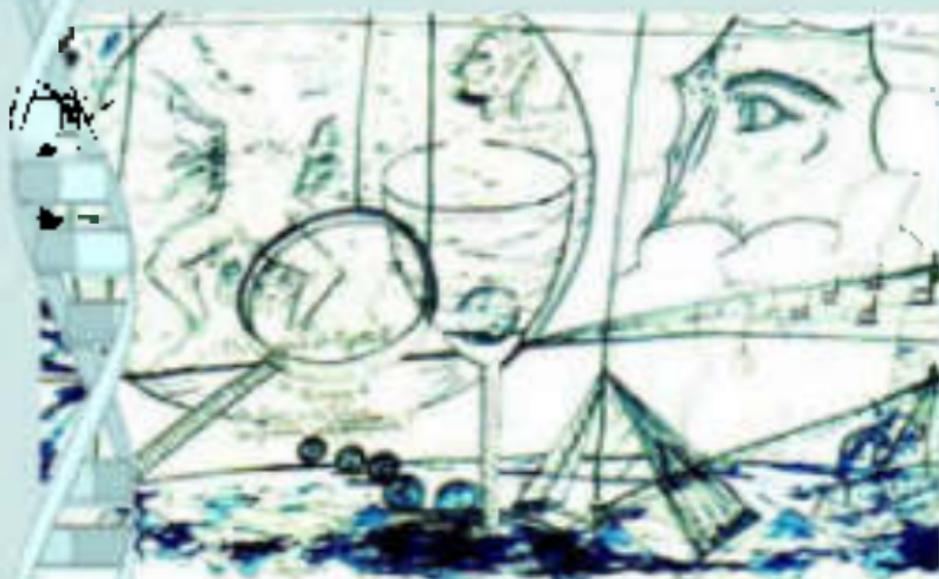


ISSN 1808-882



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

TECNOCIENCIA



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



INVESTIGACIÓN SOBRE EL MATERIAL PARTICULADO AMBIENTAL EN CIUDAD DE PANAMÁ

Billy Mójica C.¹, Bernardo Fernández², Omayra Pérez² & Juan A. Jaén³

¹Escuela de Química, Escuela de Química, Facultad de Ciencias Naturales, Exactas y Tecnología, Universidad de Panamá.

²Depto. de Física, Laboratorio de Radionucleidos RN 50, Edificio de Laboratorios Científicos-VIP, Universidad de Panamá.

³Depto. de Química Física, CITEN, Lab. N° 105, Edificio de Laboratorios Científicos-VIP, Universidad de Panamá.

RESUMEN

Se estudiaron las partículas atmosféricas finas (PM_{10}) con el propósito de conocer los niveles de concentración de los diferentes elementos presentes en nuestro ambiente y especificar los compuestos de hierro en el material particulado. Se determinaron los niveles de metales trazas (Fe, Ni, Cu, Zn y Pb), así como también la presencia de otros contaminantes. Las muestras fueron recolectadas en las épocas seca y lluviosa de los años 2005 y 2006, utilizando un muestreador de alto volumen situada a 70 m sobre el nivel del mar, en la azotea del edificio de la Colina, Universidad de Panamá. Se usó espectrometría de emisión óptica con plasma acoplado inductivamente (ICP-OES) y espectroscopia Mössbauer. Las concentraciones de PM_{10} en la ciudad de Panamá fueron, en general, bajas; manteniéndose por debajo del límite diario permisible de $50 \mu\text{g m}^{-3}$, pero excediendo el valor de $40 \mu\text{g m}^{-3}$ recomendado internacionalmente. Por otra parte, en la época seca, los valores de PM_{10} son mayores, mientras que los valores más bajos y por debajo del límite se detectaron en los meses lluviosos de Octubre y Noviembre. El material particulado tiene mayores concentraciones de Na, K, Mg, Ca y Fe, presentando un patrón estacional de mayores concentraciones durante la época seca; mientras tanto los otros elementos encontrados, con concentraciones mucho menores, no mostraron un patrón estacional definido. Con espectroscopia Mössbauer se identificaron óxidos de hierro ($\gamma\text{-Fe}_2\text{O}_3$) de grano fino y ultrafino (tamaño nanométrico), oxihidróxidos férricos ($\alpha\text{-FeOOH}$, $\gamma\text{-FeOOH}$) y silicatos de Fe^{3+} y Fe^{2+} . Independientemente de la época del año, las principales fuentes de material particulado son los suelos erosionados, el cemento, otros materiales de las industrias de construcción en la ciudad y emisiones de vehículos.

PALABRAS CLAVES

Material particulado, metales trazas, especiación de compuestos de hierro.

ABSTRACT

A study has been carried out in order to know the concentration levels of the different elements present in the fine atmospheric particles (PM_{10}) and to speciate the iron compounds. The trace metal concentrations (Fe, Ni, Cu, Zn and Pb) were determined, as well as the presence of other polluting agents. The samples were collected during dry and rainy of 2005 and 2006, using a high volume air sampler located 70 m above sea level, in the roof of Colina building, University of Panama. ICP Optical Emission Spectrometry (ICP-OES) and Mössbauer Spectroscopy were used. The concentrations of PM_{10} in Panama City were generally low, staying below the permissible daily limit of $50 \mu\text{g m}^{-3}$, but above the recommended internationally value of $40 \mu\text{g m}^{-3}$. On the other hand, during dry season, the values of PM_{10} are higher, whereas the lowest values, below the limit, were detected in the rainy months of October and November. The particulate matter has higher concentrations of Na, K, Mg, Ca and Fe, exhibiting a seasonal pattern of larger concentrations during dry season; meanwhile the other found elements, with much smaller concentrations, did not show a defined seasonal pattern. With the aid of Mössbauer spectroscopy iron oxides ($\gamma\text{-Fe}_2\text{O}_3$) of fine and ultra-fine grain size (nanometric), ferric oxyhydroxides ($\alpha\text{-FeOOH}$, $\gamma\text{-FeOOH}$) and Fe^{3+} and Fe^{2+} silicates were identified. Disregarding the time of the year, the main sources of particulate matter are the eroded soils, cement and other materials from the construction industries in the city, and vehicle emissions.

KEYWORDS

Particulate matter, trace metals, iron compounds speciation.

INTRODUCCIÓN

En estudios recientes se han reportado relaciones entre el material particulado atmosférico y las tasas de mortalidad diaria (Dockery *et al.*, 1993). El material particulado atmosférico puede causar enfermedades pulmonares y de la tráquea así como enfermedades epidemiológicas. La toxicidad del material particulado está fuertemente relacionada con su tamaño y las especies químicas que se encuentran en él. Algunas especies pueden disolverse en fluidos pulmonares y entrar en el cuerpo por la corriente sanguínea. Las partículas con un diámetro aerodinámico $< 10 \mu\text{m}$ (PM_{10}) pueden ser inhaladas y ser absorbidas en la tráquea y en la mucosa respiratoria de los bronquios (Machado *et al.*, 2007; Adamson *et al.*, 1999).

El hierro es uno de los más importantes elementos de los aerosoles. La mayor parte de las partículas suspendidas contienen hierro, óxidos de hierro y otros compuestos de hierro procedentes de diversas fuentes naturales y antropogénicas locales y de lugares remotos. Consecuentemente, la concentración de hierro puede ser usada como un índice de contaminación del aire. La espectroscopia Mössbauer ha probado ser una metodología útil en el estudio del material particulado (Kopcewicz & Kopcewicz, 1998; Kopcewicz & Kopcewicz, 1995; Kopcewicz & Kopcewicz, 1986; Mahieu *et al.*, 1976; Tong *et al.*, 2001; Dedik & Hoffmann, 1992). Se puede determinar el tamaño de las partículas de hierro, el estado de oxidación de los compuestos y fases presentes, hacer consideraciones sobre la estructura que rodea al hierro e incluso la concentración de los compuestos de hierro.

En nuestro país, el Instituto de Análisis Ambiental (ubicado en Corozal) junto con el Instituto de Especializaciones y Análisis (IEA) de la Universidad de Panamá, realizan monitoreos y análisis del material particulado atmosférico, dando registros únicamente de los niveles de Pb en PM₁₀, principal metal presente en las emisiones vehiculares hasta fechas recientes en las que se restringió el uso de la gasolina con plomo (Ley 36, 1996).

El objetivo de este trabajo es especiar los compuestos de hierro presentes en el material particulado de la ciudad de Panamá, determinar la composición de fases los tamaños de partícula. Para ello, usamos la espectrometría de Emisión Óptica con Plasma Acoplado Inductivamente (ICP-OES) y espectrometría Mössbauer.

PARTE EXPERIMENTAL

El muestreo del material particulado se realizó con el sistema de recolección de partículas (aerosol atmosférico) JL - 900 Snow White. El sistema contiene sensores (dentro y fuera), con los cuales se puede monitorear en tiempo real las variables climáticas temperatura, presión, humedad, precipitación pluvial, rapidez y dirección del viento; así como también el flujo de aire absorbido.

El muestreo se realizó durante el periodo de época húmeda y seca (enero-diciembre 2005 y marzo-noviembre del 2006), utilizando una aspiradora de aire de alto volumen (situada a 70 m sobre el nivel del

mar, en la azotea del edificio de la colina de la Universidad de Panamá, Campus Octavio Méndez Pereira) que permite coleccionar partículas suspendidas en aire. Las características del sistema de recolección de partículas se han descrito previamente (Valmari, Mikael Moring, 1995). Para la recolección de las partículas se emplearon filtros atmosféricos Petrianov y 3M, los que han sido diseñados para atrapar con una eficiencia de $84,42\% \pm 0,62\%$ partículas que tienen un tamaño que va desde $0,12 \mu\text{m}$ hasta $10 \mu\text{m}$ (Fernández & Pérez, 2007). Para el procesamiento asistido por microondas se tomaron muestras de aproximadamente 2 cm^2 de los filtros atmosféricos previamente doblado según el protocolo para el monitoreo de radionucleidos ambientales de la estación RN 50. Se pesaron y se colocaron en los envases de teflón, adicionándoles 5,0 ml de ácido nítrico. Se utilizó un digestor cerrado OI Analytical modelo 7295, provisto de recipientes de Teflón. El sistema posee sensores de presión y temperatura para regular las condiciones de ataque. El análisis elemental se realizó en un ICP-OES Spectro Siros CCD, en el Instituto de Investigaciones Científicas Avanzadas y Servicio de Alta Tecnología (INDICASAT). Estos análisis se realizaron en las siguientes condiciones: Poder del Plasma 1 350 W, Flujo Refrigerante 14,0 l/min, Flujo del Nebulizador 0,95 l/min, Flujo auxiliar 1,0 l/min.

Los espectros Mössbauer se obtuvieron con un espectrómetro convencional de aceleración constante, con una fuente de ^{57}Co (Rh) de 10 mCi. Los espectros de las muestras de aerosol fueron medidos a temperatura ambiente y a 80 K. El espectro Mössbauer fue analizado con el programa Recoil usando suma de líneas lorentzianas.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Material particulado en la Ciudad de Panamá

En la Tabla 1 se presentan los datos (con sus respectivas desviaciones estándares) meteorológicos promedio recopilados durante las épocas de medición. Puede observarse que ambas épocas climatológicas la humedad fue mayor que 70%. La humedad en la atmósfera origina un problema de dispersión de luz reduciendo la visibilidad. Así mismo en condiciones de elevada humedad relativa (si esta excede a 70 %), determinados tipos de partículas higroscópicas se convierten en núcleos de condensación originando niebla, lo cual favorece la formación de contaminantes secundarios particulados a partir de

contaminantes gaseosos peligrosos, tales como las sustancias responsables de la lluvia ácida. La dirección y rapidez del viento juegan un papel importante en el proceso de dispersión de los contaminantes.

Tabla 1. Parámetros Meteorológicos promedio en el periodo de muestreo.

Periodo	Rapidez del Viento (m/s)	Dirección del viento	Temperatura °C	Humedad %	Promedio diario de precipitación mm
Enero-Abril (2005)	2,6 ± 1,3	263,4 ± 92,8	26,8 ± 2,2	76,5 ± 5,8	9,7 ± 12,6
Mayo-Diciembre (2005)	2,3 ± 1,1	248,5 ± 92,9	26,8 ± 1,7	79,4 ± 8,3	13,5 ± 19,6
Enero-Abril (2006)	3,4 ± 1,6	281,2 ± 98,1	27,1 ± 2,6	69,8 ± 13,2	10,0 ± 17,0
Mayo-Diciembre (2006)	2,3 ± 1,3	260,4 ± 87,3	26,5 ± 2,2	80,2 ± 9,6	5,7 ± 1,3

Los organismos europeos normativos de la calidad del aire precisaron en 1999 (directiva 1999/30/CE) los valores límites para PM₁₀ que a través de Europa debían ser satisfechos en el 2005. El valor límite de 50 µg m⁻³ en 24 h no debe ser excedido más de 35 veces al año y el promedio anual máximo se estableció como 40 µg m⁻³. Los resultados del año 2006 obtenidos en Panamá (Fig. 1) muestran que en general los niveles de partículas suspendidas están por debajo del límite diario de 50 µg m⁻³. Los valores de PM₁₀ son mayores en la época seca, mientras que los valores más bajos y por debajo del límite se obtienen en los meses lluviosos de Octubre y Noviembre. Los registros del Laboratorio de Radionucleidos RN 50 confirman que estos resultados son lo usual.

Las concentraciones medias de material particulado suspendido tienen un patrón similar al del tráfico vehicular. La situación se muestra en la Figura 9 para la época seca. Durante los días de la semana el valor promedio del material particulado es cerca de 60 µg m⁻³. Disminuye apreciablemente hasta casi los 50 µg m⁻³ hacia los fines de semana. Se

plantea que esto es una consecuencia del alto tráfico vehicular durante los días de semana, que disminuye los sábados y domingos.

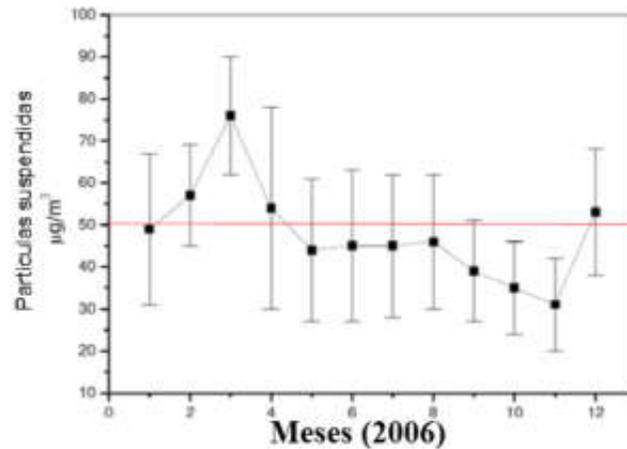


Fig. 1. Promedio mensual de partículas suspendidas en 2006 en la estación Colina Universidad de Panamá. La línea horizontal muestra el nivel aceptado internacionalmente como valor máximo recomendado.

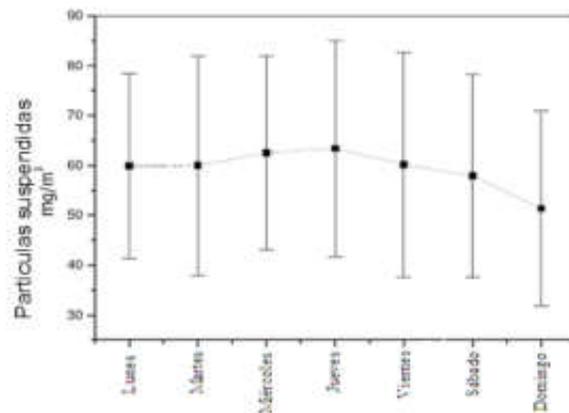


Fig. 2. Variación del promedio del material particulado como función del día de la semana durante la época seca de 2006.

Niveles de metales en PM₁₀

Las concentraciones promedio de los metales en estudio en el período de Enero-Diciembre del 2005 (analizados por ICP) se presentan en la Tabla 2. Se evidenció que el Na, K, Mg, Ca y Fe son los principales metales que se presentan en nuestro estudio, con concentraciones mayores durante la época seca para los elementos Na, Mg, Ca y Fe, tal

como se observa en las Figuras 3 y 4. Las concentraciones de los otros elementos estudiados resultaron mucho menores y sin patrones estacionales definidos (ver Tabla 2 y Fig. 4).

Es de destacar que los niveles de Fe son muchos menores a los que se observan en lugares con contaminación industrial. Por ejemplo, en Darmstadt (Alemania) (Weber *et al.*, 2000); determinaron por Fluorescencia de Rayos-X de Reflexión Total (FRXT) concentraciones de 1900 ng m^{-3} , proveniente en su mayor parte de emisiones industriales a gran distancia del sitio de monitoreo, pero que los vientos transportaron hasta los puntos de las áreas urbanas de muestreo. No obstante lo anterior, el valor de Fe alcanza valores altos en Marzo de 2006, lo que resulta crítico en la calidad del espectro Mössbauer del material particulado, como se presenta más adelante.

Los estudios sobre la situación de la atmósfera en Panamá y la composición del material particulado son escasos. Unos pocos trabajos previos indican dos cambios drásticos que recientemente se suceden en el país, y que pueden tener bastante importancia en las inferencias sobre la composición del material particulado y sus orígenes. La tasa de deposición de Cl⁻ varió de $0,1 - 0,4 \text{ mg/m}^2\text{d}$ a $4,9 - 12,4 \text{ mg/m}^2\text{d}$ de inicios de la década del '90 a mediados de la misma década. Simultáneamente los niveles de SO₂ disminuyen de $7,6 - 38,5 \text{ mg/m}^2\text{d}$ a $8,7 - 10,8 \text{ mg/m}^2\text{d}$ en el mismo periodo (Jaén *et al.*, 1997; y Garibaldi, Jaén & Garibaldi, 2004). En término de los niveles de aportación al material particulado, se puede inferir que el alto desarrollo inmobiliario que experimenta el país y la construcción de edificaciones de gran altura ha modificado la circulación de los vientos y ejercido influencia sobre los cloruros (Cl⁻) arrastrados por el viento desde las costas marinas. Por otro lado, la introducción de normas más estrictas sobre el combustible para automóviles ha reducido el nivel de contaminación por SO₂.

Tabla 5. Concentración Promedio Urbana Para Metales Trazas en los Periodos de Sequia y Lluvia del año 2005, 2006 en Ciudad de Panamá

Elementos	Enero ng/m ³	Febrero ng/m ³	Marzo ng/m ³	Abril ng/m ³	Mayo ng/m ³	Junio ng/m ³	Julio ng/m ³	Agosto ng/m ³	Sept. ng/m ³	Octubre ng/m ³	Nov. ng/m ³	Dic. ng/m ³	Marzo 2006 ng/m ³	Nov. 2006 ng/m ³
Na	3309.2	3304.5	957.6	3665.0	1980.4	538.4	N.D	N.D	N.D	1309.6	825.6	2149.8	2406.6	490.9
K	595.7	798.2	1681.3	861.5	791.0	813.0	1387.9	1750.0	1691.5	1007.0	1804.8	2139.8	557.9	341.1
Ca	764.3	2065.1	1629.9	1916.2	1611.9	648.0	4408.9	988.1	943.4	1288.2	1130.6	6834.0	2808	904.5
Mg	717.1	1253.9	846.1	996.5	583.8	253.3	599.6	490.0	502.4	357.3	507.9	636.5	889.1	220.7
Be	1.5	1.7	4.2	1.6	2.3	2.2	4.7	6.0	5.7	3.2	6.1	7.2	N.D	N.D
Fe	195.3	995.9	555.5	955.5	77.9	263.0	528.3	380.1	149.0	50.3	296.6	102.7	1012	436
Ni	3.6	18.9	5.6	12.6	2.4	20.8	23.1	10.7	26.3	5.7	11.4	5.0	21	76
Cu	70.7	150.3	193.8	118.7	98.9	91.5	178.1	82.5	91.7	70.1	182.0	162.0	17.7	17.8
Zn	56.3	127.7	304.5	156.4	101.4	106.7	249.4	214.8	94.6	107.9	N.D	315.1	40.9	42.6
Pb	4.4	7.1	12.9	95.5	17.1	9.3	143.6	54.5	59.7	N.D	26.4	41.8	8.2	10.8
Mo	6.0	6.4	17.1	8.5	5.3	6.5	25.4	21.2	31.5	7.5	23.2	37.9	N.D	5.5
Sb	N.D	11.1	61.1	18.8	4.0	117.9	31.4	N.D	32.6	20.4	20.2	4.3	N.D	7.5
As	N.D	14.8	5.5	26.1	42.7	N.D	40.3	67.9	N.D	4.8	N.D	38.9	8.2	21.3
Cd	1.4	2.9	13.0	4.0	4.2	4.6	7.0	16.1	8.4	3.9	4.4	15.4	N.D	N.D

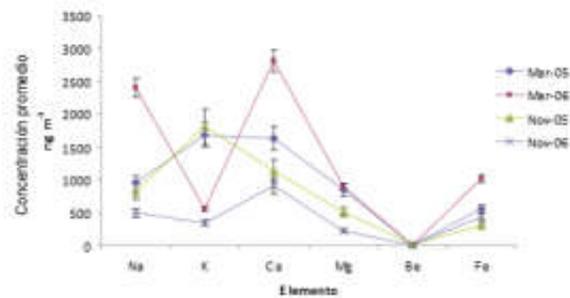


Fig. 3. Concentraciones promedio de los elementos Na, K, Mg, Be, Ca y Fe en PM₁₀ en la estación RN 50 durante los meses de Marzo y Noviembre de 2005 y 2006.

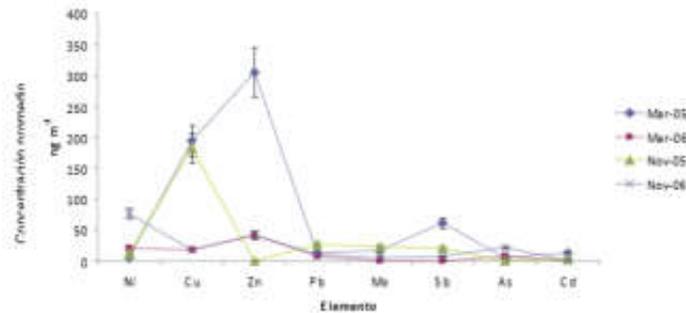


Fig. 4. Concentraciones promedio de los elementos Ni, Cu, Zn, Pb, Mo, Sb, As y Cd en PM₁₀ en la estación RN 50 durante los meses de Marzo y Noviembre de 2005 y 2006.

De todo lo anterior, y dadas las relaciones de concentraciones de elementos en la época de estudio (2005-2006), se puede suponer, aunque todavía con pocas evidencias, que el K, Ca y Fe se pueden asociar a polvo suspendido, suelo erosionado, material de las construcciones en las cuales se utiliza cemento, y un aporte del flujo vehicular.

En la Figura 5 se presenta una vista comparativa de la concentración de elementos específicos en el material particulado en diferentes localidades de Europa, Asia y Estados Unidos (Harrison & Yin, 2000) y los resultados promediados anuales en Panamá. La composición de

las partículas en Panamá y en Coimbra, Portugal, es relativamente similar. Coimbra es una ciudad mediana, de 100 000 habitantes, de uno de los países menos desarrollados de Europa Occidental pero con una economía de rápida expansión. Está localizada a unos 50 km del Océano Atlántico. El microclima de la ciudad es una transición entre el continental y el atlántico, con algunos días de invierno fríos y altas temperaturas durante el día en el verano. Muestras de aire colectadas alrededor del mundo tienen los mismos componentes mayoritarios, aunque en diferentes proporciones de acuerdo a la localización del muestreo. Estas similitudes deben ser interpretadas con relación al nivel de contaminación. Las fuentes de contaminación pueden variar grandemente según su naturaleza y origen. Los resultados sugieren que en las localidades de Anaheim, Birmingham, Coimbra y Panamá, las principales fuentes de contaminación son las causadas por las emisiones antropogénicas. En Arnhem, se tiene como fuente principal de emisión de contaminantes a la actividad industrial. Otros componentes mayoritarios que deben ser considerados son los siguientes: sulfatos, nitratos, amoniaco, cloruros, carbono elemental y carbono orgánico, material de la corteza y material biológicos.

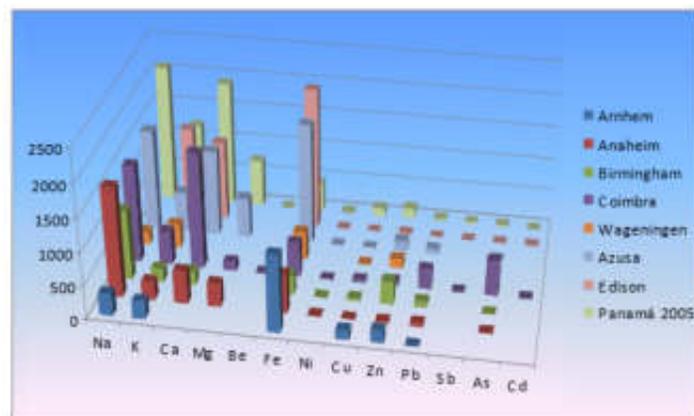


Fig. 5. Cuadro comparativo de la concentración de elementos específicos en el material particulado en diferentes localidades de Europa, Asia y Estados Unidos y los resultados promediados anuales en Panamá (Harrison & Yin, 2000).

La inclusión de otros resultados ponen en evidencia las diferencias que pueden existir en cuanto a los grados de contaminación, que puede variar en órdenes de magnitud, como se observa en el caso de Lahore, Pakistán, que tiene concentraciones masivas de material particulado en suspensión (Harrison & Yin, 2000).

Especiación Mössbauer del Material Particulado

Los espectros Mössbauer obtenidos de las mediciones Mössbauer realizadas en muestras de material particulado PM₁₀ colectados en los meses de Marzo y Noviembre de 2005 y 2006 se muestran en las Figuras 6 a 9. Dada la mejor calidad estadística de la muestra de Marzo de 2006, consecuencia de la gran cantidad de material particulado colectado en este mes y de la mayor cantidad de Fe que se obtuvo, se realizó el ajuste de esta muestra inicialmente para usarla como modelo de ajuste del resto.

El espectro a 295 K exhibe tres componentes con los siguientes parámetros Mössbauer: a) un doblete central con desdoblamiento isomérico $\delta = 0,36$ mm/s y un desdoblamiento cuadrupolar $\Delta = 0,65$ mm/s que podría atribuirse a Fe³⁺ en oxihidróxidos de hierro más partículas superparamagnéticas de óxidos u oxihidróxidos (Kuzmann *et al.*, 2003; Murad & Cashion, 2004) un doblete cuadrupolar con $\delta = 1,01$ mm/s y $\Delta = 2,44$ mm/s característico de Fe²⁺ en sitios de coordinación octaédricas de silicatos (McCammon, 1995; Darby Dyar, 2006) y c) un sexteto con un campo hiperfino $B_{hf} = 48,6$ T, un $\delta = 0,39$ mm/s y $\Delta = -0,01$ mm/s, el cual se atribuye a maghemita (γ -Fe₂O₃) o magnetita subestequiométrica (Fe_{3-x}O₄) (Kuzmann *et al.*, 2003). El valor reducido del campo magnético es indicativo de tamaño de partícula reducido.

Con el propósito de determinar el origen del doblete cuadrupolar de Fe³⁺ se registró el espectro Mössbauer a 80 K. En el espectro a baja temperatura se observa un incremento del área espectral de los componentes magnéticos a expensas del doblete cuadrupolar férrico. Uno de los sextetos de ajuste, con $B_{hf} = 47,7$ T, un $\delta = 0,52$ mm/s y $\Delta = -0,28$ mm/s, se atribuye a partículas de tamaño intermedio (cerca de 20 nm) de goethita (α -FeOOH), que se ordenan magnéticamente a estas temperaturas (Leidheiser, Jr. & Svetozar, 1982; Barrero *et al.*,

1995). Además, el espectro a 80 K presentó dos dobletes relacionados, de acuerdo a sus parámetros hiperfinos, a Fe^{3+} de oxihidróxidos de hierro y otras partículas superparamagnéticas de óxidos u oxihidróxidos, y el otro que se debe a los silicatos de Fe^{2+} . El doblete relacionado a las partículas superparamagnéticas puede ser debido a fases como $\gamma\text{-FeOOH}$, SPM $\gamma\text{-Fe}_2\text{O}_3$, SPM $\alpha\text{-FeOOH}$, SPM $\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$ o a un óxido férrico amorfo. Para SPM $\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$ de partículas de 18 nm a temperatura ambiente se obtienen desdoblamientos cuadrupolares de 0,20 mm/s (Kündig *et al.*, 1966) lo que hace poco probable que este óxido esté contribuyendo al doblete central. La lepidocrocita $\gamma\text{-FeOOH}$ a 80 K tiene un $\Delta > 0,5$ mm/s y un δ de 0,38 mm/s, por lo que se estima que puede haber una contribución de esta fase (Murad & Johnston, 1987). La lepidocrocita, la goethita y el compuesto amorfo am- $\text{Fe}(\text{OH})_3$ han sido reportados (Kopcewicz & Kopcewicz; 2000; Pehkonen *et al.*, 1993; Hoffmann, 1996) como componentes significativos del material particulado atmosférico en aerosoles urbanos; el material amorfo se transforma lentamente a $\alpha\text{-FeOOH}$ y $\gamma\text{-FeOOH}$ (Kopcewicz & Kopcewicz, 2001).

La fase SP $\gamma\text{-Fe}_2\text{O}_3$ de tamaño de grano de 10-16 nm exhibe a temperatura ambiente parámetros hiperfinos con el doblete cuadrupolar central; a bajas temperaturas, por debajo de la temperatura de bloqueo, se espera que el espectro sea el de un componente magnético. El otro sexteto a 80 K, con campo hiperfino $B_{\text{hf}} = 51,7$ T, se asocia claramente a $\gamma\text{-Fe}_2\text{O}_3$. La presencia de maghemita $\gamma\text{-Fe}_2\text{O}_3$ en el material particulado ha sido relacionada con el sistema de escape de los automóviles (Muxworthy, 2002). Estos autores encontraron partículas de hierro metálico de tamaño de grano entre 5 y 8 nm resultado del desgaste de los rieles del tranvía de la ciudad de Munich, Alemania. Es de destacar que estas partículas de hierro son potencialmente muy dañinas por su capacidad catalítica con producción de radicales libres que pueden producir inflamación de tejidos, tumores pulmonares, etc., aunque las cantidades de hierro metálico eran pequeñas comparada con las cantidades totales de PM.

Los otros espectros Mössbauer mostraron baja resolución a pesar de permitir el registro por unos diez días en cada caso. Usando la muestra de Marzo 2006 como referencia, se llegó a la conclusión de que en los espectros de las muestras Marzo 2005, Noviembre 2005 y Noviembre

2006 (Figuras 15, 16 y 18) están presentes los mismos componentes en cantidades variables. Los resultados Mössbauer se resumen en la Tabla 3. El sexteto muy ancho de las muestras Marzo 2005, Noviembre 2005 y Noviembre 2006, medidos a 80 K, se puede interpretar como una mezcla de maghemita ($\gamma\text{-Fe}_2\text{O}_3$) y goethita ($\alpha\text{-FeOOH}$) superparamagnética. Obsérvese el valor elevado del desplazamiento cuadrupolar 2ϵ , que en espectros de calidad sugerirían altas distorsiones estructurales; en nuestro caso particular se puede asociar a la fase de goethita.

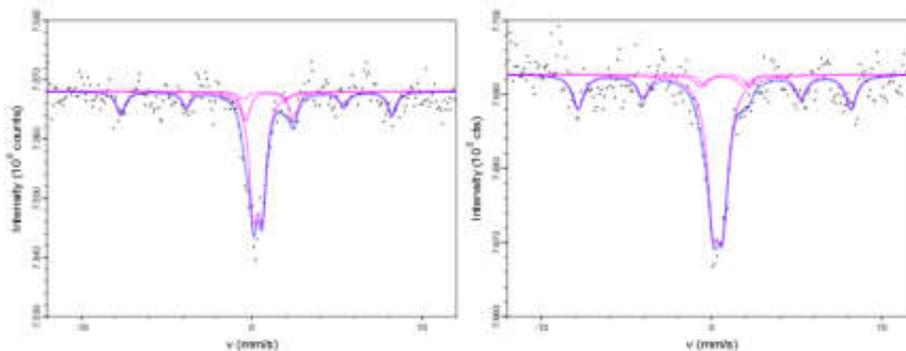


Fig. 6. Espectro Mössbauer para la muestra colectada en Marzo (época seca) del año 2005, medida a a) 295 K y b) 80 K.

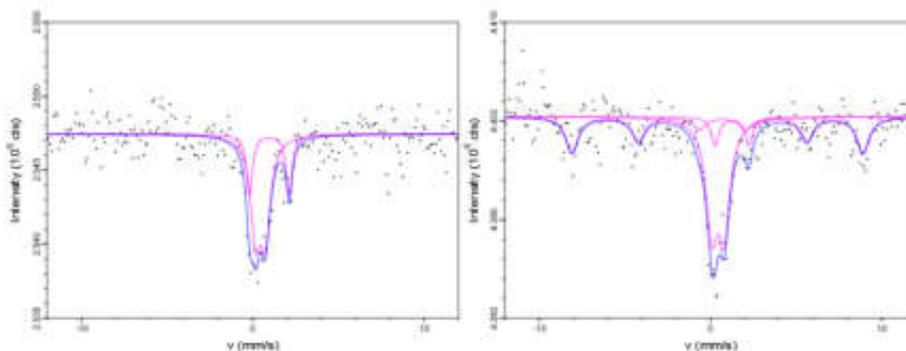


Fig. 7. Espectro Mössbauer para la muestra colectada en Noviembre (época lluviosa) del año 2005 medida a a) 295 K y b) 80 K.

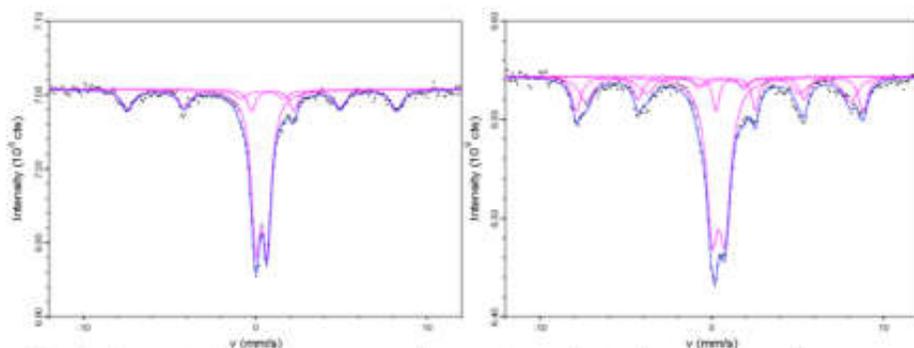


Fig. 8. Espectro Mössbauer para la muestra colectada en Marzo (época seca) del año 2006 medida a a) 295 K y b) 80 K.

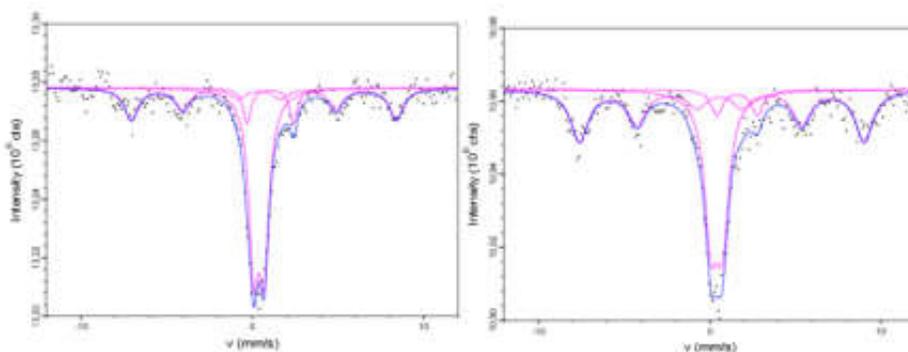


Fig. 9. Espectro Mössbauer para la muestra colectada en Noviembre (época lluviosa) del año 2006, medida a) 295 K y b) 80 K.

Es de interés destacar que en nuestro estudio no se detectó la presencia de magnetita y partículas de $\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$, especialmente ultrafinas, fases que comúnmente se observan en áreas muy contaminadas donde el aerosol que contiene hierro se produce en procesos industriales o en la quema de carbón para el calentamiento de hogares (Kopcewicz & Kopcewicz, 1992; Kopcewicz & Kopcewicz, 2001; Kopcewicz & Kopcewicz, 1998; Tong *et al.*, 2001). También se ha propuesto una correlación de ellas con la actividad meteorítica y con la radiactividad en el aire debida a explosiones nucleares en la atmósfera (Kopcewicz & Kopcewicz, 1991).

Tabla 3. Parámetros Mössbauer encontrados para las muestras de Marzo y Noviembre de los años 2005, 2006.

Muestra	T K	Sitio	δ mm/s	$\Delta/2\varepsilon$ mm/s	Γ mm/s	H_{int} T	A %
Marzo 05	295	Doblete 1	0,36(6)	0,52(8)	0,30*	-	57,7
		Doblete 2	1,05(6)	2,80(33)	0,30*	-	16,0
		Sexteto 1	0,52(17)	-0,50(16)	0,31(26)	49,4(11)	26,0
	80	Doblete 1	0,37(7)	0,57(13)	0,42(13)	-	62
		Doblete 2	0,88(53)	2,6(10)	0,30*	-	4,2
		Sexteto 1	0,39(16)	-0,42(16)	0,40(26)	49,6(11)	33
Noviembre 05	295	Doblete 1	0,46(10)	0,58(16)	0,35*	-	72,0
		Doblete 2	0,97(9)	2,31(19)	0,22(15)	-	28,0
	80	Doblete 1	0,44(8)	0,73(17)	0,40(13)	-	52
		Doblete 2	1,26(24)	1,98(50)	0,27*	-	9,4
		Sexteto 1	0,57(16)	-0,30(16)	0,43(27)	52,6(11)	38
Marzo 06	295	Doblete 1	0,36(1)	0,65(2)	0,31(12)	-	63,2(19)
		Doblete 2	1,01(6)	2,44(11)	0,28(11)	-	8,7(3)
		Sexteto 1	0,39(4)	-0,01(4)	0,82(7)	48,6(3)	28,1(5)
	80	Doblete 1	0,40(1)	0,74(3)	0,41(2)	-	50,4(18)
		Doblete 2	1,39(4)	2,29(9)	0,24(6)	-	7,3(2)
		Sexteto 1	0,51(4)	-0,04(4)	0,32(9)	51,7(4)	19,6(8)
Sexteto 2	0,52(7)	-0,28(7)	0,51(13)	47,7(8)	22,7(9)		
Noviembre 06	295	Doblete 1	0,39(3)	0,61(4)	0,35*	-	58,1
		Doblete 2	1,05(9)	2,71(17)	0,28(13)	-	10,1
		Sexteto 1	0,54(10)	0,26(10)	0,49(16)	47,9(7)	31,8
	80	Doblete 1	0,41(4)	0,68(6)	0,45*	-	45,2
		Doblete 2	1,59(17)	2,35(33)	0,40*	-	7,6
Sexteto 1	0,64(83)	0,14(8)	0,62(13)	51,2(5)	47,2		

δ : corrimiento isomérico con respecto al α -Fe

Δ : desdoblamiento cuadrupolar

ε : corrimiento cuadrupolar

Γ : anchura lorentziana a mitad de altura

H : campo hiperfino magnético

A : área del componente del espectro

* Parámetro fijo durante el ajuste

Tampoco se observaron fases ricas en azufre, tales como FeS, FeS₂ (pirita) y Fe_{1-x}S, que se observan en PM producto de procesos pirolíticos incompletos en los que el carbón rico en azufre no se transforma completamente en óxidos de hierro y SO₂ (Kopcewicz & Kopcewicz, 2000). Tampoco se determinó la presencia de sulfatos férricos que pueden formarse de reacciones químicas de óxidos de hierro con ácidos y que se reporta bajo determinadas condiciones, e.g. reacciones con lluvia ácida (Tong *et al.*, 2001).

La presencia de óxidos de hierro y oxihidróxidos (α -FeOOH, γ -FeOOH) y de Fe³⁺ y Fe²⁺ en silicatos, confirman que el tráfico en la ciudad contribuye significativamente a la contaminación del aire, lo mismo que las erosiones de los suelos y el cemento y otros materiales de las industrias de construcción en la ciudad. Se supone que el suelo de los alrededores de la ciudad contiene magnetita, hematita, goethita y Fe (II) y Fe (III) en estado iónico. La mayor parte de la goethita en la corteza terrestre es de origen natural, aunque se puede formar de reacciones entre hematita o magnetita con el agua atmosférica, en cuyo caso puede ser de origen antropogénico. Las altas fracciones de hierro observadas, junto con tamaños pequeños de grano son típicas de un medioambiente urbano.

CONCLUSIONES

Los niveles de partículas suspendidas PM₁₀ en la ciudad de Panamá están, en general, por debajo del límite diario de 50 $\mu\text{g m}^{-3}$, pero exceden el valor de 40 $\mu\text{g m}^{-3}$ recomendado internacionalmente. Los valores de PM₁₀ son mayores en la época seca, mientras que los valores más bajos y por debajo del límite se obtienen en los meses lluviosos de Octubre y Noviembre.

El material particulado tiene mayores concentraciones de Na, K, Mg, Ca y Fe, con un patrón estacional de mayores concentraciones durante la época seca. Los otros elementos estudiados Be, Ni, Cu, Zn, Pb, Mo, Sb, As, Cd tienen concentraciones mucho menores y no muestran un patrón estacional definido.

La presencia de óxidos de hierro (γ -Fe₂O₃) grano fino y ultrafino (tamaño nanométrico), identificados con Espectroscopia Mössbauer,

muestran que el tráfico en la ciudad contribuye significativamente a la contaminación del aire. De la misma manera, en aportes no determinados en este trabajo, los oxihidróxidos (α -FeOOH, γ -FeOOH) y los silicatos de Fe^{3+} y Fe^{2+} , independientemente de la época del año, apuntan hacia la erosión de los suelos y el cemento y otros materiales de las industrias de construcción en la ciudad como fuente principal de material particulado. Las principales fuentes antropogénicas del material particulado en la ciudad son el parque automotor y la industria de la construcción. Los niveles de Pb, Ni y Cd, son bajos y no representan un peligro para la salud de la población.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen al Instituto de Investigaciones Científicas Avanzadas y Servicio de Alta Tecnología (INDICASAT) y al Lic. Félix Rodríguez por la colaboración con los análisis ICP-OES.

REFERENCIAS

Directiva 1999/30/CE del Consejo de Europa, del 22 de abril de 1999, relativa a la fijación de los valores límites para el anhídrido sulfuroso, el dióxido de nitrógeno y los óxidos de nitrógeno, las partículas suspendidas en el aire y el plomo en el aire del ambiente.

Adamson, I. Y. R., H. Prieditis & R. Vincent. 1999. Pulmonary toxicity of an atmospheric particulate sample is due to the soluble Fraction. *Toxicol. Appl. Pharmacol.* 157: 43-50.

Barrero, C., C. Vandenberghe, R. De Grave, E. & G. Pérez. Un estudio Mössbauer sobre goethitas sintéticas: primeros resultados. *Rev. Col. Fis* 27 (2): 387-390 (1995).

Darby Dyar, M., D.G. Agresti, M.W. Schaefer, C.A. Grant & C. Elizabeth. 2006. Mössbauer Spectroscopy of earth and planetary materials. *Sklute, Annu. Rev. Earth Planet. Sci.* 34: 83-125.

Dedik, A. N. & P. Hoffmann. 1992. Chemical characterization of iron in atmospheric aerosols. *Atmos. Environ.* 26A (14): 2545-2548.

Dockery, D. W., C. Arden Pope III, X. Xu, J. D. Spengler, J. H. Ware, M. E. Fay, B. G. Ferris Jr. & F. E. Speizer. 1993. An association between air pollution and mortality in six U.S. cities, *N. Eng. J. Med.*, 329 (24): 1753 – 1759.

Fernández, B. & O. Pérez. 2007. Contaminación global por partículas totales en la ciudad de Panamá. II Congreso Nacional de Física, Panamá Julio-Agosto.

Harrison, R.M. & Y. Jianxin. 2000. Particulate matter in the atmosphere: which particle properties are important for its effects on health? *Sci. Total Environ.* 249: 85-101.

Hoffmann, P., A. N. Dedik, J. Enslin, S. Weinbruch, S. Weber, T. Sinner, P. Gütlich & H. M. Ortner. 1996. Speciation of iron in atmospheric aerosol samples. *J. Aerosol. Sci.* 27 (2): 325 – 337.

Jaén, J.A., M.S. de Villalaz, L. de Araque & A. de Bósquez. 1997. Kinetics and structural studies of the atmospheric corrosion of carbon steels in Panama. *Hyp. Int.* 110: 93-99.

Jaén, J.A. & G. Garibaldi. 2004. Estudio del efecto estacional sobre la corrosión atmosférica inicial de aceros de bajo carbono en la Ciudad de Panamá. *Tecnociencia* 6 (2): 137-152.

Kopcewicz, B. & M. Kopcewicz. 1986. Air pollution studied by Mössbauer spectroscopy. *Hyp. Int.* 29: 1141-1144.

Kopcewicz, B. & M. Kopcewicz. 1991. Mössbauer study of iron-containing atmospheric aerosols. *Struct. Chem.* (2): (95)303-(104)312.

Kopcewicz, B. & M. Kopcewicz. 1992. Seasonal variations of iron concentration in atmospheric aerosols. *Hyp. Int.* 71: 1457-1460.

Kopcewicz B. & M. Kopcewicz. 1995. Mössbauer study of iron-containing atmospheric aerosols, *Struct. Chem.* 2: 303-312.

Kopcewicz, B. & M. Kopcewicz. 1998. Iron-containing atmospheric aerosols, *Hyp. Int.* 111: 179-187.

Kopcewicz, B. & M. Kopcewicz. 2000. Ecological aspects of Mössbauer study of iron-containing atmospheric aerosols. *Hyp. Int.* 126: 131–135.

Kopcewicz, B. & M. Kopcewicz. 2001. Long-term measurements of iron-containing aerosol by Mössbauer spectroscopy in Poland. *Atmos. Environ.* 35: 3739 -3747.

Kuzmann, E., S. Nagy & A. Vertes. 2003. Critical review of analytical applications of Mössbauer spectroscopy illustrated by mineralogical and geological examples. *Pure Appl. Chem.* 75 (6): 801–858.

Kündig, W., H. Bömmel, G. Constabaris & R. H. Lindquist. 1966. Some Properties of Supported Small α -Fe₂O₃ Particles determined with the Mössbauer effect. *Phys. Rev.* 142: 327 – 333.

Leidheiser, Jr. H. & S. Músic. 1982. The atmospheric corrosion of iron as studied by Mössbauer. *Corr. Sci.* 22 (12): 1089-1096.

Ley 36 de 17 de Mayo de 1996. Por la cual se establecen controles para evitar la contaminación ambiental ocasionada por combustibles y plomo.

Long, G. & F. Granjean. 1987. En E. Murad & J.H. Johnston, eds.: *Mössbauer Spectroscopy Applied to Inorganic Chemistry*. Plenum Press, New York/London. p. 507.

Machado, A., H. Velasquez, N. Cèzra Garcia, L. Acosta, A. Cordova & M. Linares. 2007. Metales en PM₁₀ y su dispersión en una zona de alto tráfico vehicular, *Interciencia* 32 (5): 312-317.

Mahieu, B., J. Ladriere & G. Desaedeleer, 1976. Mössbauer spectroscopy of airborne particulate matter. *J. Phys.* 37 (12): C6-837.

McCammion, C. 1995. Mössbauer spectroscopy of minerals. American Geophysical Union, Washington, DC. p. 332.

Murad, E. & J. Cashion. 2004. Mössbauer spectroscopy of environmental materials and their industrial utilization. Dordrecht: Kluwer. p.p. 417.

Muxworthy, A. R., E. Schmidbauer & N. Petersen. 2002. Magnetic properties and Mössbauer spectra of urban atmospheric particulate matter: a case study from Munich, Germany. *Geophys. J. Int.* 150 (2): 548 – 570.

Pehkonen, S.O., R. Siefert, Y. Erel, S. Webb & M.R. Hoffmann. 1993. Photoreduction of iron oxyhydroxides in the presence of important atmospheric organic compounds. *Environ. Sci. Technol.* 27: 2056.

Raj, D. & S. Kumar. 1985. Mössbauer Chemical Phase Characterization of Iron aerosols. *Radioanal Nucl. Chem. Letters* 94 (3): 171-176.

Tong Y., A. Li, Y. Cai, X. Ni, Y. Zhang, J.Wang, P. Guo, X. Li & G. Zhang. 2001. Mössbauer study of atmospheric aerosols of Shanghai. *Environ. Sci. Technol.* 35: 1432-1436.

Valmari, T. & M. Moring. 1995. Testing of different types of flat filtering media for IMS radionuclide stations; STUK - Radiation and Nuclear Safety Authority Research and Environmental Surveillance, Airborne Radioactivity.

Weber, S., P. Hoffmann, J. Ensling, A. N. Dedik, S. Weinbruch, G. Mieke, P. Gütlich & H. M. Ortner. 2000. Characterization of iron compounds from urban and rural aerosol sources. *J. Aerosol Sci.* 31 (8): 987 – 997.

Recibido septiembre de 2008, aceptado noviembre de 2008.



ESTUDIO POBLACIONAL DEL MONO ARAÑA DE AZUERO (*Ateles geoffroyi azuerensis*: Atelidae), PENÍNSULA DE AZUERO, PANAMÁ

Pedro G. Méndez-Carvajal¹ e Ivelisse Ruíz-Bernard²

¹Florida Museum of Natural History, Dickinson Hall, P.O. Box 117800, University of Florida, Gainesville, FL32611-7800, USA. mendez55@ufl.edu

²Lakewatch Department, Fisheries and Aquatic Sciences, University of Florida 7922 NW 71st St. Gainesville, Florida, 32653, USA. iveruiz@ufl.edu

RESUMEN

Se realizó la primera evaluación poblacional y estatus de conservación del mono araña de Azuero (*Ateles geoffroyi azuerensis*), para la región de la Península de Azuero, específicamente en los reductos de bosques secundarios, cercas vivas, parques nacionales y reservas de la zona. Se recopilieron datos desde el año 2001 hasta el 2008 en donde también se evaluó la situación del mono aullador de Azuero (*Alouatta coibensis trabeata*). Estas especies han sido poco estudiadas, en especial el mono araña conocido localmente como "mono charao", del cual solo se han hecho estudios descriptivos y taxonómicos que datan de hace 80 años atrás. Se aplicaron métodos estándares que han sido utilizados para contabilizar y calcular científicamente poblaciones de primates de este género, dentro de ellas: Transecto de franja, conteos por carreteras, triangulación y detección por presencia/ausencia. Se censó 104 comunidades lograndose un esfuerzo de 7,254 horas-hombre. Se calculó una población de 112 a 117 individuos totales en subgrupos de al menos dos a siete monos y alrededor de cuatro a seis grupos observados directamente o anecdóticamente por los pobladores. Actualmente, se demuestra que sus localidades comprenden la parte sureste de Veraguas y sur de Los Santos, considerandose pocos probables o extirpados de la Provincia de Herrera, incluyendo la Reserva Forestal El Montuoso. El mono araña de Azuero, desde su descripción en 1937 hasta nuestros días ha perdido casi un 90% de su distribución zoogeográfica por cacería ilegal y en especial por la deforestación, peligrando en extinguirse. Esfuerzos personales han comenzado con este estudio preliminar para introducir una campaña educativa y conservar a los primates de la Península de Azuero.

PALABRAS CLAVES

Mono araña de Azuero, mono charao, *Ateles geoffroyi azuerensis*, primates, endemismo, Panamá.

ABSTRACT

This study evaluates the population and conservation status of the Azuero spider monkey (*Ateles geoffroyi azuerensis*) in the region of the Azuero Peninsula, especially in secondary forest, living fences, natural parks and reserves in the region. Data were collected between 2001 and 2008, during which time we also evaluated the status of the Azuero howler monkey (*Alouatta coibensis trabeata*). Both monkey sub-species have been little studied, in particular the Azuero spider monkey or "mono charao," is known only from descriptive and taxonomic studies carried out some 80 years ago. We conducted standard methods that have been used before to survey primates of this genus: Strip transects, road counts, triangulation, and presence/absence recording. We censused 104 communities with an effort of 7,254 man-hours invested. Our study calculated a total population of 112-117 individual spider monkeys, with two to seven individuals per sub-group and a minimum of four to six spider monkey groups sighted directly or by anecdotic reports from the local people. Actually spider monkeys were only found in the southeast portion of Veraguas and the southern part of Los Santos, considering to be extirpated or absent for the Herrera Province including the area of El Montuoso Forest Reserve. We estimate that the Azuero spider monkey, since the last descriptive study in 1937, has lost almost 90% of its original zoographical distribution due to illegal hunting and particularly deforestation, making it highly susceptible to extinction. Personal efforts has been started with this preliminary study to aid in conservation of primates of the Azuero Peninsula and to this end has also begun an environmental education campaign.

KEYWORDS

Azuero spider monkey, charao monkey, *Ateles geoffroyi asuerensis*, primates, endemism, Panama.

INTRODUCCIÓN

El mono araña de Azuero, o mono charao, fue descrito por el científico Patterson Bole Jr. en 1937, el cual lo bautizó con el nombre *Ateles azuerensis*. Sin embargo más tarde fue considerado una subespecie y reconocido como *Ateles geoffroyi azuerensis* (Kellogg & Goldman, 1944). Panamá posee tres tipos de monos arañas a saber: el mono araña negro (*Ateles geoffroyi fusisiceps*), que se encuentra en las provincias de Panamá y Colón, Parque Nacional Chagres y que es subespecie endémica de Panamá; el mono araña rojo (*Ateles geoffroyi*

panamensis) que se distribuye desde Costa Rica y llega hasta la parte media de la provincia de Darién y la comarca de San Blas (excepto en la Península de Azuero) y el mono araña de Azuero, restringido a la Península de Azuero. Estas tres subespecies de mono araña se encuentran en peligro crítico de extinción según el libro rojo de la Unión Mundial de Conservación (Groves, 2005). Lastimosamente en Panamá, nuestros primates endémicos no han sido extensamente estudiados y muchos de ellos han sufrido parciales extinciones a lo largo de nuestro país. Por ejemplo, para el mono araña de Azuero quien fue descrito en los años 30's presente desde la provincia de Chiriquí, Península Burica, río La Vaca, parte sur de la provincia de Veraguas, y toda la extensión de la Península de Azuero, hoy en día su presencia se reduce al bosque que queda en el Parque Nacional Cerro Hoya, La Reserva Forestal La Tronosa, y algunos parches de bosque que se encuentran en la zona de La Miel en Las Tablas, Provincia de Los Santos (Méndez-Carvajal, 2008). Estos primates fueron estudiados a nivel de comportamiento en 1933 cuando el Dr. Clarence Ray Carpenter, realizó expediciones a la región de la Península Burica y río la Vaca en la provincia de Chiriquí. Sus estudios reportaban subgrupos de entre 7 a 18 individuos que formaban parte de un grupo mayor que oscilaba entre 40 a 100 individuos. Aparte de los trabajos del Dr. Carpenter, otros estudios sobre monos arañas se han llevado a cabo en diferentes partes de Centroamérica, incluyendo el Monumento Natural de Isla Barro Colorado en el Canal de Panamá, pero ninguno hasta ahora para esta subespecie. Estudios nuevos han sido necesarios pues la subespecie que Carpenter una vez observara en amplio regocijo y naturalidad, hoy en día ha sido presionada a vivir en la última región boscosa de toda su amplia y original distribución. Dada la necesidad de nuevos estudios sobre el estatus y distribución del mono araña de Azuero realizamos observaciones a partir del año 2001 hasta el presente para toda la zona de la Península de Azuero. El propósito de las visitas fue el de reconocer la distribución actual del mono araña y aullador de Azuero, ubicar a nivel satelital cada grupo, y monitorearlo de forma continua, para de esta forma realizar estudios más profundos respecto a la ecología poblacional de estas especies.

MATERIALES Y MÉTODOS

El mono araña de Azuero (Fig.1), habita en la Península de Azuero, localizada en el suroeste de Panamá, con una temperatura anual promedio de 28.1 °C (22.5 to 33.7 °C), y una pluviosidad anual de 1,410.3 mm/año (Navas *et al.*, 2001). Para facilitar el procedimiento de muestreo poblacional de primates, se dividió imaginariamente a la península en cuatro partes haciendo alusión a los puntos cardinales (Fig. 2). Se estudió habitats montañosos de la zona norte de Azuero (900-1,559 msnm), así también regiones planas (90-150 msnm) con bosque secundario y de rastrojos que son conectados generalmente por cercas vivas y bosques de galería. Dentro de las zonas que comprendieron la mayoría de los bosques extensos, se pudo completar censos para toda la región de la Reserva Forestal El Montuoso, parte de la Reserva Forestal La Tronosa y borde y parte sur del Parque Nacional Cerro Hoya (Méndez-Carvajal, 2008). Otras zonas de enfoque en esta investigación fueron las zonas centrales de Ocú, Provincia de Herrera, Arenas, Provincia de Veraguas y La Miel, Provincia de Los Santos. Las zonas aledañas a las carreteras y puentes también fueron visitadas a lo largo de las carreteras principales de la península, desde la carretera principal Panamericana hasta la zona sur en Restingue y Cañas, incluyendo un recorrido acuático hasta la zona que comprende Cambutal y Tembladera (Cuadro 1). La vegetación de la zona en general se caracteriza por poseer árboles como: Amarillo (*Bunchosia macrophylla*), Arbol María (*Calophyllum spp.*), Balso (*Ochroma pyramidale*), Barrigón (*Pseudobombax septenatum*), Bobo (*Erythrina fusca*), Caimito (*Chrysophyllum cainito*), Carate (*Bursera simaruba*), Cedro Espino (*Pachira quinata*), Ceiba (*Ceiba pentandra*), Corotú (*Enterolobium cyclocarpum*), Espavé (*Anacardium excelsum*), Guaba (*Inga vera*), Guácimo (*Guazuma ulmifolia*), Higuerón (*Ficus spp.*), Jacaranda (*Jacaranda copaia*), Jobo (*Spondias mombin*), Macano (*Diphysa robinoides*), Madroño (*Garcinia intermedia*), Malagueto (*Xylopia spp.*), Membrillo (*Gustavia superba*), Sigua (*Ocotea dendrodefne*). La vegetación estudiada fue calculada gracias al apoyo de los dueños de las fincas, el uso de equipo de medición de distancias y experiencia personal, tomando en cuenta que la mayoría de los lugares mejor censados fueron parches de bosques accesibles. Los datos de distancia y cálculos de área de estudio fueron corroborados con mapas del Instituto Geográfico Nacional Tommy Guardia e imágenes satelitales de GH NASA-Tele Atlas 2008.

Cuadro 1. Esfuerzo de muestreo invertido en cada área de estudio, Península de Azuero, Panamá.

	*Cobertura boscosa total (km ²)	Presencia/ ausencia (h)	Transecto de franja (h)	Conteos en carretera (h)	Triangulación (h)	Observaciones Ad-libitum (h)	Total (h)
Norte (l)	100	108.5	434	217	1,193.5	217	2,170
Norte (h)	82.4	208	312	208	1,248	104	2,080
Sur	205.8	136	182	182	500.5	91	1,091
Este	65.9	182	182	228	228	182	1,002
Oeste	150.5	137	91	182	409.5	91	910.5
Total	604.6	771.5	1,201	1,017	3,579.5	685	7,254

Se utilizaron cuatro métodos de búsqueda, y uno de observación de comportamiento ad-libitum (Altmann, 1974), el cual no se discutirá en este artículo. El muestreo de presencia/ausencia consistió en la visita repetitiva a los sitios, en donde se identificó por vía directa (observación) o indirecta (sonido, heces u otro rastro), la presencia de un animal, implicó también la realización de encuestas y entrevistas informales a los pobladores del área (Anónimo, 1981; Rabinowitz, 2003). El transecto de franja (Rasanayagam *et al.*, 1996) consistió en 12 senderos de cierta longitud y ancho (1-3 km x 20 m), que fueron recorridos por el observador y en donde se registró cada observación directa de un animal, en diferentes zonas de bosque. Para el conteo por carretera (Rasanayagam *et al.*, 1996), se utilizaron 11 calles, mayormente de línea recta y con longitudes de entre 18 a 34 kilómetros, en zonas abiertas que cruzaran pastizales (potreros) y bosques. Para contabilizar animales se utilizó un vehículo 4x4 a cierta velocidad (15 km/h) y/o caballos bajo ciertos parámetros dependiendo de la actividad del animal y su capacidad de escape, tolerancia al ruido, entre otras variables. La triangulación (Brockelman & Ali, 1987; Aldrich *et al.*, 2006), comprendió la evaluación poblacional de primates en una zona, en donde los grupos fueron detectados por sus vocalizaciones, utilizando al menos tres lugares de recepción de los

cuales luego se tomaron distancias y rumbos con la brújula para concluir en un punto de emisión de llamada. Para realizar los conteos y el encuentro eficaz de los monos arañas de Azuero, se contó con la ayuda de personal voluntario de las comunidades y estudiantes de biología de la Universidad de Panamá, que fueron previamente entrenadas por el autor.

RESULTADOS

Los resultados obtenidos demuestran ausencia del mono araña de Azuero (*A.g. azuerensis*) para el área norte de la Península de Azuero que reduce su distribución verdadera para el sur de esta península (Méndez-Carvajal, 2001; *et al.*, 2004). El Cuadro 2, expone las únicas áreas donde han sido reportados por personas y por nuestra inspección en bosques de galería y algunos parches o chapas de bosque. Para calcular una cantidad tentativa dado lo escaso de los encuentros directos y a pesar del gran esfuerzo de muestreo, se tuvo que unificar la información de personas locales de alta credibilidad (datos anecdóticos) y observaciones directas por el equipo. El promedio de grupos observados por los moradores de las diferentes áreas dieron como resultado unos 14 individuos por grupo, para el Parque Nacional Cerro Hoya y de entre dos a siete individuos para un promedio entre cada subgrupo que se encuentre en las zonas fuera de las reservas y áreas protegidas. Tomando el promedio de este tamaño, multiplicándolo por cada sitio detectado como posible o existente y asumiendo posibilidad de al menos un subgrupo por cada área, se extrapoló y se llegó a un aproximado de entre 112 a 117 individuos totales existentes en los 604.6 km² de bosque fragmentado. (Fig.2 y Cuadro 2.). Con un total de 104 pueblos censados a lo largo de siete años de estudio, solo 38 pueblos confirmaron presencia de este primate y 13 están en duda, mientras que las 53 localidades restantes lo reportó completamente ausente. Se obtuvo un total de tres monos arañas avistados directamente, para la población de La Miel en el Distrito de Las Tablas, con un solo subgrupo de siete individuos (Glenis de León com. pers.). Se calculó un promedio de 1.2 individuos por sub-grupos, y densidad de grupos de 3.6 ind/km² como densidad tentativa en las zonas boscosas que no están dentro de los parques y zonas protegidas.



Fig. 1. Primera foto tomada al mono charao o mono araña de Azuero (*Ateles geoffroyi azuerensis*), La Miel-Las Tablas, Península de Azuero, Panamá.

Foto por: Ivelisse Ruíz Bernard.

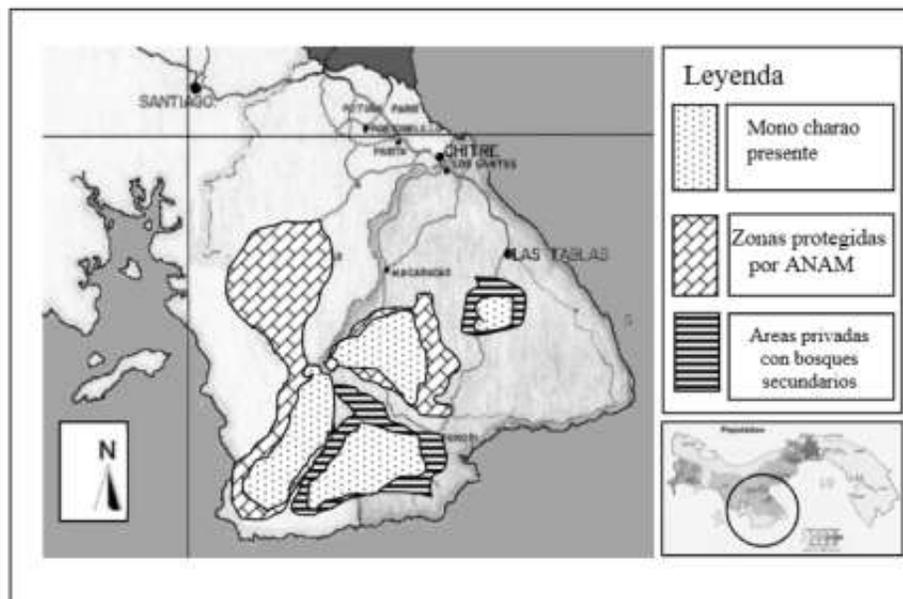


Fig. 2. Distribución actual del mono araña de Azuero (*Ateles geoffroyi azuerensis*) en Panamá.

La distribución del mono araña de Azuero originalmente abarcaba la región de Coto, Río la Vaca en Chiriquí y continuaba por la Provincia de Veraguas llegando hasta la zona peninsular de Azuero (Kellogg & Goldman, 1944). Hoy en día, su distribución es extremadamente reducida y su depredación continua (Méndez-Carvajal, 2008).

Cuadro 2. Población total de *Ateles geoffroyi azuerensis*, Azuero Península, Panamá.

Place	Total ind.	Total Groups	Density Ind/km ²	Density Tps/km ²	N	SD	Area (km ²)	Forest	Source
North (Ocú)	0	0	0	0	0	0	6.46	Patches and Living fences	Méndez-Carvajal, 2001, 2005
North (RF Montuoso)	0	0	0	0	0	0	69.83	Secondary	This study
South (Tembladera y otros)	0		0	0	0	0	6.78	Secondary	This study
East (las Tablas)	3	1	3.6	1.2	1	0	0.82	Gallery	This study
West (Arenas, otros)	0	0	0	0	0	0	2.50	Gallery	This study
Total	3	1	3.6	1.2	1	0	*86.39	Various*	This study

DISCUSIÓN

Nuestros resultados en la Península de Azuero arrojaron una presencia predominante del mono aullador de Azuero, con un nuevo cálculo poblacional de 3,097 individuos totales en la península, de igual manera en estado crítico de extinción. Para el mono araña de Azuero se calculó la crítica suma de 117 individuos totales para esta especie (Méndez-Carvajal, 2008). Monos cariblancos también fueron contabilizados presentando baja densidad poblacional y conformando pequeños grupos de entre siete y 12 individuos. Los índices de estructura social de *A.g.azuerensis* (1.2 ind/sub-grupos) demostraron ser bajos en relación a los índices de otras especies del mismo género. Por ejemplo, los monos arañas negros del Darién (*Ateles geoffroyi fusciceps*) han sido reportados con un promedio de 4 individuos por subgrupo, y 20-30 individuos por grupo (Méndez-Carvajal *et al.*, en prensa) y de igual forma el araña híbrido venezolano con 3.5 ind/subgrupo (Cordero-Rodríguez & Biord, 2001). Sin embargo, tomando en cuenta la información anecdótica con grupos de siete, podríamos considerar que aún se mantienen grupos estables en las zonas protegidas del sur

de Azuero. Los resultados de densidad de 3.6 ind/km² para el área estudiada en este trabajo, demostraron similitudes con los datos de densidad poblacional del mono araña negro en la zona de Boca de Cupe, Darién, Panamá con 3.6 ind/km² (Moreno-Ruiz, 2006) y ser inferiores en relación a otras poblaciones estudiadas como las del mono araña de Yucatán (*Ateles geoffroyi yucatanensis*) que reporta 24 ind/km² para el área del Tikal en Guatemala, en donde aunque en categoría de Peligro de Extinción, todavía es viable para zonas protegidas (Cant, 1990). Otras poblaciones pueden registrar cifras un poco más cercanas a nuestros resultados, como el caso del *Ateles geoffroyi frontatus* con una densidad de 9 ind/km² (Freese, 1976) para el Parque Natural de Santa Rosa, Costa Rica. Sin embargo, todas estas subespecies poseen un mayor rango de distribución, o distribución compartida en su mayoría por más de dos países. En este sentido, es importante recalcar que se necesitan más estudios poblacionales para esta especie en las zonas del Parque Nacional Cerro Hoya, cuya limitante es la localización remota, la ausencia de acceso directo a las zonas boscosas y por ende la necesidad de mayor logística. Consideramos crucial la conservación de cada población de este primate que pueda ser encontrada, y evitar a toda costa la translocación de su zona original o bien su cacería, ya que al no ser compartido su endemismo con otro país, estamos hablando de la única población existente para esta subespecie a nivel mundial.

Dentro de las observaciones de comportamiento general, detectamos una vocalización casi nula, en contraste con el comportamiento vocal de otros monos arañas estudiados en vida silvestre, como bien el caso de la comunidad de monos arañas negros de la Reserva Natural Chucanti, Darién, Panamá en donde la vocalización ocurre consistentemente cada día y algunas veces por extensos períodos de tiempo (Méndez-Carvajal, *et al.*, en prensa).

En términos de distribución actual, los lugares muestreados de la zona norte demostraron ausencia completa del mono araña de Azuero, esta zona abarca toda la provincia de Herrera incluyendo más de 24 pueblos y la Reserva Forestal El Montuoso. En materia de protección y manejo, este resultado dictamina que realmente esta haciendo falta mayor inversión en las campañas de protección de nuestros parques nacionales. Las zonas de la provincia de Veraguas como lo son: playa Malena & Mariato (que también poseen bosques secundarios y de

galería) tampoco presentaron avistamientos directos o reportes de esta subespecie, aunque si se detectó la presencia del mono aullador (*Alouatta coibensis trabeata*) y del cariblanco (*Cebus capucinus imitator*). Para los lugares como Torio, Arenas, Quebro, Cacao y Flores de Arenas, no hubo avistamiento, ni para las faldas de las montañas, ni tampoco para las zonas de cercas vivas o de bosque de galería. Sin embargo, si hubo reportes positivos para las zonas cercanas a Cerro Hoya, y río Playita. Los pobladores de estas zonas hablan de grupos grandes de al menos 100 que se dispersan en subfamilias de a 15 a 20 individuos. Los avistamientos del mono araña de Azuero en estas zonas fuera del Parque Nacional Cerro Hoya y la Reserva Forestal La Tronosa han dado una esperanza a la presencia de más grupos en reductos boscosos cercanos a la parte sur y media de la Península de Azuero. Los monos arañas en general son animales que requieren de bosques amplios a lo cual puedan patrullar por búsqueda de comida y realizar sus actividades de juego y descanso entre otras. Los estudios sobre este género de primate demuestran que utilizan al menos unos 1,297 a 3,000 metros como rango de acción diurna (Rowe, 1996; Sussman, 2000), y su presencia se torna escasa en bosques secundarios en regeneración. Sin embargo, este no es el único reporte de presencia de monos araña en bosques secundarios y remanentes. En México, específicamente para la Península de Yucatán existen poblaciones de monos araña (*Ateles geoffroyi yucatanensis*) viviendo en reductos boscosos y zonas en regeneración (Ramos-Fernández, *et al.*, 2003), de igual manera en la estación científica Los Tuxtlas en México (González-Samora & Madujano, 2003).

AMENAZAS

La deforestación ha fragmentado poblaciones de estos primates llevándolos a hacinarse en reductos de bosque como los de la Miel-Las Tablas (Méndez-Carvajal, 2006 & 2008). La Península de Azuero está conformada por las tres provincias de mayor tasa de deforestación de toda la república, según los datos de la FAO (González, 2002). Los datos demuestran que sus coberturas boscosas están fuertemente reducidas. Finalmente la Península de Azuero posee al menos un 19% de su territorio con bosques y el 81% deforestado para ganadería, agricultura y viviendas. Las zonas protegidas por la Autoridad Nacional del Ambiente (ANAM) son las únicas zonas que quedan con bosque, aparte de las chapas que los campesinos utilizan para su uso

como fuente de leña y plantas medicinales entre otros. Sin embargo, aun dentro de las zonas protegidas se han registrado extinciones locales del mono araña de Azuero (*Ateles geoffroyi azuerensis*) y del jaguar (*Panthera onca*) (Méndez-Carvajal *et al.*, 2004). La cacería indiscriminada es otro factor que cabe mencionarse. Los pobladores de Azuero son personas que han mantenido una fuerte tradición de cacería y por consultas personales expresan que es algo que no podrán cambiar. Las visitas a “montear” son ya una tradición, sin embargo, los dueños de las fincas de menor escala, han expresado también el repudio a los grupos externos organizados de cazadores que invaden sus territorios y acaban con los animales silvestres de forma autoritaria arrasadora. Pobladores del área de Llano Hato en Ocú, provincia de Herrera, señalan: “muchos de los cazadores locales respetan a las gamas (hembras de venados), pero viene gente de afuera, armadas hasta los dientes y acaban con todo”. Siendo así, acaban con puercos de monte, venados y pacas, pero una vez exterminados sus acostumbradas presas, comienzan a dispararle a todo, incluyendo monos. La cacería en Azuero difiere en objetivos dependiendo de la zona, por ejemplo para la parte de Sonadora, cercana a la Reserva Forestal El Montuoso, algunos campesinos ya han incursionado en la cacería esporádica del mono aullador (*Alouatta coibensis trabeata*) para alimento. Para este caso se presume si las costumbres indígenas de los grupos Guaymies puedan tener parte en esta acción. La antropóloga Reina Torres de Araúz (1980) reportó lo siguiente: “La costumbre indígena Guaymí ha influenciado grandemente en las tradiciones de cacería del hombre azuerense”. En base a esto, podría asociar bastante bien la ausencia de los monos araña a lo largo de toda la distribución indígena Ngöbe Buglé (Guaymí). Para la zona sur este de Veraguas también se reporta muertes de monos por escopeta posiblemente para uso de tráfico de especies exóticas. Remedio medicinal ha sido una de las más recientes razones de matanza de monos en la Península de Azuero, ésta reportada para la zona sur de la península, sobre todo el pueblo de Arenas, Quebro y Flores. Los campesinos del área utilizan la grasa del mono (posiblemente el araña de Azuero) y la preparan con otras hiervas, las cuales según dicen ayudarán a controlar el asma. El remedio más que una total cura, procede posiblemente de intercambio cultural con Costa Rica en donde se ha reportado el uso de los monos araña en la cura del asma como remedio casero. El estudio denominado “Conocimientos y actitudes de

los padres de niños asmáticos en relación al asma de Costa Rica” publicado por la Revista Medica del Hospital de Niños Dr. Carlos Sáenz Herrera, ha publicado un listado de 32 remedios para el mismo fin en los cuales el uso del mono fue incluido y solo fue utilizado por un paciente de los 100 encuestados. Dentro de otros remedios que guardan similitud con los efectos de la grasa del mono en el asma se encuentran otros mucho más efectivos y fáciles de adquirir tales como la miel de abeja con limón y el uso de ajo con agua dulce (Gutiérrez & Chavarría, 2000).

INICIATIVAS DE CONSERVACION

Nuestras actividades de investigación realizadas en toda la península han ido acompañadas de conversaciones directas con los pobladores locales y distribución de camisetas con mensajes educativos sobre la importancia de los primates en el ecosistema. Estas visitas se continúan realizando como un acto voluntario para alertar al azuerense en la protección de su flora y fauna.

AGRADECIMIENTOS

Se agradece a la Autoridad Nacional del Ambiente (ANAM) por su ayuda en el préstamo de la base científica de Arenas de Quebro y permiso de investigación. A Eric De Gracia de GITEC, por la información sobre sitios potenciales para avistamiento de primates. A las organizaciones Idea Wild, Primate Conservation Inc., y su director Noel Rowe, quien financió parte de esta investigación. Se agradece el apoyo a las estudiantes de la Escuela de Biología de la Universidad de Panamá, Somaly Silva, Kenia Sánchez, Glenis de León y Valeria Franco por sus valiosas contribuciones como voluntarias. También deseamos expresar el agradecimiento a Marta Carvajal de Méndez por la ayuda con la colecta de donativos, Kathia Herrera y Magaly Linares de Fondo Peregrino Panamá, por el apoyo con el salón de audiovisual y equipo. Al Sargento Sánchez de la Policía de Arenas, Pastor Moreno del Ministerio de Desarrollo Agropecuario (MIDA), Heriberto Velásquez de Arenas de Quebro, Yarelis Cortés y a los pescadores de Cambutal. A Glenis De León y familia, así también al Sr. Tacho González de La Miel de Las Tablas. A todos los pobladores de los cuales recibimos ayuda, hospitalidad e información, muchas gracias.

REFERENCIAS

- Aldrich, B.C., L. Molleson & A. Nekaris. 2006. Vocalizations as a conservation tool: an auditory survey of the Andean titi monkey *Callicebus oenanthe* Thomas, 1924 (Mammalia: Primates: Pitheciidae) at Tarangue, Northern Peru. *Contributions to Zoology*. 77 (1), 1-6.
- Altmann, J. 1974. Observational study of behavior: Sampling methods. *Behavior* 49: 227-267.
- Anónimo. 1981. Techniques for the study of Primate Population Ecology, National Academy Press, Washington, D.C. Pp. 233.
- Bole, B.P. 1937. Cleveland Museum of Natural History. Science Publications: *Ateles azuerensis*. Vol 7, August 31, 1937. pp.149.
- Brockelman, W., & R. Ali. 1987. Methods for surveying and sampling forest primate populations. In: *Primate Conservation in the Tropical Rain Forest*, C. W. Marsh e R. A. Mittermeier (eds.), Alan R. Liss, New York. Pp.23-62.
- Cant, J.G.H. 1990. Feeding ecology of spider monkeys (*Ateles geoffroyi*) at Tikal, Guatemala, *Human Evolution* 5(3) 269-281.
- Carpenter, C.R. 1935. Behaviour of red spider monkeys in Panama. Reprinted from *Journal of Mammalogy*. Vol. 16, No. 3, August 1935, pp. 171-180.
- Cordero-Rodriguez, G.A., & H.J. Biord. 2001. Distribution and Conservation of the Spider Monkey (*Ateles hybridus*) in the Coastal Range of North Venezuela. *Neotropical Primates*. 9 (1): 8-11.
- Freese, C. 1976. Censusing *Alouatta palliata*, *Ateles geoffroyi* and *Cebus capucinus* in the Costa Rican dry forest. In: *Neotropical Primates: Field Studies and Conservation*, R. W. Thorington Jr. and P. G. Heltne (eds.), pp.4-9. National Academy of Sciences, Washington, DC.

González, D.E. 2002. *Estado Actual de la Información Forestal de Panamá*. Consultoría Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO). 13p.

González-Zamora, A. & S. Mandrujano. 2003. Uso de fragmentos por *Ateles geoffroyi* en el Sureste de México. *Neotropical Primates*, Diciembre 11(3):172-175.

Groves, C. 2005. Order Primates. In: *Mammal Species of the World: A Taxonomic and Geographic Reference*, (Eds.): D.E. Wilson, D. M. Reeder, Published by Johns Hopkins University Press. Pp. 2142.

Gutiérrez, R. & J. Chavarría. 2000. Conocimientos y actitudes de los padres de niños asmáticos en relación al asma de Costa Rica. *Rev. Med. Hosp. Nac. Niños*. San José, Costa Rica. 35 (1-2).

Kellogg, R. & E.A. Goldman. 1944. Review of the spider monkeys. *Proceedings of the United States National Museum, Smithsonian Institution*. Vol. 96: 1-45.

Méndez-Carvajal, P. G. 2001. *Distribución y estado actual de las poblaciones del mono aullador de Azuero (Alouatta coibensis trabeata) en Herrera-Panamá*. Abstract. I Congreso de Primates del Nuevo Mundo, Bogotá, Colombia, 13–15 June.

Méndez-Carvajal, P.G., E. Santamaría & C. Garibaldi. 2004. Riqueza y diversidad de mamíferos silvestres en los remanentes de bosques de la Reserva Forestal El Montuoso. In: Garibaldi, C. 2004. *Diversidad Biológica y Servicios Ambientales de los Fragmentos de Bosques en la Reserva Forestal El Montuoso, Panamá*. Universal Books 2004. Panamá, República de Panamá.

Méndez-Carvajal, P. G. 2006. Estudio de la población del mono aullador de Azuero (*Alouatta coibensis trabeata*: Atelidae) Provincia de Herrera, Panamá. *Universidad de Panamá, Tecnociencia*. 8 (2): 23-35pp.

Méndez-Carvajal, P.G. 2008. *Distribution and Conservation Status of the Azuero Endemic Primates, Genera: Alouatta and Ateles, Azuero*

Peninsula, Panama. MSc. in Primate Conservation (Thesis). Oxford Brookes University, Oxford, UK.

Méndez-Carvajal, P. G. & I. Ruíz-Bernard. (in press). The Charao spider monkey (*Ateles geoffroyi azuerensis*), from Panama. *Neotropical Primates Journal*.

Méndez-Carvajal, P.G., I. Ruíz-Bernard, G. Berguido & R. Aizprúa. (in press). Preliminary Primate Survey at the Chucanti Nature Reserve, Darien Province, Republic of Panama. *Neotropical Primates Journal*.

Moreno-Ruiz, R.S. 2006. *Parámetros Poblacionales y Aspectos Ecológicos de los Felinos y sus presas en Cana, Parque Nacional Darién, Panamá*. Maestría en Conservación y Manejo de Vida Silvestre, Universidad Nacional, Heredia, Costa Rica. 135pp.

Navas, N., V. Eyda & B.H. Cedeño. 2001. Estadística de Panamá, Dirección de Estadística y Meteorológica, 1998-1999. *Estadística de Panamá, Censo*. Pp. 57.

Rabinowitz, A. 2003. *Manual de Capacitación para la Investigación de Campo y la Conservación de la Vida Silvestre*. Wildlife Conservation Society, Bronx, new York. Pp. 310.

Rasanayagam, R. H. Kunz, C. Southwell, P. Jarman & A. Smith. 1996. Observational Techniques for nonvolants mammals. In: *Measuring and Monitoring Biological Diversity*. Ed. D. E. Wilson, Russell Cole, James Nichols, Rasanayagam Rudran and Mercedes Foster. Smithsonian Institution Press, Washington and London. 409 pp.

Ramos-Fernández, G., L.G. Vick, F. Aureli, C. Schaffner & D.M. Tabú (2003). Behavioral ecology and conservation status of spider monkeys in the Otoch Ma'ax Yetel Koooh protected area. *Neotropical Primates Journal*, 11(3), 155-158.

Rowe, N. 1996. *The pictorial guide to the living primates*. Pogonias Press. Charlestown, Rhode Island. 263 pp.

Sussman, R.W. 2000. Primate Ecology and Social Structure. Person Custum Publishing. USA. The New World Monkeys. 207pp.

Torres de Araúz., R. 1980. Panamá indígena (Guaymí). Instituto Nacional de Cultura. Patrimonio Histórico, Panamá.

Recibido junio de 2007, aceptado enero de 2009.



DETERMINACIÓN DE LA ACTIVIDAD ARILESTERASA DE LA ENZIMA PARAOXONASA SÉRICA EN PACIENTES CON DIABETES MELLITUS TIPO 2 Y SU RELACIÓN CON EL PERFIL LIPÍDICO Y LA GLICEMIA

Marina M. Batista V.¹, Luis F. Loo D.², Ana E. Tejada³, Tomás A. Diez G.³

¹Laboratorio Clínico, Policlínica de Betania, Caja del Seguro Social, ²Laboratorio Clínico América, ³Departamento de Bioquímica y Nutrición, Facultad de Medicina, Universidad de Panamá.

RESUMEN

La enfermedad cardiovascular aterosclerótica es una de las complicaciones más comunes de la Diabetes Mellitus tipo 1 y 2. La paraoxonasa (PON1) es una enzima presente en las lipoproteínas de alta densidad (HDL) con actividad antioxidante, por lo que se le atribuyen propiedades antiaterogénicas. El conocimiento del comportamiento de la actividad de la enzima PON1 en individuos que padecen de Diabetes Mellitus supondría importantes implicaciones en la predicción y tratamiento de enfermedades aterogénicas. El presente estudio muestra los resultados obtenidos con una muestra de 90 pacientes que padecen de Diabetes Mellitus tipo 2 y que acudieron a control en la Clínica Especializada de Diabetes del Hospital Santo Tomás. La actividad arilesterasa de la paraoxonasa fue mayor en los pacientes con diabetes que en el grupo control. Sin embargo, la diferencia no fue estadísticamente significativa ($p > 0.05$). Aparentemente, la edad no influye en la actividad arilesterasa de PON1 en los pacientes con diabetes. Como era de esperar, la mayoría de estos pacientes presentaron perfiles lipídicos alterados. La correlación directa encontrada entre el colesterol-HDL (C-HDL) y la actividad arilesterasa de PON1 es débil ($r = 0.2$). Tanto en el grupo de pacientes con diabetes como en el grupo control se encontró una correlación inversa, pero débil, entre la glicemia y la actividad arilesterasa de PON1 ($r = -0.14$ y $r = -0.10$, respectivamente). Los resultados obtenidos en este estudio no permiten concluir si la actividad de la enzima paraoxonasa está alterada en individuos que padecen de Diabetes Mellitus tipo 2.

PALABRAS CLAVES

Paraoxonasa, PON1, Diabetes Mellitus tipo 2, Aterogénesis, Antioxidante.

ABSTRACT

Atherosclerotic heart disease is one of the most common complications in Diabetes Mellitus. Paraoxonase (PON1) is an enzyme bound to high density lipoproteins (HDL) that has antioxidant activity; therefore it is considered to possess antiatherogenic properties. The present study shows the results obtained with a sample of 90 Diabetes Mellitus type 2 patients who attended Clínica Especializada de Diabetes Mellitus at Hospital Santo Tomás for control. The arylesterase activity of paraoxonase was higher in the diabetic group than in the control group. However, the difference was statistically not significant ($p>0.05$). Apparently, the age has no influence on the arylesterase activity of PON1 in the diabetic group. As expected, most of these patients presented abnormal lipid concentration (dyslipidemia). The correlation found between HDL-cholesterol (C-HDL) and the arylesterase activity of PON1 is weak. We also found a weak negative correlation between the serum glucose and the arylesterase activity of PON1, not only in the diabetic group, but also in the control group. From these results altogether, we can not conclude that the activity of PON1 is altered in individuals suffering from Diabetes Mellitus type 2. However, a possible explanation of these results is discussed.

KEYWORDS

Paraoxonase, PON1, Diabetes mellitus type II, Atherogenesis, Antioxidant.

INTRODUCCIÓN

La Diabetes Mellitus se ha convertido en un problema grave de salud pública a nivel mundial debido a su carácter epidemiológico. Se estima que existen más de 143 millones de individuos con esta enfermedad y muchos de ellos no tienen conocimiento de su padecimiento. Una de las regiones más afectada por la diabetes es el continente americano al registrar un promedio de 30 millones de personas, es decir, casi una quinta parte del total de los casos mundiales (Barceló, 2001). En 1994, la Organización Panamericana de la Salud estimó que en América Latina y el Caribe existían 13 millones de personas afectadas con diabetes, y que para el año 2010 la cifra ascendería a más de 20 millones debido al envejecimiento de la población, cambios sociales y aumento de los factores de riesgo relacionados (Barceló, 2001). En el año 2006 y de acuerdo con las estadísticas de la Contraloría General de la República, la diabetes fue la cuarta causa de muerte en Panamá (Contraloría General de la República, 2006).

Como es bien conocido, la diabetes tipo 2 se caracteriza por deficiencias en la secreción y/o acción de la insulina, lo que provoca elevadas concentraciones de glucosa en sangre, hipertrigliceridemia, metabolismo oxidativo acelerado, concentraciones disminuidas de colesterol-HDL; todos estos son factores asociados a un mayor riesgo de enfermedades cardiovasculares, por lo que también aumenta el riesgo de muerte prematura. Un aspecto clave en la patología de la diabetes, en relación con el riesgo aterogénico, es la disminución de los niveles de colesterol-HDL.

Los sucesos clínicos que producen el proceso aterogénico están directamente relacionados con la oxidación de lípidos en las partículas LDL que quedan atrapadas en la matriz extracelular del espacio subendotelial. Estos lípidos oxidados activan un factor de transcripción tipo NFκB e induce la expresión de genes que contienen sitios de unión NFκB. Los productos proteicos de estos genes inician una respuesta inflamatoria que inicialmente conducen al desarrollo de la estría grasa. La progresión de la lesión está asociada con la activación de genes que inducen la calcificación arterial, lo cual cambia las características mecánicas de la pared arterial y predispone la ruptura de la placa en sitios de infiltración monocítica. La ruptura de la placa expone al flujo sanguíneo el factor tisular en la lesión, induciendo la trombosis. Aparentemente, existen potentes sistemas, determinados genéticamente, que previenen la oxidación de lípidos, inactivando biológicamente lípidos oxidados importantes, y/o modulando la respuesta inflamatoria a lípidos oxidados que podría explicar la susceptibilidad diferencial de individuos y poblaciones al desarrollo de la aterosclerosis (Berliner *et al.*, 1995).

Investigaciones preliminares sugieren que PON1 previene la oxidación del colesterol-LDL y preserva la función del colesterol-HDL. Tal como se mencionó anteriormente, la enfermedad aterosclerótica es un proceso inflamatorio y progresivo. En este sentido, se ha observado que PON1 presenta propiedades anti-inflamatorias en las células de la pared arterial, lo cual podría ser explicado en función de la capacidad que tiene de hidrolizar peróxidos lipídicos presentes en las lipoproteínas; aparentemente, estos lipoperóxidos son desencadenantes del proceso inflamatorio (Boemi *et al.*, 2004).

Muchos investigadores han demostrado que el efecto protector de las HDL es ejercido parcialmente por la presencia de la enzima paraoxonasa (PON1) (Tomás *et al.*, 2004; Ferreti *et al.*, 2001; Pérez, 2004; Singara *et al.*, 2001; Durrington *et al.*, 2001; Aviram *et al.*, 2000; Watson *et al.*, 1995). La PON1 sérica es una esterasa sintetizada por el tejido hepático que se encuentra unida a las HDL. Aparentemente, esta unión es un requerimiento absoluto para mantener la actividad biológica de la enzima. Además de la actividad de esterasa, PON1 es capaz de hidrolizar metabolitos de compuestos organofosforados tales como el paraoxón (actividad de paraoxonasa, de allí el nombre común de la enzima), diazoxón (actividad diazoxonasa) y de gases nerviosos como el sarín (actividad sarinasa) y somán (actividad somanasa). Esta enzima también ha recibido un intenso escrutinio investigativo debido a que, al ser una proteína polimórfica, la sensibilidad o la resistencia de un individuo frente a una intoxicación con un compuesto organofosforado, como el paratión (precursor del paraoxón), depende de la forma polimórfica y de los niveles plasmáticos de la enzima (Costa *et al.*, 2003).

El gen de PON1 presenta tres polimorfismos importantes: dos en la región codificadora, Q192R y L55M, y uno en la región promotora C-108T. Investigaciones recientes sugieren que el genotipo de cada individuo determina la actividad y los niveles de la enzima. Así, por ejemplo, el alelo R (posición polimórfica 192) se ha correlacionado con la enfermedad cardio-isquémica en estudios caso-control en algunas poblaciones. Esta asociación puede ser explicada por la observación de que la isoforma (192R) posee menos actividad hidrolítica sobre los peróxidos lipídicos que la isoforma 192Q (Mackness *et al.*, 1996). Por razones similares, los distintos polimorfismos son ahora considerados como factores determinantes de la predisposición a desarrollar algunas complicaciones de la Diabetes Mellitus (Ocaña, 2003).

Algunos investigadores han encontrado que la actividad PON1 está reducida en pacientes diabéticos tipo 2 (Ikeda *et al.*, 1998). Boemi *et al.* (2001) demostraron que la actividad de esta enzima está reducida a un grado que puede alterar la capacidad antioxidante *in vitro*, sugiriendo una asociación con el incremento del estrés oxidativo en diabéticos. El mecanismo por el cual la actividad de PON1 está reducida en la diabetes es pobremente entendido, pero podría asociarse a un aumento

de la concentración de glucosa en sangre. Una de las hipótesis que intentan explicar este hecho es la inactivación o inhibición de PON1 por glicosilación espontánea, lo que a su vez incrementaría la lipoperoxidación de las HDL. Ferreti *et al.* (2001) han demostrado que las HDL glicosiladas tienen una capacidad reducida de proteger contra la oxidación. La actividad de PON1 es también más baja en pacientes con síndrome metabólico, en el que los síntomas incluyen niveles elevados de glucosa en ayuno e incremento de la resistencia a la insulina (Deakin *et al.*, 2004). Sin embargo, otros investigadores han encontrado que la actividad de PON1 no se correlaciona con la concentración de HDL (Tomás *et al.*, 2004).

Debido a los resultados controversiales encontrados en la literatura acerca de la relación que existe entre las HDL, la actividad de PON1 y la Diabetes Mellitus, y en virtud de que esta enfermedad se ha convertido en un problema grave de salud pública y, más aún, debido a la falta de estudios publicados a nivel nacional, consideramos importante determinar la actividad de PON1 en pacientes diabéticos tipo 2 con el propósito de contribuir a elevar el nivel de comprensión de los efectos de esta enfermedad en la población panameña. Así, el conocimiento del comportamiento de la actividad de la enzima PON1 en individuos con Diabetes Mellitus tipo 2 supondría importantes implicaciones en la predicción y tratamiento de, por ejemplo, la enfermedad coronaria causada por lesiones ateroscleróticas y, por lo tanto, el diseño de terapias que estimulen la actividad de esta enzima para prevenir la formación de la placa ateromatosa.

MATERIALES Y METODOS

Sujetos

El estudio fue realizado en 90 pacientes con Diabetes Mellitus tipo 2 que asistían a la Clínica Especializada de Diabetes del Hospital Santo Tomás (63 de sexo femenino y 37 de sexo masculino) con edades que oscilaban entre 26 y 81 años, y 30 individuos sanos, estudiantes no fumadores de la Facultad de Medicina de la Universidad de Panamá (16 de sexo femenino y 14 de sexo masculino) que conformaron el grupo control y con edades comprendidas entre los 20 y 22 años. Se realizó un muestreo no probabilístico, por conveniencia (incidental). Más del 50% de los pacientes con diabetes presentaban edades

comprendidas entre los 54 a los 67 años. La distribución de los pacientes con Diabetes Mellitus tipo 2 según grupos etáreos se muestra en la Tabla 1.

Tabla 1. Distribución de los pacientes con Diabetes Mellitus tipo 2 por sexo según grupos etáreos.

Grupos etáreos (años)	Femenino		Masculino		Total	
	No.	%	No.	%	No.	%
26 - 32	3	5	2	7	5	6
33 - 39	3	5	1	4	4	4
40 - 46	4	6	2	7	6	7
47 - 53	14	22	1	4	15	17
54 - 60	13	21	8	30	21	23
61 - 67	21	33	8	30	29	32
68 - 74	5	8	4	15	9	10
75- 81	0	0	1	4	1	1
Total	63	100	27	100	90	100

El grupo control estuvo conformado por individuos jóvenes sanos no mayores de 22 años. De cada individuo en ayunas se extrajeron 5 mL de sangre que fueron colectados en tubos sin anticoagulante. Cada muestra fue debidamente rotulada y guardada inmediatamente en un recipiente refrigerado para mantenerlas y transportarlas al laboratorio. La determinación de la actividad arilesterasa de PON1 se realizó en un periodo posterior no mayor de 2 horas. El protocolo de investigación fue aprobado por el Departamento de Docencia e Investigación del Hospital Santo Tomás y para la toma de la muestra de sangre y el registro de información adicional se obtuvo el consentimiento informado de cada voluntario que participó en este estudio.

Actividad arilesterasa de PON1

Para medir la actividad de PON1, se utilizó el método en el cual se emplea el fenilacetato como sustrato (Rosenblat *et al.*, 2003). La velocidad de hidrólisis del fenilacetato fue determinada por duplicado midiendo la absorbancia del fenol durante 2 minutos de reacción, a una longitud de onda de 270 nm en un espectrofotómetro Shimatzu programado con el método cinético a 25°C. La mezcla de reacción

contenía 3 μL de sangre, CaCl_2 0.9 mM, Tris-HCl 20 mM pH 8.0 y fenilacetato 10 mM, en un volumen total de 3 mL. El ensayo fue iniciado mediante la adición del sustrato. La hidrólisis no enzimática del fenilacetato fue sustraída de la velocidad total de hidrólisis ensayando una muestra blanco sin suero bajo las mismas condiciones analíticas. El coeficiente de extinción del fenol a 270 nm es de $1310 \text{ M}^{-1} \text{ cm}^{-1}$. Una unidad (U) de actividad arilesterasa de PON1 es igual a 1 μmol de fenilacetato hidrolizado $\text{min}^{-1} \text{ mL}^{-1}$.

Perfil lipídico mínimo y glicemia

La determinación del colesterol-HDL (C-HDL), colesterol total (C) y triglicéridos (TG) se llevó a cabo mediante la utilización de kits de Vitros (metodología de Química seca), Vitros Chol y Vitros Trig, respectivamente. En un aparato Johnson & Johnson Orthodiagnostic Vitros 250 se midieron las absorbancias correspondientes para C-HDL (670 nm) y C y TG (540 nm). Para la determinación de C-HDL, las VLDL y LDL fueron separadas del suero por precipitación usando dextransulfato (PM 50 000) y cloruro de magnesio. Las lipoproteínas precipitadas fueron removidas por centrifugación. La concentración del colesterol-LDL fue calculada utilizando la fórmula de Friedewald-Frederickson. Esta fórmula se utilizó puesto que los valores de TG en los sueros estudiados eran menores de 400 mg/dL.

De manera similar, la concentración de glucosa sanguínea fue medida mediante química seca, utilizando el kit Vitros para glucosa y midiendo la absorbancia a 670 nm. Rutinariamente y para incluir a un individuo en el estudio como paciente diabético tipo 2, la obtención de la muestra de sangre se realizó mediante punción capilar y el nivel de glucosa sanguínea se determinó con la ayuda de tira reactiva leída en un aparato Accu-Chek Active de Roche.

Análisis estadístico

Las medidas de tendencia central (promedio, mediana) y de dispersión (rango, desviación estándar) fueron obtenidas a través de la hoja de cálculo Excel. El grado de correlación de Pearson entre los diferentes parámetros bioquímicos medidos fue estimado con el programa EpiInfo 3.3.2.

RESULTADOS Y DISCUSION

La distribución de los pacientes con Diabetes Mellitus tipo 2 según grupos etáreos se muestra en la Tabla 1. Se observó un predominio de pacientes diabéticos mayores de 40 años; sin embargo, también encontramos pacientes menores de 40 años, condición que también ha sido observada por otros investigadores, incluso en niños y adolescentes obesos y muy obesos (Drake *et al.*, 2002; Dabelea *et al.*, 1999).

También se observó un predominio de pacientes de sexo femenino que padecen la enfermedad, lo cual no es sorprendente pues la Diabetes Mellitus tipo 2 se desarrolla más frecuentemente en mujeres debido a la presencia de antecedentes de diabetes gestacional, hipertensión o trastornos en el metabolismo de lípidos, hechos que se corroboran con otras investigaciones (Fernández, 1999). Tal como se mencionó en la introducción, en el año 2006, la Diabetes Mellitus fue la cuarta causa de muerte en Panamá, con una prevalencia mayor en las mujeres (58.2%) que en los hombres (Contraloría General de la República, 2006).

Los resultados de la determinación de la actividad arilesterasa de PON1 del grupo de pacientes diabéticos y del grupo control se muestran en la Tabla 2.

Tabla 2. Medias aritméticas de la actividad arilesterasa (U/mL) de PON1 de pacientes con Diabetes Mellitus tipo 2 y del grupo control.

Medida estadística	Actividad Enzimática PON1 ($\mu\text{mol}/\text{min}/\text{mL}$)	
	Diabéticos tipo 2	Controles
Media	105 \pm 25	97 \pm 21
Mediana	102	98
Moda	95	98

La actividad arilesterasa de PON1 mostró una distribución unimodal en la población estudiada, tanto en los individuos controles como en los individuos diabéticos (datos no mostrados). La media de la actividad

arilesterasa de PON1 en el suero de pacientes diabéticos fue de 105 ± 25 U/mL, con un intervalo de 37-149 U/mL, mientras que la media aritmética en los individuos controles fue de 97 ± 21 U/mL, con un intervalo de 61-135 U/mL. Debido a la ausencia de estudios de la actividad arilesterasa de PON1 en la población panameña, fue necesaria la inclusión de un grupo control o de referencia. Los valores obtenidos para el grupo de referencia se encuentran dentro del intervalo normal reportado por Furlong en un estudio realizado en California con mujeres de origen latino, correspondiente a 19.8-281.4 U/mL (Furlong *et al.*, 2006). En otro estudio de referencia llevado a cabo en una muestra de 153 individuos sanos, de ambos sexos, en la población panameña se encontró que la actividad arilesterasa de PON1 promedio es de 126.2 U/mL, con un intervalo de 48.1-229.6 U/mL (Tejada *et al.*, manuscrito en preparación). Al igual que para el grupo control, los valores obtenidos para el grupo de pacientes diabéticos se encuentran dentro de los intervalos de valores de los grupos de referencia.

Aunque la media aritmética de la actividad arilesterasa de PON1 en los pacientes diabéticos fue mayor que la observada en los individuos controles, la diferencia no fue estadísticamente significativa ($p > 0.05$). Resultados similares han sido observados por Rosenblat *et al.* (2008). Estos hallazgos difieren de otros publicados por investigadores que han encontrado valores por debajo del intervalo de referencia en individuos que padecen diabetes tipo 2 (Mackness, *et al.*, 2002; Boemi *et al.*, 2001; Ikeda *et al.*, 1998). Estos resultados controversiales pueden ser explicados mediante los resultados obtenidos por Rosemblat *et al.* (2008) en pacientes diabéticos, en donde más del 70% de la actividad de PON1 se encuentra libremente en suero y no asociada a las HDL. La PON1 fisiológicamente activa debe encontrarse unida a las HDL. Sin embargo, la determinación de la actividad de PON1 en nuestra investigación se realizó en suero y no en fracciones purificadas de lipoproteínas, por lo que existe la posibilidad de que la actividad arilesterasa de PON1 detectada no estuviera unida a las HDL de los pacientes diabéticos. Tal como se discutirá más adelante, la mayoría de los pacientes diabéticos presentaron perfiles lipídicos alterados.

Algunos investigadores han encontrado que PON1 tiende a unirse a partículas HDL de mayor tamaño tanto *in vivo* como *in vitro* (Deakin *et al.*, 2002). Esta observación nos permite inferir que la secreción y la unión de PON1 podrían estar comprometidas en ciertas enfermedades, como por ejemplo la diabetes, en las cuales prevalecen partículas HDL de tamaño reducido. Otros investigadores han observado que la adición de colesterol libre a partículas HDL reconstituidas disminuye, significativamente, la actividad de PON1 (Deakin *et al.*, 2002; Oda *et al.*, 2001; Sorenson *et al.*, 1999). Es bien conocido que el colesterol libre está localizado en la capa lipídica externa de las HDL, lo cual podría afectar adversamente la función de la lipoproteína. La relación HDL₂-colesterol/colesterol libre está sustancialmente reducida en pacientes diabéticos, lo cual a su vez podría provocar un ambiente desfavorable para la unión y/o actividad de PON1.

Otra posible explicación de los resultados aquí publicados podría ser el grado de glicosilación no enzimática de proteínas estructurales y circulantes, entre ellas las lipoproteínas, al cual están sometidos los individuos diabéticos debido a la hiperglicemia sostenida. Claramente, nuestros resultados demuestran que el grupo de diabéticos presentó un promedio de concentración de glucosa significativamente superior al grupo control, con valores fuera de los intervalos de referencia ($p < 0.05$), evidenciando un pobre control de su condición diabética (Tablas 3).

Tabla 3. Niveles de glicemia determinada en pacientes con Diabetes Mellitus tipo 2 y en el grupo control.

Medición Estadística	Niveles de glicemia (mg/dL)	
	Diabéticos	Controles
Promedio	127	85
SD	38	7
Mediana	121	87
Rango	68 - 237	75 - 96

Algunos investigadores han sugerido que la glicosilación podría, no solamente reducir la actividad de PON1, sino también incrementar la lipoperoxidación en las HDL (Hedrick *et al.*, 2000; Ferreti, *et al.*, 2001). Estos mismos investigadores demostraron que la actividad y la

concentración de PON1 estaban disminuidas en sujetos sanos con niveles séricos elevados de glucosa en ayuno.

Alternativamente, la aparente actividad arilesterasa o nivel normal de PON1 podría deberse a los tratamientos anti-diabéticos, anti-lipídicos u otro tipo de medicación no tradicional a cual estuvieron sometidos los pacientes diabéticos, tal como sugieren los resultados de la determinación del perfil lipídico mínimo en los pacientes diabéticos que se muestran en las Tablas 4 y en los sujetos controles (datos no mostrados).

Tabla 4. Perfil lipídico del grupo de pacientes con Diabetes Mellitus tipo 2.

Perfil lipídico mínimo		Promedio (mg/dL)	SD	Mediana (mg/dL)	Intervalos
Colesterol total		200	42	201	105-372
Triacilgliceroles		175	82	161	50-439
C-LDL		116	34	117	46-194
C-HDL	Total	47	17	43	23-109
	Femenino	50	19	45	23-109
	Masculino	39	9	38	27-56

Algunos pacientes presentaron niveles bajos de colesterol total (<200 mg/dL), triacilgliceroles (<150 mg/dL), colesterol-LDL (<100 mg/dL) y elevados niveles de colesterol-HDL (>60 mg/dL), condición que se logra, por ejemplo, mediante una dieta apropiada, ejercicio o medicamentos hipolipemiantes, tal como los que se prescriben para pacientes diabéticos. Si bien la mayoría de los pacientes presentaron un perfil lipídico mínimo anormal (dislipidemia secundaria), aquellos que presentaron niveles aceptables de lípidos en sangre pudieron haber comprometido o contaminado estadísticamente los resultados. Hedrick y colaboradores han reportado que la actividad de PON1 está 65% disminuida en sujetos hiperlipidémicos (Hedrick *et al.*, 2000). Sería interesante realizar estudios de la determinación de la actividad arilesterasa de PON1 en individuos diabéticos recién diagnosticados y que no hayan recibido ningún tipo de medicación.

En el grupo de pacientes diabéticos encontramos una débil correlación directa entre la concentración de colesterol-HDL y la actividad arilesterasa de PON1, con un coeficiente de correlación de Pearson igual a 0.2 (datos no mostrados). Sin embargo, en el grupo control la correlación directa fue mucho más débil, con un coeficiente de correlación de Pearson igual a 0.1 (datos no mostrados). En contraposición, algunos investigadores han sugerido que existe una fuerte correlación directa entre la concentración de colesterol-HDL y la actividad de PON1 (Manresa, *et al.*, 2004; Nus *et al.*, 2007)). Sin embargo, estudios recientes realizados por Pérez han demostrado que la subclase HDL₃ es mejor aceptor de la PON1 (Pérez, 2004). Esta observación hace difícil obtener conclusiones relacionadas con la concentración de colesterol-HDL y la actividad de PON1, puesto que la concentración de esta subclase de lipoproteína depende de factores genéticos, patológicos y ambientales difíciles de controlar.

El análisis de correlación entre la actividad arilesterasa de PON1 y la glicemia mostraron resultados interesantes. En el grupo de individuos diabéticos no se observó ninguna relación entre la actividad arilesterasa de PON1 y la glicemia. Por otro lado, en el grupo control observamos una débil correlación inversa entre estas dos variables, de tal forma que a medida que aumenta la glicemia, disminuye la actividad arilesterasa de PON1 ($r = -0.1$). Sin embargo, al eliminar aquellos valores de glicemia menores de 100 mg/dL obtenidos en el grupo de diabéticos, el mismo análisis de regresión simple mostró una relación inversa débil, similar a la encontrada en el grupo control, con un coeficiente de correlación de Pearson igual a -0.14.

CONCLUSIONES

Se observó un predominio de pacientes con Diabetes Mellitus tipo 2 en sujetos mayores de 40 años y del sexo femenino. Los valores de actividad arilesterasa de PON1 en el suero de pacientes diabéticos se encuentran dentro del intervalo normal. La metodología utilizada en esta investigación no nos permite concluir si la actividad enzimática medida en los pacientes diabéticos se encuentra en moléculas de PON1 asociadas a las HDL, o si la actividad de PON1 estuvo influenciada por los medicamentos tomados. Los resultados obtenidos sugieren una pobre correlación directa entre la concentración de colesterol-HDL y la

actividad arilesterasa de PON1, pero una correlación débil inversa entre la glicemia y la actividad arilesterasa de esta enzima.

REFERENCIAS

- Aviram, M., L. Dornfeld, M. Rosenblat, N. Volkova, M. Kaplan, R. Coleman, T. Hayek, D. Presser & B. Fuhrman. 2000. Pomegranate juice consumption reduces oxidative stress, atherogenic modifications to LDL, and platelet aggregation: studies in humans and in atherosclerotic apolipoprotein E-deficient mice. *American Journal of Clinical Nutrition*; 71:1062-1076.
- Barceló, A. 2001. La Diabetes en las Américas. Programa de Enfermedades No Transmisibles, División de Prevención y Control de Enfermedades (HCP/HCN) de la OPS. *Boletín Epidemiológico*, 22(2).
- Berliner, J., M. Navab, A. Fogelman, J. Frank, L. Demer, P. Edwards, A. Watson, & A. Lusis. 1995. Atherosclerosis: Basis Mechanisms. Oxidation, Inflammation, and Genetics. *Circulation*, 91:2488-2496.
- Boemi, M., I. Leviev, C. Sirolla, C. Pieri, M. Marra & R. James. 2001. Serum paraoxonase is reduced in type 1 diabetic patients compared to non-diabetic, first degree relatives; influence on the ability of HDL to protect LDL from oxidation. *Atheroscler.*, 155:229–235.
- Boemi, M., *et al.* 2004. Smoking is associated with reduced serum levels of the antioxidant enzyme paraoxonase in type 2 diabetic patients. *Diabetic Medical*, 21:423-427.
- Contraloría General de la República. 2006. Estadísticas Vitales, Volumen III Defunciones: Año 2006. República de Panamá.
- Costa, L., *et al.* 2003. Functional genomics of the paraoxonase (PON1) polymorphisms: Effects on pesticide sensitivity, cardiovascular and drug metabolism. *Ann. Rev. Med.*, 54:371-392.
- Dabelea, D., D. Pettitt, K. Jones & S. Arslanian. 1999. Type 2 Diabetes Mellitus in minority children and adolescents. An emerging problem. *Endocrinol. Metab. Clin. North Am.*, 28:709-729.

Deakin, S. & R. James. 2004. Genetic and environmental factors modulating serum concentrations and activities of the antioxidant enzyme paraoxonase-1. *Clinical Science*, 107:435–447.

Deakin, S., *et al.*, 2002. Enzymatically active paraoxonase-1 is located at the external membrane of producing cells and released by a high affinity, saturable, desorption mechanism. *J. Biol. Chem.*, 277:4301-4308.

Drake, A., A. Smith, P. Betts, E. Crowne & J. Shield. 2002. Type 2 diabetes in obese white children. *Archives of Diseases in Childhood*, 86:207-208.

Durrington, P., B. Mackness & M. Mackness. 2001. Paraoxonase and Atherosclerosis. *Arterioscler. Thromb. Vasc. Biol.*, 21:473-480.

Fernández, I. 1999. Diabetes Mellitus tipo 2: Tratamiento. *Boletín terapéutico Andaluz*, 15:1-46.

Ferreti, G., *et al.*, 2001. Effect of glycation of high density lipoproteins on their physiochemical properties and on paraoxonase activity. *Acta Diabetol.*, 38:163-169.

Furlong, C., *et al.* 2006. Paraoxonase polymorphisms, haplotypes, and enzyme activity in latino mothers and newborns. *Environmental Health Perspectives*, 114:985-991.

Hedrick, C., *et al.*, 2000. Glycation impairs high-density lipoprotein function. *Diabetologia*, 43: 312-320.

Ikeda, Y., T. Suehiro, M. Inoue, Y. Nakauchi, T. Morita, K. Arii, H. Ito, Y. Kumon & K. Hashimoto. 1998. Serum paraoxonase activity and its relationship to diabetic complications in patients with non-insulin-dependent Diabetes Mellitus. *Metabolism*, 47:598-602.

Mackness, B., P. Durrington, A. Boulton, D. Hine & M. Mackness. 2002. Serum paraoxonase activity in patients with type 1 diabetes compared to healthy controls. *Eur J. Clin. Invest.*, 32:259-264.

Mackness, B., P. Durrington & M. Mackness. 1996. Paraoxonase. *Arterioscler. Thromb. Vasc. Biol.*,16:831-833.

Manresa, J., *et al.*, 2004. Polimorfismo 192 del gen de la paraoxonasa-1, actividad física y lipoproteínas de alta densidad en la mujer. *Medicina Clínica*, 122:126-129.

Nus, M., *et al.*, 2007. Arylesterase activity and antioxidante status dependo n PON1-Q192R and PON1-L55M polymorphisms in subjects with increased risk of cardiovascular disease consuming Walnut-enriched meat. *The Journal of Nutrition*, 137:1783-1788.

Ocaña, A., *et al.* 2003. Factores genéticos de riesgo microvascular y macrovascular en la Diabetes Mellitus. *Avances en Diabetología*, 19:115-120.

Oda, M. *et al.* 2001. Cysteine substitution in apolipoproteína A-I primary structure modulate paraoxonase activity. *Biochem.*, 40:1710-1718.

Pérez, O. 2004. Lipoproteínas de alta densidad (HDL). ¿Un objetivo terapéutico en la prevención de la aterosclerosis? *Arch. Cardiol. Mex.*,74:53-67.

Rosenblat, M, O. Supir, & M. Aviram. Glucose inactivates paraoxonase 1 (PON1) and displaces it from high density lipoprotein (HDL) to a free PON1 form. In *Proteins and Cell Regulation, Vol. 6 The Paraoxonases: Their Role in Disease Development and Xenobiotic Metabolism (Chapter 1)*, Springer Netherlands, 2008.

Rosenblat, M., *et al.* 2003. Serum paraoxonase activity and extent of lipid peroxidation are not affected by increased level of human apolipoprotein A-I: studies in transgenic mice. *Clin. Chem. Lab. Med.*, 40:9-16.

Singara, R. *et al.* 2001. Human ABCA1 BAC transgenic mice show increased HDL-C and ApoAI dependent efflux stimulated by an internal promoter containing LXREs in intron 1. *J. Biol. Chem.*, 276:33969-33979.

Sorenson, R., *et al.* 1999. Human serum paraoxonase/arylesterase's retained hydrophobic N-terminal leader sequence associates with HDLs by binding phospholipids: apolipoproteína A-I stabilizes activity. *Arterioscler., Thromb., Vasc. Biol.*, 19:2214-2225.

Tejada, A., T. Diez & C. Ramos, Manuscrito en preparación.

Tomás, M., G. Latorre, M. Sentí & J. Marrugat. 2004. Función antioxidante de las lipoproteínas de alta densidad: un nuevo paradigma en la arteriosclerosis. *Rev. Esp. Cardiol.*, 57:557-569.

Watson, A., *et al.* 1995. Protective effect of high density lipoprotein associated paraoxonase. Inhibition of the biological activity of minimally oxidized low density lipoprotein. *J. Clin. Invest.*, 96:2882-2891.

Recibido septiembre de 2008, aceptado febrero de 2009.



BIOLOGÍA DE *OMOLABUS (XESTOLABUS) CORVINUS* (GYLLENHAL) (COLEOPTERA: ATTELABIDAE) Y DESCRIPCIÓN DE SUS ESTADIOS INMADUROS

Alonso Santos Murgas

Facultad de Ciencias Naturales Exactas y Tecnología; Departamento de Zoología; Museo de Invertebrados G. B. Fairchild; Universidad de Panamá. Apartado postal: 0824-0021 Panamá, República de Panamá.

E-mail: santosmurgasa@gmail.com ; asantos@ancon.up.ac.pa; santosa@si.edu

RESUMEN

Se presentan aspectos sobresalientes de la ecología de *Omolabus (Xestolabus) corvinus* (Gyllenhal, 1839) (Coleoptera: Attelebidae) y se describen sus estadios inmaduros (huevos, larva y pupa). Se realizaron cuatro giras, durante los meses de mayo a diciembre 2007, a las plantaciones de árboles nativos maderables, en la comunidad de Sardinilla, Provincia de Colón. Una vez localizados los "nidos" (enrollamiento o pliegues de hojas individuales), se realizaron las observaciones ecológicas y posteriormente se colectaron "nidos" con diferentes grados de desarrollo (desde oviposición hasta adultos emergiendo). Los "nidos" fueron colocados en cámaras de eclosión y llevados al laboratorio y mantenidos entre 18°C a 25°C, a una humedad de 65%-80%. Se tomaron mediciones de los "nidos", y se describieron los estadios inmaduros de *O. corvinus* (huevo, larva y pupa) hasta completarse su ciclo biológico. Se determinaron las posibles asociaciones con los siguientes insectos que se encontraron como inquilinos facultativos en el interior de todos los "nidos" de *O. corvinus*: estadios larvarios de Staphylinidae (Coleoptera) y de *Monochaetoscinella* sp. (Diptera: Chloropidae: Oscinellinae). Se confeccionó una tabla de vida de los estadios inmaduros de *O. corvinus*. Su ciclo biológico dura un total de 15 días, desde la oviposición hasta la emergencia del adulto. El mayor porcentaje de mortalidad se presentó en el segundo (10.94%) y tercer (14.06%) estadio larvario.

PALABRAS CLAVES

Staphylinidae, Chloropidae, Oscinellinae, *Monochaetoscinella*, nido, ciclo de vida, *Spondias mombin*, inquilinos.

ABSTRACT

The objectives of this research were to identify remarkable aspects of the ecology of *O. corvinus*, and to describe its immature stages (eggs, larvae and pupa). Four field trips were made during may to december 2007, to the plantations of native woody trees, in the community of Sardinilla, Province of Colon. Once nests were located (winding or folding of individual leaves), ecological observations were made and later nests were collected according to its degree of development (from oviposition to emergence of adults). Nests were placed into eclosional chambers, then taken to the laboratory and kept between 18°C-25°C, and at 65%-80% humidity. Measurements of the nests were taken and immature stages (egg, larva and pupa) were described until its biological cycle had been completed. The possible associations of *O. corvinus* with the following insects: larvae stage of Staphylinidae (Coleoptera) and *Monochaetoscinella* sp. (Diptera: Chloropidae: Oscinellinae), found inside the nests were determined as facultative inmates, and a live chant was done of the immature stages of *O. corvinus*. Its biological life cycle has duration of 15 days, from oviposition until emergence of an adult. The highest mortality rate occurred on the second (10,94 %) and third larvae stage (14,06%).

KEYWORDS

Staphylinidae, Chloropidae, Oscinellinae, *Monochaetoscinella*, nest, lifecycle, *Spondias mombin*, inquiline.

INTRODUCCIÓN

La familia Attelabidae contiene unas 2000 especies en 97 géneros (Kuschel, 1995). En el nuevo mundo se han registrado 362 especies, incluyendo las 180 de gorgojos enrolladores de hojas. Son cinco las subfamilias que presentan la conducta de enrollar hojas: Rhynchitinae, Attelabinae, Euscelinae, Hybolabinae y Pterocolinae causando serios daños a sus plantas hospederas. En Centro América, especies del género *Hybolabus* (Attelabinae) han sido reconocidos como importantes defoliadores de *Cariniana pyriformis* Miers (Lecythidaceae) (Hamilton, 2002). *Rhynchites bacchus* y *Rhynchites auratus* (Rhynchitinae) han sido reportados como plagas en algunos cultivos agrícolas (Vogt, 1992).

La familia Attelabidae, alcanza su máxima diversidad en las regiones con bosques tropicales, subtropicales, regiones Orientales de Afrotropical y la Neotropical. Bondar (1937), registra para Brasil cerca de 50 especies de enrolladores de hojas.

Omolabus Jeckel 1860, es un género con 14 especies en Norte y Centro América, Hamilton (2005) de las cuales *corvinus* y probablemente *laesicollis* se encuentran en Panamá. *O. corvinus* conocidos como “gorgojos enrolladores de hojas”, causan serios daños foliares en sus plantas hospederas *Spondias mombin* y *S. purpurea* (Anacardeaceae) Vogt (1992).

Es poca o casi nula la información que se tiene acerca de la descripción de los estadios inmaduros de *Omolabus*. Existen descripciones de larvas y pupas de *Eugnamptus collaris* (Fabr.) realizada por Hamilton (1980) y de *Attelabus bipustulatus* reportada por Murtfeldt (1872); que son las especies más cercanas al género *Omolabus*. El objetivo de esta investigación es describir morfológicamente los estadios inmaduros (huevo, larva y pupa) de *Omolabus (X.) corvinus* (Gyllenhal) y aportar información sobre su biología.

METODOLOGÍA

Descripción del área de estudio:

Esta investigación fue realizada en el Proyecto de Biodiversidad y Ecosistemas de Plantaciones de Árboles Nativos Maderables de la comunidad de Sardinilla, corregimiento de Salamanca, Buena Vista, Provincia de Colón. Se ubica entre los 9° 19' 30" N y 79° 38' 00" O, con altura máxima de 213 metros snm y mínima de 64 metros snm; temperatura promedio entre 26°C y 30°C. Sardinilla se caracteriza por presentar una vegetación predominantemente de pastizales, la mayoría de sus tierras son utilizadas para la cría de ganado.

El área de estudio cuenta con 10.000 árboles aproximadamente, establecidas desde julio de 2001 y dispuestas en varias parcelas de 45 x 45m² las cuales contienen un total de 36 especies diferentes establecidas en cultivos mixtos y monocultivos.

Técnica para el muestreo en el campo:

Se realizaron cuatro giras a las plantaciones maderables nativas de Sardinilla, durante los meses de mayo a diciembre 2007, para localizar las plantas hospederas de *O. corvinus*. Una vez encontrado los sitios de oviposición y anidación, se realizaron las observaciones ecológicas y

biológicas en los sitios naturales de la especie. Se colectaron “nidos” en diferentes estados biológicos, desde la oviposición hasta la emergencia de adulto; luego fueron colocados en cámaras de eclosión y llevados al laboratorio a temperatura entre 18°C-25°C; y una humedad de 65%-80%. Se realizaron los estudios morfológicos del nido y los estadios inmaduros (huevo, larva y pupa) y se completó el ciclo biológico de la especie. Se determinaron los posibles enemigos naturales y se confeccionó una tabla de vida. Los especímenes criados se encuentran depositados en la Colección Nacional de Referencia del Museo de Invertebrados G. B. Fairchild de la Universidad de Panamá

RESULTADOS

Descripción del huevo

1.5 mm de longitud. Tienen forma oval, de coloración verdusca recién ovipositado (Fig. 1); una vez transcurridos tres días de la eclosión, se tornan oscuros (Fig. 2); corium de textura suave, sin esculturación evidente ni operculum.



Fig. 1. Huevo de *O. corvinus*, recién ovipositado.



Fig. 2. Huevo de *O. corvinus*, (3 días) después de la oviposición.

Descripción de la larva *Omolabus (X.) corvinus* (Gyllenhal)

Cuerpo: (Fig. 3) forma larval curculioniforme, curvada; máximo largo 7,00-8,00 mm, 1,62-1,73 mm de ancho (medida realizada en 60 larvas); blanca, integumento con numerosas manchas negras esparcidas dorsal y ventralmente. Setas cortas y delgadas en la parte dorsal y ventral (solo hasta los segmentos torácicos).

Cabeza: (Fig. 5A) Prognatha, retraída débilmente; 0,52- 0,62 mm de largo (medida realizada en 30 larvas), blanca, con manchas negras en la parte fronto-occipital, con mancha marrón clara en la parte frontal justamente arriba del clypeus; piezas bucales marrón oscuro apicalmente. Antena con tres segmentos, cilíndricos (Fig. 5B). Sutura epicranial evidente, sutura frontal no visible. Parte frontal de la cabeza con grupos de setas cortas y delgadas. Clypeus más ancho que largo, con dos pequeñas setas delgadas y casi transparentes. Labrum con sensilla, margen antero lateral del labrum con una ligera protuberancia en la base. Mandíbulas con dos dientes apicalmente (Fig. 5C). Prosthema presente en la parte mesal de la base de las mandíbulas. Palpos maxilares de dos segmentos; stípes con 4 setas en la parte ventral; Mala con tres sensilla en el ápice. Palpos labiales de dos segmentos, con varias sensillas en el ápice. Lígula redondeada apicalmente con diminutas sensilla. Prementum rectangular con el borde anterior rodeado de varias sensilla.

Tórax: más angosto que el abdomen. Pronotum, mesonotum y metanotum con grupos de 12 setas en la región dorsal y ventral del tórax. Región dorsal del tórax relativamente plana, sin protuberancia ni elevaciones. Espiráculo torácico cribiforme elíptico; área dorsal y lateral del tórax con manchas negras irregulares, no uniformes y esparcidas por todo el tegumento. Área pleural del tórax (pro, meso y metatórax) con protuberancias abultadas y con hileras de tres setas en la región apical de cada una de las protuberancias. Área esternal del tórax con hileras de 3 a 4 setas dispuestas latero-ventralmente en cada segmento torácico.

Abdomen: con 8 pares de espiráculos dispuesto lateralmente, cribiformes, elípticos, cada uno de los segmentos abdominales con protuberancias o elevaciones dorsales; con hileras de 8 a 9 setas en el margen posterior de cada protuberancia. Área pleuro-tergal con pliegues, dividiendo cada uno de los segmentos abdominales. Región ventral de los dos últimos segmentos abdominales con una hilera de tres setas en el margen posterior de ambos tergitos. Tegumento de la región abdominal con numerosas manchas negras irregulares y dispersas.

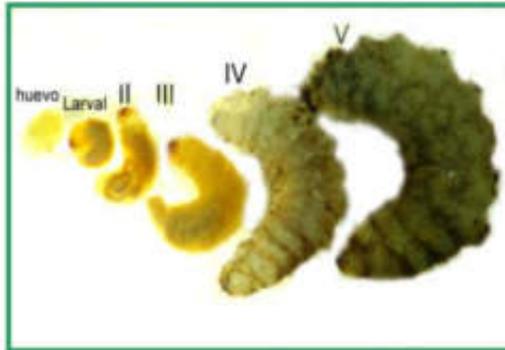


Fig. 3. Huevo y estadios larvarios (I-V) de *O. corvinas*.



Fig. 4. Pupa de *O. corvinus*

Descripción de la pupa *Omolabus corvinus* (Gyllenhal)

Cuerpo: 6.5 a 7.3 mm (20 pupas) (Fig.4; Fig. 5D).

Cabeza: tegumento blanco, con dos pares de setas muy parecidas en la región latero-dorsal. Un par de setas en el margen superior de la orbita ocular. Dos pares de setas en la región dorso-lateral del rostrum. Antenas con segmentación evidente.

Tórax: con tegumento blanco. **Protórax:** una hilera de setas en el margen anterior y posterior del protorax. Región lateral del protorax con una hilera de setas que llega hasta la región mesal del protorax.

Mesonotum: con dos grupos de seis setas cada uno ubicada en la región dorso-lateral del mesotórax. **Metanotum:** dos grupos de seis setas, en cada una ubicadas en la región dorso-lateral del metanotum.

Patas: fémures de los tres pares de patas, con tres setas ubicadas en el ápice.

Abdomen: coloración grisácea oscura; siete pares de espiráculos de aspecto tuberculado, ubicados en la región lateral de los tergitos abdominales; cada espiráculo con dos setas en la región apical. Región dorsal y ventral de los segmentos abdominales con pliegues bien definidos, dividiendo cada uno de los tergitos abdominales. Región caudal del noveno segmento abdominal con un par de proyecciones

cortas con el ápice agudo dirigido hacia la región interna, en forma de ganchos; borde posterior del noveno tergito abdominal con hileras de setas en el margen ventral.

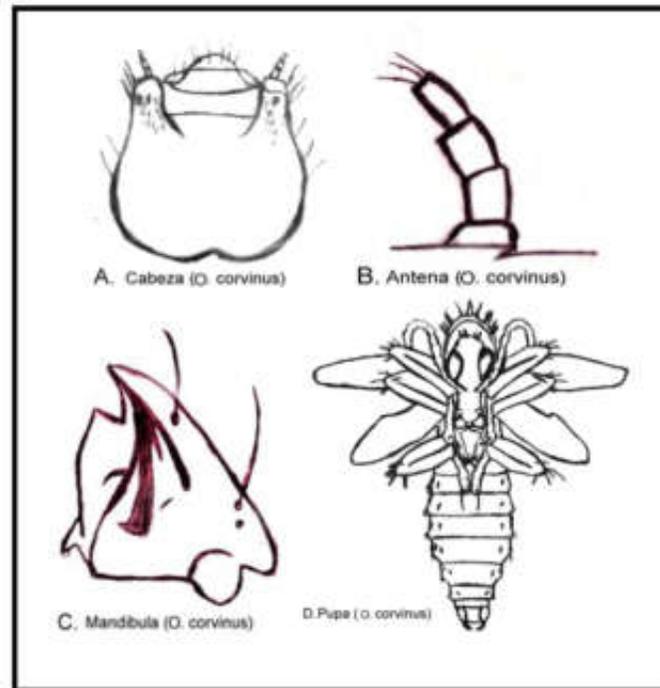


Fig. 5 A-D: **A.** *O. corvinus*. Cabeza de larva; **B.** Antenas de larva; **C.** Mandíbulas de larva; **D.** Pupa.

Comportamiento de oviposición de *Omolabus (X.) corvinus* (Gyllenhal) en *Spondias mombin* L.

En 13 arbustos (2 a 4 m de altura) de *S. mombin* plantados en parcelas de 45 x 45 m² (Fig. 6); las hembras de *O. corvinus* escogieron las hojas terminales de las ramas de todos los arbustos infectados. Las hembras de *O. corvinus* exploran los folíolos antes de iniciar el proceso de enrollamiento y oviposición, recorriendo el haz y envés de los folíolos escogidos. Una vez seleccionado el folíolo, la hembra coloca sobre el envés y el haz del folíolo una sustancia líquida incolora desconocida (presumiblemente para pegar y enrollar las hojas o sustancias químicas contra patógenos como (hongos y bacterias).

Uno ó dos hasta un máximo de tres huevos por foliolo, son colocados individualmente en el envés de cada foliolo, exactamente en la región axilar, donde converge la nervadura principal y la base de las ramificaciones de las venas secundarias. Cada hembra puede ovipositar aproximadamente 40 huevos en una hoja compuesta (dos huevos por foliolo si la hoja compuesta tiene 10 pares de foliolos). Además, una hembra en el proceso de oviposición puede utilizar desde un solo par de foliolos, hasta 10 pares de foliolos que conforma la hoja compuesta de *S. mombin*.

Luego de observar la hembra se determinó que el proceso de oviposición, toma un promedio entre 10-15 minutos aproximadamente; desde la exploración, colocación de los huevos y finalmente el enrollamiento del foliolo (promedio medido en 20 hembras ovipositando). El tamaño promedio de los “nidos” en los foliolos de *S. mombin* oscila entre 15-17 mm de largo (mediciones de 35 “nidos” en 13 plantas diferentes) (Fig.7-9).



Fig. 6. Arbusto de *Spondias mombin*.



Fig. 7. Inicio del proceso de enrollado.



Fig. 8. Al final del proceso de enrollado.



Fig. 9. Longitud del "nido".

Inquilinos asociados al nido de *Omolabus (X.) corvinus* (Gyllenhal)

Se observó dos grupos taxonómicamente diferentes de insectos (Coleoptera: Staphylinidae y Diptera: Chloropidae: Oscinellinae: *Monochaetoscinella* sp.) (Fig. 10-11) asociados al interior del nido de *O. corvinus*. No se observó conducta de parasitoidismo ni depredación por parte de las larvas inquilinas sobre los huevos o larvas de *O. corvinus*. También se observó, que las hembras de Staphylinidae ovipositan o colonizan los "nidos" de *O. corvinus* cuando los "nidos" aún se encuentran unidos al raquis de las hojas; es decir sobre el follaje de las plantas de *S. mombin*; ya que se pudo observar larvas de los estafilinidos en los "nidos" después de dos días de la oviposición de las hembras de *O. corvinus* en los diferentes foliolos de las hojas de *S. mombin*. También se observó, que en el interior de todos los "nidos" de *O. corvinus* examinados, nos se alojaba más de una larva de Staphylinidae.

La colonización u oviposición de los Chloropidae: *Monochaetoscinella* sp. sobre los "nidos" de *O. corvinus* se realiza cuando los "nidos" se desprenden del raquis de las hojas y caen al suelo. Las hembras de Chloropidae tienden a escoger "nidos" que presenten alta humedad. No se observaron larvas de dípteros en "nidos" deshidratados. En el interior de los "nidos" de *O. corvinus* sólo se pueden alojar un máximo de cuatro larvas de Chloropidae.

En los “nidos” de *O. corvinus* colonizados por los Staphylinidae no se encontraron larvas de los dípteros. Es importante resaltar, que no se observó depredación entre las formas inmaduras de Staphylinidae y Diptera, puesto que no comparten los “nidos” de *O. corvinus* al mismo tiempo.

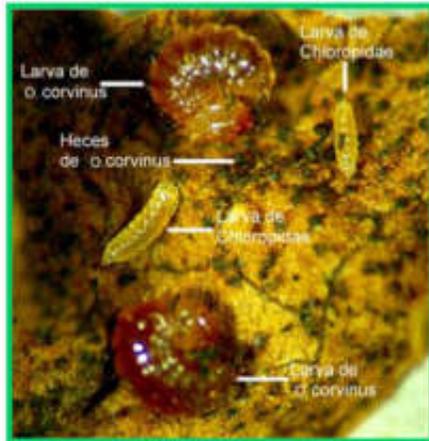


Fig. 10. Larvas de *O. corvinus* y larvas de *Monochaetoscinella* sp. (Diptera).



Fig. 11. Adulto y larva de Staphylinidae.

Cuadro 1. Duración promedio en días de los distintos estadios de desarrollo desde huevos hasta el adulto de *O. corvinus* (Gyllenhal).

Etapas	Nº. Individuos	Tiempo del estadio	Total sobrevivencia
Huevos	128	2 días	126
Larva I	126	1 día	122
Larva II	122	1 día	108
Larva III	108	2 días	90
Larva IV	90	2 días	86
Larva V	86	3 días	85
Pupa	85	4 días	84
Adulto		$\Sigma= 15$ días	84

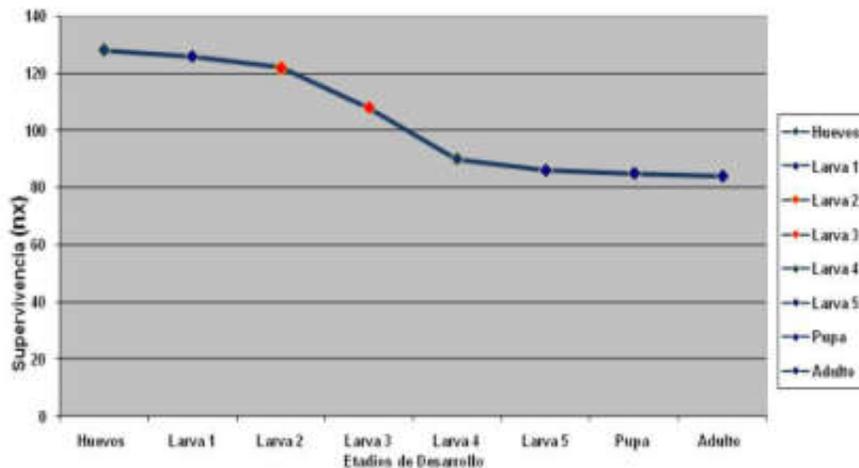
El número de huevos fue de 128 en 64 “nidos”; la supervivencia final hasta la emergencia del adulto fue del 65%; esto significa que de la corte inicial de 128 huevos, 84 completaron hasta el estadio adulto. La

mortalidad total en las etapas inmaduras de *O. corvinus* fue de aproximadamente 34%.

Cuadro 2. Tabla de vida de valores promedio para los estadios inmaduros de *O. corvinus* (Gyllenhal).

Estadio	N°. de Ind.(Nx)	Lx	Dx	%dx	%do
Huevos	128	0.00	2	1.56	1.56
Larva 1	126	0.98	4	3.17	3.13
Larva 2	122	0.97	14	11.48	10.94
Larva 3	108	0.89	18	16.67	14.06
Larva 4	90	0.83	4	4.44	3.13
Larva 5	86	0.96	1	1.16	0.78
Pupa	85	0.99	1	1.18	0.78
Adulto	84	0.99	0	0.00	0.00

Nx. Número de individuos al inicio; Lx. Proporción de individuos que sobreviven. Dx. Muertes; % dx. Porcentaje de individuos muertos; % do. Porcentaje de individuos muertos en la generación. Efecto de mortalidad: limitación de alimento, temperatura (18°C-25°C), humedad (65%-80%) y probablemente intensidad lumínica.



La Fig. 12. muestra que la mayor tasa de mortalidad se presentó en los estadios larvarios 2 al 3 (Cuadro 2).

DISCUSIÓN

De acuerdo con los resultados obtenidos sobre el ciclo biológico de *O. corvinus* (cuadro 1) se puede establecer que la duración promedio total de su ciclo biológico es de 15 días, desde la oviposición de los huevos hasta la emergencia del adulto. Además, es importante mencionar que el porcentaje de mortalidad es relativamente bajo. Posiblemente debido a que no se encontraron enemigos naturales como depredadores o parasitoides sobre los estadios inmaduros.

La curva de supervivencia de las diferentes etapas de desarrollo de *O. corvinus* (Fig.12), demuestra que en esta población y en este periodo de tiempo, los estadios inmaduros que mostraron ser más susceptibles a los diferentes factores ambientales tales como temperatura, limitación alimenticia, humedad y probablemente intensidad luminica en el laboratorio, fueron los estadios larvarios dos y tres, con porcentajes más elevados de mortalidad 10.94% y 14.06% respectivamente. Es posible que las diferencias ambientales entre el sitio de colecta y el laboratorio hayan provocado una alta mortalidad en estos estadios; ya que la temperatura promedio en Sardinilla es de 26-30°C y esta población fue sometida a temperaturas entre 18-25°C, lo que pudo influir negativamente en el desarrollo en estos dos estadios larvarios.

De acuerdo con los resultados obtenidos, se pudo establecer que una hembra de *O. corvinus*, puede ovipositar hasta tres huevos por foliolo ("nidos") pero, es muy probable que al final del periodo de incubación solo puedan emerger dos individuos del "nido". Es posible, que esto se deba a insuficiencia de alimento en el nido ó hábitat donde se desarrollan las larvas o que el "nido" solo tiene la capacidad de albergar dos larvas por lo que una de las larvas no logra completar su desarrollo. En estudios posteriores se debe estudiar el comportamiento de las larvas cuando la hembra coloca más de dos huevos por "nido".

Las observaciones realizadas sobre los inquilinos asociados al "nido" de *O. corvinus*, parecen indicar que su función es la de alimentarse de las excreciones producidas por las larvas dentro de los "nidos"; ya que la mayoría de los individuos se encontraron en la cámara donde las larvas depositaban las heces; estas observaciones son corroboradas por Foote (1991) en donde manifiesta que muchas larvas de Chloropidae

son saprófagas, invadiendo tejidos de plantas que han sido dañadas por otros insectos con hábitos fitófagos. Adicionalmente, podría afirmar que esta conducta puede ser facultativa para los Staphylinidae (Coleoptera) como para los *Monochaetoscinella* sp (Diptera: Chloropidae); ya que en otros sitios de observación no se encontraron estas especies. Es posible que esta conducta esté influida por factores, tanto abióticos (humedad, temperatura, intensidad luminica) como bióticos (alimentación, depredación, protección y tamaño de la población).

Al parecer la presencia de los Chloropidae: *Monochaetoscinella* sp. en los “nidos” de *O. corvinus* está influida por humedad tanto en el interior como en el exterior de los “nidos”; ya que los “nidos” de *O. corvinus* caen al suelo cuando el peciolo del foliolo se seca. No se observaron evidencias de larvas de Chloropidae en “nidos” totalmente secos ó deshidratados. Los inquilinos siempre fueron encontrados en “nidos” con humedad.

AGRADECIMIENTOS

Agradezco al Lic. Oscar Gabriel López Chong, por toda la ayuda brindada en las giras de campo. Al Dr. Héctor Barrios, Universidad de Panamá y a la Dra. Catherine Potvin de la Universidad de McGill, Canadá, por darme todas las facilidades necesarias y permitirme realizar esta investigación en las plantaciones de especies nativas, maderables, establecidas en Sardinilla, Provincia de Colón, Panamá. Al Dr. Cheslavo A. Korytkowski, Coordinador del Programa Centroamericano de Maestría en Entomología, por la identificación del Diptera: Chloropidae: *Monochaetoscinella* sp. A Ángel Aguirre, Biblioteca del Smithsonian, Tropical Research Institute por su valiosa ayuda en la adquisición de la literatura necesaria para la elaboración de esta publicación.

REFERENCIAS

Bondar, G. A. P. 1937. Observacoes sobre curculionidos enroladores de folha (Col.). Revista de Entomologia. 7: 141-144.

Foote, B. A. 1991. Chloropidae (Ephydroidea) pags. 847. En: *Immatura Insects Vol. 2*. Stehr, F. (ed). Kendall/Hnnt Publishing.

Hamilton, R. W. 1980. Notes on the Biology of *Eugnemptus collaris* (Fabri.) (Coleoptera: Rhynchitidae), with descriptions of the larva and pupa. *The Coleopterists Bulletin*. 34(2): 227-237.

Hamilton, R. W. 2002. Attelabidae. In: *American Beetles. Polyphaga: Scaraboidea through Curculionoidea. Volume 2*. Ross H. Arnett *et al.* CRC press LLC United States of America. 861 pag.

Hamilton, R. W. 2005. *Omolabus* Jekel in north and Central America (Coleoptera: Attelabidae). *Zootaxa* 986: 1-60.

Kuschel, G. 1995. A Phylogenetic Classification of Curculionoidea to families and subfamilies. *Memoirs of the Entomological Society of Washington*, 14: 3-33.

Murtfeldt, M. E. 1872. Notes on *Attelabus bipustulatus*, Fabr. *The Canadian Entomologist*. 4: 143-145.

Richard, C. & R. Pérez. 2006. Instituto Smithsonian de Investigaciones Tropicales. Center for Tropical Forest Sciences (CTFS). <http://ctfs.si.edu>

Vogt, G. B. 1992. Leaf-rolling Weevils (Coleoptera: Attelabidae), their host plants, and associated Rhynchitid Weevils in North America (Canada through the Republic of Panamá): Summary of a long-term field study. 26: 392-420. In: *Insects of Panama and Mesoamerica, Selected Studies*. Diomedes Quintero and Annette Aiello (ed). Oxford Science Publications. 692 Pgs.

Recibido octubre de 2008, aceptado febrero de 2009.



DATOS ECOLÓGICOS DEL OCELOTE (*Leopardus pardalis*) EN CANA, PARQUE NACIONAL DARIEN, PANAMÁ; UTILIZANDO EL MÉTODO DE CÁMARAS TRAMPA

Ricardo Moreno^{1,2,3} & Aida Bustamante^{2,3}

¹Instituto Smithsonian de Investigaciones Tropicales. Unit 0948, APO AA 34992-0948, Panamá.

²Instituto Internacional en Conservación y Manejo de Vida Silvestre, Universidad Nacional. Apdo. 1350-3000, Heredia, Costa Rica.

³Programa de Conservación de Felinos, Amigos de Osa, Apdo. 54-8203. Puerto Jiménez, Golfito, Costa Rica.

RESUMEN

Presentamos datos ecológicos sobre ocelotes en el área del Darien, por medio de cámaras trampa. Se obtuvo información sobre densidad, actividad circadiana y ámbitos hogareños. La población de ocelotes en Cana presentó una de las densidades más altas registradas en todo su rango de distribución, con preferencia de actividad nocturna y ámbitos de hogares entre pequeñas y medias, dependiendo del método aplicado. Con el polígono mínimo convexo (PMC) utilizaron áreas de entre 0.33-1.57 km². En un segundo método se utilizaron áreas buffer alrededor de las cámaras de 12 km². Las cámaras trampa resultan ser un método bueno para obtener datos ecológicos de las especies, pero como todo método presenta ventajas y desventajas. Hay que tener en cuenta que las densidades van a depender mucho del esfuerzo (área abarcada) e intensidad (# de estaciones de cámaras) del muestreo.

PALABRAS CLAVES

Ocelote, *Leopardus pardalis*, Panamá, Darién, Cana, captura-recaptura, densidad, actividad circadiana, ámbito hogareño, bosque tropical lluvioso.

ABSTRACT

We present data on ocelot ecology in the area of Darien, through camera traps. We obtained information on density, circadian activity and minimum home ranges. The population of ocelots in Cana has one of the highest densities recorded throughout its range, with a preference for nocturnal activity and home ranges to small and

medium size, depending on the method, with the minimum convex polygon (PMC) used areas between 0.33-1.57 km² and a second method using buffer areas of the cameras are about 12 km². The camera traps appear to be a good method to obtain ecological data of species, but as any method have advantages and disadvantages. It should be kept in mind that the densities will depend much on effort (covered area) and intensity (# camera traps stations) of sampling.

KEYWORDS

Ocelot; *Leopardus pardalis*; Panamá; Darien; Cana; capture-recapture; density; circadian activity; home range; tropical rain forest.

INTRODUCCIÓN

El estudio sobre la ecología y el comportamiento de los carnívoros resulta, la mayoría de las veces, arduo debido a los hábitos crípticos y solitarios de estas especies. Por ello, a través del tiempo surgen nuevos métodos para obtener información acerca de su ecología, comportamiento y estructura poblacional de forma cada vez más eficiente (Moreno, 2005, Moreno & Giacalone, 2006). En Panamá, a excepción de la Isla Barro Colorado, en la cual se han realizado estudios aplicando diferentes metodologías: *hábitos alimentarios* (colecta de excretas), *monitoreo* (registro de huellas), *densidad* (cámaras trampa), *comportamiento* (video filmadoras automáticas y radio telemetría manual y automática) (Moreno, 2000, 2002, 2005, Aliaga-Rossel *et al.*, 2006, Moreno *et al.*, 2006 a y b, Moreno & Giacalone, 2006), la mayoría de la información sobre los ocelotes es anecdótica, o se reportan solamente registros publicados en los inventarios de fauna realizados por algunas instituciones y organizaciones no gubernamentales.

Desde hace algunos años, el uso de cámaras trampa ha sido muy utilizado para estimar poblaciones de diferentes especies de mamíferos. Es un método de estimación no intrusivo y que permite abarcar grandes extensiones, identificar individuos con patrones de manchas y captar animales crípticos; razón por la cual ha sido aplicado a estudios de especies en peligro de extinción como los felinos. Nuestro objetivo fue obtener información ecológica de los ocelotes en el área de Cana en el Parque Nacional Darién, Panamá, mediante el uso de cámaras trampa.

MÉTODOS

El estudio se realizó en la estación biológica de Cana (N 07° 54' 27.6" O 77° 39' 03.7"), ubicada en el centro del Parque Nacional Darién (PND). El valle de Cana limita al oeste con la Serranía de Pirre y al este con el cerro Setetule. El valle de Cana se caracteriza por poseer la mayor diversidad de clases de vegetación, mejor estado de conservación, mayor complejidad y número de estratos de diferentes áreas protegidas de la zona (Santamaría, 2000). En el valle de Cana existe una pequeña estación administrada por la empresa Ancon Expeditions de Panamá a la cual se tiene acceso por vía aérea y terrestre. Según la clasificación de Holdridge (Tosi, 1971) el área esta en la zona de vida de bosque húmedo tropical. La temperatura promedio anual es de 24 °C (35.5 – 17.2 °C). La temperatura es altamente influenciada por las elevaciones, y oscila entre los 20 y 27 °C, mientras que las precipitaciones varían desde los 1500 a los 6000 mm/año (Samudio, 2001).

El muestreo se realizó a final del mes de mayo a julio de 2005 (35 días). Se utilizó el método de cámaras trampa según lo propuesto por Karanth 1995 y Heilbrun *et al.*, 2003). Este método consiste en colocar cámaras que son activadas por el calor y el movimiento. Los ocelotes pueden ser identificados por medio de sus patrones de manchas, a través de fotografías. Es posible aplicar modelos que estimen la densidad poblacional (Nichols, 1992). Para esto, es preferible que las trampas se ubiquen en estaciones, dos cámaras que tomen fotos de ambos costados del individuo, en caminos y senderos por los cuales transitan seres humanos y/o animales grandes.

En la investigación se utilizaron 14 estaciones, de la marca Camtrakker (Camtrakker South, 1050 Industrial Drive, Watkinville, GA 30677, USA) ubicadas a una distancia promedio de 1.45 km, con base a los datos generados por estudios de radio telemetría en la isla de Barro Colorado (Moreno *et al.*, 2006), los que reportan que la media del ámbito de hogar para hembras ocelotes fue de 1.5 km² (Moreno & Kays obs. per.). Las cámaras se colocaron en sitios no inundables y donde se observaron huellas de animales con mayor frecuencia. También se realizó un estimado del tamaño poblacional utilizando la media de la distancia máxima recorrida (1/2 MMDM por sus siglas en inglés) para todos los individuos fotografiados en más de dos

ocasiones durante el periodo de muestreo (Karanth & Nichols, 2002). Para el cálculo de la densidad se utilizó el programa CAPTURE (Otis *et al.*, 1978, Rexstad & Burnham, 1991) bajo el supuesto de que la población es cerrada (sin nacimientos o muertes), y que tampoco hubo inmigración ó emigración (Karanth *et al.*, 2004). El programa analiza el historial de captura entre diferentes modelos de probabilidades relativos a la captura-recaptura y al mismo tiempo, sugiere el modelo más adecuado para realizar la estimación de abundancia. Para mayor información de los modelos revisar Karanth *et al.* (2004) y Silver (2004).

Cada estación de cámaras trampa, se georeferenció mediante el uso del sistema de posicionamiento global (GPS). Las cámaras funcionaron las 24 horas del día, con intervalos de 15 segundos entre fotos, y los datos de fecha y hora fueron tomados por cada fotografía. Luego del revelado, los individuos de ocelotes fueron identificados por los patrones de manchas. La actividad circadiana fue obtenida utilizando todas las fotos de ocelotes en los dos muestreos grandes para jaguares (fines del mes de mayo, a mediados de septiembre 2005 y mediados de diciembre 2005 y a febrero 2006) y para ver las diferencias en el comportamiento de actividad (diurno vs nocturno) se utilizó una prueba *t*. Con base a las estaciones georeferenciadas y las fotos, se realizaron los cálculos de los poligonos mínimos convexos de los individuos que tuvieron tres o más recapturas dentro del área de influencia de las cámaras. También se realizaron dos estimados: el primero, el del poligono mínimo convexo (PMC) y el segundo a partir del cálculo del área, se utilizo un buffer obtenido de la media de la distancia de recapturas de los individuos y este buffer fue aplicado alrededor de cada estación donde fue fotografiado un ocelote (Moreno, 2006).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Fueron identificados satisfactoriamente un total de 11 ocelotes (seis machos, cinco hembras) y tres individuos no identificables el sexo (no incluidos en el análisis del CAPTURE) en un total de 490 noches trampa. Se obtuvo un poligono de cámaras de 23.8 km² que si se le agrega el área buffer de 1.5 km en cada estación, el área total muestreada fue 52 km². Si se aplica la ½ MMDM (1.85 km), se

obtiene un área total muestreada de 63.7 km². En esta investigación solamente se utilizarán los análisis ½ MMDM.

El programa CAPTURE, indicó que los mejores modelos para estimar esta población son el modelo M(o)= 1.0, M(bh)= 1.0 y el M(h)= 0.97. En este estudio se usó el modelo M(h) ya que toma en cuenta las diferencias en el comportamiento y además utiliza un estimador poderoso (Jackknife).

Los datos generaron un estimado de 40 ocelotes para el área (M (h)) (Z=1.541; P= 0.938) y una probabilidad de captura de 0.01 en 63.7 km². Entonces, la densidad estimada es de 62.7 ocelotes/100 km², para el área de influencia de las cámaras, con un error estándar de ± 16.6 y un intervalo de confianza al 95% de 22-93 individuos.

La densidad de ocelotes en Cana es de 0.6 ocelotes/km², es una de las más altas reportadas hasta el momento, tomando en cuenta nueve publicaciones a lo largo de su rango de distribución geográfica, sólo con el método de cámaras trampa (Dillon, 2005, Trolle & Kery, 2003, 2005, Maffei *et al.*, 2005, Di Bitetti *et al.*, 2006, Haines *et al.*, 2006, Moreira *et al.*, 2007, Moreno & Bustamante, 2007, Bustamante, 2008). La población de ocelotes en Cana parece estar en muy buen estado en comparación con los otros sitios (densidad alta), sólo en el Pantanal hay un densidad similar a la que hemos encontrado y en algunas de las zonas muestreadas en Bolivia (Trolle & Kery, 2003, Maffei *et al.*, 2005). Ecológicamente consideramos, que el efecto de la población de presas es un factor de alta relevancia e influencia sobre los resultados de nuestro estudio (Moreno, 2006, Obs. per.), y esto ha sido documentando anteriormente por Karanth *et al.* (2004) y Seidensticker & Lumpkin (2004) en sus estudios.

Por otra parte, los ocelotes en Cana (n = 54 fotos) presentaron una tendencia a estar más activos durante las 19:00-22:00 y 03:00– 05:00 horas, con un porcentaje de actividad diurna de 9.25% y nocturna de 90.69% (t= -4.213; P= 0,000) (Fig. 1). Este comportamiento, es muy similar a lo encontrado en la isla de Barro Colorado, donde se utilizó radio telemetría y cámaras trampa de forma simultánea (Moreno *et al.*, 2006, Moreno & Giacalone, 2006). Otros autores, que utilizaron radio telemetría, también reportan que esta especie es activa principalmente

durante la noche. Se infiere que esto tiene relación con los patrones de actividad de las principales presas (Ludlow & Sunquist, 1987, Emmons, 1988, Crawshaw, 1995, Bustamante, 2008). En diversos estudios que utilizan cámaras trampa, se ha observado el mismo patrón de comportamiento (Dillon, 2005, Maffei *et al.*, 2005, Di Bitetti *et al.*, 2006, Bustamante, 2008) y actividad bimodal reportado por Emmons (1988). Sabemos que los ocelotes presentan actividad diurna, no tan marcada como la nocturna, pero por lo general esto no es del todo captado por las cámaras trampa, pues ellos suelen evitar senderos o áreas abiertas durante las horas del día y noches claras (Emmons, 1988, Emmons *et al.*, 1989, Obs. per.).

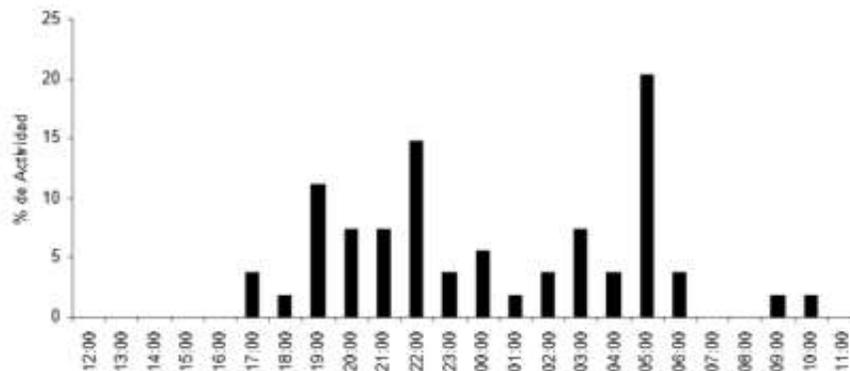


Fig. 1. Actividad circadiana de ocelotes por medio de cámaras trampa en Cana, Parque Nacional Darien, Panamá (n = 54 fotos).

En cuanto a la estimación de áreas, sólo fue posible realizarla para dos machos, por la cantidad de recapturas obtenidas. El PMC al 100% fue de 0.33 y 1.57 km², y un segundo estimado para ocelotes produjo un área promedio de 12 km² (rangos de 10-14 km²). En Cana, utilizando el método del polígono mínimo convexo con las fotos, se encontró que esos dos ocelotes utilizaron áreas “pequeñas”, mientras que aplicando el segundo cálculo, el área cubierta por los animales se incrementa. Los dos tipos de datos generados se consideran válidos, ya que se tiene información sobre ocelotes que utilizan áreas reducidas pero también se tienen datos de animales que utilizan espacios mucho más grandes, pues generalmente todo va a depender de la dinámica intra e interespecífica de la zona, la estacionalidad y productividad del área (densidad de presas). Por ejemplo, en la Isla de Barro Colorado, los

ñeques (*Dasyprocta punctata*) son más abundantes por km² que en Cana (Aliaga-Rossel *et al.*, 2006, Moreno, 2006; Moreno *et al.*, 2006a), y en ese caso, dos machos utilizaron una superficie de área más extensa (media de 5.98 km² con cámaras trampa J. Giacalone & R. Moreno datos no publicados) que en Cana (método de cámaras trampa, PMC). Pero utilizando telemetría, un macho adulto tuvo un ámbito de hogar de 9 km². Otro aspecto importante que se ha descubierto utilizando el método de cámaras y telemetría de forma simultánea, es que, tanto machos como hembras, solapan sus territorios más de lo esperado, lo cual nos indica que, aunque tengan ámbitos hogareños grandes, igual la densidad puede ser alta (Moreno & Giacalone, 2006, Moreno & Giacalone, obs. per.).

Se considera que 10 y 14 km² de ámbito hogareño calculado para Cana concuerda con el área que dichos animales utilizan en otras áreas (Moreno *et al.*, en prep., Di Bitetti *et al.*, 2006). Aunque por otro lado, Dillon (2005) en Belice encontró, por medio de cámaras, que ocelotes machos usaron áreas mayores a los 20 km², lo cual se puede deber probablemente a que estos animales deben utilizar más área para satisfacer sus requerimientos ecológicos. También, en algunos de los casos, la búsqueda y captura de presas requerirá de mayor tiempo, energía invertida y distancia recorrida por los ocelotes para su éxito. Los resultados encontrados en Cana entran en el rango de ámbitos de hogar utilizando el método de telemetría en varios estudios realizados con ocelotes (5 – 38 km²) (Ludlow & Sunkist, 1987, Emmons, 1988, Caso, 1994, Crawshaw, 1995, Martinez-Meyer, 1997).

Nuestros datos muestran que los ocelotes son muy versátiles en cualquier área donde se encuentren y de los cuales, el área de acción, la actividad y la abundancia va a depender prioritariamente, de muchos de los factores anteriormente mencionados, como la población de las presas, el efecto que ejercen los depredadores mayores (jaguares y pumas), y el comportamiento de los mismos individuos de la misma especie, entre otras cosas. Además, concluimos que el método es bueno para obtener datos ecológicos, pero como cualquier otra técnica presenta ventajas y desventajas, la cuales pueden ser más afinadas si las estaciones de cámaras trampa son dispuestas mas cercas (≤ 1 km) y abarcando grandes áreas (entre 50-100 km² sin área buffer) de muestreo (Bustamante, 2008).

AGRADECIMIENTOS

A Wildlife Conservation Society (WCS), Programa de Conservación del Jaguar, Panthera/Wildlife Conservation Society Kaplan Awards Program, ANCON Expeditions De Panamá, Sociedad Mastozoológica de Panamá y al Instituto Smithsonian de Investigaciones Tropicales por financiar y apoyar este proyecto. Al Lic. Antonio Cueto, Heriberto Bustamante, Faustino Gómez, Emilio Cuñapa, Mario Urrutia, Norberto Murillo y José Díaz quienes ayudaron en la fase de campo durante la estancia en el lodge/estación de Cana. Al Staff de la Biblioteca del STRI quienes siempre nos han ayudado en la orientación y recopilación de documentos. Agradecemos también a L. Maffei y J. Moreira de WCS y J. Sáenz del Instituto Internacional en Conservación y Manejo de Vida Silvestre (ICOMVIS) quienes contribuyeron en el mejoramiento de este manuscrito. Esta nota sale de los datos obtenidos de la tesis de Maestría del primer autor en el ICOMVIS de la Universidad Nacional en Heredia, Costa Rica.

REFERENCIAS

Aliaga-Rossel, E., R. Moreno, R. Kays & J. Giacalone. 2006. Ocelot (*Leopardus pardalis*) predation on Agoutis (*Dasyprocta punctata*). *Biotropica* 38 (5): 691-694.

Bustamante, A. 2008. Densidad y uso de hábitat por los ocelotes (*Leopardus pardalis*), pumas (*Puma concolor*) y jaguares (*Panthera onca*) en la parte sureste del área de amortiguamiento del Parque Nacional Corcovado, Península de Osa. Costa Rica. Tesis de Maestría. Instituto Internacional en Conservación y Manejo de Vida Silvestre. 137 p.

Caso, A. 1994. Home range and habitat use of three neotropical carnívoraes in Northeast Mexico. Tesis de Maestría. Texas A&M University, Kingsville. 87 pp.

Crawshaw, P. 1995. Comparative ecology of ocelot (*Felis pardalis*) and jaguar (*Panthera onca*) in a protected subtropical forest in Brazil y Argentina. Tesis de Doctorado. Universidad de Florida. Gainesville, Florida, USA. 189 pp.

- Di Bitetti, M., A. Paviolo & C. De Angelo. 2006. Density, habitat use and activity patterns of ocelots (*Leopardus pardalis*) in the Atlantic forest of Misiones, Argentina. *Journal of Zoology*. 270 : 153-163.
- Dillon, A. 2005. Ocelot density and home range in Belize, Central America: camera-trapping and radio telemetry. Master Thesis. Virginia Polytechnic Institute and State University. 150 pp.
- Emmons, L. 1988. A field study of ocelots in Peru. *Revue d'écologie de la terre et de la vie*. 43:133-157.
- Haines, A., J. Janecka, M. Tewes, L. Grassman Jr. & P. Morton. 2006. The importance of private lands for ocelots *Leopardus pardalis* in the United States. *Oryx*, 40(1): 1-5.
- Heilbrun, R., N. Silvy, M. Tewes., & M. Peterson. 2003. Using automatically triggered cameras to individually identify bobcats. *Wildlife Society Bulletin*. 31(3): 748-755.
- Karanth, U., J. Nichols, N. S. Kumar, W. A. Link & J. E. Hines. 2004. Tiger and their prey: predicting carnivore densities from prey abundance. *Ecology* 101(14): 4854-4858.
- Karanth, U. & J. Nichols. 2002. Monitoring tigers and their prey: a manual for researchers, managers and conservationists in tropical Asia. Bangalore, Centre for Wildlife Studies.
- Karanth, U. 1995. Estimating tiger *Panthera tigris* populations from camera traps data using capture-recapture models. *Biol.Conserv.* 71: 333-336.
- Ludlow, M.E. & M.E. Sunquist. 1987. Ecology and behavior of ocelots in Venezuela. *National Geographic Research*. 3:447-461.
- Maffei, L., A. Noss, E. Cuellar & D. Rumiz. 2005. Ocelot (*Felis pardalis*) population densities, activity and ranging behavior in the dry forests of eastern Bolivia: data from camera trapping. *Journal of Tropical Ecology* 21: 1-6.

Martínez-Meyer, E. 1997. Ecología del ocelote (*Leopardus pardalis*) en la región de Chamela, Jalisco, México. Tesis de Maestría en Ciencias (Biología Animal). Universidad Nacional Autónoma de México. 76 pp.

Moreira, J., R. García, R. McNab, T. Dubón, F. Córdova & M. Córdova. 2007. Densidad de ocelotes (*Leopardus pardalis*) en la parte este del Parque Nacional Mirador Río Azul, Guatemala. Sociedad para la Conservación de la Vida Silvestre (WCS- Guatemala). Informe Técnico. 8 p.

Moreno, R. 2006. Parámetros poblacionales y aspectos ecológicos de los felinos y sus presas en Cana, Parque Nacional Darién, Panamá. Tesis de Maestría. Instituto Internacional en Conservación y Manejo de Vida Silvestre, Heredia, Costa Rica. 138 pp.

Moreno, R. 2005. Nota: observaciones sobre un evento antagónico en ocelotes (*Leopardus pardalis*). *Tecnociencia* 7(2): 173-177.

Moreno, R. 2002. Hábitos alimentarios de ocelotes (*Leopardus pardalis*) y pumas (*Puma concolor*) en dos localidades de la Cuenca del Canal de Panamá. Tesis de Licenciatura. Universidad de Panamá. 60 pp.

Moreno, R. 2000. Atrayentes para los felinos silvestres. *Scientia* 15 (1):115-117.

Moreno, R. & A. Bustamante. 2007. Estatus del jaguar, otros felinos y sus presas en el Alto Chagres, utilizando cámaras trampa. Reporte técnico. Sociedad Mastozoológica de Panamá. 28 p.

Moreno, R. & J. Giacalone. 2006. Ecological data obtained from latrine use by ocelots (*Leopardus pardalis*) on Barro Colorado Island, Panama. *Tecnociencia* Vol 8(1): 7-21.

Moreno, R., R. Kays & R. Samudio, Jr. 2006a. Competitive release in the diet of ocelots (*Leopardus pardalis*) and puma (*Puma concolor*) after jaguar (*Panthera onca*) decline. *J. Mammalogy* 87 (4): 808-816.

Moreno, R., R. Kays, J. Giacalone, E. Aliaga-Rossel & R. Mares. 2006b. Un estudio sobre la ecología del ocelote (*Leopardus pardalis*) en la isla de Barro Colorado, Panamá. Mesoamericana. X Congreso de la Sociedad Mesoamericana para la Biología y la Conservación, Ciudad Antigua, Guatemala.

Moreno, R., R. Kays, J. Giacalone & R. Mares. En preparación. Ecology of the ocelots (*Leopardus pardalis*) in the tropical Moist forest of Barro Colorado island, Panama.

Nichols, J. 1992. Capture-recapture models: using marked animals to study population dynamics. *Bioscience* 42: 94-102.

Otis, D., K. Burnham, G. White & D. Yerson. 1978. Statistical inference from capture data on closed animal population. *Wildlife Monograph* 62: 1-35.

Rexstad, E. & K. Burnham. 1991. User's guide for interactive program Capture. Fort Collins, CO: Colorado Cooperative Fish and Wildlife Research Unit, Colorado State University.

Samudio, R. 2001. Bosques Nublados del Neotrópico: Panamá. En bosques Nublados del Geotrópico. INBIO. Costa Rica.

Santamaría, D. (ed.). 2000. Conservación y consolidación de la diversidad biológica y cultural del Darién. Tomo I: Diversidad Biológica. Macarthur Foundation – Asociación Nacional para la Conservación de la Naturaleza (ANCON), Panamá. 350 p.

Silver, S. 2004. Estimando la abundancia de jaguares mediante trampas-cámaras. *Wildlife Conservation Society*. Versión en español. 27 pp.

Seidensticker, J. & S. Lumpkin. 2004. Cats. *Smithsonian Answer Book*. J. Seidensticker & S. Lumpkin; photographs by Art Wolfe. 254 pp.

Tosi, J. 1971. Zonas de vida: Una base ecológica para las investigaciones silvícolas e inventariación [inventario] forestal en la República de Panamá. PNUD-FAO. Informe técnico. 89p.

Trolle, M. & M. Kery. 2005. Camera-trap study of ocelot and other secretive mammals in the northern Pantanal. *Mammalia* 69 (3-4) : 405-412.

Trolle, M. & M. Kery. 2003. Estimation of ocelot density in the Pantanal using capture-recapture analysis of camera-trapping data. *Journal of Mammalogy*, 84(2): 607-614.

Recibido enero de 2009, aceptado mayo de 2009.



ANÁLISIS DE DIVERSOS PARÁMETROS FÍSICO QUÍMICOS, DEL GOLFO DE SAN MIGUEL, PROVINCIA DEL DARIÉN

Rosemary Lara T.¹, Edgardo A. Muñoz T.², Aramis A. Averza C.², Manuel A. Grimaldo O.²

¹Comisión para la Erradicación y Prevención del Gusano Barrenador del Ganado (COPEG).

²Centro de Ciencias del Mar y Limnología, Universidad de Panamá

RESUMEN

En el mes de mayo de 2003 se realizaron colectas en 15 estaciones de muestreo ubicadas en el Golfo de San Miguel con el propósito de determinar diversos parámetros físico químicos como: temperatura, salinidad, oxígeno, pH, transparencia, granulometría y materia orgánica. La temperatura registrada presentó un promedio de 26,9 °C, oscilando entre los 26,0 °C y 29,0 °C en todas las estaciones. La salinidad presentó pocas variaciones con un promedio de 28,9 ‰, observándose que disminuye en la zona convergente de los ríos Savana y Tuira. El oxígeno disuelto aumentó a medida que las estaciones de muestreo se alejan de zonas de manglares, mientras que los rangos de pH se mantuvieron dentro de los parámetros esperados. La transparencia fue generalmente menor a un metro producto del aporte terrígeno de la cuenca hidrográfica Tuira-Chucunaque, reflejo de la consistencia limo arcillosa de la mayoría de las partículas del sedimento. La materia orgánica promedió un 47% en las estaciones, siendo las que se encontraban más cercanas a manglares las que presentaron valores mayores. El análisis multivariado del agrupamiento de las estaciones presenta 2 grupos bien definidos, mientras que los parámetros físicoquímicos parecen indicar una mayor afinidad entre las partículas limo arcillosa, la temperatura, la salinidad y la transparencia.

PALABRAS CLAVES

Físico química, temperatura, salinidad, materia orgánica, oceanografía, Golfo de San Miguel.

ABSTRACT

In May, 2003, fifteen sample stations were collected in Gulf of San Miguel, province of Darien, in order to determine different physical and chemical parameters such as: temperature, salinity, oxygen, pH, water transparency, sediment granulometry, and organic matter. The temperature recorded had a mean of 26.9 °C, ranging between 26.0 °C and 29.0 °C in all seasons. Salinity presented few variations with an average of 28.9 o/oo, with decreases in the converging area of Savana and Tuira rivers. Dissolved oxygen increased as the sampling stations move away from mangrove areas, while the range of pH was within the expected ranges. Water transparency was generally less than one meter, due to discharges from the Tuira-Chucunaque watershed, reflecting a silt loam consistency from most of the mud and clay sediment particles. The organic matter averaged 47% at the stations, with greater values in stations that were closer to mangroves. Multivariate analysis indicates two well defined groups while physical and chemical parameters are more related with mud clay particles, temperature, salinity and transparency.

KEYWORDS

Physical chemical, temperature, salinity, organic matter, oceanography, Golfo de San Miguel.

INTRODUCCIÓN

La estructura de la fauna bentónica está controlada por las características físicas y químicas de los sustratos, entre las que podemos mencionar a la granulometría, la materia orgánica y otros gases disueltos (Remane, 1933; Gray, 1974; Fresi *et al.*, 1983; Weston, 1988). Al existir una estrecha relación entre la fauna béntica y el sustrato, es de suma importancia determinar o caracterizar los factores abióticos que presentan los distintos ecosistemas, para tener una idea clara de las condiciones en las cuales se desarrollan los organismos. Los efectos que tiene el sustrato sobre la distribución de ciertas especies en las playas, se debe principalmente al tamaño del grano y a la clasificación de los sedimentos, ya que determinan la porosidad y capilaridad del medio. Esto permite, entre otras características, una mayor o menor humedad, de manera que los organismos excavadores, se enterrarán verticalmente hasta estratos con humedad óptima (Wieser, 1969).

Los factores como la descarga fluvial, corrientes marinas, efecto del oleaje, turbulencia del agua, altura de la marea y el tamaño de las partículas acarreadas, controlan la sedimentación litoral (Reineck & Singh, 1975; Komar, 1976), y a la vez, hacen variar la composición del

substrato que puede resultar en un factor fundamental en el crecimiento de los organismos. La materia orgánica contenida en el sedimento, es importante, ya que constituye la materia alimenticia para los organismos de la infauna. En los aspectos sobre contenido orgánico y granulometría en el Golfo de Panamá, encontramos los estudios de Swift & Pirie (1970), Kwiecinski *et al.*, (1973) y McIlvaine & Ross (1973). En este caso particular, se tomaron muestras de diferentes parámetros físico químicos, así como del bentos en el área del Golfo de San Miguel, Provincia de Darién, con el propósito de determinar las condiciones abióticas y a la vez servir como base para futuros estudios en la zona. Aunque las estaciones no cubrieron toda la zona que comprende el Golfo de San Miguel, los datos obtenidos pueden dar una idea general de las condiciones existentes en un momento determinado, dada la falta de literatura y de trabajos previos al respecto, para la provincia de Darién.

MATERIALES Y MÉTODOS

Área de Estudio

El estudio se llevó a cabo en 15 estaciones situadas en el Golfo de San Miguel, Provincia de Darién, incluyendo La Palma y la desembocadura del río Tuira. Las colectas fueron realizadas del 18 al 21 de mayo de 2003, en el transcurso del día, debido principalmente a limitantes en el desplazamiento a lo largo de esta gran zona.

Colecta y procesamiento de las muestras

Las muestras de bentos fueron tomadas utilizando una Draga Eckman con superficie de 0,023 m², que posteriormente fueron depositadas en bolsas plásticas debidamente rotuladas para su posterior procesamiento y determinación de contenido orgánico y granulometría. En cada estación se midieron los siguientes parámetros ambientales *in situ*: ubicación de las coordenadas (latitud, longitud), determinada con un GPS marca Meridian Marine Magellan; la salinidad se midió con un refractómetro óptico Marca Atago con rango de salinidad de 0-100 ‰; la temperatura (°C) y el oxígeno disuelto (ppm) con un oxigenómetro Y51 Modelo No. 57; la profundidad (m) se determinó con un medidor portátil de profundidad Echotest II; el pH (unidades de pH), se determinó con un medidor portátil de pH marca Milwaukee Modelo pH

600 W y la transparencia (cm) fue determinada con un disco Secchi de 20 cm de diámetro.

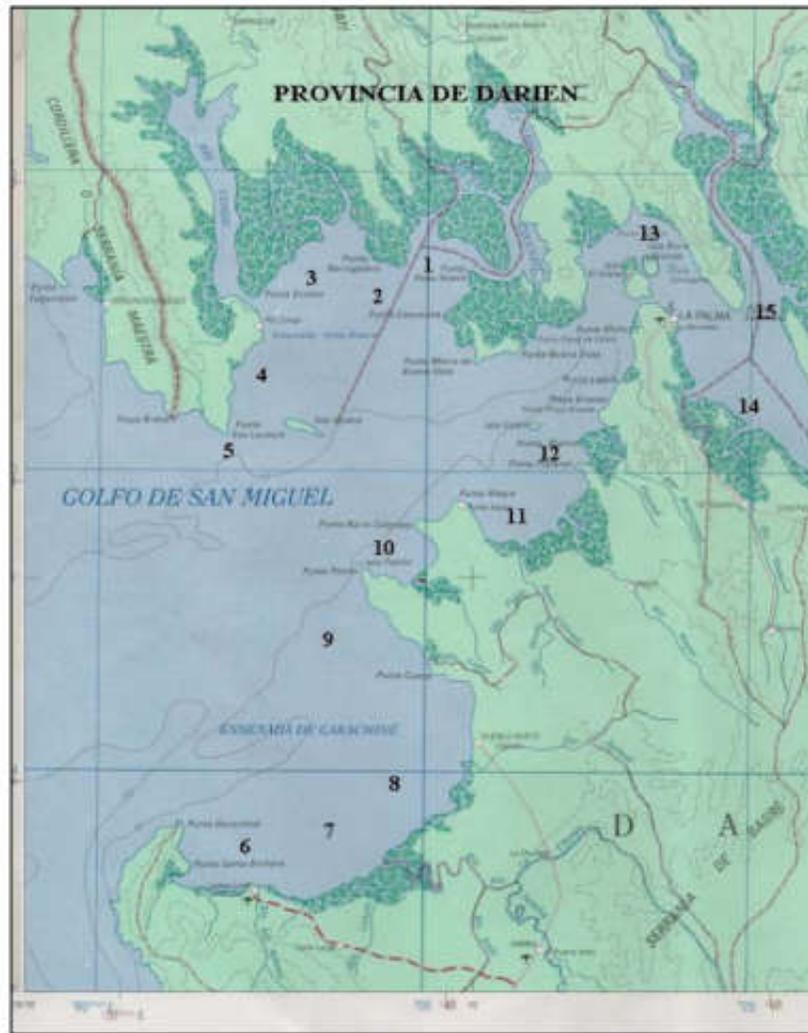


Fig. 1. Área de estudio y estaciones de colecta en el Golfo de San Miguel, Provincia de Darién (Fuente: IGNTG, 1988).

El tamaño promedio de la partícula de sedimento fue obtenido mediante el análisis granulométrico, con un método mecánico de tamizado, utilizando una batería estándar de seis tamices con un rango de malla de 1,00 a 0,062 mm (Holme & Mc Intyre, 1984). La granulometría se determinó por duplicado a partir de una porción

alícuota de unos 100 g representativos de cada estación. La medición de la materia orgánica fue obtenida mediante la diferencia entre el peso seco de una muestra de sedimento (colocada en el horno a 70 °C por 3 h) y el peso de la misma después de haber sido incinerada en una mufla eléctrica a 450-500 °C por 1 h.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los datos obtenidos de parámetros físico químicos reportados en las quince (15) estaciones muestreadas en el Golfo de San Miguel, se presentan en el Cuadro 1.

Cuadro 1. Valores de parámetros físico químicos obtenidos en el muestreo realizado a quince (15) estaciones ubicadas en el Golfo de San Miguel, Provincia de Darién. (18-21 de mayo de 2003).

Estación	Profundidad (m)	Secchi (cm)	Salinidad (‰)	Temperatura (° C)	OD (mg/l)	pH (unidades)
1	4	0.8	31	27.8	3.4	7.7
2	1.6	0.3	30	27	3	7.9
3	1.5	0.12	30	27.2	3.9	7.8
4	5.9	0.4	27	27	4.1	7.7
5	5.5	0.35	30	27.5	4.5	7.9
6	5.8	0.7	30	26.2	5.8	8.1
7	3.8	0.7	30	26	6.4	8.2
8	2.3	0.6	30	26.2	6	8.1
9	10.5	2.4	31	26	7.6	8.3
10	6.5	1.1	30	26.2	6.4	8.1
11	3.7	0.6	27	27	4.6	7.7
12	6.3	0.4	30	28	5.4	7.9
13	5.5	0.1	30	27.9	4.7	7.8
14	20.5	0.25	25	27.9	4.6	7.7

La temperatura del fondo para el Golfo de San Miguel presentó un promedio de 26,9 °C para todas las estaciones muestreadas con un rango de 26,0 a 28,0 °C. La temperatura no muestra una gran variabilidad a lo largo de las estaciones de muestreo, esto puede deberse a que el muestreo fue realizado al principio de la época lluviosa. Kwiecinski & D'Cross (1994) reportan una temperatura cercana a los 29 °C para el Golfo de Panamá, durante la estación lluviosa con variaciones de ± 2 °C, similares a las presentadas en el Golfo de San Miguel. La diferencia entre los valores promedios para

ambas zonas puede deberse a que el Golfo de Panamá presenta un sistema abierto mientras que las características del Golfo de San Miguel lo señalan como un sistema mucho más cerrado y por consiguiente, con una dinámica diferente. Debido a esto, hay que considerar también que, en algunos casos, la temperatura puede ser afectada producto de la estacionalidad que presenta el Golfo de San Miguel (ANCON, 1999). Averza (1984) señala que durante la época lluviosa hay vientos predominantes del sur que causan un incremento de agua dulce, aumentando el volumen de los ríos, la temperatura del agua dulce y la carga de sedimentos. No obstante, los datos obtenidos no muestran una gran variabilidad en este parámetro en particular.

El valor promedio para la salinidad del fondo en el Golfo de San Miguel fue de 28,9 ‰ con un rango de 23,0 ‰ a 31,0 ‰. Las estaciones ubicadas en la unión entre el río Savana y el río Tuira (Estación 14 y 15) registraron los valores más bajos en cuanto a las concentraciones de sales con 25 ‰ y 23 ‰, respectivamente. Esta es una zona que en toda su extensión recibe las descargas de agua dulce de la cuenca hidrográfica Tuira Chucunaque. En un estudio realizado en un golfo con características similares al Golfo de San Miguel como es el Golfo de Nicoya, Costa Rica, realizado por Brugnoli y Morales (1999). Durante un evento de El Niño, la salinidad registró un promedio alrededor de 26 ‰, aunque con un rango de variación mayor de ± 7 ‰. Aún con estas condiciones, no hay gran diferencia en los valores de salinidad entre los dos estudios. El gran volumen de agua marina y dulce que interactúan en los cambios de marea puede llegar a afectar el rango de concentración de sales en una gran zona de la cuenca y el mismo Golfo de San Miguel (ver Figura 2).

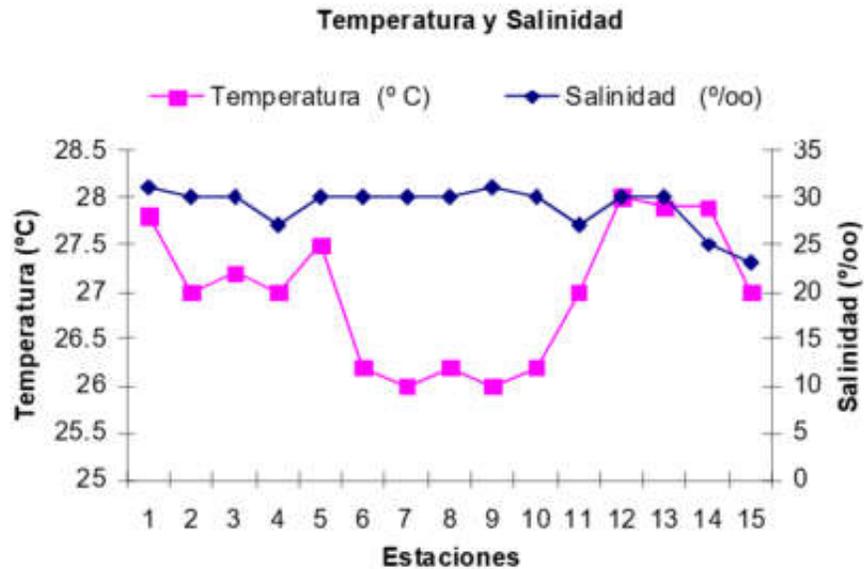


Fig. 2. Variación espacial de la temperatura del agua (fondo) y salinidad (fondo) encontradas en las estaciones del Golfo de San Miguel, Provincia de Darién, 18 – 21 de mayo de 2003.

El oxígeno del fondo para el Golfo de San Miguel presentó un promedio de 4,9 mg/l con un rango de 3,0 a 7,6 mg/l. Los valores más bajos (< 5 mg/l) se obtuvieron hacia la zona norte en Punta Berrugate y Punta Gruesa en dirección a Punta San Lorenzo en la entrada del Golfo (Estaciones 1-5), mientras que hacia la zona sur (incluyendo la ensenada de Garachiné) se obtuvieron los valores más altos con concentraciones superiores a los 5 mg/l, en comparación con el registro más alto (7.6 mg/l) obtenido en la estación No. 9, ubicada en la Ensenada de Garachiné. Los datos obtenidos coinciden con los de los estudios realizados en el Golfo de Nicoya, donde se registró una concentración máxima de 8 mg/l. Esto parece indicar una mejor dinámica de las aguas que permite a su vez, una mayor oxigenación de las mismas, además de que estas últimas estaciones se encuentran ubicadas más lejos de las zonas de manglares. En comparación, el Golfo de Panamá presenta las concentraciones de oxígeno disuelto del fondo mayores a 5 mg/l durante la estación lluviosa (Kwiecinski & D’Croze, 1994).

El pH del fondo para el Golfo de San Miguel fue de 7,9 con un rango de 7,7 a 8,3. El pH mostró poca variabilidad en las estaciones

muestreadas (Fig. 3). (Vegas, 1971), señala que las fluctuaciones en el agua de mar raras veces descienden a 7,5 o suben a más de 9,0, por lo que los resultados encontrados están dentro de los parámetros esperados.

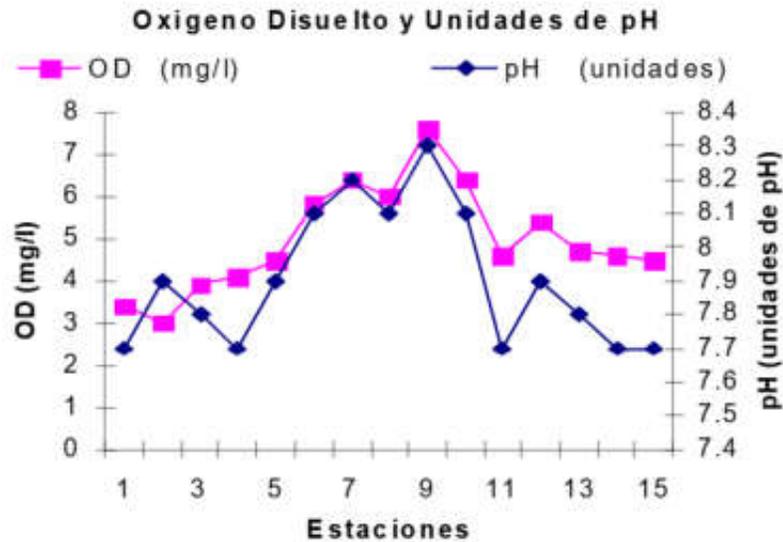


Fig. 3. Variación espacial del oxígeno disuelto del agua (fondo) y las unidades de pH encontradas en las estaciones del Golfo de San Miguel, Provincia de Darién, mayo de 2003.

La transparencia promedio para el Golfo de San Miguel fue de 0.63 m. con un rango de .10 a 2.40 m, obteniéndose el registro mas alto en Punta Patiño. No obstante, la mayoría de las estaciones mostraron valores menores a un metro. En la época de lluvia, la transparencia se reduce y en la época seca esta aumenta, disminuyendo o doblando los valores (Roldán, 1992). Al comparar estos valores con los obtenidos por Kwiecinski & D’Croz (1994) en estudios realizados en el Golfo de Panamá se aprecia una transparencia un tanto mayor para este último durante la estación lluviosa. Cabe acotar que las características entre estos dos cuerpos de agua puede ser la razón de las diferencias existentes.

La profundidad de los sitios de muestreo para el Golfo de San Miguel presentó un promedio 6,1 m con un rango de 1,5 a 20,5 m (Figura 4) para las 15 estaciones colectadas. Los registros muestran áreas poco

profundas, menores a los 10 metros, en la mayoría de las estaciones a excepción de la entrada de Puerto Quimba (Estación 14) con veinte metros de profundidad y donde convergen los ríos Savana y Tuira. Es interesante notar que esta profundidad máxima reportada en este estudio se encuentra en una zona donde existe una alta dinámica de las aguas dulces provenientes de estos dos ríos y el consecuente aporte de la zona continental y la fuerza que ejerce el mar durante el proceso diario de las mareas. Bajo esta óptica, la variación en la altura de las mareas y la hora de colecta pueden ser factores determinantes en un entorno que presenta cambios extremos en este sentido.

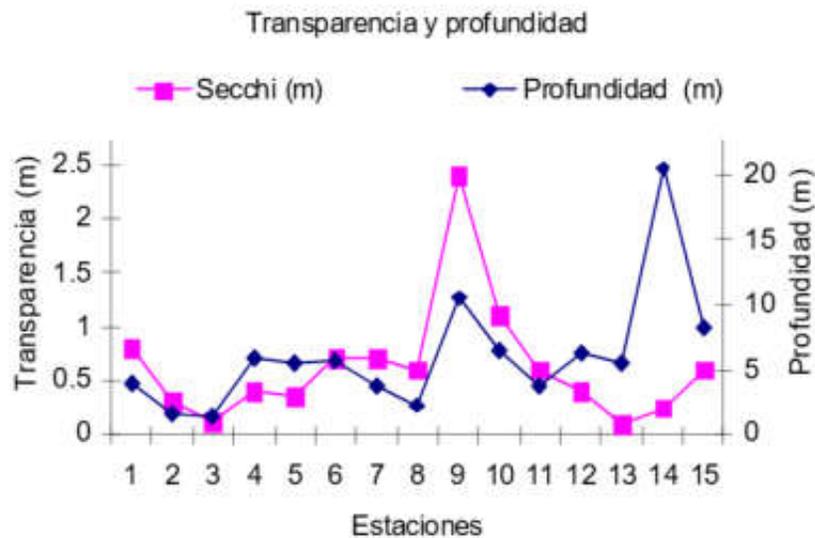


Fig. 4. Variación espacial de la transparencia del agua (Secchi) y la profundidad reportada en las estaciones del Golfo de San Miguel, Provincia de Darién, mayo de 2003.

El promedio para el tamaño de las partículas en el Golfo de San Miguel fue de 0,12 mm, el cual está constituido por arena muy gruesa (14,3 %), arena gruesa (15,8 %), arena mediana (8,7 %), arena fina (8,1 %), arena muy fina (14,8 %) y limo-arcillas (38,4 %). Los resultados muestran un sedimento muy heterogéneo pero donde predomina el sedimento limoso-arcilloso que representa en promedio el 38% de todas las muestras colectadas. Los resultados del estudio difieren, en el valor porcentual de la fracción limo arcillosa reportados

por Kwiecinski & D'Croz (1994), para el Golfo de Panamá, el cual alcanzó alrededor de un 86%. Las estaciones que presentaban los porcentajes más altos de limo arcilla estaban relacionadas en el caso del Golfo de San Miguel con áreas cercanas a manglares y donde posiblemente la fuerza de la corriente permitiría la deposición de material terrígeno. Esto podría acentuar la permanencia de partículas finas en la columna de agua limitando por consiguiente la transparencia.

Cuadro 2. Porcentaje promedio de arena muy gruesa (AMG), arena gruesa (AG), arena mediana (AM), arena fina (AF), arena muy fina (AMF) y limo-arcillas (L-A) encontrado en el sedimento del Golfo de San Miguel, Provincia de Darién, 18 – 21 de mayo de 2003.

ESTACION	AMG	AG	AM	AF	AMF	L-A
1	8,82	9,53	10,89	12,61	13,48	44,68
2	10,96	14,68	6,82	8,12	23,93	35,51
3	19,37	15,77	5,55	5,86	11,66	41,81
4	15,57	20,43	7,65	8,79	12,67	34,91
5	18,09	17,22	7,65	7,69	12,74	36,63
6	14,49	27,02	11,46	5,68	7,01	34,35
7	9,65	17,1	9,24	6,03	9,56	48,43
8	11,94	15,29	5,69	6,55	22,9	37,63
9	10,18	15,12	6,46	7,89	25,7	34,66
10	13,85	13,4	8,17	10,67	17,36	36,57
11	23,34	18,23	8,17	7,71	11,08	31,49
12	18,38	14,84	9,51	7,22	11,37	38,69
13	14,38	11,23	11,35	11,72	13,69	37,62
14	12,62	13,61	10,55	7,89	13,97	41,35
15	13,12	13,93	10,65	7,09	14,35	40,88
PROMEDIO	14	16	9	8	15	38

El porcentaje de materia orgánica en el Golfo de San Miguel dio un promedio de 47,1 %. Las estaciones con los valores más altos en el contenido de materia orgánica fueron la No. 8 (cercana a Taimati) y 2 (cercana a Punta Cascajosa y Berrugatera) con 66,05 y 57,85 por ciento, respectivamente. La estación No. 8 cercana a Taimati presenta la característica de que se forma un banco de arena durante la marea baja producto de la dinámica de las corrientes y efectos de la marea en la zona. Esta característica aunada a la posible descarga de materia

orgánica en forma natural y por las acciones antropogénicas del lugar puede ser la causa de el alto porcentaje registrado. Por otro lado, la estación No. 2 parece recibir los aportes de los manglares cercanos con el consiguiente efecto del aumento en la concentración de materia orgánica presente en la muestra. (Figura 5) Gómez *et al.* (2006) reportan porcentajes de materia orgánica entre 0.13 y 1.23% para estudios realizados en la Bahía de Panamá, valores típicos de sedimentos arenosos en ambientes hidrodinámicos y abiertos. Estos datos confirman las diferentes características que se aprecian en el Golfo de San Miguel, el cual presenta un sedimento más fino y en un entorno mucho mas cerrado.

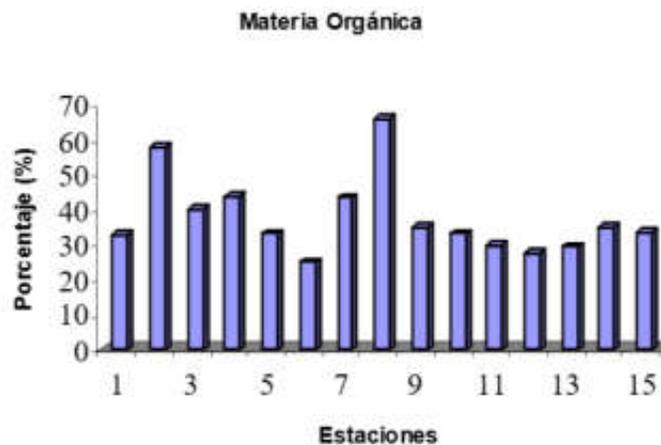


Fig. 5. Variación espacial del porcentaje de materia orgánica encontrada en las estaciones del Golfo de San Miguel, Provincia de Darién, 18 – 21 de mayo de 2003.

El análisis de agrupamiento de las estaciones de muestreo presenta dos grupos definidos. El primero comprende la estación 2 ubicada en Punta Berrugate (norte) y la estación 8 cerca al poblado de Taimati y la salida del Río Sambú (sur). El otro grupo esta conformado por el resto de las estaciones muestreadas, las cuales están diseminadas por todo el Golfo de San Miguel (Fig.6.) El análisis de agrupamiento de las variables físico químicas presenta dos grupos. El primero caracterizado por la salinidad, transparencia y la temperatura con un sedimento limo arcilloso y materia orgánica, mientras que en el segundo la sedimentología varia de arena muy fina a arena gruesa, oxígeno disuelto, unidades de pH y profundidad (Fig. 7). Si bien es cierto

que el análisis del agrupamiento de las estaciones presenta grupos definidos, parece indicar también que la mayor parte de las estaciones muestreadas presentan un comportamiento muy parecido. Por otro lado, el análisis de los parámetros físico químicos parece indicar una relación mas estrecha con la dinámica de las aguas al permitir la presencia de sedimento limo arcilloso que puede disminuir la transparencia del agua, la deposición de materia orgánica que puede afectar la temperatura y salinidad de las estaciones.

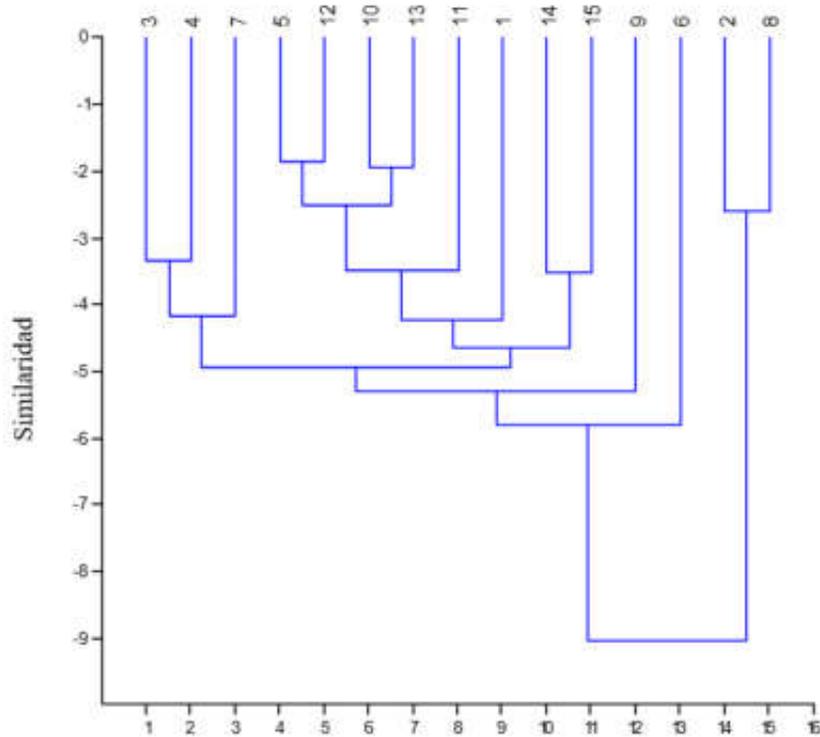


Fig. 6. Análisis de agrupamiento entre estaciones de muestreo.

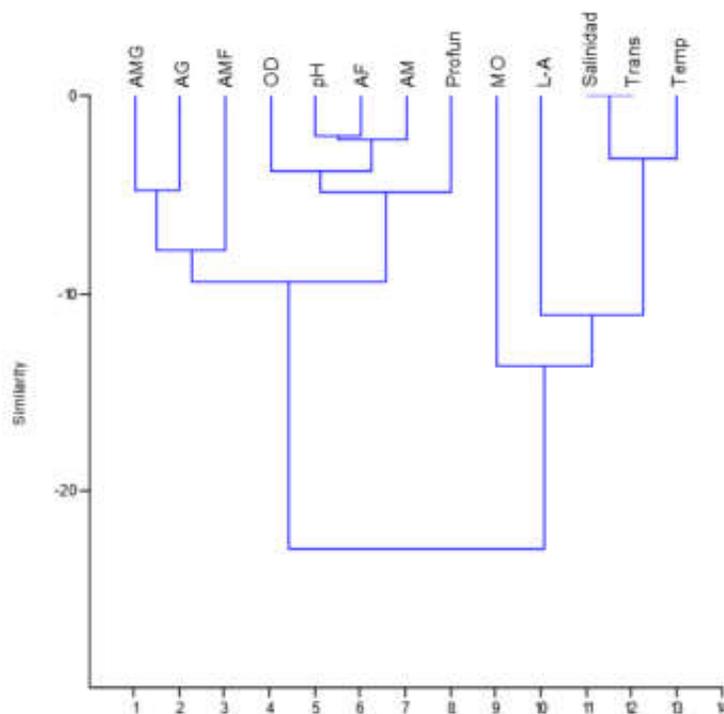


Fig. 7. Análisis de agrupamiento de variables físico químicas.

CONCLUSIONES

La temperatura del agua registrada para el Golfo de San Miguel osciló entre los 26,0 °C y 28,0 °C para toda la zona de estudio; valores que no están lejanos a los reportados para el Golfo de Panamá, aun con las diferencias inherentes a cada localidad. Las variaciones en la salinidad reflejan el aporte de la cuenca hidrográfica Tuira Chucunaque y el río Savana y la gran dinámica de las aguas que existe durante el cambio de marea.

Los valores obtenidos para el oxígeno disuelto tienden a aumentar a medida que se alejan las estaciones de las zonas de manglares, y del consiguiente aporte de material terrígeno y materia orgánica de estos últimos. El promedio registrado para las unidades de pH fue de 7.9, valor que se encuentra dentro de los rangos esperados y que nunca variaron más allá de lo establecido para el aguas marinas.

La transparencia presentó valores inferiores a un metro en la mayoría de las estaciones muestreadas a lo largo del Golfo de San Miguel, producto de la descarga de material terrígeno que aporta la cuenca hidrográfica Tuirá Chucunaque. La transparencia parece ser afectada por la descarga de sedimento a la cual se ve expuesta la zona, especialmente en zonas cercanas a manglares. La profundidad registró valores menores a 10 metros para casi todo el Golfo de San Miguel, sin embargo, las principales variaciones en este sentido se deben a los cambios de marea que sufre la zona.

En promedio, la materia orgánica representó el 47,1 %, mientras que la estación 2 (cercana a Punta Berrugatera al norte) y 8 (cercana a Taimati) presentaron los valores más altos con 66,05 y 57,85 por ciento, respectivamente. Estas dos estaciones están cercanas a zonas de manglares que pueden aportar grandes porcentajes de materia orgánica a las aguas. Las características del Golfo pueden ser la causa de que encontremos un promedio de materia orgánica mucho mayor del registrado en el Golfo de Panamá.

El análisis multivariado de los diferentes parámetros físico químicos aplicado a las quince estaciones colectadas a todo lo largo del Golfo de San Miguel indica un comportamiento muy similar en todas las estaciones muestreadas durante el estudio. Los factores físico químicos parecen indicar que son afectados directamente por la dinámica de corrientes y mareas que se reportan para la zona.

AGRADECIMIENTOS

Para la realización de un trabajo como este, en regiones tan apartadas, se tuvo que recurrir a solicitar ayuda, a una gran cantidad de personas, a las cuales les damos nuestro más sincero agradecimiento. Especial agradecimiento, al Centro de Ciencias del Mar y Limnología de la Facultad de Ciencias Naturales Exactas y Tecnología de la Universidad de Panamá, por el tiempo y facilidades, que permitieron el desarrollo del mismo. Finalmente al Prof. Jorge García, por su apoyo durante el trabajo de campo.

REFERENCIAS

ANCON. 1999. Monitoreo de las especies de camarones en el humedal Punta Patiño y áreas adyacentes, Provincia de Darién, República de Panamá. Reporte Final. Oficina de la Convención RAMSAR, Panamá, 152 p.

Averza C., A. 1984. Observaciones preliminares sobre la distribución de elasmobranquios, en las cuencas hidrográficas de los ríos Tuirá y Chucunaque, Provincia de Darién. Centro de Ciencias del Mar y Limnología, Facultad de Ciencias Naturales Exactas y Tecnología, Universidad de Panamá, pág. var.

Brugnoli, E. & A. Morales. 1999. Parámetros físico-químicos de la columna de agua, en la zona de Punta Morales, Golfo de Nicoya, durante un evento "El Niño". *Top. Meteor. Oceanogr.*, 6(2):52-57.

Fresi, E., M.C. Gambi, S. Focardi, R. Bargagli, F. Baldi & L. Falciaci. 1983. Benthic community and sediment types: A structural analysis. *Mar. Ecol.* 4:101-121.

Gray, J.S. 1974. Animal-sediment relationships. *Oceanogr. Mar. Biol. Ann. Rev.* 12:223-261.

Holme, N.A. & A.D. Mc Intyre. 1984. *Methods for the Study of Marine Benthos*. 2a ed. Blackwell Scientific Publications, London, 104 p.

Komar, P.D. 1976. *Beaches Processes and Sedimentation*. 2a ed. Prentice-Hall, Ind., Eaglewood Cliffs, New Jersey, 430 p.

Kwieceński, B., M. Acedo & A. Guillén. 1973. The organic-matter and trace element distribution of the sediments in the Gulf of Panama. *Stockholm* 95:381-393.

Kwieceński, B. & L. D' Croz. 1994. Oceanografía y calidad de agua. *Scientia (Panamá)* 8(2): 31-49.

McIlvaine, J.C. & D.A. Ross. 1973. Surface sediments of the Gulf of Panama. *Journal of Sedimentary Petrology* 43(1):215- 223.

McLanahan, T.R. 1988. Seasonality in East Africa's coastal water. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 44:191-199.

Reinek, H.E. & I.B. Singh. 1975. *Depositional Sedimentary Environments*. 2a ed. Springer- Verlag, Co., Berlin, 551 p.

Remane, A. 1933. Verticilung und organisation der benthonischen mikrofauna der Kieler Butch. *Wiss. Meeresusunters Kiel* 21:161-221.

Roldán, G. 1992. *Fundamentos de Limnología Neotropical*. 2a ed. Editorial. Universidad de Antioquia, Medellín, 529 p.

Swift, D.J.P. & R.G. Pirie. 1970. Fine sediment dispersal in the Gulf of Panama: A reconnaissance. *Journal. Marine Research* 28:69-95.

Vegas, V.M. 1971. *Introducción a la Ecología de bentos Marinos*. Universidad Nacional Agraria, Perú, 91 p.

Weston, D.P. 1988. Macrobenthos-sediment relationships in the continental shelf off Cape Hatteras, North Carolina. *Shelf Res.* 8(3):263-286.

Wieser, W. 1969. The effect of grain size on the distribution of small invertebrates inhabiting the beaches of Puget Sound. *Limnol. Oceanogr.* 4:181-194.

Recibido febrero de 2009, aceptado junio de 2009.



SISMICIDAD DE LAS TIERRAS ALTAS DE CHIRIQUI

E. Camacho Astigarrabia^{1,2}

¹ Instituto de Geociencias, Universidad de Panamá

² Instituto de Geofísica U.N.A.M Ciudad Universitaria, Coyoacan, México D.F.
04510

RESUMEN

En el siguiente trabajo se presentan las características principales de la sismotectónica en las tierras altas de Chiriquí, en base al análisis de sismos históricos y el catálogo sísmico de la Universidad de Panamá. Se concluye que la mayoría de la sismicidad de las tierras altas de Chiriquí se concentra cerca de la frontera con Costa Rica y va disminuyendo hasta ser casi inexistente al este del Cerro Hornito. Una parte importante de la sismicidad se observa al este del volcán Barú hasta los planes de Fortuna. La misma está asociada en gran parte a fallas locales de tipo transcurrente y rumbo NE-SW y NW-SE, pero existen algunas que son del tipo inverso. Cierta parte de la sismicidad y en especial los episodios de enjambres sísmicos pueden estar asociados al movimiento de fluidos en el volcán Barú.

PALABRAS CLAVES

Sismotectónica, sismicidad, enjambres, tierras altas de Chiriquí.

ABSTRACT

In the following work, the main features of the seismotectonic in the highlands of Chiriquí are shown, on the basis of analysis of historical earthquakes and the seismic catalog of the University of Panama. It is concluded that most of the seismicity in the highlands of Chiriquí is concentrated near the border with Costa Rica and decreases until being almost nonexistent east of Cerro Hornito. An important part of the seismicity is observed east of Barú volcano until the planes of Fortuna. It is largely associated to local faults of transcurrente type with NE-SW and NW-SE strike, but

there are some that are of the thrust type. Some of the seismicity and special episodes of seismic swarms may be associated with the movement of fluids in the Baru volcano.

KEYWORDS

Seismotectonic, seismicity, swarm, highlands of Chiriquí.

INTRODUCCIÓN

La estructura geológica y la historia tectónica del occidente de Panamá ha sido inferida principalmente a partir de estudios de geología marina y levantamientos geofísicos (Okaya & Ben Avraham, 1987; Heil, 1988; MacKay & Moore, 1990; Silver *et al.*, 1990; Moore & Sender, 1995; Cowan *et al.*, 1996), complementados por estudios geológicos en la península de Burica y la zona fronteriza con Costa Rica (Corrigan *et al.*, 1990; Coates *et al.*, 1992). La zona este del golfo de Chiriquí (Kolarsky & Mann, 1995) y análisis sobre la composición de las rocas ígneas que afloran a lo largo de la cordillera central (de Boer *et al.*, 1988; 1995). Otros estudios geológicos en tierra fueron realizados con fines de exploración de hidrocarburos (Terry, 1956; Ball Associates, 1958; Champlin oil, 1958). A pesar de todo esto muy poco se conoce sobre las fallas y la historia estructural de esta región del país.

Ambiente Tectónico

El occidente del Istmo de Panamá está ubicado dentro de una microplaca tectónica conocida como Microplaca de Panamá. La misma está rodeada por cuatro grandes placas tectónicas: la Placa Caribe, al norte y noroeste; la Placa de Nazca, al sur; la Placa del Coco, al suroeste y la Placa Suramericana, al este. El límite norte está conformado por el Cinturón Deformado del Norte de Panamá (Bowin, 1976; Case *et al.*, 1971; Bowland, 1984; Stephan *et al.*, 1988; Silver *et al.*, 1990). El límite occidental lo conforma una zona de falla sinistral que atraviesa el valle central de Costa Rica, extendiéndose desde el Cinturón Deformado del Norte de Panamá hasta el Pacífico. El límite sur lo forman dos zonas de convergencia, el Cinturón Deformado del Sur de Panamá (Hardy *et al.*, 1990; Kolarsky, 1992). El límite oriental de la Microplaca de Panamá no está muy bien definido ya que la zona del Darién y el Atrato, denominada el Cinturón Deformado del Este de Panamá (Case & Holcombe, 1980; Kolarsky, 1992) o zona de sutura Panamá-Suramérica (Vergara, 1988), es una zona de deformación difusa.

Este límite generalmente se sitúa en el borde oriental de la cuenca del río Atrato (Case *et al.*, 1971; Pindell & Dewey, 1982).

En la Figura 1, se muestra un mapa con las principales estructuras sismo-tectónicas del Occidente de Panamá. En la Figura 2, se muestra la sismicidad ocurrida en el Istmo de Panamá, con $M_w > 5,0$ desde el año 1962; obsérvese cómo la sismicidad delimita claramente los límites de la Microplaca de Panamá.

En Chiriquí, la placa de Nazca subduce a una tasa de 72 mm/a (Kellogg *et al.*, 1995). Este movimiento de placas causado por la extensión del fondo marino en el océano Pacífico, es acompañado por sismos, fallamiento activo y subducción bajo la microplaca de Panamá (Wolters, 1986; Adamek *et al.*, 1988; Silver *et al.*, 1990; Cowan *et al.*, 1996; Morell *et al.*, 2008).

La Zona de Fractura de Panamá, es una de las fuentes sísmica más activa de América Central y se extiende bajo el piso oceánico en sentido norte sur, sirviendo de límite entre las placas del Coco, al oeste y la de Nazca, al este. En la misma han ocurrido algunos de los sismos más grandes de Panamá en tiempos históricos: 1879 y 1934.

El sismo más grande que afectó esta zona ocurrió el 18 de julio de 1934 ($M_w 7.4$) y se originó en el Golfo de Chiriquí, en la Zona de Fractura de Panamá.

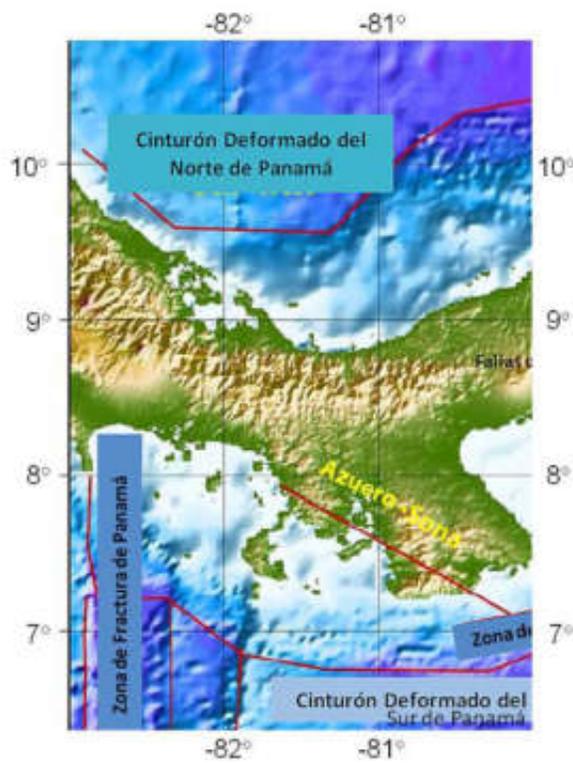


Fig. 1. Mapa sismotectónico del Istmo de Panamá.

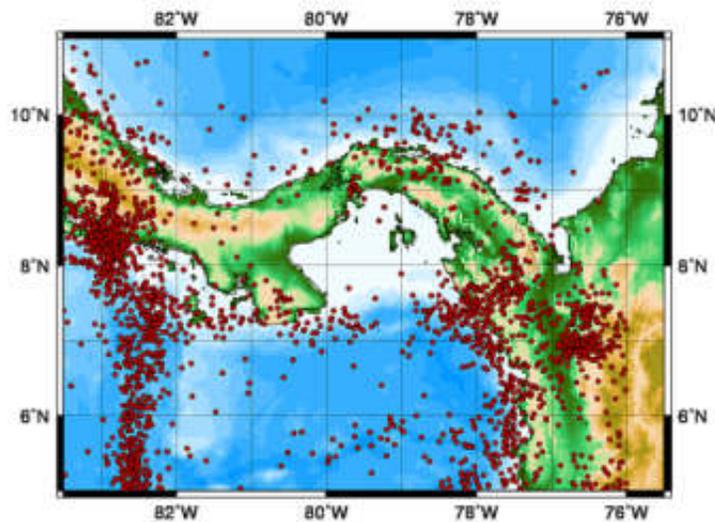


Fig. 2. Sismicidad ocurrida en el Istmo de Panamá y alrededores desde 1962 con $M > 4.5$ (ANSS, 2008).

El Arco Volcánico de Chiriquí

El arco volcánico de Chiriquí se extiende a lo largo del eje de la Cordillera Central, desde el complejo volcánico Colorado-Tisingal, muy cerca de la frontera con Costa Rica, hasta el Cerro Santiago en la frontera con la Provincia de Veraguas, reflejando la subducción activa existente en el suroeste de Panamá desde los últimos 60 Ma (de Boer *et al.*, 1988, 1995). El Barú, que es un estrato volcán, es el centro volcánico más activo del occidente de Panamá, alcanzando una altura de 3474 m.

Las tierras altas de Chiriquí, que son parte del arco volcánico, están ubicadas en la parte sur de la cordillera central, y están constituida por series litológicas de origen volcánico, donde predominan rocas andesíticas, basálticas y piroclásticas (aglomerados y tobas). En algunas zonas como son Cerro Huacal, Cerro Pinola y Cerro Prieto, se puede observar la presencia de rocas volcánicas intrusivas: granodiorita, pertenecientes al Batolito de Caldera. Las principales coladas andesíticas están separadas por niveles de material tobácico fino y de poca resistencia. Superpuestas a las coladas andesíticas se encuentran los aglomerados volcánicos.

La estratigrafía de los complejos volcánicos e intrusivos de las tierras altas de Chiriquí no es bien conocida. Varias unidades fueron objeto de reconocimientos en el pasado por misiones de la Naciones Unidas, principalmente con fines de prospección minera y geotérmica. Estas secuencias muestran transiciones desde sedimentación vulcanoclástica marina, hasta andesitas subaéreas (Formación Cañazas) y ignimbritas (Formación La Yeguada), sobre la cual descansan basaltos de edad muy reciente. Como testimonio de estos procesos gran parte de la porción occidental y central de Panamá esta cubierta por flujos volcánicos y productos explosivos de Edad Cretácico tardío y Paleógeno temprano con abundantes intrusiones intra volcánicas y sub volcánicas penecontemporáneas de composición intermedia. Estos complejos están cubiertos en muchas áreas por una extensa unidad de lavas y piroclásticos de edad más reciente (Mioceno) acompañados por grandes intrusiones de batolitos y diques ácidos con afinidad calcoalcalina bien expresada.

Al este de la población de Boquete, se encuentra el anticlinal de Fortuna, el cual parece haberse originado por la intrusión del Batolito de Caldera. El fallamiento predominante en esta región se caracteriza por la existencia de fallas y fracturas de rumbo NE-SW y NW.-SE con desplazamientos dextrales o sinistralas, que separan a bloques o macizos (Fig. 3).

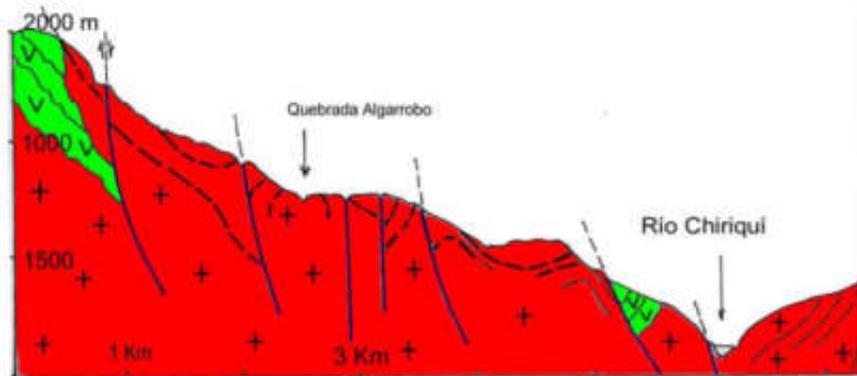


Fig. 3. Esquema que indica el tipo de fallamiento característico de las tierras altas de Chiriquí.

Sismicidad

Al igual que en el arco volcánico de los otros países de Centroamérica, en la tierras altas de Chiriquí, suelen ocurrir sismos superficiales con magnitudes tan pequeñas como M_w 5.7, que llegan a alcanzar intensidades de hasta VIII MM a pocos kilómetros del epicentro, mientras que los sismos que se originan mar afuera en la zona de subducción con magnitudes menores a M_w 7.0 no producen intensidades mayores a VI MM, en tierra firme. (White & Harlow, 1993).

Estudios de mecanismos focales de microsismos en las tierras altas del occidente de Panamá (Cowan *et al.*, 1996; Camacho *et al.*, 2008), indican la existencia de fallamiento transcurrente con planos nodales muy pronunciados, con rumbo ENE-WSW y corrimiento lateral izquierdo o rumbo NW-SE y corrimiento lateral derecho, similares a los de las fallas de la cadena volcánica de El Salvador y el centro de Costa Rica.

Alrededor del Volcán Barú, se han reportado desde 1930 episodios de enjambres sísmicos aproximadamente cada 30 años, que duran de 4 a 6 semanas, con magnitudes que no superan los $4.5M_w$ y mecanismos focales predominantemente transcurrentes. El último episodio importante de este tipo ocurrió en mayo de 2006. El mismo causó gran alarma en la población.

A continuación presentamos un recuento histórico de los enjambres más importantes ocurridos en las tierras altas de Chiriquí:

El 10 de septiembre de 1930, ocurrieron una serie de sismos en las tierras altas de Chiriquí, acompañados por ruidos que fueron sentidos notablemente por la población de Boquete. De esta serie 5 sismos fueron sentidos como fuertes (New York Times, 1930).

En los meses de junio, julio y agosto de 1963 se registraron cientos de sismos en las tierras altas de Chiriquí, acompañados nuevamente por ruidos y estruendos. El sismo principal ocurrió el 8 de agosto de 1963 con una magnitud de 4.4. Los daños más graves se registraron en Cerro Punta y se alcanzaron intensidades de hasta V MM afectando un total de 28 viviendas (Torre, 1963).

El 28 de noviembre de 1985, se inició una secuencia de sismos que se extendió por varios días, afectando principalmente algunas construcciones del campamento en Los Planes de Hornito, Gualaca, Provincia de Chiriquí. Según La Estrella de Panamá afectaron 13 viviendas. Las intensidades máximas observadas fueron de IV MM (Crítica, 1985).

El 4 de mayo a las 12:43 de la tarde, se inició la actual secuencia de sismos con un evento de magnitud 4.5, localizado a los 8.733° N, 82.484° O con 1 km de profundidad y a 9 km al suroeste de Alto Jaramillo. Este evento principal fue sentido con intensidades de hasta V MM en el valle de Boquete.

Un estudio reciente (Camacho *et al.*, 2008) sugiere que parte de esta sismicidad, en la zona adyacente al volcán Barú puede estar asociada con la migración de fluidos en el aparato volcánico.

Un mapa con la distribución espacial de sismos, registrados por la red sísmica de la Universidad de Panamá, del año 2000 al 2008, aparece en la Figura 4. Así mismo en la Tabla 1 se muestran los sismos más importantes registrados en las tierras altas de Chiriquí en los últimos 25 años y en la Figura 4 aparecen mecanismos focales típicos de las tierras altas de Chiriquí.

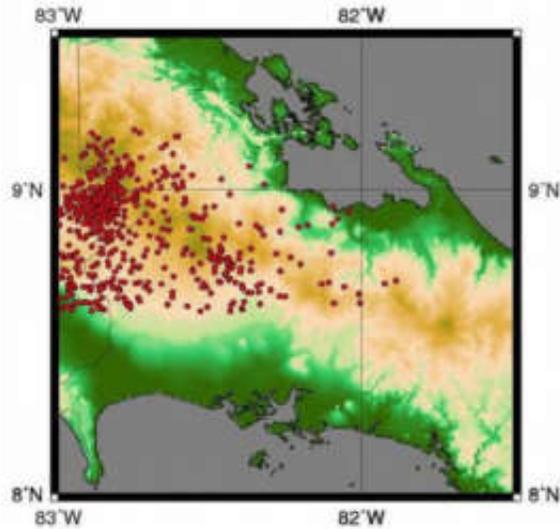


Fig. 4. Sismicidad en las tierras altas de Chiriquí.

Tabla 1. Mecanismos focales de sismos principales ocurridos en las tierras altas de Chiriquí.

Año	Mes	Día	Hora	Lat °N	Lon°W	Profu.	Mw	strike	dip	rake
1985	11	28	0734	8.643	82.398	16.2	4.2	308	90	30
1985	11	28	0840	8.732	82.380	10.0	4.1	144	71	07
1986	12	08	2100	8.787	82.330	2.6	4.2	164	60	-28
1995	03	08	0449	8.744	82.423	6.4	4.1	188	77	164
2006	05	04	1743	8.717	82.493	0.5	4.2	60	60	-35

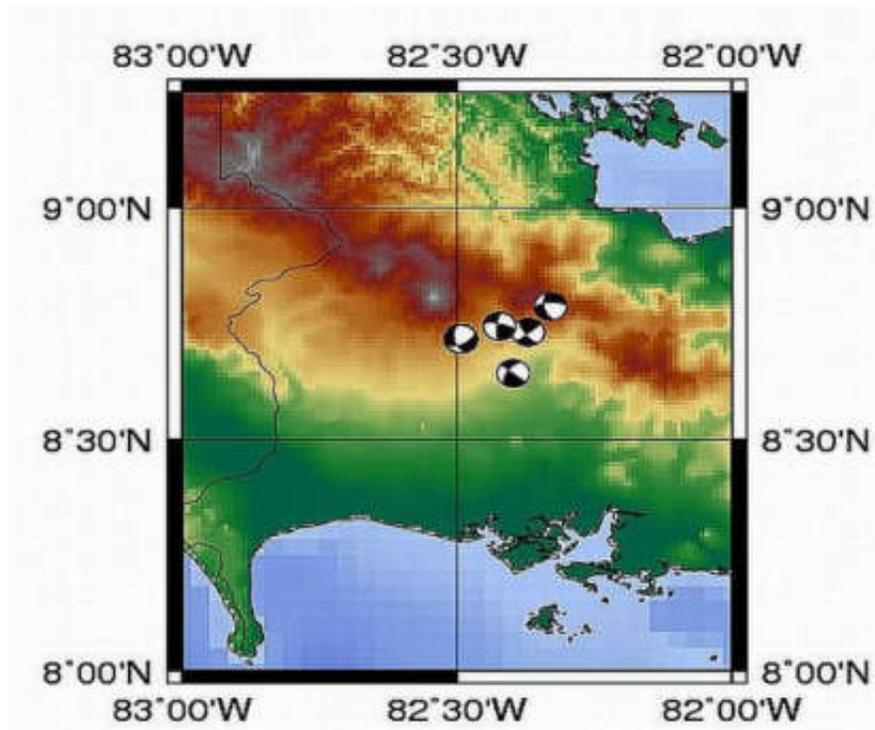


Fig. 5. Mecanismos focales de sismos en las tierras altas de Chiriquí.

CONCLUSIONES

Las tierras altas de Chiriquí son el resultado de la subducción al suroeste del Istmo de Panamá. Esta es una región que ha sido moldeada por la interacción de las placas tectónicas de Nazca, el Coco con la microplaca de Panamá importante alrededor del punto triple de Panamá; originando un vulcanismo y fallamiento activo importante. En esta región en la que predominan las fallas de rumbo y las inversas en el pie de montaña.

A pesar que la actividad sísmica en esta zona es relativamente baja se dan periódicamente sismos y secuencias de sismos que logran alcanzar intensidades de hasta VII MM, por lo cual es importante que la misma sea monitoreada mediante el establecimiento de redes sísmicas y

geodésicas que ayudaran a comprender mejor su sismotectónica y contribuirán a mitigar los efectos de un sismo fuerte futuro.

Debido al rápido crecimiento urbano de la población de Boquete es necesario realizar una microzonificación sísmica, tal como se hizo para la Ciudad de David, para determinar mejor las zonas de efectos locales de sitio, vulnerabilidad de las estructuras y los riesgos a los cuales esta expuesta la población del Distrito.

Se debe hacer cumplir de manera estricta lo indicado por el REP-2004 (Reglamento Estructural Panameño, año 2004) en sus Capitulo IV (carga sísmica) y V (geotecnia).

Se deben fortalecer las acciones de educación a la población del Distrito de Boquete sobre el tema de riesgos a los cuales está expuesta y las medidas que esta debe tomar para minimizarlos.

REFERENCIAS

Adamek, S., C. Frohlich & W.D. Pennington. (1988). Seismicity of the Caribbean boundary: Constraints on microplate tectonics of the Panama region. *J. Geophys. Res.* 93, 2053-2075.

Camacho, E., D. Novelo-Casanova, A. Tapia & A. Rodriguez (2008). Seismicity at Baru Volcano, Western Panama, Panama., *EOS Trans. AGU* 89 (53), *Fall Meet. Suppl., Abstract* V51C-2051.

Cowan, H.A. L. Sánchez, E. Camacho, J. Palacios, A. Tapia, D. Irving, D. Esquivel & C. Lindholm. (1996). Seismicity and tectonics of Western Panama from new portable seismic array data, *Final Report to the Research Council of Norway, NTNf-NORSAR*, Kjeller, Norway. 23pp.

Critica (1985). Diario del 2 de diciembre.

de Boer, J.Z., M.J. Defant, R.H. Stewart & H. Bellon. (1991). Evidence for active subduction below western Panama. *Geology* 19 (1991), pp.649–652.

de Boer, J.Z., M.J. Defant, R.H. Stewart, J.F. Restrepo, L.F. Clark & A.H. Ramirez (1988). Quaternary calc-alkaline volcanism in western Panama; regional variation and implication for the plate tectonic framework, *J. South Am. Earth Sci.* **1**, 275–293.

Heil, D. & E. Silver (1987). Forearc uplift south of Panama. A result of transform ridge subduction. *Geol. Soc. Am. Abstracts Prog.*, **19**, 698. Kolarski, R.A. and P. Mann (1990).

Kolarski, R.A. & P. Mann (1990). Combined effects of active underthrusting and strike slip on forearc structure: Pacific margin of southwest Panama. *EOS* **71**, 1593.

Kolarski, R.A. & P. Mann. (1990). Combined effects of active underthrusting and strike slip on forearc structure: Pacific margin of southwest Panama. *EOS* **71**, 1593.

McKay, M. & G.F. Moore. (1990). Variation in deformation of the south Panama accretionary prism: Response to oblique subduction and trench sediment variations. *Tectonics*, **9**, 683-698.

Moore, G., D., Kellog, E., Silver, J., Tagudin, D., Heil, T., Shipley & D., Hussong. (1985). Structure of the south Panama continental margin: A zone of oblique convergence, *EOS* **44**, 1087.

Morell, K. D., D. Fisher & T. Gardner. (2008). Inner forearc response to subduction of the Panama Fracture Zone, southern Central America, *Earth and Planetary Science Letters* **265**, 82-95.

New York Times (1930). Diario del 11 de septiembre.

Silver, E., A., D., L., Reed, J., L., Tagudin & D., L., Heil. (1990). Implications of the North and South Panama Thrust Belts for the origin of the Panama Orocline, *Tectonics* **9**, 261-281.

Torre, F. (1963). Carta del geólogo del Ministerio de Agricultura, Comercio e Industrial al Jefe de Hidrografía del Canal de Panamá.

White, R.A., & D. Harlow. (1993), Destructive upper crustal earthquake in Central America since 1900, *Bull. Seism. Soc. Am.* 83, 1115-1142.

Recibido febrero de 2009, aceptado junio de 2009.