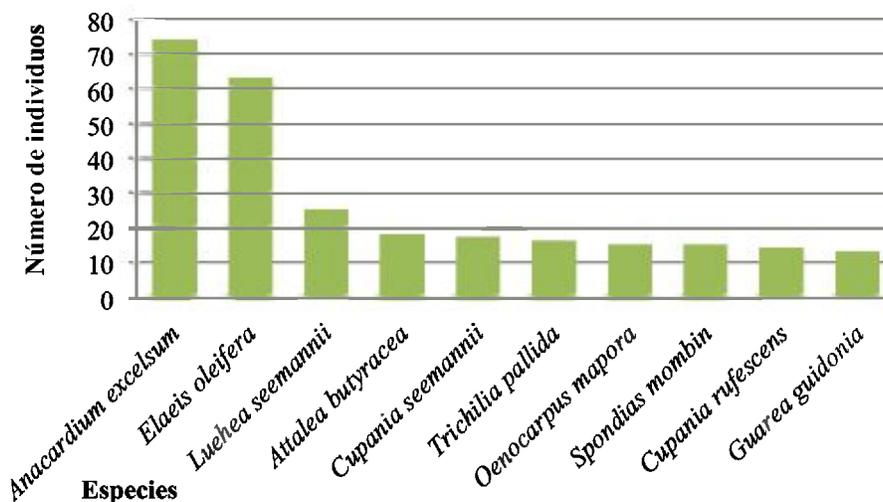


Fig. 3. Especies más abundantes.

Se obtuvo un valor de coeficiente de mezcla (CM) de 0.16, lo que equivale a una razón de 1:6, indicando que por cada seis individuos muestreados, es posible encontrar una especie diferente. Este bosque puede considerarse heterogéneo, pero el valor del CM es menor a los obtenidos por Castillo & Madrid (2001) y Aguilar (2011), en bosques del PNS, donde el CM aproximado para individuos con DAP mayor a 10 cm, fue de 1:3 y 1:4 respectivamente. Esto indica que el área estudiada posee una baja cantidad de especies en relación al total de árboles, quizás debido al impacto antropogénico, al que fue sometido en décadas pasadas gran parte de los bosques de la CHCP (ANAM, 1999). Nuestros resultados coinciden con los publicados por Angulo (2002) para un bosque perturbado en El Salvador, que reporta un CM de 0,16. También Quezada (1997) citado por Quiróz & Quezada (2003) reporta para bosques intervenidos de Costa Rica valores entre 1:5 a 1:8.

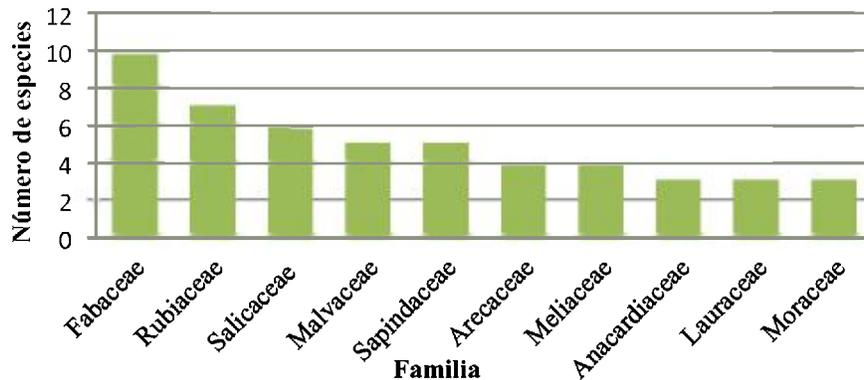


Fig. 4. Familias con mayor riqueza de especies.

**Estructura Horizontal (EH):** El mayor IVI lo obtuvo *A. excelsum* con un 18%, seguido de *E. oleifera* con 12% y *L. seemannii* con 4%. Estas tres especies suman el 34% del porcentaje total del IVI y se encuentran bien representadas en la parcela, ya que también fueron las tres especies más abundantes y frecuentes. El resto de las 75 especies representa 66% del IVI. Otras especies con valores de IVI relativamente altos fueron *Enterolobium cyclocarpum*, *A. butyracea*, *S. mombin*, *O. mapora*, *C. seemannii*, *Ficus insipida* y *Annona spraguei* (Cuadro 1). Seis de las diez especies con mayor IVI, coinciden con las especies registradas por Aguilar (2011) para una parcela de bosque en el Camino del Oleoducto, PNS. Las especies en común son *A. excelsum*, *E. oleifera*, *L. seemannii*, *A. butyracea*, *O. mapora* y *F. insipida*. *A. excelsum* fue la especie mejor representada en la parcela con el mayor IVI, lo cual evidencia que posee una alta importancia ecológica en el área. Esta especie es frecuentemente abundante a lo largo del curso de ríos y riachuelos, así como en bosques secundarios y áreas abiertas (Jiménez *et al.*, 2002; Carrasquilla, 2006; Pérez, 2008; Condit *et al.*, 2011). Es uno de los árboles más abundantes de la Cuenca del Canal y en la vertiente Pacífica panameña; es poco común en bosques maduro (Condit *et al.*, 2011).

Cuadro 1. Especies con mayor índice de valor de importancia.

Especie	Familia	A%	F%	D%	IVI	%
<i>Anacardium excelsum</i>	Anacardiaceae	15,42	4,61	34,00	54,03	18,01
<i>Elaeis oleifera</i>	Arecaceae	13,13	4,15	17,38	34,65	11,55
<i>Luehea seemannii</i>	Malvaceae (Tiliaceae)	5,21	2,76	5,06	13,04	4,35
<i>Enterolobium cyclocarpum</i>	Fabaceae- Mimosoideae	0,63	0,92	9,48	11,03	3,68
<i>Attalea butyracea</i>	Arecaceae	3,75	2,76	4,01	10,52	3,51
<i>Spondias mombin</i>	Anacardiaceae	3,13	3,23	3,50	9,86	3,29
<i>Oenocarpus mapora</i>	Arecaceae	3,13	4,15	0,79	8,07	2,69
<i>Cupania seemannii</i>	Sapindaceae	3,54	3,69	0,46	7,69	2,56
<i>Ficus insipida</i>	Moraceae	0,63	1,38	5,57	7,58	2,53
<i>Annona spraguei</i>	Annonaceae	2,29	2,76	1,39	6,45	2,15
<b>Resto de las especies</b>		49,17	69,59	18,34	137,08	45,68
<b>Total</b>		100,00	100,00	100,00	300,00	100,00

Nota: A% = abundancia relativa, F% = Frecuencia relativa, D% = Dominancia relativa.

Las especies *E. oleifera*, *A. butyracea* y *O. mapora* se encuentran entre las ocho con mayor valor del IVI. Estas tres especies pertenecen a la familia Arecaceae, la cual se caracteriza por su diversidad y abundancia, con alrededor de 1500 especies y 200 géneros en el mundo (Henderson *et al.*, 1995). La abundancia y densidad de palmas en el Trópico se encuentran asociadas a los climas cálidos y húmedos que caracteriza los bosques (Ávalos *et al.*, 2005). Estos resultados son similares a los obtenidos por Aguilar (2011), ya que en dicho estudio, cuatro especies de la familia Arecaceae se encuentran entre las 10 especies con mayor IVI. En Colombia, Dueñas *et al.* (2007), para bosques de la Cordillera Oriental arriba de los 700 msnm, y Galeano *et al.* (1998) para bosques de tierras bajas del Chocó, reportan resultados similares a nuestro estudio, en los cuales las especies de palmas presentan los mayores valores de IVI y abundancia relativa. *E. oleifera*, que presentó el segundo mayor IVI, es una especie común en bosques de tierras bajas (Chízar, 2009) y crece frecuentemente en sitios abiertos (Henderson, 1995, Grayum, 2003; Condit *et al.*, 2011). *A. butyracea* presentó también un importante IVI, según Condit *et al.*

(2011), esta palma es abundante en bosques secundarios y áreas de cultivo en el centro de Panamá y es ocasional en bosques maduros.

*Luehea seemannii* presentó el tercer mayor índice de valor de importancia de la parcela. Esta es una especie dominante de los bosques secundarios del Área del Canal (Condit *et al.*, 2011). También ocurre en bosques maduros, donde pueden ser árboles muy altos con una amplia copa (Condit *et al.*, 2011).

Según Condit *et al.* (2011) *E. cyclocarpum* es un elemento dominante de las sabanas y pastizales de la vertiente Pacífica de Panamá y un componente muy común de bosques secundarios que han sido regenerados a partir de pastizales. Posee escasa regeneración (Jiménez *et al.*, 2002) y no se encuentran juveniles en el bosque (Condit *et al.*, 2011). Esta especie germina exitosamente en campos abiertos donde hay ganado alrededor (Condit *et al.*, 2011), ya que sus semillas son dispersadas por vacas y caballos que comen sus frutos (Jiménez *et al.*, 2002), lo cual nos puede dar un indicio del uso que se le daba a la tierra en épocas pasadas.

Los resultados aquí presentados también coinciden con los obtenidos por Parker *et al.* (1992) en el bosque cercano a la grúa de acceso al dosel del Parque Natural Metropolitano en la Ciudad de Panamá. En dicho estudio, a través de mediciones del dosel, se determinó que las hojas de las especies *E. cyclocarpum*, *A. excelsum*, y *L. seemannii* cubren gran parte de la superficie del dosel del bosque, precisamente estas tres especies están entre las cuatro especies con mayor IVI en nuestro estudio. Aquí podemos ver claramente la importancia ecológica de estas especies en cuanto al volumen que ocupan sus copas, las cuales a su vez, están en función de la competencia por obtener luz.

Los resultados obtenidos sugieren que tanto la estructura horizontal como la composición florística actual del área de estudio, es quizás resultado de perturbaciones naturales como presencia de claros, provocados por la caída de árboles o por el impacto antropogénico, ya sea por la tala selectiva y actividades agrícolas, a las que fue sometida gran parte del PNS, antes de ser declarado área protegida (ANAM, 1999). Esto se evidencia principalmente por la dominancia de especies

típicas de áreas abiertas y perturbadas (heliófilas), que rara vez se encuentran en bosques maduros, así como la presencia de una clara sucesión secundaria.

### **CONCLUSIONES**

Basándonos en el coeficiente de mezcla de 0,16, el área de estudio en el Sendero Espíritu del bosque, Parque Nacional Soberanía puede considerarse como un bosque heterogéneo, aunque su heterogeneidad es menor respecto a otros estudios realizados en áreas aledañas.

*A. excelsum*, *E. oleifera* y *L. seemannii*, representaron 1/3 del total de individuos presentes en la parcela, además obtuvieron los mayores valores del índice de valor de importancia (IVI), ya que registran el 36% del porcentaje total del IVI, mientras que el 66% del IVI restante se distribuye en 75 especies, estas cifras evidencian la gran importancia ecológica que tienen éstas especies dentro del área de estudio. Tanto las características estructurales como la composición florística arbórea actual del área de estudio, permiten ubicar a la misma en la categoría de comunidad secundaria tardía.

### **REFERENCIAS**

Aguilar, J. 2011. Composición y estructura de la flora arbórea de una parcela de bosque natural, en el Parque Nacional Soberanía, Provincia de Panamá. Tesis de Licenciatura. Universidad de Panamá. Panamá. 99 p.

Alvis-Gordo, J.F. 2009. Análisis estructural de un bosque natural localizado en zona rural del Municipio de Popayán. Biotecnología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial 7: 115-122.

Angulo, A. 2002. Inventario florístico estructural del bosque de El Macotal, El Salvador. Tesis de Licenciatura. Zamorano. Honduras. 55 p.

ANAM (Autoridad Nacional del Ambiente). 1999. Plan de Manejo Ambiental del Parque Nacional Soberanía. República de Panamá. 193 p.

APG III (The Angiosperm Phylogeny Group). 2009. An update of the Angiosperm Phylogeny Group classification for the orders and families of flowering plants: APG III. *Bot. J. Linn. Soc.* 161: 105–121.

Ávalos, G., D. Salazar & A.L. Araya. 2005. Stilt Root Structure in the Neotropical Palms *Iriartea deltoidea* and *Socratea exorrhiza*. *Biotropica* 37: 44-53.

Bawa, K. S. & L. Mcdade. 1994. The plant community: composition, dynamics, and life history processes—commentary. p 68. En: L. Mcdade, K. S. Bawa, H. A. Hespenheide & G. S. Hartshorn (eds.) *La Selva: Ecology and Natural History of a Neotropical Rain Forest*. The University of Chicago, Chicago, Illinois. 486 p.

Berry, P. 2002. Diversidad y endemismo en los bosques neotropicales de Bajura. p. 83-96. En: Guariguata, M. R. & G. H. Kattan (eds.) *Ecología y conservación de bosques neotropicales*. Editorial Tecnológica de Costa Rica. Cartago, Costa Rica. 692 p.

Budowski, G. 1962. La sucesión forestal y su relación con antiguas prácticas agrícolas en el trópico americano. Turrialba, Centro Tropical de Investigación y Enseñanza para Graduados. 7 p.

Carrasquilla, L. 2006. *Árboles y Arbustos de Panamá*. Editora Novo Art. Panamá. 479 p.

Castillo, E. & I. Madrid. 2001. Estudio de la estructura y dinámica de una parcela de 1000 m<sup>2</sup> de bosque tropical húmedo. Tesis de Licenciatura. Universidad de Panamá. Panamá. 30 p.

Chízar, C. 2009. *Plantas comestibles de Centroamérica*. Instituto Nacional de Biodiversidad INBio. Costa Rica. 360 p.

CICH-ACP (Comisión Interinstitucional de la Cuenca Hidrográfica del Canal de Panamá). 2007. Informe del Estado Ambiental de la Cuenca Hidrográfica del Canal de Panamá. 76 p.

Condit, R., R. Pérez & N. Daguerre. 2011. *Trees of Panama and Costa Rica*. Princeton University Press. 494 p.

Correa, A. M. D., C. Galdames & M. N. S. Stapf. 2004. Catálogo de las Plantas Vasculares de Panamá. Smithsonian Tropical Research Institute, Panamá. 599 p.

CTFS (Center for Tropical Forest Science). <https://ctfs.arnarb.harvard.edu/webatlas/datasets/bci/abundance/>. Consultada el 3 marzo de 2013.

Dueñas, A., A. Betancur & R. Galindo. 2007. Estructura y composición florística de un bosque húmedo tropical del Parque Nacional Natural Catatumbo Barí, Colombia. *Colombia Forestal* 10 (20): 26-35.

ETESA (Empresa de Transmisión Eléctrica, S.A.). [http://www.hidromet.com.pa/clima\\_historicos.php](http://www.hidromet.com.pa/clima_historicos.php). Consultada el 3 marzo de 2013.

Quirós, K. & R. Quesada. 2005. Composición florística y estructura de un bosque primario. Disponible en: <http://www.una.ac.cr/inis/docs/silvic/Quiros.pdf>. Consultada el 13 de noviembre de 2011.

Galeano, G., S. Suárez, & H. Balslev. 1998. Vascular plant species count in a wet forest in the Chocó area on the Pacific coast of Colombia. *Biodiversity and Conservation* 7: 1563–1575.

Grayum, M.H. 2003. Arecaceae. p. 201-293 in, B. E. Hammel, M. H. Grayum, C. Herrera & N. Zamora (eds.), *Manual de plantas de Costa Rica. Vol. II. Gimnospermas y monocotiledóneas (Agavaceae-Musaceae)*. Monogr. Syst. Bot. Missouri Bot. Gard. 92: 1-694.

Guariguata, M. R. & R. Ostertag. 2002. Sucesión secundaria. p. 591–623. En: Guariguata, M. R. & G.H. Kattan (eds.) *Ecología y conservación de bosques neotropicales*, Libro Universitario Regional, San José, Costa Rica. 692 p.

Henderson, A., G. Galeano & R. Bernal. 1995. Field guide to the palms of the Americas. Princeton Univ., Princeton, United States. 352 p.

IGNTG (Instituto Geográfico Nacional Tommy Guardia). 2007. Atlas Nacional de la República de Panamá. 4ta edición. Novo Art, S. A. Panamá. 290 p.

Jiménez, Q., F. Rojas, V. Rojas & L. Rodríguez. 2002. Árboles maderables de Costa Rica - Ecología y silvicultura. Instituto Nacional de Biodiversidad. Heredia, Costa Rica. 361 p.

Lamprecht, H. 1990. Silvicultura en los trópicos. Los ecosistemas forestales en los bosques tropicales y sus especies arbóreas - posibilidades y métodos para un aprovechamiento sostenido. Deutsche Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit (GTZ) GmbH. Eschborn. Rep. Federal de Alemania. 335 p.

Mueller-Dombois, D. & H. Ellenberg. 1974. Aims and methods of vegetation ecology. John Wiley & Sons, Inc., Nueva York. 574 p.

Parker, G. G., A. P. Smith & K. P. Hogan. 1992. Access to the upper forest canopy with a large tower crane. *BioScience* 429: 664–670.

Pérez, R.A. 2008. Árboles de los bosques del Canal de Panamá. Instituto Smithsonian de Investigaciones Tropicales. Panamá. 466 p.

Sánchez-Merlos, D., C.A. Harvey, A. Grijalva, A. Medina, S. Vílchez & B. Hernández. 2005. Diversidad, composición y estructura de la vegetación en un agropaisaje ganadero en Matiguás, Nicaragua. *Revista Biología Tropical* 53: 387-414.

Quirós, K. & R. Quesada. 2005. Composición florística y estructura de un bosque primario. Disponible en: <http://www.una.ac.cr/inis/docs/silvic/Quiros.pdf>. Consultada el 13 de noviembre de 2011.

*Recibido julio de 2013, aceptado noviembre de 2013.*



## **EFFECTO DE LA TEMPERATURA DE DEPOSICIÓN EN LOS PARÁMETROS ESTRUCTURALES Y DE TRANSICIÓN METAL-AISLANTE, DE PELÍCULAS DELGADAS DE DIÓXIDO DE VANADIO (VO<sub>2</sub>)**

**<sup>1</sup>Marciano Santamaría L., <sup>2</sup>Evgeni S. Cruz de Gracia, <sup>3</sup>Luiz F. Schelp, <sup>3</sup>Thiago Mori de Almeida y <sup>3</sup>Rafael Domínguez Della Pace.**

<sup>1</sup>Universidad de Panamá, Facultad de Ciencias Naturales, Exactas y Tecnología, Departamento de Física – email: msantamaria22@yahoo.es

<sup>2</sup>Universidad Tecnológica de Panamá, Facultad de Ingeniería eléctrica. Laboratorio de Sistemas Nanoestructurados –

email: evgenicruz@yahoo.com.br, ecruz@if.ufrgs.br

<sup>3</sup>Departamento de Física- UFSM, 97105-900, Santa María, RS, Brasil

### **RESUMEN**

Se investigó el efecto de la temperatura de deposición en los parámetros estructurales y de transición de la fase metal–aislante en películas delgadas de VO<sub>2</sub>, producidas mediante la técnica de Erosión Iónica en atmósfera reactiva. Las muestras fueron producidas como monocapas y depositadas a distintas temperaturas sobre sustratos de SiO<sub>2</sub>/Si (100). La caracterización estructural por difracción de rayos X (XRD) mostró la presencia de la fase M1 del VO<sub>2</sub>. Los parámetros de red y el volumen de la celda unitaria cambian levemente con el aumento de la temperatura de deposición. La caracterización eléctrica de la resistencia como función de la temperatura, por el método de cuatro puntas, muestra transición de fase reversible, con histéresis térmica en todas las muestras. Conforme aumenta la temperatura de deposición, se observó un incremento en la temperatura de transición (T<sub>MIT</sub>), entre 67 °C y 73 °C, para el ciclo de calentamiento, manifestándose además, una disminución en la variación de la resistencia eléctrica durante la transición, afectando la forma y tamaño del lazo de histéresis. Los resultados experimentales demuestran que las películas delgadas de VO<sub>2</sub> son policristalinas y que la temperatura de deposición afecta los parámetros estructurales y de transición metal–aislante, explicando la aparición de estrés en el material depositado.

## **PALABRAS CLAVES**

Transición Metal–Aislante (MIT), Erosión Iónica, Difracción de rayos X (XRD), Temperatura de Transición Metal–Aislante ( $T_{MIT}$ ), Histéresis Térmica.

## **ABSTRACT**

We have investigated the effect of the deposition temperature in the structural parameters and the metal–insulator phase transition of VO<sub>2</sub> thin films, produced by sputtering technique in a reactive atmosphere. Samples were produced as monolayers and deposited on SiO<sub>2</sub>/Si (100) substrates at different temperatures. Structural characterization by X–ray diffraction (XRD) showed the presence of VO<sub>2</sub> (M1) phase. The lattice parameters and the unit cell volume change slightly with increasing deposition temperature. Electrical characterization of resistance as a function of temperature using the four point method shows reversible phase transition with thermal hysteresis in all samples. As the deposition temperature increases, an increase in the transition temperature ( $T_{MIT}$ ) between 67 ° C and 73 ° C for the heating cycle is observed, along with a decrease in the variation of the electrical resistance,. Also, decreases in the variation of the electrical resistance affecting the shape and size of the hysteresis loop. Experimental results show that the VO<sub>2</sub> thin films are polycrystalline and the temperature deposition affects the structural parameters and metal–insulator transition, explaining the appearance of stress in the material.

## **KEYWORDS**

Metal–Insulator Transition (MIT), Sputtering, X-ray diffraction (XRD), Metal–Insulator Transition Temperature ( $T_{MIT}$ ), Thermal Hysteresis.

## **INTRODUCCIÓN**

El VO<sub>2</sub> es un óxido de metal de transición que presenta una variación reversible abrupta en sus propiedades eléctricas y ópticas a una temperatura crítica, acompañado de un cambio en su estructura cristalina (Morin, 1959). Se han propuesto dos modelos (Mott–Hubbard & Peierls) como mecanismos relacionados con este fenómeno (Wentzcovitch *et al.*, 1994), (Eguchi *et al.*, 2008), (Huang *et al.*, 2008). En la actualidad se acepta que el origen de la transición de fase en el VO<sub>2</sub>, radica en los dos mecanismos principales descritos por ambos modelos.

Esta transición de fase semiconductor–metal, más comúnmente referida en la literatura como transición metal–aislante (MIT, en

inglés) de primer orden, tiene lugar muy cerca de la temperatura ambiente ( $\sim 66$  °C), con la posibilidad de producir cambios en la resistividad eléctrica en un factor de  $10^5$ , en el caso de monocristales masivos (Ladd, 1969), y entre  $10^3$  y  $10^4$ , en películas delgadas (Gupta *et al.*, 2010).

Las grandes variaciones en las propiedades eléctricas del  $\text{VO}_2$ , son acompañadas por agudos cambios en las propiedades ópticas en torno a  $T_{\text{MIT}}$ , pudiendo llegar a producir incrementos en la reflectancia óptica por encima del 90%, en la región del infrarrojo, a una cierta longitud de onda, cuando el material se estructura en películas delgadas (Ruzmetov *et al.*, 2008a).

En su fase metálica, para  $T > T_{\text{MIT}}$ , el material posee una estructura cristalina con celda unitaria con simetría tetragonal o rutilo [ $\text{VO}_2(\text{R})$ ], con grupo espacial  $P4_2/mnm$  y  $Z = 2$  (Leroux, 1998). Conforme disminuye la temperatura, por debajo de  $T_{\text{MIT}}$ , para  $T < T_{\text{MIT}}$ , la estructura del  $\text{VO}_2(\text{R})$  experimenta una distorsión cristalográfica que da origen a una nueva estructura cristalina cuya celda unitaria tiene simetría monoclinica [ $\text{VO}_2(\text{M1})$ ], con grupo de simetría espacial  $P2_1/C$  y  $Z = 4$ . Sin embargo, en la fase semiconductor, otra estructura cristalográfica identificada como  $\text{VO}_2(\text{M2})$  puede surgir por la aplicación de estrés (Pouget *et al.*, 1975) o mediante dopado con alto contenido de Cr (Marezio *et al.*, 1972).

Todos estos comportamientos eléctricos, ópticos y estructurales en el  $\text{VO}_2$ , han sido observados en monocristales masivos y en películas delgadas. Sin embargo, desde el punto de vista científico y tecnológico, el  $\text{VO}_2$  nanoestructurado en películas delgadas presenta ventajas frente a las muestras masivas. Las películas delgadas de  $\text{VO}_2$ , por ejemplo, puede soportar grandes cantidades de ciclos térmicos, prácticamente sin deteriorarse y sin comprometer su funcionalidad (Ko, 2008), a diferencia de los monocristales masivos, en los cuales unos pocos ciclos térmicos provocan la aparición de grietas y rajaduras a nivel microestructural, lo que afecta los parámetros de transición y compromete el empleo del material en futuras aplicaciones (Béteille, 1999). Esto se debe posiblemente a que las películas delgadas generalmente son policristalinas, lo que permite la relajación y acomodación de las tensiones en las fronteras de grano, ocasionadas

por la distorsión cristalográfica y las variaciones en el volumen de la celda unitaria durante el cambio de fase.

Por otro lado, dependiendo de las condiciones de deposición es posible afectar los parámetros de transición. Así, las películas delgadas de VO<sub>2</sub> tienden a presentar distintos comportamientos en sus propiedades eléctricas, ópticas y estructurales. Por ejemplo, las características de la MIT del VO<sub>2</sub> son dependientes de la presión parcial de O<sub>2</sub> utilizado durante la deposición [ (Gan, 2004) (Ruzmetov *et al.*, 2008b)]; la temperatura de transición de fase puede incrementarse o disminuirse respecto al valor teórico reportado para las muestras masivas, mediante el estrés uniaxial transferido del sustrato a la película de VO<sub>2</sub> (Muraoka, 2002), afectando los parámetros de red; la T<sub>MIT</sub>, el ancho y forma de la histéresis térmica de la resistencia eléctrica, que acompaña a la transición de fase, pueden reducirse mediante el dopaje de VO<sub>2</sub> con iones de Ti o Nb (Nishikawa *et al.*, 2011).

Esto abre la posibilidad, en principio, de optimizar el comportamiento del material mediante la manipulación de las condiciones de deposición, lo que ha generado gran interés en la investigación y desarrollo de dispositivos inteligentes con aplicaciones tecnológicas e industriales, basadas en este material. Por ejemplo, el comportamiento óptico suele tener aplicaciones en efectos de modulación de la luz, sensores de temperatura, recubrimientos en ventanas con alta eficiencia energética y conmutadores ópticos. También, puede ser aplicado en la fabricación de junturas túneles magnéticas usando el VO<sub>2</sub> como barrera de tunelamiento con la finalidad de mejorar la inyección de corrientes polarizadas en semiconductores. Por lo tanto, este estudio tiene como objetivo contribuir a develar la física que describe su comportamiento e investigar los distintos factores que afectan sus propiedades intrínsecas y los parámetros de transición del material, en la búsqueda de condiciones de deposición apropiadas para la obtención de un material óptimo para aplicaciones científicas y tecnológicas.

En este artículo reportamos el comportamiento de los parámetros estructurales y de la transición con el incremento de la temperatura de deposición. En relación a los parámetros estructurales, los espectros de XRD muestran un corrimiento del pico experimental correspondiente

al plano (011) hacia valores más elevados del ángulo de difracción, y al mismo tiempo, una disminución en la distancia interplanar y una celda unitaria más comprimida. En lo que respecta a los parámetros de transición, las curvas de resistencia en función de la temperatura, para muestras depositadas a temperaturas menores, evidencian un corrimiento de la temperatura de transición para valores menores. Por lo tanto, las propiedades estructurales y eléctricas de las películas de VO<sub>2</sub> son afectadas por la temperatura del sustrato durante el proceso de deposición. Ambos resultados son discutidos en el marco del stress microestructural inducido por la tendencia del material a mantener su volumen constante al transitar de la fase R a M1 y por la diferencia en el coeficiente de expansión termal entre el sustrato y la película de VO<sub>2</sub>.

## **MATERIALES Y MÉTODOS**

Películas delgadas de VO<sub>2</sub> fueron depositadas sobre sustratos de SiO<sub>2</sub>/Si(100), a diferentes temperaturas, empleando la técnica de erosión iónica (magnetron sputtering por radiofrecuencia, RF) en configuración reactiva. El proceso de deposición de las películas se realizó en un sistema Balzers modelo BAK 600 capaz de alcanzar una presión de base menor a  $6 \times 10^{-6}$  Pa. El sistema está constituido por cuatro cañones para erosión de blancos metálicos o aislantes de 51 mm de diámetro, porta-sustrato, posicionado 50 mm arriba de los cañones, y equipado con una lámpara calefactora de 1000 W y sensor de temperatura, un obturador (*shutter* en inglés) que consiste de un disco de aluminio giratorio con abertura circular, situado entre los cañones y el porta-sustrato, que permite la exposición del sustrato al plasma débilmente ionizado.

La cámara de vacío es evacuada a una presión menor a  $6 \times 10^{-6}$  Pa. Gas noble de alta pureza (Ar), necesario para la formación de la descarga y la erosión, y O<sub>2</sub>, como gas reactivo en el caso de la deposición de VO<sub>2</sub>, son admitidos en la cámara mediante los controladores de flujo, y a través de la válvula de estrangulamiento se ajusta la velocidad de bombeo del sistema de vacío para que la presión total de la cámara se mantenga en aproximadamente 0,73 Pa, bajo bombeo continuo.

La capa o “buffer”, de SiO<sub>2</sub>, de 2000 Å de espesor para aislar el sustrato de la película de VO<sub>2</sub>, fue depositada sobre los sustratos de Si (100) a temperatura ambiente, a partir de un blanco de Si oxidado (99,99%). El blanco de vanadio metálico de alta pureza (99,5%) es colocado en un cañón para erosión.

La deposición de las películas de VO<sub>2</sub> fue realizada a temperaturas entre 430 °C y 520 °C. La potencia RF utilizada fue de 70 W, el flujo de Ar y O<sub>2</sub>, de 20 sccm y 1,13 sccm, respectivamente y la proporción Ar/O<sub>2</sub>, de 97,5%/2,5%, respectivamente. Luego de la deposición, las películas se dejaron enfriar hasta la temperatura ambiente dentro de la cámara de vacío.

El análisis estructural y la determinación de fases presentes en las películas de VO<sub>2</sub> fue realizado mediante la extracción de difractogramas de rayos X empleando el difractor Bruker D8 Advance (emisión K<sub>α</sub> del cobre,  $\lambda = 1,5416 \text{ \AA}$ ), en la configuración  $\Theta$ - $2\Theta$  (geometría Bragg-Brentano). La caracterización de transporte electrónico, por medición de la resistencia eléctrica en función de la temperatura, se realizó empleando el método patrón de cuatro puntas, en ciclos cerrados de calentamiento-enfriamiento de las muestras, en el intervalo de temperatura entre 30 °C y 100 °C. Se estudió el efecto de la temperatura de deposición en las propiedades estructurales y de transición eléctrica de las muestras producidas.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La figura 1 muestra los patrones de difracción obtenidos a temperatura ambiente, para las muestras sintetizadas a distintas temperaturas e igual tiempo de deposición, sobre sustrato de SiO<sub>2</sub>/Si(100).

Varios aspectos merecen ser destacados del análisis del patrón XRD mostrado en la Figura 1. El primero de ellos, por un lado, nos permite establecer que las películas de VO<sub>2</sub> producidas son policristalinas, debido a la presencia de picos de difracción procedentes de distintos planos cristalinos, y por otro, la coexistencia de las mismas fases estequiométricas en todos los espectros XRD. El segundo aspecto a destacar, está relacionado con la intensidad de los picos de XRD mostrados en la Figura 1. Todas las muestras indican la existencia

prevaliente del pico correspondiente al plano (011) de la fase  $\text{VO}_2$  (M1). Sin embargo, la muestra 1216 es la que mejor textura presenta, debido a que el pico correspondiente al plano (011) es el que presenta mayor intensidad, en comparación con las otras muestras. Esto es indicativo que la muestra 1216 presentó una dirección preferencial de crecimiento a lo largo de la misma orientación [011], perpendicular al plano (011), en comparación con la otra orientación [101].

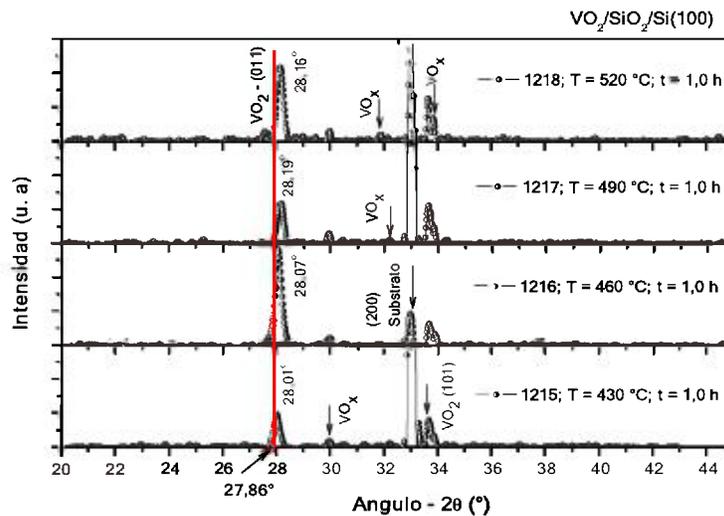


Fig. 1. XRD obtenido a temperatura ambiente, para monocapas de  $\text{VO}_2$  sintetizadas sobre substratos de Si (100) a diferentes temperaturas, igual contenido de  $\text{O}_2$  e igual tiempo de deposición ( $t = 1.0$  h). Se muestra la presencia de fases adicionales  $\text{VO}_x$ . La línea roja en el gráfico, indica la posición del pico teórico del  $\text{VO}_2$  correspondiente al plano (011).

El tercer aspecto está relacionado con el leve corrimiento del pico experimental del  $\text{VO}_2$ , en relación al pico patrón correspondiente al plano (011). La línea de referencia en color rojo, indicada en el gráfico, muestra la posición del pico patrón del plano (011) de la fase monoclinica (M1) del  $\text{VO}_2$ , a  $2\theta \cong 27,86^\circ$  de acuerdo a la ficha 09-0142 del ICDD (*International Centre for Diffraction Data*, en inglés), sugiriendo que los picos obtenidos presentan un corrimiento hacia valores más elevados del ángulo, a medida que aumenta la temperatura del sustrato. Montardo Escobar (2011) y Cruz de Gracia (2012) reportaron un resultado parecido para muestras depositadas a alta

temperatura (500 °C y más) utilizando potencia RF y DC, respectivamente.

El corrimiento del pico experimental del plano (011), en relación al pico patrón, observado en el difractograma de XRD, es una consecuencia de la disminución de los parámetros de red “*b*” y/o “*c*” de la estructura cristalina del VO<sub>2</sub> (M1), lo que provoca una disminución de la distancia interplanar entre planos (011) (Fig. 3), en correspondencia con la temperatura del sustrato durante la deposición; se observa una tendencia en el corrimiento del pico hacia valores más elevados del ángulo de difracción, conforme aumenta la temperatura de deposición de la muestra.

Debe recordarse que tanto el VO<sub>2</sub>, formado en las diferentes muestras producidas, como el sustrato empleado para la deposición, están sometidos a una temperatura por encima de 400 °C durante la síntesis. La alta temperatura, durante la síntesis, provoca la expansión de la estructura cristalina, tanto del sustrato como de la película de VO<sub>2</sub> en su fase rutilo, que al enfriarse hasta la temperatura ambiente, la contrae nuevamente y adicionalmente, genera la distorsión cristalográfica del VO<sub>2</sub> durante la transición y la consecuente formación de la fase monoclinica M1, con un volumen de celda unitaria diferente al que corresponde a la fase rutila.

Factores como la diferencia entre el coeficiente de expansión térmico entre el sustrato y la película de VO<sub>2</sub>, sugieren la aparición de estrés tensil en el plano de la muestra, a nivel de la microestructura de la película, provocando pequeñas variaciones en las dimensiones de los parámetros de red de la celda unitaria, dando como resultado el desplazamiento de los picos experimentales, respecto a las posiciones reportadas teóricamente, tal como es mostrado en el patrón XRD indicado en la Figura 1. Este resultado concuerda con lo que reporta Ruzmetov *et al.*, (2007), donde sugiere la influencia del sustrato como una de las causas del estrés tensil que se ejerce en la red cristalina del VO<sub>2</sub>.

El corrimiento del pico correspondiente al plano (011), obtenido en los resultados mostrados en la Figura 1, está asociado a las propiedades intrínsecas del material, pues apareció en todas las muestras

depositadas sobre silicio con buffer de SiO<sub>2</sub>. El leve desplazamiento del pico experimental es debido a la disminución de los parámetros de red “*b*” y “*c*” del VO<sub>2</sub> (M1), con una consecuente disminución de la distancia entre los planos (011) y una celda unitaria más comprimida en estas direcciones, conforme aumenta la temperatura de deposición de las muestras.

La Figura 2 muestra el comportamiento con la temperatura de deposición de los parámetros de red *b* y *c* de la celda unitaria de las películas de VO<sub>2</sub> en su fase monoclinica M1. Para la muestra sintetizada a la temperatura de 430 °C, se observa que los parámetros de red *b* y *c* (4,505 Å y 5,337 Å), son menores 0.27% y 0,71% respectivamente, en relación al “bulk” (4,517 Å y 5,375 Å). Sin embargo, conforme se incrementa la temperatura de deposición de las muestras, se observa un decrecimiento marcado en el comportamiento del parámetro de red *b*, en comparación con el comportamiento del parámetro de red *c*. El comportamiento mostrado en la Figura 2, indica que en muestras producidas a una temperatura de síntesis de 520 °C (*b*=4,460 Å, *c*=5,340 Å), el parámetro *b* experimenta un decrecimiento en su longitud de ~1,0 %, en relación al valor correspondiente a 430 °C (4,505 Å); mientras que el parámetro *c* experimenta un incremento en su longitud de ~0,06 %, con relación al valor obtenido en la muestra producida a la temperatura más baja de deposición (430 °C, *c*=5,337 Å). Esta tendencia en el comportamiento de los parámetros de red, sugiere, por un lado, que la estructura cristalina del material está sometida a un estrés tensil resultante en la dirección del eje cristalográfico *c*, que se incrementa con la temperatura de deposición, provocando el incremento del parámetro *c*; y por otro lado, también es afectada por un estrés compresivo en la dirección del eje *b*, que provoca una disminución del parámetro de red, al incrementarse la temperatura de deposición.

El comportamiento de los parámetros de red *b* y *c* a la temperatura de deposición de 520 °C, explica la razón por la cual el pico experimental XRD de la muestra 1218, experimentó una disminución en el ángulo de difracción, en relación a la muestra 1217. Otra consecuencia de la variación de los parámetros de red en la estructura del VO<sub>2</sub> (M1) es la variación de la distancia interplanar y el volumen de la celda unitaria. La Figura 3 muestra el comportamiento de estos parámetros, en función de la temperatura de deposición. Se observa que tanto la

distancia interplanar, como el volumen, tienden a disminuir lentamente con el incremento de la temperatura de deposición.

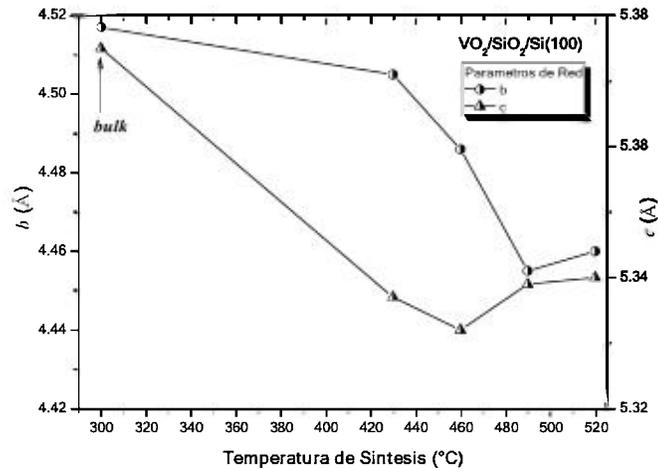


Fig.2. Dependencia con la temperatura de deposición de los parámetros de red  $b$  y  $c$  de la celda unitaria de películas delgadas de  $\text{VO}_2$  en la fase M1, sintetizadas sobre sustratos de  $\text{SiO}_2/\text{Si}(100)$ . La línea sólida representa una guía para los ojos.

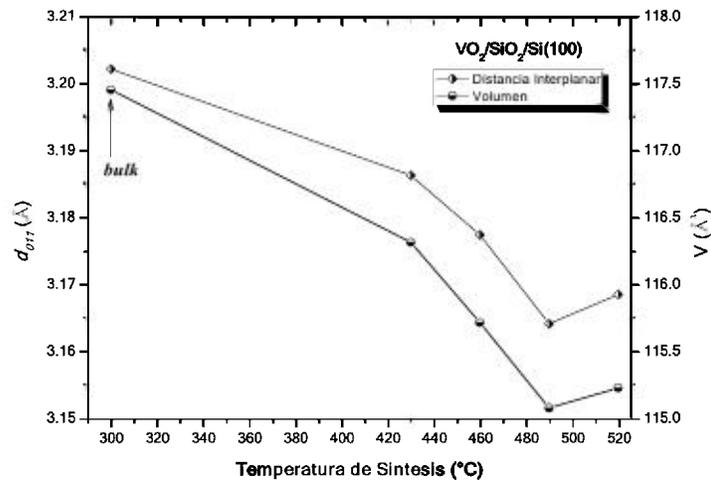


Fig. 3. Dependencia con la temperatura de deposición de la distancia interplanar y el volumen de la celda unitaria de películas delgadas de  $\text{VO}_2$  (M1), sintetizadas sobre sustratos de  $\text{SiO}_2/\text{Si}(100)$ . La línea sólida representa una guía para los ojos.

Los resultados obtenidos sugieren que las posibles consecuencias en el comportamiento de los parámetros estructurales del material, al incrementarse la temperatura de deposición, tienen su origen en dos aspectos fundamentales. Por un lado, la distorsión cristalográfica ocasionada por la transición de fase, origina variaciones en el volumen de la celda unitaria en su fase rutila y monoclinica<sup>1</sup>, sugiriendo que los cambios ocasionados en el volumen de la estructura cristalina del VO<sub>2</sub> al transitar de la fase R a M1, es una posible causa del stress intrínseco inducido en el plano (011) de la red. Hay una tendencia del material a mantener el volumen constante, pues como fue mencionado, el VO<sub>2</sub> es depositado a una temperatura arriba de la temperatura de transición, en la fase rutila (~ 500 °C); y por otro, la presencia de stress tensil en el plano de la muestra, ocasionado por la diferencia en el coeficiente de expansión termal entre el sustrato y la película de VO<sub>2</sub>, capaz de producir un estrés compresivo en la dirección perpendicular, lo que provoca variaciones en los parámetros estructurales *b* y *c* del VO<sub>2</sub> (M1). Este comportamiento de los parámetros estructurales con el incremento de la temperatura de deposición (Figura 2), se manifiesta en los resultados presentados en la Figura 1, al presentarse un corrimiento del pico experimental correspondiente al plano (011) hacia valores más elevados del ángulo de difracción, y al mismo tiempo, produciendo una disminución en la distancia interplanar y una celda unitaria más comprimida, tal como se muestra en la Figura 3.

De los resultados obtenidos para el FWHM correspondientes al plano (011) del VO<sub>2</sub> (M1) y mostrados en la Figura 4, puede notarse que no hay una tendencia en el comportamiento del ancho de pico con el incremento de la temperatura de deposición de las muestras. Dado que el corrimiento del pico de difracción, respecto al pico patrón (011), es mayor a medida que se incrementa la temperatura de deposición, sugiriendo un mayor estrés en la microestructura de la película de VO<sub>2</sub>, los resultados aquí obtenidos sugieren igualmente, que este incremento de estrés a nivel estructural del material no tiene ningún efecto en el ancho de pico de difracción (valor del FWHM encontrado).

---

<sup>1</sup> Según cálculos realizados mediante el software CaRIne Crystallografy 3.1, empleando las constantes de red y posiciones atómicas reportadas por Leroux et al. (1998), el volumen de la celda unitaria de la fase VO<sub>2</sub> (M1) es de **117,46 Å<sup>3</sup>**. Resultado que concuerda con el reportado en la Figura 3 para el "bulk".

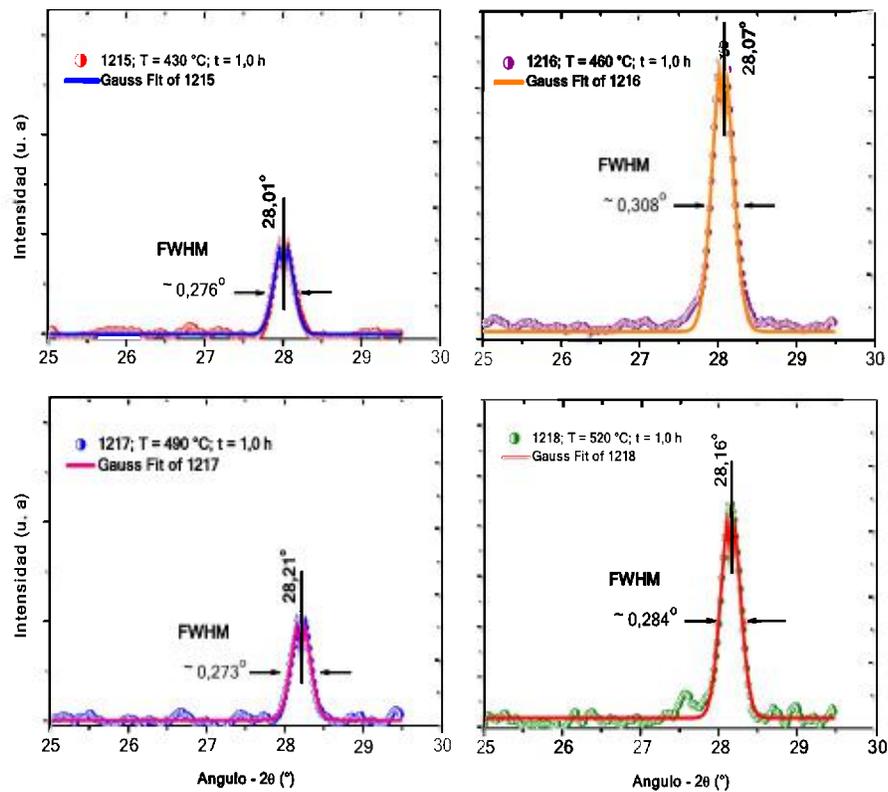


Fig. 4. Ajuste Gaussiano del pico XRD correspondiente al plano (011), obtenido a temperatura ambiente, para las muestras 1215 a 1218 depositadas a diferentes temperaturas en substratos de Si (100) e igual tiempo de deposición. Se indica el FWHM de pico para cada una de las muestras.

Siendo que el estrés a nivel estructural del material no tiene efecto en el valor del FWHM encontrado, hemos utilizado los resultados del FWHM para estimar el tamaño promedio aparente de los granos que conforman la microestructura de la película de VO<sub>2</sub> (M1) y poder estudiar el efecto de tamaños de granos en el ancho de los picos. La estimación del tamaño promedio de los granos ( $\langle \tau \rangle$ ) se realizó empleando la relación de Debye-Sherrer:

$$\langle \tau \rangle \cong \frac{0,9 \lambda}{\beta \cos \theta}$$

donde  $\lambda$  es la longitud de onda empleada en el XRD,  $\beta$  es el FWHM del pico, en radianes, y  $\theta$  es el valor del ángulo correspondiente al máximo del pico. La Figura 5 contiene los resultados obtenidos para la estimación del tamaño promedio aparente de los granos en función de la temperatura, para cada una de las muestras depositadas.

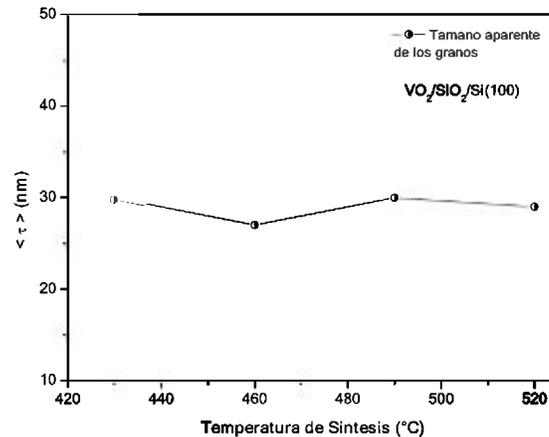


Fig. 5. Comportamiento del tamaño promedio aparente de granos con la temperatura de deposición, para las muestras 1215 a 1218 depositadas sobre substratos  $\text{SiO}_2/\text{Si}(100)$ .

De los resultados presentados en la Figura 5, se concluye que, para las condiciones de deposición utilizadas en el presente trabajo, el tamaño promedio de los granos que constituyen la microestructura del  $\text{VO}_2$  (M1) en cada una de las muestras no depende significativamente de la temperatura de deposición, obteniéndose muestras constituidas por granos con un tamaño promedio de 29 nm.

Autores como Brassard *et al.*, (2005) y Msomi & Nemraoui (2010), evaluaron el comportamiento del tamaño promedio aparente de granos en películas de  $\text{VO}_2$ , empleando el mismo procedimiento, y reportaron resultados que sugieren que el tamaño promedio aparente de los granos no sólo depende de la temperatura de deposición, sino también de otros parámetros, muy ligados a la temperatura del sustrato durante la deposición, como el tiempo de deposición y el espesor de la película. Los resultados reportados por Brassard *et al.*, (2005), sugieren que películas delgadas producidas a una elevada temperatura ( $\sim 500^\circ\text{C}$ )

experimentan un incremento en el tamaño promedio aparente de los granos, a medida que se incrementa tanto el espesor de la película como el tiempo de deposición. Por otro lado, Msomi (2010), que empleó una metodología muy similar a la nuestra, sugiere que películas delgadas producidas a distintas temperaturas (entre 450 °C y 550 °C), con espesor constante y a un tiempo de deposición constante (2,0 h), experimentan igualmente, un incremento en el tamaño promedio aparente de los granos. A la luz de estos reportes, es plausible sugerir que el comportamiento constante en el tamaño promedio aparente de los granos de las películas de VO<sub>2</sub> producidas, se justifica debido a un tiempo insuficiente en el proceso de deposición (1,0 h), que garantice un mayor tiempo de exposición del substrato al plasma.

En la Figura 6 se presenta la dependencia con la temperatura de la resistencia eléctrica normalizada, calculada como  $R(T)/R_{max}$ , siendo  $R(T)$  la resistencia a cualquier temperatura y  $R_{max}$  el valor máximo de la resistencia obtenida a la temperatura más baja de medición en cada caso. Puede observarse en la Figura 6, que todas las muestras medidas presentan la curva de histéresis térmica, característica del VO<sub>2</sub>, en el intervalo de temperatura estudiado, manifestándose igualmente, una disminución de la resistencia eléctrica con el incremento de la temperatura, donde la transición metal-aislante, ocurre a una temperatura crítica. Se observa además, que la temperatura de transición ( $T_{MIT}$ ) es dependiente de la temperatura de deposición de cada monocapa. Para monocapas depositadas a temperaturas menores existe un corrimiento de la temperatura de transición para valores menores.

Para investigar cuantitativamente los parámetros que caracterizan la MIT en cada una de la muestras, en especial la temperatura de transición, y así poder hacer comparaciones y alguna posible correlación con el comportamiento de los parámetros estructurales, empleamos la aproximación de la derivada del logaritmo de  $R(T)$  con respecto a la temperatura [ $d\log(R(T))/dT$ ], para el ciclo de calentamiento y enfriamiento. La Figura 7 es un gráfico representativo de los resultados obtenidos para la derivada respecto a la temperatura del  $\log R$ , en función de la temperatura, para la muestra 1217.

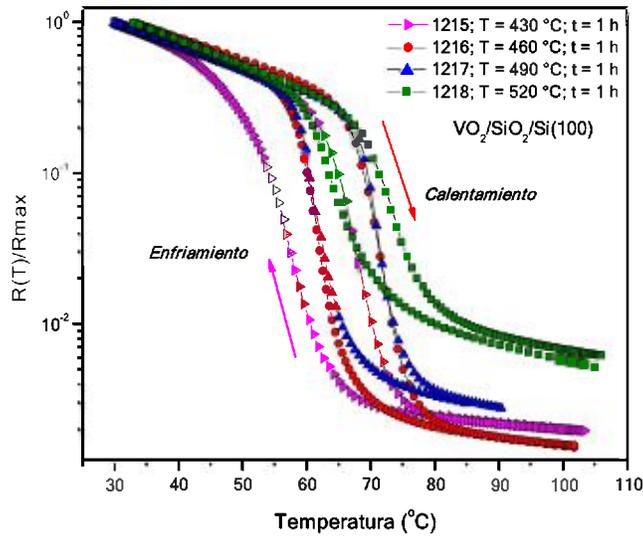


Fig. 6. Curvas de resistencia eléctrica normalizada como una función de la temperatura, mostrando el lazo de histéresis característico del VO<sub>2</sub>, en ciclos cerrados de enfriamiento-calentamiento, para las muestras 1215 a 1218, depositadas sobre substratos de Si (100).

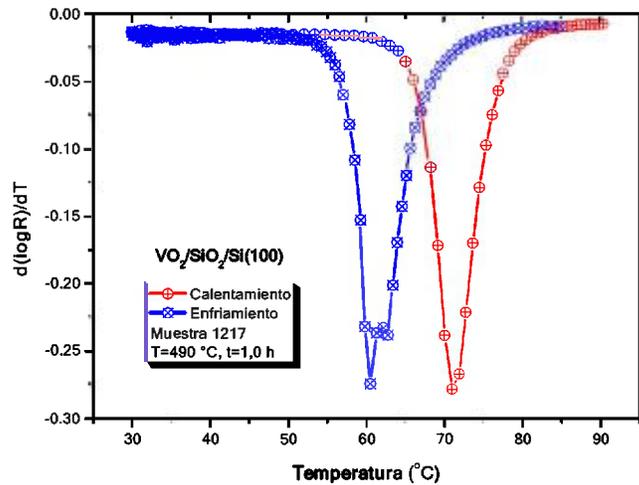


Fig. 7. Dependencia con la temperatura de la derivada logarítmica de R respecto a T, para una de las películas delgadas de VO<sub>2</sub> (muestra 1217), mostrando su comportamiento para el ciclo de calentamiento y enfriamiento.

En la Figura 7 puede observarse que la  $T_{MIT}$ , definida como la posición del pico de la curva de la derivada, difiere para el ciclo de calentamiento y de enfriamiento, indicando que la transición en el material no se realiza a la misma temperatura de equilibrio, lo que justifica la histéresis térmica observada en las curvas de la Figura 6 (Donev, 2008).

En la Figura 8 se observa el procedimiento empleado para la determinación de los parámetros de transición eléctrica de las películas sintetizadas, haciendo el ajuste de los resultados experimentales correspondientes al ciclo de calentamiento de la muestra 1216, mediante una curva *Gaussiana*. Obsérvese que la curva teórica acompaña satisfactoriamente los puntos experimentales, especialmente en la región de transición metal–aislante.

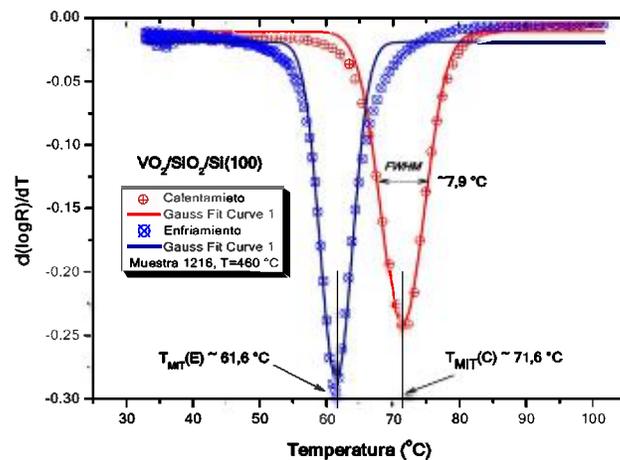


Fig. 8. Determinación de los parámetros de MIT mediante ajuste de una curva Gaussiana a los resultados experimentales de la derivada del  $\log R(T)$ , para el ciclo de calentamiento y enfriamiento correspondiente a la muestra 1216 sintetizada a 460 °C.

En relación, a las muestras representadas en la Figura 6, la  $T_{MIT}$  resultó con valores comprendidos entre 67 °C a 73 °C para el ciclo de calentamiento (Cuadro 1). Como fue mencionado anteriormente, para películas delgadas depositadas a temperaturas menores, existe un corrimiento de la  $T_{MIT}$  para valores menores. Estos valores son congruentes y están próximos a los reportados en la literatura para la  $T_{MIT}$ , en el caso de material masivo monocristalino es de 66 °C (Ladd, 1969) y para películas delgadas policristalinas, en ausencias de estrés y dopaje, es de 68 °C (Nishikawa *et al.*, 2011).

El ancho máximo a media altura de pico (*FWHM*), de la curva de ajuste es asociado al intervalo variable de temperatura de transición ( $\Delta T$ ). Obsérvese que el  $\Delta T$  más estrecho sucede para la muestra 1217 sintetizada cerca a los 490 °C (5,8 °C). (Cuadro 1). Por otro lado, el ancho del lazo de histéresis térmica ( $\Delta H$ ), correspondiente a la diferencia entre las temperaturas de transición para las curvas de calentamiento y enfriamiento, es igualmente dependiente de las condiciones de deposición. Para monocapas sintetizadas a temperaturas menores existe un leve aumento de  $\Delta H$ , como se muestra en el Cuadro 1.

Por último, el orden de magnitud de la variación de la resistencia eléctrica  $\Delta R$ , denominada también amplitud de la transición (en décadas), está definido como el área bajo la curva de la derivada (Brassard *et al.*, 2005). Obsérvese que el mayor valor de  $\Delta R$  (2,0) sucede para la muestra 1216. El Cuadro 1 resume los resultados obtenidos para los parámetros característicos de la MIT de las muestras cuyo comportamiento eléctrico se presenta en la Figura 6.

Los resultados del Cuadro 1 muestran que las monocapas de VO<sub>2</sub> depositadas sobre sustratos de SiO<sub>2</sub>/Si(100) exhiben temperatura de transición próxima a la que se reporta en monocristales (66 °C) y películas delgadas policristalinas (68 °C), estando relacionada con la temperatura de deposición de las mismas. Sin embargo, no debemos descartar que el incremento de la T<sub>MIT</sub> durante los ciclos térmicos de calentamiento-enfriamiento, encontrado en el comportamiento de las muestras, esté vinculado a la posible influencia del estrés que actúa a nivel microestructural de las películas de VO<sub>2</sub>. La muestra 1217, presentó mayor agudeza y brusquedad en la transición, ya que su MIT se realiza en un intervalo de temperatura más pequeño, comparado con las otras muestras; sin embargo el orden de magnitud en la variación de su resistencia eléctrica durante la transición fue de 1,6 décadas, siendo la muestra 1216, la que experimentó una mayor variación en la resistencia (2.0 décadas). Este comportamiento en la muestra 1216 está de acuerdo con el patrón XRD obtenido, ya que como mencionamos, presentó una mejor dirección preferencial de crecimiento, manifestando una mejor cristalinidad y orden en su estructura.

Cuadro 1. Parámetros que caracterizan la MIT de películas delgadas de VO<sub>2</sub> sintetizadas en sustrato SiO<sub>2</sub>/Si(100) a diferentes temperaturas y tiempo de deposición de 1,0 h. (C) representa calentamiento y (E) enfriamiento.

Muestra	T (°C)	T <sub>MIT</sub>	ΔT	ΔH	ΔR
1215	430	67,8 (C)	8,5	10,6	1,7
		57,2 (E)			
1216	460	71,6 (C)	7,9	10,0	2,0
		61,6 (E)			
1217	490	71,4 (C)	5,8	9,7	1,6
		61,6 (E)			
1218	520	73,3 (C)	8,6	9,0	1,0
		64,3 (E)			

Tanto el ancho de histéresis térmica  $\Delta H$ , como el intervalo de temperatura durante la transición  $\Delta T$ , tienden a experimentar un leve aumento para monocapas depositadas a temperatura menores, sin embargo, esa tendencia en  $\Delta T$  se pierde a la temperatura de 520 °C, en la muestra 1218. Este comportamiento de los parámetros de transición, pudiera entenderse preliminarmente, desde la perspectiva de la influencia del estrés que se ejerce en la estructura de las diferentes muestras cristalinas, con el incremento de la temperatura, favoreciendo en cierta medida algunos parámetros de transición eléctrica, como el intervalo de temperatura durante la transición ( $\Delta T$ ) y el ancho de la histéresis térmica ( $\Delta H$ ). Ambos parámetros tienden a disminuir con el incremento de la tensión. En ese sentido, se destaca el hecho que, dependiendo de las aplicaciones, comúnmente las investigaciones en este material están enfocadas a la optimización de sus propiedades y parámetros de transición, tratando de lograr un material que manifieste gran variación en sus propiedades eléctricas y ópticas, agudeza y brusquedad durante la transición, ancho de histéresis estrecho y, por supuesto, temperatura de transición lo más cercana a la temperatura ambiente, lo que consagraria al material en aplicaciones ópticas inmediatas como en ventanas inteligentes.

También, es bueno resaltar que, el comportamiento observado en la temperatura de transición manifestada por las muestras producidas, para el ciclo de calentamiento y enfriamiento, con el incremento de la temperatura de deposición, puede interpretarse igualmente como una

consecuencia de la presencia de estrés inhomogéneo y variable a nivel microestructural. Con el incremento de la temperatura de deposición, el estrés residual en el material también se incrementa, provocando variaciones en los parámetros estructurales y de transición eléctrica del material.

## CONCLUSIÓN

Las propiedades estructurales, eléctricas y los parámetros de transición de las películas de VO<sub>2</sub> son afectadas por la temperatura del sustrato durante el proceso de deposición

Las películas de VO<sub>2</sub> depositadas son policristalinas, y la coexistencia de las mismas fases en los espectros de difracción pone de manifiesto la importancia del control preciso de los parámetros de deposición en el proceso de síntesis, lo que permite la reproducibilidad de las muestras.

Con el incremento de la temperatura del sustrato durante la deposición, el pico de difracción correspondiente al plano cristalino (011) experimenta un corrimiento hacia valores más elevados del ángulo de difracción, en relación al pico patrón, provocando variaciones en los parámetros de red *b* y *c* del VO<sub>2</sub> (M1). Se infiere un estrés inhomogéneo a nivel microestructural, que afecta igualmente la distancia interplanar y el volumen de la celda unitaria.

Los resultados de las medidas de transporte electrónico de las películas producidas, están de acuerdo con los resultados XRD obtenidos, ya que todas las muestras evidencian la formación de VO<sub>2</sub> (M1) al presentar transición eléctrica del estado aislante al semiconductor, a una temperatura crítica muy próxima a la reportada en la literatura para el caso de las películas delgadas (68 °C). Los parámetros MIT, tales como la temperatura de transición, intervalo de transición, ancho de histéresis térmica y variación de la resistencia, dependen de la temperatura de deposición de las películas de VO<sub>2</sub>, siendo que la T<sub>MIT</sub> se incrementa con el incremento de la temperatura, lo que se interpreta como una consecuencia del estrés inhomogéneo a nivel microestructural.

## AGRADECIMIENTO

El desarrollo de este trabajo ha sido posible gracias al proyecto de Colaboración Internacional “Ventanas Inteligentes” COL10-036 financiado parcialmente por la Secretaría Nacional de Ciencia, Tecnología e Innovación (SENACYT) de la República de Panamá. Igualmente, se agradece el apoyo de las siguientes Instituciones brasileñas de apoyo a la investigación: Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) y Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado do Rio Grande do Sul. (FAPERGS).

## REFERENCIAS

Béteille, F., L. Mazerolles, & J. Livage. 1999. Microstructure and Metal-Insulating Transition of VO<sub>2</sub> Thin Films. *Mater. Res. Bull.* 34(14/15): 2177-2184.

Brassard, D., S. Fourmaux, M. Jean-Jacques, J. C. Kieffer & M. A. El Khakani. 2005. Grain Size Effect on the Semiconductor-Metal Phase Transition characteristics of Magnetron-Sputtered VO<sub>2</sub> Thin Films. *Appl. Phys. Lett.* 87(5): 051910 1-3; <http://dx.doi.org/10.1063/1.2001139>.

Cruz De Gracia, E. S. 2012. Optimización del VO<sub>2</sub> en Ventanas Inteligentes. Panamá: Dirección de Gestión de Ciencia y Tecnología. Secretaría Nacional de Ciencia, Tecnología e Innovación (SENACYT).

Donev, E. U. 2008. Metal-Semiconductor Transition in Nanoscale VO<sub>2</sub> - Thin Films, Subwavelength Holes, and Nanoparticles. Tesis de PhD. Vanderbilt University. Nashville, Tennessee.

Eguchi, R., M. Taguchi, M. Matsunami, K. Horiba, K. Yamamoto, Y. Ishida, A. Chainani, Y. Takata, M. Yabashi, D. Miwa, Y. Nishino, K. Tamasaku, T. Ishikawa, Y. Senba, H. Ohashi, Y. Muraoka, Z. Hiroi, & S. Shin. 2008. Photoemission Evidence for a Mott-Hubbard Metal-Insulator Transition in VO<sub>2</sub>. *Phys. Rev. B* 78(7): 075115; doi 10.1103/PhysRevB.78.075115.

Gan, F. Y. & P. Laou. 2004. Optical and Electrical Properties of Sputtered Vanadium Oxide Films. 22(3). J. Vac. Sci. Technol. A 22: 879; <http://dx.doi.org/10.1116/1.1676417>.

Gupta, A., J. Narayan & T. Dutta. 2010. Near bulk semiconductor to metal transition in epitaxial VO<sub>2</sub> thin films. Appl. Phys. Lett. 97: 151912; <http://dx.doi.org/10.1063/1.3503632>.

Huang, X., W. Yang & U. Eckern. 2008. Metal-insulator transition in VO<sub>2</sub>: a Peierls-Mott-Hubbard Mechanism. cond-mat/9808137.

Ko, Ch. & Sh. Ramanathan. 2008. Stability of Electrical Switching Properties in Vanadium Dioxide Thin Films Under Multiple Thermal Cycles Across the Phase Transition Boundary. J. Appl. Phys. 104 (1-4): 086105; <http://dx.doi.org/10.1063/1.3000664>.

Ladd, L. A. & W. Paul. 1969. Optical and Transport Properties of High Quality Crystals of V<sub>2</sub>O<sub>4</sub> Near the Metallic Transition Temperature. Solid State Commun. 7(4): 425 - 428.

Leroux, Ch., G. Nihoul, & Van Tendeloo. G. 1998. From VO<sub>2</sub>(B) to VO<sub>2</sub>(R): Theoretical Structures of VO<sub>2</sub> polymorphs and in Situ Electron Microscopy. Phys. Rev. B 57(9): 5111 - 5121.

Marezio, M., D.B. McWhan, J.P. Remeika, P.D.Dernier. 1972. Structural Aspects of the Metal-Insulator Transitions in Cr-Doped VO<sub>2</sub>. Phys. Rev. B 5(7): 2541-2551.

Montardo, E. V. 2011. Estudo da Transição Cristalográfica em Filme Fino de VO<sub>2</sub> por Difração de Raios - X. Tesis de Maestría. Universidad Federal de Santa Maria, Santa Maria, Brasil.

Morin, F. J. 1959. Oxides Which Show a Metal to Insulator Transition at The Neel Temperature. Phys. Rev. Lett. 3(1): 34–36.

Msomi, V. & O. Nemraoui. 2010. The Influence of Deposition Temperature on Vanadium Dioxide Thin Films Microstructure and Physical Properties. S Afr J Sci. 106(11/12), Art. #297, 4 pages. DOI: 10.4102/sajs.v106i11/12.297.

Muraoka, Y. & Z. Hiroi. 2002. Metal–Insulator Transition of VO<sub>2</sub> Thin Films Grown on TiO<sub>2</sub> (001) and (100) substrates. Appl. Phys. Lett. 80(4): 583 - 585.

Nishikawa, M, T. Nakajima, T. Kumagai, T. Okutani & T. Tsuchiya. 2011. Adjustment of Thermal Hysteresis in Epitaxial VO<sub>2</sub> Films by Doping Metal Ions. J. Ceram. Soc. Jpn. 119(1391): 577-580).

Pouget, J. P., H. Launois, J. P. D'Haenens, P. Merenda & T. M. Rice. 1975. Electron Localization Induced by Uniaxial Stress in Pure VO<sub>2</sub>. Phys. Rev. Lett. 35: 873-875. DOI:10.1103/PhysRevLett.35.873.

Ruzmetov, D., K. T. Zawilski, V. Narayanamurti & Ramanathan. 2007. Structure-Functional Property Relationships in RF-Sputtered Vanadium Dioxide Thin Films. J. Appl. Phys. 102(11): 113715-113715.

Ruzmetov, D., K. T. Zawilski, S. D., Senanayake, V. Narayanamurti & S. Ramanathan. 2008a. Infrared Reflectance and Photoemission Spectroscopy Studies across the Phase Transition Boundary in Thin Film Vanadium Dioxide. J. Phys.: Condens. Matter 20(46): 465204.

Ruzmetov, D., S. D. Senanayake, V. Narayanamurti & S. Ramanathan. 2008b. Correlation between metal-insulator transition characteristics and electronic structure changes in vanadium oxide thin films. Phys. Rev. B 77: 195442; DOI:10.1103/PhysRevB.77.195442

Wentzcovitch, R. M., W. W. Schulz & P. B. Allen. 1994. VO<sub>2</sub>: Peierls or Mott-Hubbard? A View from Band Theory. Phys. Rev. Lett. 72(21): 3389-3392.

*Recibido julio de 2013, aceptado noviembre de 2013.*



**EXIGENCIAS TÉRMICAS DE *Trichogramma pretiosum* RILEY, 1879 (HIMENOPTERA: TRICHOGRAMMATIDAE), CRIADOS EN HUEVOS DE *Anticarsia gemmatalis* HÜBNER, 1818 (LEPIDOPTERA, NOCTUIDAE)**

**<sup>1</sup>Bruno Zachrisson; <sup>2</sup>José Roberto Postali Parra**

<sup>1</sup>Instituto de Investigación Agropecuaria de Panamá, Centro de Investigación Agropecuaria Oriental "Dr. Alberto Perdomo", e-mail: bruno.zachrissons@idiap.gob.pa.

<sup>2</sup>Universidad de São Paulo, Escuela Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz" - ESALQ, Piracicaba, São Paulo, Brasil

**RESUMEN**

Con la finalidad de determinar las exigencias térmicas y el efecto de siete (7) temperaturas (18 °C a 32 °C), en la duración del ciclo de desarrollo (huevo-adulto) de dos razas (L.Pi., L.Pr.) de *Trichogramma pretiosum*, criado en huevos de *Anticarsia gemmatalis*, se realizó la presente investigación. Los valores del límite térmico inferior (Tb) y de la constante térmica (K), fueron 12.10°C y 133.01 GD, correspondiente a la raza L.Pr. y 11.70 °C y 123.12 GD, para la raza de L.Pi. de *T. pretiosum*. Las razas de *T. pretiosum* evaluadas, presentaron exigencias térmicas semejantes, independientemente de las condiciones abióticas registradas, en los agroecosistemas en donde fueron colectadas.

**PALABRAS CLAVES**

*Trichogramma pretiosum*, Trichogrammatidae, *Anticarsia gemmatalis*, Exigencias térmicas, Control biológico.

**ABSTRACT**

This research was conducted with the objective of determining the thermal requirements and the effect of seven temperatures (18 °C and 32 °C) in the duration of the development cycle (egg-adult) of two strains of *Trichogramma pretiosum*, reared

on *Anticarsia gemmatalis* eggs. The values for lower thermal limits (Tb) and thermal constant (K) were 12.10 °C and 133.01 DD for the L.Pr. strain and 11.70 °C and 123.12 DD for the L.Pi. strain, of *T. pretiosum*. The strains of *T. pretiosum* assessed presented similar thermal requirements, independently from the registered abiotic conditions in the agricultural ecosystems, where they were collected.

## KEY WORDS

*Trichogramma pretiosum*, Trichogrammatidae, Thermal requirements, *Anticarsia gemmatalis*, Biological control.

## INTRODUCCIÓN

*Anticarsia gemmatalis* Hübner es considerada todavía como un insecto defoliador de importancia económica, en el cultivo de soya (*Glicine max* L.), cuya distribución abarca desde el Sur de los Estados Unidos hasta Argentina (Turnipseed & Kogan, 1976; King & Saunders, 1984). Las reducciones de la superficie foliar, entre el 15 y 30%, producto de la alimentación de la fase larval de *A. gemmatalis*, durante la etapa vegetativa del cultivo, causa perdida significativas a la producción. (Gazzoni *et al.*, 1981). Por lo que, en la década de 1980, la implementación del programa de manejo integrado de plagas (MIP), estuvo dirigido al manejo de esta plaga, en donde la aplicación de *Baculovirus anticarsia* (AgNPV), redujo la población de *A. gemmatalis*, por debajo de los niveles de daño económico (Panizzi, 2013). La aplicación de *B. anticarsia* (AgNPV), en 1.6 millones de hectáreas, aunado al eficiente resultado en la reducción de los niveles poblacionales de *A. gemmatalis*, sustentó el éxito del programa (Moscardi & Souza, 2002). Sin embargo, la aparición de la "Roya de la Soya" (*Phakopsora pachyrhizi*) en Brasil, a partir del 2002, tuvo como consecuencia pérdidas económica por más de 25 millones de dólares (Yorinori *et al.*, 2003). La aplicación intensiva de fungicidas, como método unilateral de manejo de la enfermedad, contrarresto el impacto de las aplicaciones de *B. anticarsia* (AgNPV) sobre la población de *A. gemmatalis*, lo que motivó la utilización de otras alternativas de control biológico aplicado (Sosa-Gómez, 2006). De esta forma, la utilización de *Trichogramma*, dirigido al control de huevos de *A. gemmatalis*, ha sido una de las opciones manejo implementadas, recientemente.

La liberación de especies de *Trichogramma*, para el control de especies de lepidópteros, ha sido ampliamente utilizado en programas de control biológico aplicado, en diversos cultivos de importancia económica, a nivel mundial (Parra & Zucchi, 2004). Anualmente, se liberan 28 especies de *Trichogramma*, en más de 16 millones de hectáreas de cultivos anuales y perenes (Parra & Zucchi, 2004). El éxito o fracaso de las liberaciones de *Trichogramma pretiosum*, como una alternativa sostenible de manejo de *A. gemmatalis*, depende del conocimiento de las características biológicas del parasitoide y de la plaga (Pereira *et al.*, 2004). En este sentido, la determinación de las exigencias térmicas, facilita el control la producción de *Trichogramma* o de cualquier especie de parasitoide en condiciones de laboratorio (Parra, 1997). Además, se determina la temperatura óptima para el desarrollo del parasitoide y estima el número de generaciones en las diferentes regiones geográficas, a partir de los grados días (GD) (Pratissoli & Parra, 2000, Scholler & Hassan, 2001). A pesar de que la temperatura es la principal variable abiótica, que influye en el desarrollo de *Trichogramma*, las especies, razas, humedad relativa y fotofase, entre otros factores, pueden afectar el desempeño biológico de las diferentes razas de *Trichogramma pretiosum* Riley (Bleicher & Parra, 1990; Maceda *et al.*, 2003, Parra & Zucchi, 2004; Pereira *et al.*, 2004; Bueno *et al.*, 2010). Por lo que, este trabajo tuvo como objetivo determinar las exigencias térmicas de dos razas (L.Pi., L.Pr.) de *T. pretiosum*, criados y recolectados, en huevos de *A. gemmatalis*.

## **MATERIAL Y MÉTODOS**

Las razas de *T. pretiosum* utilizadas en el estudio, fueron colectadas en huevos de *A. gemmatalis*, en el cultivo de soya, en las localidades de Lapa, Paraná, Brasil y Pirassununga, São Paulo, Brasil (Cuadro 1). Las mismas se encuentran depositadas en el laboratorio de biología de insectos, del departamento de entomología de la Universidad de São Paulo (ESALQ-USP), Brasil; para estudios posteriores de control biológico de plagas.

Cuadro 1. Razas de *Trichogramma pretiosum*, recolectadas en huevos de *A. gemmatalis*, utilizadas en el presente estudio.

Razas	Fecha de Colecta	Local de Colecta	Huésped	Cultivo
L.Pi.	Enero /93	Pirassununga, São Paulo, Brasil	<i>A. gemmatalis</i>	Soya
L.Pr.	Enero /94	Lapa, Paraná, Brasil	<i>A. gemmatalis</i>	Soya

Las razas de *T. pretiosum*, fueron mantenidas y multiplicadas, en condiciones de laboratorio, siguiendo la metodología establecida por Stein & Parra (1987) y Parra *et al.* (1989). Los huevos de *A. gemmatalis* se obtuvieron a partir de poblaciones de adultos, provenientes de la dieta artificial propuesta por Greene *et al.* (1976), la cual fue preparada de acuerdo a la metodología propuesta por Parra (1996).

La razas de *T. pretiosum* utilizadas en el presente estudio, fueron multiplicadas de acuerdo a la metodología citada por Parra *et al.* (1989), utilizando huevos de *A. gemmatalis*. Posteriormente, los huevos de la plaga fueron retirados del substrato de oviposición (papel "Bond") y se recogieron en un vaso químico cubierto en su interior con un tejido de "tul". El procedimiento tuvo como finalidad, mantener la calidad de los huevos de *A. gemmatalis*, por lo que se mantuvo la humedad relativa próxima al punto de saturación, para evitar la resequedad de los mismos.

Los huevos de *A. gemmatalis*, ya individualizados y debidamente conservados, se colocaron en una lámina rectangular de plástico (5.0 x 1.5 cm), la cual se mantuvo previamente en el congelador durante diez 10 minutos, lo que permitió la formación de una capa húmeda producto de la condensación del agua, posibilitando la fijación de los huevos sobre la superficie (Bleicher & Parra, 1989). Posteriormente, 50 huevos de *A. gemmatalis* fueron sometidos al parasitismo de *T. pretiosum*, durante un período de cinco horas, en cámaras climatizadas con condiciones abióticas constantes (temperatura de 25°C, humedad relativa de 70 ± 10% y fotofase de 14 horas), transfiriéndolos posteriormente a cámaras climatizadas reguladas a las temperaturas seleccionadas (18 °C, 20 °C, 22 °C, 25 °C, 28 °C, 30 °C y 32°C).

Los parámetros biológicos requeridos para determinar la exigencia térmica de las razas de *T. pretiosum*, fueron: a) duración del ciclo de huevo-adulto; b) tasa de emergencia. La duración del ciclo (huevo-adulto), se registró por medio de observaciones diarias y la tasa de emergencia, se calculó estableciendo el número de adultos de *T. pretiosum*, que emergieron del total de huevos parasitados; caracterizados por la coloración oscura, que deja en evidencia la necrosis de los tejidos embrionarios.

El límite térmico inferior ( $T_b$ ), expresado en grados Celsius, fue determinado por medio del método de la hipérbola (Haddad *et al.*, 1999), considerando la duración del ciclo huevo-adulto, a diferentes temperaturas (18 °C, 20 °C, 22 °C, 25 °C, 28 °C, 30 °C y 32°C). Se determinó el límite térmico inferior de desarrollo ( $T_b$ ) y la constante térmica ( $K$ ). El límite térmico inferior ( $T_b$ ), es considerado la temperatura mínima para que el parasitoide pueda desarrollarse biológicamente y la constante térmica ( $K$ ), es representada en función de los grados días. El coeficiente de determinación ( $R^2$ ), proporcionó el grado de confiabilidad a los resultados.

El diseño experimental considerado en el estudio, fue el de tratamientos completos al azar, en donde los datos se sometieron a un análisis de varianza y los promedios fueron comparados por la prueba de Tukey, a 5% de significancia. Los datos de duración del ciclo huevo-adulto, fueron transformados por medio de la fórmula raíz de  $(x + 0.5)$  y analizados estadísticamente, por la prueba de Tukey, a 5% de significancia. Con la finalidad de obtener la normalidad de los datos y la homogeneidad de la varianza de los datos de la tasa de emergencia fueron transformados por medio del modelo arc sen raíz de  $(x / 100)$ . Posteriormente, se comparó la duración del ciclo de desarrollo (huevo-adulto) y la tasa de emergencia de *T. pretiosum*, criados en huevos de *A. gemmatalis* en siete temperaturas (18 °C, 20 °C, 22 °C, 25 °C, 28 °C, 30 °C y 32°C).

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los valores de duración del ciclo de desarrollo (huevo-adulto) de las dos razas de *T. pretiosum* (L.Pi., L.Pr.), recolectadas en huevos de *A. gemmatalis*, presentaron una relación inversa a la temperatura, verificándose valores estadísticamente semejantes entre ambas razas

para cada temperatura (Cuadro 2). Pratissoli & Parra (2000), confirmaron que la duración del ciclo de desarrollo (huevo-adulto) de las especies y razas de *Trichogramma*, no depende exclusivamente de la temperatura, observando que la adaptación al huésped parasitado y la metodología de multiplicación, influyen en la variación de este parámetro biológico (Tironi, 1992; Sá & Parra, 1994; Pratissoli & Parra, 2000, Pererira *et al.*, 2004). Bleicher & Parra (1989), registraron resultados semejantes a los registrados en el presente estudio, destacándose que no hubo influencia de la temperatura en la duración del ciclo de desarrollo (huevo-adulto) entre las razas de *T. pretiosum*, colectadas en huevos de *Alabama argillacea*, en diferentes agro ecosistemas con condiciones abióticas diferentes.

La tasa de emergencia (%), registrada para ambas razas (L.Pi., L.Pr.) de *T. pretiosum*, estadísticas, con tasas superiores a 90.0% (Cuadro 2), lo que indica que la calidad del huésped (huevo de la plaga), no es afectado por las diferentes temperaturas.

A partir de la velocidad de desarrollo de las dos razas de *T. pretiosum* evaluadas en las diferentes temperaturas (18 a 32°C), se relaciona la duración del ciclo de desarrollo (huevo-adulto), que permitió determinar el límite térmico inferior (Tb) y la constante térmica (K). Los valores del límite térmico inferior (Tb) y de la constante térmica (K), fueron 12.10°C y 133.01 GD, correspondiente a la raza L.Pr. y 11.70 °C y 123.12 GD, para la raza de L.Pi. de *T. pretiosum* (Cuadro 3, Fig. 1). Los valores elevados del coeficiente de determinación (R<sup>2</sup>), confirmaron la confiabilidad del modelo expuesto en la ecuación de regresión, que determina la relación entre la temperatura y la duración del ciclo de desarrollo (huevo-adulto) (Cuadro 3). Las variaciones registradas para el límite térmico inferior (Tb), en las razas de *T. pretiosum* colectadas en huevos de *A. gemmatalis* (Cuadro 3, Fig. 1), afirma la influencia de las razas del parasitoide y la calidad del huésped, en las exigencia térmicas del parasitoide (Tironi, 1992; Pratissoli & Parra, 2000; Pereira *et al.*, 2004).

Cuadro 2. Duración media del ciclo (huevo-adulto) y tasa de emergencia en dos razas de *Trichogramma pretiosum*, criada en huevos de *Anticarsia gemmatalis*, en diferentes temperaturas. HR: 70 ± 10% e fotofase de 14 horas.

Temperatura (°C)	Raza L.Pr.		Raza L.Pi.	
	Duración del ciclo (días)	Tasa de emergencia (%)	Duración del ciclo (días)	Tasa de emergencia (%)
18	23.76 ± 0.22 f <sup>1</sup> A <sup>2</sup>	96 ± 4.26 a A	22.10 ± 0.22 eA	94 ± 3.09 a A
20	15.52 ± 0.08 e A	96 ± 2.67 a A	16.91 ± 0.08dA	97 ± 4.58 a A
22	14.41 ± 0.07 d A	96 ± 2.67 a A	13.16 ± 0.07 cA	97 ± 1.89 a A
25	10.29 ± 0.13 c A	94 ± 4.47 a A	9.50 ± 0.13 bA	93 ± 3.19 a A
28	8.41 ± 0.16 b A	92 ± 4.42 a A	7.22 ± 0.16 a A	93 ± 3.39 a A
30	6.82 ± 0.08 a A	91 ± 5.37 a A	6.79 ± 0.02 a A	90 ± 4.39 a A
32	7.12 ± 0.09 a A	91 ± 2.67 a A	7.01 ± 0.18 a A	90 ± 1.98 a A

<sup>1</sup>Médias seguidas de la misma letra minúscula, entre las columnas, no difieren estadísticamente entre sí, por la prueba de Tukey, a 5% de significancia.

<sup>2</sup>Médias seguidas de la misma letra mayúscula, entre las filas, no difieren estadísticamente entre sí, por la prueba de Tukey, a 5% de significancia.

Cuadro 3. Límite térmico inferior (Tb), constante térmica (K) y coeficiente de determinación (R<sup>2</sup>), de las razas L.Pi. y L.Pr. de *Trichogramma pretiosum*, criados en huevos de *Anticarsia gemmatalis*, en condiciones de controladas de temperatura, humedad relativa de 70±10% y fotofase de 14 horas.

Raza	Tb (°C)	K (GD)	Ecuación de Regresión	R <sup>2</sup> (%)
L.Pi.	11.70	123.12	y = -0.08858+0.007569 x	95.32
L.Pr.	12.10	133.01	y = -0.09094 + 0.07518 x	97.05

La metodología de multiplicación utilizada en la producción masiva del parasitoide, también influye en la variación del límite térmico inferior ( $T_b$ ) y la constante térmica ( $K$ ) (Foerster *et al.*, 1996, Pratisoli *et al.*, 2005). Foerster *et al.* (1996), observó que variaciones reducidas en intervalos entre 2 y 3°C, en el límite térmico inferior ( $T_b$ ), no necesariamente van a influir en el desarrollo del parasitoide. Por esta razón, las investigaciones deben estar dirigidas a la selección de un huésped alternativo con características semejantes a la de la plaga "objeto de control", de manera que el parasitoide exprese todo el potencial biológico, cuando es liberado en el campo (Pratisoli & Parra, 2000). Los modelos predictivos, citados en este estudio (Cuadro 3), determinan la constante térmica ( $K$ ), que reflejada en los grados días (GD), permite prever y controlar la producción masiva de diferentes razas de *T. pretiosum*, en condiciones de laboratorio. Estos estudios permiten estimar el número de generaciones anuales de las especies y razas de los parasitoides, herramienta que recomienda el número e intervalo de liberaciones de estos, en el campo.

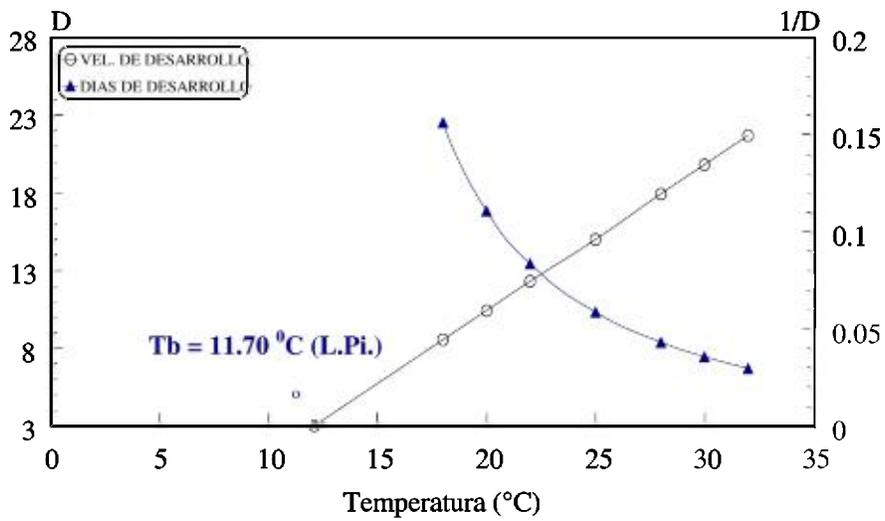
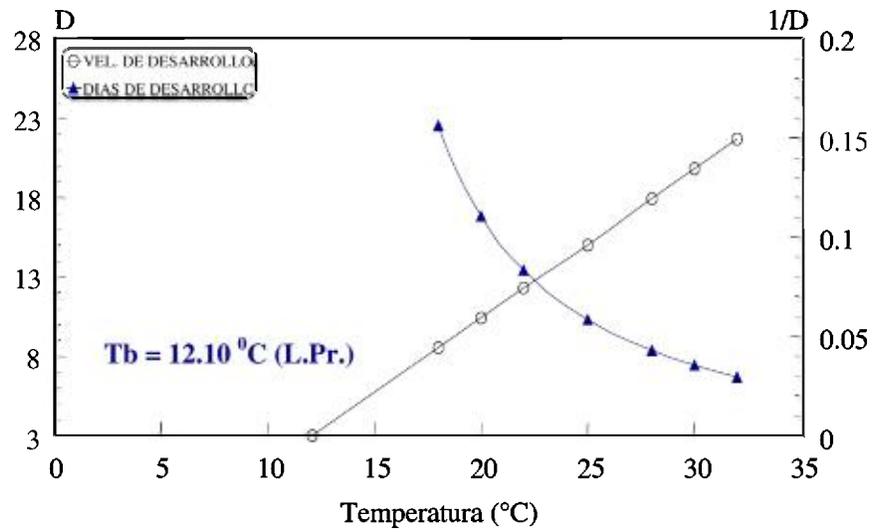


Fig. 1. Curva de velocidad de desarrollo de dos razas (L.Pr., L.Pi.) de *Trichogramma pretiosum*, criados en huevos de *Anticarsia gemmatalis*, en diferentes temperaturas ( $18^\circ\text{C}$  a  $32^\circ\text{C}$ , HR:  $70 \pm 10\%$  y fotofase de 14 horas).

## CONCLUSIÓN

Los requerimientos térmicos (Tb, K) de *T. pretiosum*, variaron en relación a las razas evaluadas en el presente estudio.

## REFERENCIAS

Bleicher, E. & J.R.P. Parra. 1989. Espécies de *Trichogramma* parasitóides de *Alabama argillacea*. I. Biología de três populações. Pesq. Agropec. Bras. 25(2): 215 - 219.

Bleicher, E. & J.R.P. Parra. 1990. Espécies de *Trichogramma* parasitóides de *Alabama argillacea*. III. Determinação das exigências térmicas de três populações. Pesq. Agropec. Bras., 25(2): 221-225.

Bueno, R.C.O.F., A.F. Bueno, J.R.P. Parra, S.S. Vieira & L.J. Oliveira. 2010. Biological characteristics and parasitism capacity of *Trichogramma pretiosum* Riley (Hymenoptera, Trichogrammatidae) on eggs of *Spodoptera frugiperda* (J.E. Smith) (Lepidoptera, Noctuidae). Rev. Bras. entomol., 54: 322-327.

Foerster, L.A., ER. Mello & M.R.F. Avanci. 1996. Ciclo evolutivo e necessidades térmicas de *Trichogramma pretiosum* (Hymenoptera:Trichogrammatidae) e *Telenomus* sp. (Hymenoptera: Scelionidae) em ovos de *Anticarsia gemmatalis* (Lepidoptera: Noctuidae). In: Simpósio de Controle Biológico. 5., Foz de Iguaçu, 1996. Resumos. Londrina, p. 24.

Gazzoni, D.L., E.B. Oliveira, I.C. Corso, B.S.C. Ferreira, G.L.Villas Bôas, F. Moscardi & A. R. Panizzi. 1981. Manejo de pragas da soja. Londrina: EMBRAPA/CNPSO, 44 p.

Green, R.F., N.C. Leppla & W.A. Dickerson. 1976. Veltbean caterpillar a rearing procedure and artificial medium. J. Econ. Entomol. 69 (4): 487-488.

Haddad, M.L., J.R.P. Parra & R.C. Moraes. 1999. Métodos para estimar os limites térmicos inferior e superior de desenvolvimento de insetos. Piracicaba, FEALQ, 29p.

King, A.B.S. & J.L. Saunders, 1984. Las plagas invertebradas de cultivos anuales en América Central. Londres, Overseas Development Administration Press. 182 p.

Maceda, A., C. L. Hohmann & H.R. Santos. 2003. Temperature effects on *Trichogramma pretiosum* Riley and *Trichogramma annulata* De Santis. Braz. Arch. Biol. Technol. 48: 523-529.

Moscardi, F. & M.L. Souza. 2002. Baculovirus para o controle de pragas: panacea ou realidade? Biotecnología, Ciencia y Desarrollo 24: 22-29.

Panizzi, R.A. 2013. History and contemporary perspective of integrated pest management of soybean in Brazil. Neotrop. Entomol. 42: 119-127.

Parra, J.R.P. 1996. Técnicas de criação de insetos para programas de controle biológico. Piracicaba, FEALQ. 137 p.

Parra, J.R.P. 1997. Técnicas de criação de *Anagasta kuehniella*, hospedeiro alternativo para produção de *Trichogramma*. P. 121-150. In J.R.P. Parra & R.A. Zucchi (eds.), *Trichogramma* e o controle aplicado. Piracicaba, FEALQ. 324 p.

Parra, J.R.P., J.R.S. Lopes, H.J.P. Serra & O. Salles Junior. 1989. Metodologia de criação de *Anagasta kuehniella* (Zeller, 1879) para produção massal de *Trichogramma* spp. An. Soc. Entomol. Brasil 18: 403-415.

Parra, J.R.P. & R.A. Zucchi. 2004. *Trichogramma* in Brasil: Feasibility of use after twenty years of research. Neotrop. Entomol. 33: 271-281.

Pereira, F., R. Barros, D. Pratisoli & J.R.P. Parra. 2004. Biologia e exigências térmicas de *Trichogramma pretiosum* Riley e *T. exiguum* Pinto & Platner (Hymenoptera: Trichogrammatidae) criados em ovos de *Plutella xylostella* (L.) (Lepidoptera: Plutellidae). Neotrop. Entomol. 33: 231-236.

Pratissoli, D. & J.R.P. Parra. 2000. Desenvolvimento e exigências térmicas de *Trichogramma pretiosum* Riley, criados em duas traças do tomateiro. *Pesqu. Agropecu. Bras.* 35(7): 1281-1288.

Pratissoli, D., J.C. Zanuncio, U.R. Vianna, J.S. de Andrade, T.B.M. Pinon & G.S. Andrade. 2005. Thermal requirements of *Trichogramma pretiosum* and *Trichogramma acacioi* (Hym.: Trichogrammatidae), parasitoids of the avocado defoliator *Niptera panacea* (Lep.: Geometridae), in eggs of two alternative hosts. *Braz. Arch. Biol. Technol.* 48: 523-529.

Sá, L.A.N. & J.R.P. Parra, 1994. Biology and parasitism of *Trichogramma pretiosum* Riley (Hym., Trichogrammatidae) on *Ephestia kuehniella* (Zeller) and *Heliothis zea* (Boddie) (Lep., Noctuidae) eggs. *J. Appl. Entomol.* 118: 38-44.

Scholler, M. & S. Hassan. 2001. Comparative biology and life table of *Trichogramma evanescens* and *T. cacoeciae* with *Ephestia elutella* as host at four constant temperatures. *Entomol. Exp. Appl.* 98: 35-40.

Sosa-Gomez, D.R. 2006. Seletividade de agroquímicos para fungos entomopatogênicos.

[http://cnpso.embrapa.br/download/artigos/seletiv\\_fung.pdf](http://cnpso.embrapa.br/download/artigos/seletiv_fung.pdf)

Stein, C.P. & J.R.P. Parra. 1987. Uso da radiação para inviabilizar ovos de *Anagasta kuehniella* (Zeller, 1879) visando estudos com *Trichogramma* spp. *An. Soc. Entomol. Brasil* 16: 229-231.

Tironi, P. 1992. Aspectos bioecológicos de *Trichogramma pretiosum* Riley, 1879 e *Trichogramma atopovirilia* Oatman & Platner, 1983 (Hym.: Trichogrammatidae), como agentes de controle biológico de *Helicoverpa zea* (Boddie, 1850) (Lep.: Noctuidae). Lavras, Dissertação de Mestrado, Escola Superior de Agricultura de Lavras, 74p.

Turnipseed, S.G. & M. Kogan, 1976. Soybean entomology. *Annu. Rev. Entomol.* 21: 247-282.

Yorinori, T., W. Morel Paiva, L. Costamilan & P. Bertognolli. 2003. Ferrugem da Soja: Identificación e controle. Documentos 204. Londrina, Pr., Brasil.

*Recibido julio de 2013, aceptado noviembre de 2013.*