

## EDITORIAL

En septiembre de 1989 que salió a la luz el primer número de la revista Dugandia. La publicación consistía en un boletín del departamento de Biología de la Universidad del Atlántico, cuyo nombre rendía homenaje al eminente naturalista barranquillero Armando Dugand Gnecco, quien fuera un hombre de ciencia de talla mundial, versado en campos como la botánica, la ecología vegetal, la ornitología, entre otras áreas del saber.

Los trabajos publicados en esta revista hacían parte del quehacer investigativo y de ensayos escritos por estudiantes y docentes vinculados al departamento de Biología de la Universidad del Atlántico y a otras instituciones de educación superior de esta ciudad. A lo largo de las publicaciones, las principales áreas temáticas tratadas fueron la genética, la biología molecular, la biotecnología, los recursos hídricos, la biogeografía y la ictiología.

Luego de sólo tres ediciones más, en marzo de 1994 circuló el último número de esta publicación, que coincidió con el nacimiento de la Facultad de Ciencias Básicas y del programa de Biología de esta Alma Mater. Este quinto volumen, al igual que los anteriores, condensó trabajos investigativos del personal docente de Biología; no obstante, puede apreciarse en esta última edición un carácter mucho más serio, maduro y una notable evolución en cuanto a la calidad y al tratamiento de los contenidos de los artículos.

Hoy, luego de 11 años de espera, reaparece nuevamente la revista Dugandia, ahora como una publicación de la Facultad de Ciencias Básicas, que incluye no sólo al Departamento de Biología, sino también a los Departamentos de Matemáticas, Física y Química. El relanzamiento de esta revista subyace en el fuerte compromiso que tiene la Facultad de Ciencias frente a la Universidad, a los ámbitos local, regional, nacional e internacional, en cuanto a la difusión de la producción investigativa que generan los docentes, tesis y profesionales vinculados a la facultad, con miras al progreso y desarrollo de las ciencias básicas en todas las esferas de impacto.

Finalmente, se espera que esta publicación cumpla con los estándares para ser considerada como especializada en disciplinas de las Ciencias Básicas. Lo que se publica en el presente número es fundamentalmente los resultados de investigaciones que realizan los grupos adscritos a las unidades académicas de nuestra facultad y también de los trabajos de grado de nuestros programas de pregrado y posgrado.

La reaparición de **DUGANDIA** coincide con la celebración del Año Mundial de la Física, declarado así por las Naciones Unidas a petición de la UNESCO, en conmemoración de los 100 años de los artículos legendarios con los cuales Albert Einstein cambió nuestra visión del universo. En 1905 y en un periodo de 4 meses Einstein publicó sus trabajos sobre Movimiento Browniano, Teoría Cuántica y Relatividad Especial.

Por otra parte, la Universidad del Atlántico a través de su Departamento de Física y la Sociedad Colombina de Física organizan para el mes de octubre el **XXI Congreso Nacional de Física**, donde los físicos colombianos presentan

los resultados de las investigaciones realizadas en los últimos dos años en esta disciplina de las Ciencias Básicas.

Presentamos a la comunidad científica regional y nacional este número de la revista **DUGANDIA** donde se difunde nuestra producción, para así seguir avanzando en busca de una excelecia académica en la Universidad del Atlántico.

**Comité Editorial.**

## ESTUDIOS DE SIMULACION EN COMPUTADORA DE FENOMENOS DINAMICOS EN FERROMAGNETICOS NANOMETRICOS

Emeldo R. Caballero<sup>1</sup>, Rafael A. Ramos<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Departamento de Física, Universidad del Atlántico, Km 7 antigua vía a Puerto Colombia, A.A. 1890, Barranquilla, Colombia

<sup>2</sup>Departamento de Física, Universidad de Puerto Rico, Mayagüez, Puerto Rico

<sup>1</sup>emeldocaballero@hotmail.com

<sup>2</sup>ramos@feynman.uprm.edu

**Resumen.** Estudiamos el comportamiento de inversión de la magnetización de partículas nanométricas magnéticas con impurezas no magnéticas. El modelo usado en nuestro estudio es el modelo de Ising ferromagnético cinético con condiciones de frontera periódicas. La dinámica se simuló por medio de actualizaciones aleatorias usando la dinámica de Glauber del método de Monte Carlo. Nos concentramos en dos magnitudes: el tiempo de vida promedio  $\tau$ , eso es, el tiempo que le toma alcanzar magnetización cero, y las probabilidades  $P(t)$  y  $P(H)$  de que una partícula magnética no haya invertido su magnetización para un sistema de tamaño y campo fijo y para un sistema de tamaño y tiempo de observación fijo, respectivamente. También estudiamos el campo de inversión  $H_{sw}$  como función del tamaño del sistema para un tiempo de observación dado.

**Palabras Claves:** Nanopartículas, Ising ferromagnético cinético, Monte Carlo (MC), Inversión de la magnetización.

**Abstract.** We study the switching behavior of magnetic nanoparticles with non magnetic impurities. The model used in our study is a square-lattice nearest-neighbor kinetic Ising ferromagnet with periodic boundary conditions. The dynamics is simulated through random updates using Glauber single-spin-flip Monte Carlo dynamic. We concentrate on two quantities: the lifetime  $\tau$ , that is, the time it takes to reach magnetization zero, and the probabilities  $P(t)$  and  $P(H)$  that a magnetic particle has not switched for a fixed system size and field and for a fixed system size and waiting time, respectively. We also study the switching field  $H_{sw}$  as a function of system size for a given waiting time.

**Key- Words:** Nanoparticles, Kinetic Ising Ferromagnet, Monte Carlo (MC), Magnetization Switching.

## 1. Introducción

En el presente trabajo se presentan los resultados obtenidos con el desarrollo de simulaciones en computadora del fenómeno de inversión de la magnetización en partículas ferromagnéticas nanométricas para un sistema con alto grado de anisotropía. El modelo de Ising explica cualitativamente el comportamiento de

algunas cantidades observables experimentalmente [1]. Sin embargo, para obtener resultados más reales se adicionaron algunos efectos que asemejan impurezas no magnéticas para el modelo estudiado.

## 2. Modelo y Método de Simulación

Las propiedades macroscópicas de un sistema están determinadas por la naturaleza de los microestados accesibles. Ahora, es necesario saber la dependencia de la energía de una configuración de espines. Para un sistema ferromagnético con anisotropía uniaxial fuerte, la energía de un microestado en el modelo de Ising está representada por el hamiltoniano

$$E = -J \sum_{i,j=nn(i)}^N S_i S_j - H \sum_{i=1}^N S_i \quad (1)$$

donde el espín  $S_i$  en la posición  $i$  de la red puede estar dirigido hacia arriba (“up”) o hacia abajo (“down”), a lo largo de un eje de acceso (“easy axis”) [2],  $J$  es la constante de acoplamiento que para un ferromagnético es mayor a cero,

$J > 0$  y  $H$  es el campo magnético externo. Las sumas  $\sum_{i,j=nn(i)}^N$  y  $\sum_{i=1}^N$  recorren todos los pares de vecinos cercanos y todas las celdas de una red cuadrada de dimensión lineal  $L$ , respectivamente. El término  $-H \sum_{i=1}^N S_i$  describe la energía de Zeeman del sistema. La temperatura del sistema se fijó en  $T = 0,8T_c$ .

Si se conoce el hamiltoniano que caracteriza un sistema, entonces se puede calcular algunas cantidades termodinámicas que vienen a ser promedios de cantidades medibles como la magnetización  $M$  y la energía  $E$  como función de la temperatura  $T$ .

El promedio térmico de la magnetización es  $\langle M \rangle = \sum_C p(C) M(C)$  donde

$M(C)$  es la magnetización de la configuración  $C$ , durante las simulaciones, se computó la magnetización por espín como  $M(C) = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N S_i$ ,  $p(C) = \frac{1}{Z} e^{-\beta E_C}$

es la distribución de probabilidad para la configuración en el colectivo canónico como función de  $N, V, T$ . La suma se hace sobre todas las configuraciones posibles.  $E_C$  es la energía de cada configuración, el factor  $\beta$  es igual a  $\frac{1}{k_b T}$ , donde  $k_b$  es la constante de Boltzmann y  $T$  la temperatura.

Ahora,  $Z(N, V, T) = \sum_C e^{-\frac{E(C)}{k_b T}}$  es llamada la función de partición, la cual es

una cantidad fundamental en Mecánica Estadística. Todas las cantidades de interés pueden ser extraídas de  $Z(N, V, T)$ , puesto que la fórmula para  $Z(N, V, T)$  implica una solución exacta del modelo.

Otra cantidad física de interés, corresponde al promedio térmico de la energía del sistema  $\langle E \rangle$ , la cual puede ser expresada como

$$\langle E \rangle = \sum_C E_C P(C) = \frac{1}{Z} \sum_C E_C e^{-\beta E_C} \quad (2)$$

Es de notar que la energía no es constante para un sistema en el colectivo canónico.

Para estudiar el comportamiento dinámico de una partícula ferromagnética con impurezas no magnéticas se preparó el sistema en una configuración con todos los espines hacia arriba ( $S_i = \pm 1$ ), y luego se crearon impurezas no magnéticas seleccionando espines al azar e igualando  $S_i = 0$ . Se consideró sistemas de dimensión lineal  $L = 10, 20, 30, 70, 130$  y  $260$  concentraciones de impurezas igual a  $\rho = 0,05, 0,10, 0,15, 0,20$ . Calculamos algunas cantidades relevantes al problema de inversión de la magnetización, en particular el tiempo de vida promedio  $\tau$  (“lifetime”), el campo de inversión  $H_{sw}$  (“Switching field”), la probabilidad de que el sistema no ha invertido su magnetización como función del tiempo  $P(t)$  y del campo magnético  $P(H)$ , respectivamente.

### 3. Análisis y Discusión de los Resultados

#### 3.1. Tiempo de Vida Promedio

Para calcular el tiempo de vida promedio,  $\tau$ , calculamos la magnetización en cada paso de Monte Carlo por espín (MCSS) y medimos el tiempo que toma para alcanzar una magnetización menor que cero. El tiempo de vida promedio se obtiene calculando el promedio de  $\tau$  en 100 simulaciones independientes.

El tiempo de vida promedio  $\tau$  como función del campo magnético externo  $H$  para los tamaños  $L = 30$  y  $L = 260$ , y para concentraciones de impurezas, que van desde  $\rho = 0,00$  hasta  $\rho = 0,20$  en saltos de  $0,05$  disminuye cuando la concentración de impurezas aumenta indicando una aceleración en el decaimiento de la fase metaestable [3], [4], [5]. También fue observado que  $\tau$  en función de la concentración de impurezas  $\rho$  para  $L = 30$ ,  $L = 260$  con  $H = -0,10$  y  $-0,20$ , respectivamente, disminuye con el aumento en la concentración de impurezas.

La inversión de la magnetización en una partícula se realiza a través de diferentes tipos de decaimiento desde la fase metaestable. Las figuras 1 y 2 muestran núcleo síntesis y crecimiento en una simulación típica, la evolución temporal de la configuración de espines de una partícula ferromagnética durante su decaimiento, en la región de una gota y multigota, respectivamente. El crecimiento de una o muchas gotas y el eventual solapamiento de estas es la causa que produce la inversión de la magnetización en cada una de las regiones estudiadas.

#### 3.2. Dinámica Espinodal

El campo magnético espinodal dinámico  $H_{DSP}$ , divide las diferentes regiones estocásticas y deterministas, y sus respectivas subregiones. Se calcula a partir

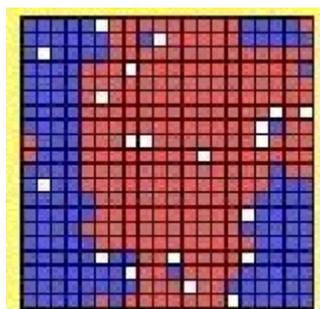


Figura 1: *Decaimiento de una fase metaestable para un sistema  $L \times L = 20 \times 20$ ,  $\rho = 0,05$ ,  $H = -0,10$  en el régimen de una sola gota.*

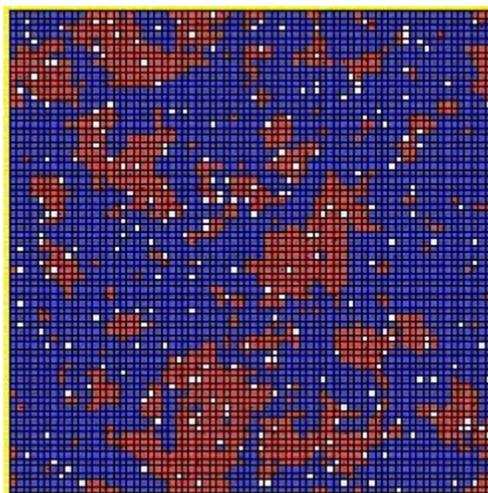


Figura 2: *Decaimiento en el régimen multigotas, un sistema  $L \times L = 70 \times 70$ ,  $\rho = 0,05$  y  $H = -0,10$ .*

de la desviación estándar relativa  $r = \frac{\sigma_r}{\tau}$ , y tomamos  $H_{DSP}$  como el campo  $H_{\frac{1}{2}}$  para el cual  $r = 0,5$ .

### 3.3. Termodinámica Espinodal

El campo magnético que divide la regiones de coexistencia y de una gota se conoce como el campo espinodal termodinámico  $H_{ThSp}$  [6] [7]. En la región de coexistencia la partícula magnética decae por medio de fluctuaciones subcríticas. Es este hecho el que permite estimar  $H_{ThSp}$ , el cual matemáticamente se expresa mediante la condición  $2R_c = L - 1$ , la cual resulta en

$$H_{ThSp} = \frac{\sigma_{\infty}(T)}{(L - 1) m_{sp}} \quad (3)$$

Nuestras simulaciones indican que a medida que aumenta la concentración de impurezas  $H_{ThSp}$  se mueve a campos mayores. Lo cual significa que la región de coexistencia se expande cuando introducimos impurezas en la partícula magnética.

### 3.4. Probabilidad de Inversión

Esta magnitud, medible experimentalmente usando microscopias de fuerza magnética (MFM), permite obtener información sobre el modo de decaimiento, ya que su forma funcional depende frecuentemente de la región en la que ocurra la inversión de la magnetización. La probabilidad,  $P(m > 0)$ , como función del tiempo  $t$  en la región de una gota se ajusta con la ecuación

$$P(m > 0) = \exp \left[ \frac{-t}{\tau(L, H, T)} \right] \quad (4)$$

se observa que la teoría describe la data muy bien para cero concentración de impurezas o concentración de impurezas muy bajas, e.g., impurezas  $\rho = 0,00$  y  $\rho = 0,05$ . Sin embargo, para concentraciones de impurezas desde  $\rho = 0,10$  hasta  $\rho = 0,20$  la data no se ajusta bien a la forma funcional de  $P(m > 0)$  que predice la teoría de gotas. Por otro lado, al calcular  $P(m > 0)$  como función del tiempo en la región multigotas y realizar el ajuste de la data con la ecuación

$$P(m > 0) \approx 1 - \frac{1}{2} \left[ 1 + \operatorname{erf} \left( \frac{t - \tau}{L^{-1} \Delta_t} \right) \right] = \frac{1}{2} \operatorname{erf} c \left( \frac{t - \tau}{L^{-1} \Delta_t} \right) \quad (5)$$

se deduce que la teoría se ajusta extremadamente bien para el rango de impurezas consideradas.

La probabilidad,  $P(m > 0)$  como función del campo magnético  $H$  en la región de una gota se determina por la ecuación (4). Esta ecuación depende a su vez de un ajuste a la ecuación

$$I(T, H) \approx B(T) |H|^3 \exp \left\{ - |H|^{-1} [\Xi_0(T) + \Xi_1(T) H^2] \right\} \quad (6)$$

en la cual se determinaron los parámetros  $B(T)$  y  $\Xi_1(T)$  [8][9]. Se verifica que al igual que en el caso de las probabilidades como función del tiempo, la data no se ajusta muy bien a la forma funcional para  $P(m > 0)$  que predice la teoría de las gotas.

En  $P(m > 0)$  como función del campo magnético  $H$  en la región multigotas para  $L = 30$  y  $70$ , La data se ajusta a la ecuación

$$P(m > 0)|_t \approx 1 - \frac{1}{2} \left[ 1 + \operatorname{erf} \left( \frac{H - H_{sw}}{L^{-1} \Delta_H} \right) \right] = \frac{1}{2} \operatorname{erf} c \left( \frac{H - H_{sw}}{L^{-1} \Delta_H} \right) \quad (7)$$

Al igual que en el caso de  $P(m > 0)$  en función del tiempo, la teoría se ajusta extremadamente bien para el rango de impurezas que se consideraron. Indicando que la forma funcional para  $P(m > 0)$  que predice la teoría de gotas describe muy bien los resultados de las simulaciones.

### 3.5. Campo de Inversión

La figura 3 ilustra el campo de inversión para dos concentraciones, eso es, para el caso puro y un caso con concentración de impurezas no magnéticas,  $\rho = 0,00$  y  $\rho = 0,05$ , respectivamente. Se observa que el máximo del campo de inversión se mueve hacia campos más pequeños y tamaños más grandes. La forma general del campo de inversión a la concentración de impurezas considerada permanece similar a la que tiene cuando no tiene impurezas.

## 4. Conclusión

Nuestros resultados indican que mientras la concentración de impurezas no magnéticas sea pequeña la dinámica se describe bien por la teoría de las gotas de núcleo síntesis como en el caso puro (sin impurezas no magnéticas). Se deduce que al invertir la magnetización de una partícula magnética esta procede a través de diferentes modos de decaimiento como en el caso puro. Hay una región estocástica y una región determinista separadas por un campo llamado espinodal dinámico  $H_{DSP}$  el cual disminuye cuando la concentración de impurezas aumenta. La región estocástica esta comprendida de la región de coexistencia y la región de una gota separadas por un campo llamado espinodal termodinámico  $H_{THSP}$ , el cual aumenta al aumentar el grado de impurezas en la partícula, sugiriendo un estrechamiento de la región de una gota. El estrechamiento de la región de una gota resulta en la invalidez de las formas funcionales  $P(t)$  y  $P(H)$  basadas en la teoría de una gota de núcleo síntesis para explicar los resultados de la simulación en esta región aún para concentraciones pequeñas. Por ultimo, el proceso de decaimiento en cada una de las regiones, región estocástica y región determinista al igual que sus respectivas subregiones, depende del tamaño del sistema  $L$ , la temperatura  $T$  y el campo magnético aplicado  $H$

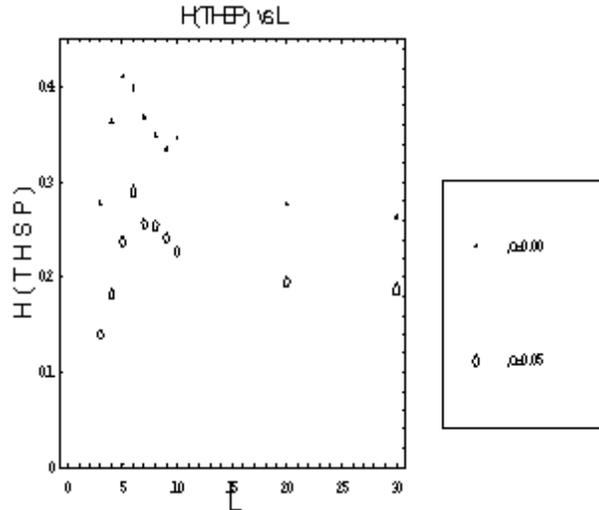


Figura 3: Campo espinodal dinámico  $H_{sw}$  vs  $L$ , el valor máximo en la gráfica representa el campo termodinámico espinodal, Aquí  $H_{sw} \approx H_{THSP}$  para sistemas con  $\rho = 0,00$  y  $\rho = 0,05$ .

## Referencias

- [1] Gould, H., and Chnik, J. 1996 An Introduction to Computer Simulation Methods, Applications to Physical Systems, Addison-Wesley Publishing, Company, New York, N.Y., pp.550, 1996.
- [2] Binder, K., and Heermann, D.W. 1992. Monte Carlo Simulation in Statistical Physics, Spinger-Verlag, New York, Berlin Heidelberg, pp.5, 1992.
- [3] Penrose, O., and Lebowitz, J.L. J. Stat. Physics. 3, (1971), 211.
- [4] Penrose, O., and Lebowitz, J.L., in Fluctuation Phenomena, edited by E. W. Montroll and J.L. Lebowitz (North-Holland, Amsterdam, 1979), Chap.5, pp.293.
- [5] Stoll, E.P., and Schneider, T. Physics 86-88B (1977), 1419.
- [6] Tomita, H., and Miyashita, S. Physics. Rev. B46 (1992), 8886.
- [7] Rikvold, P.A., Tomita, H., Miyashita, S., and Sides, S.W. Physics. Rev. E 49 (1994), 5080.
- [8] Ermakow, S.M. Die Monte Carlo Methode and verwandte Frangen (R. Oldenburg Verlag, Munchen 1975)
- [9] Müller-Krumbar, H., and Binder, K.J. Statist. Physics 8 (1973), 1.

## THE REPORTED STRUCTURAL HIGH-TEMPERATURE PHASE TRANSITION ON $KH_2PO_4$ DOES NOT EXIST

E. Ortiz<sup>1</sup>, R. A. Vargas<sup>2</sup> and B.-E. Mellander<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Grupo de Física de Materiales, Departamento de Física, Universidad del Atlántico, Km 7 antigua vía a Puerto Colombia, A.A. 1890, Barranquilla, Colombia, eortiz@uniatlantico.edu.co

<sup>2</sup>Departamento de Física, Universidad del Valle, A. A. 25360, Cali, Colombia

<sup>3</sup>Department of Physics, Chalmers University of Technology, S-412 96, Göteborg, Sweden.

**Resumen.** Difracción de rayos X, análisis termogravimétrico (TGA) y calorimetría diferencial de barrido (DSC) se usaron para estudiar la reportada transición estructural a  $T_p = 180 \pm 10^\circ C$  en muestras cristalinas y policristalinas de  $KH_2PO_4(KDP)$ . Nuestros resultados muestran evidencias contundentes de que la reportada transición de fase a  $T_p$  no es una transición estructural de la fase tetragonal a la monoclinica. En cambio encontramos que la anomalía térmica detectada a  $T_p$  esta relacionada con el inicio de un proceso de polimerización parcial en sitios reactantes distribuidos sobre la superficie del espécimen y por lo tanto la fase tetragonal estable a temperatura ambiente se mantiene hasta su descomposición final.

**Palabras claves:** Polimerización Parcial, Transición Estructural,  $KDP$ ,  $KH_2PO_4$ .

**Abstract.**  $X - ray$  diffraction, thermogravimetric analysis (TGA) and differential scanning calorimetry (DSC) were used to study the reported structural high-temperature phase transition (HTPT) at  $T_p = 180 \pm 10^\circ C$  in  $KH_2PO_4(KDP)$ . Our results show forceful evidence that the earlier reported phase transition at  $T_p$  is not a structural transition of the tetragonal phase to a monoclinic modification. Instead we have found that the thermal anomaly detected at  $T_p$  is related with the onset of partial polymerization at reaction sites distributed on the surface of the specimen and therefore the room temperature tetragonal phase is stable up to the final decomposition.

**Keywords:** Partial Polymerization , Structural Phase Transition,  $KDP$ ,  $KH_2PO_4$ .

## 1 Introduction

From thermogravimetric (TGA) and differential thermal analysis (DTA) on  $KDP$ , R. Blinc et al.[1] conclude that the endothermic DTA anomaly with offset at  $171^\circ C$  are not associated with decomposition, because no weight loss was detected; instead it was related with structural changes. Later, using  $X - ray$  diffraction measurements, K. Itoh et al. [2] conclude that on heating through

187°C (normally noted as  $T_p$ ), a structural phase transition from tetragonal to monoclinic symmetric takes place. The lattice parameters at 195°C for this high-temperature modification were given as  $a = 7.47\text{Å}$ ,  $b = 7.33\text{Å}$ ,  $c = 14.49\text{Å}$ ,  $\alpha = \beta = 90^\circ$  and  $\gamma = 92.2^\circ$ . Moreover, it has been reported that the monoclinic phase of *KDP* is metastable at temperatures below  $T_p$  and that it reverts to the stable tetragonal phase after being kept some days in air at room temperature [3,4].

Many theories have been proposed in order to explain the mechanisms of the phase transitions in this material. The single particle approximation model of Imry, Pelah and Wiener [5], where the effective potential for the proton in the hydrogen bond is an asymmetric double-minimum potential well, is especially interesting because it predicts an additional phase transition at high temperature,  $T_p$ . According to this dynamical model an abrupt change occurs in the hydrogen bond at the temperature  $T_p$ . Proton tunneling almost stops and the hydrogen approaches one of the oxygens in the hydrogen bond. As a result, the bond is drastically weakened, and thus the bonding of the  $PO_4$  tetrahedron to its neighbours is weakened, and it might turn around its c-axis. This should be reflected as an anomaly in the dielectric constant at  $T_p$ . In fact, measurements of the dielectric constant ( $\epsilon$ ) in *KDP* show an anomaly near 453K [3]. Furthermore, Grünberg et al. [3] reported that the room temperature infrared spectrum measured after a very fine surface layer was removed from the *KDP* single-crystal, which had previously been heated, was identical to that of the “ordinary” tetragonal phase. Here we report a very different point of view of the high-temperature nature of the *KDP* compound.

## 2 Results and Discussion

The temperature dependence of the water weight loss of a fresh *KDP* crystal, for the whole temperature range from 50 to 500°C, is plotted in the insert of Figure 1a. The marked first mayor variation on the inset is enlarged on the figure. Figure 1b displays the TGA derivative curve shown on Figure 1a. Figure 1c shows the DSC thermogram of a fresh *KDP* crystal sample from the same batch and with the same heating rate as that of the TG measurement (2.5°C/min).

The main reason why it has been suggested for *KDP* that a tetragonal  $\rightarrow$  monoclinic structural phase transition takes place at  $T_p$  is because above this temperature a new diffraction pattern seems to appear in  $X - ray$  diffraction measurements [2] while no change has been recorded in the sample weight at the transition [1]. In contrast with this result our TGA measurements show that the high-temperature phase transition of *KDP* at  $T_p$  is accompanied with a small weight loss, which indicates some chemical decomposition. Our results might thus be due to formation of the decomposition product, Kurrol’s salt C,  $K_n H_2 P_n O_{3n+1}$  ( $n \gg 1$ )  $\approx (KPO_3)_n$ , at reaction sites on the surface of the *KDP* sample. To test this, we performed  $X - ray$  diffraction.

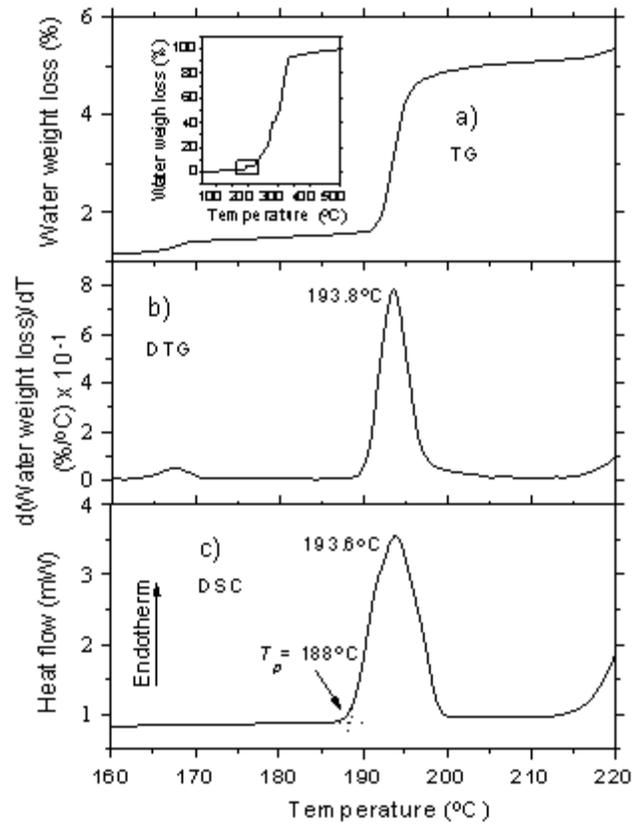


Figure 1. TGA (a), DTG (b) and DSC (c) curves of a fresh KDP crystal

Figure 2a shows the superposition of the X-ray patterns from two different single phases: the dotted line corresponds to the fresh *KDP* sample and the continuous line correspond the Kurrol's salt C, that is the polyphosphate  $(KPO_3)_n$ . This salt was produced by tempering fresh powdered *KDP* at  $400^\circ C$  during 25 hours [6]. The X-ray diffraction measurements were done at room temperature under dry conditions. Figure 2b shows the pattern for a *KDP* sample after being heat treated at  $210^\circ C$  for 24 hours, which clearly corresponds to a mixture of two phases: *KDP* and Kurrol's salt C. In figure 2b the intensity of the *KDP* peaks has been reduced because part of the *KDP* at the surface of the sample, was dehydrated and transformed to Kurrol's salt C.

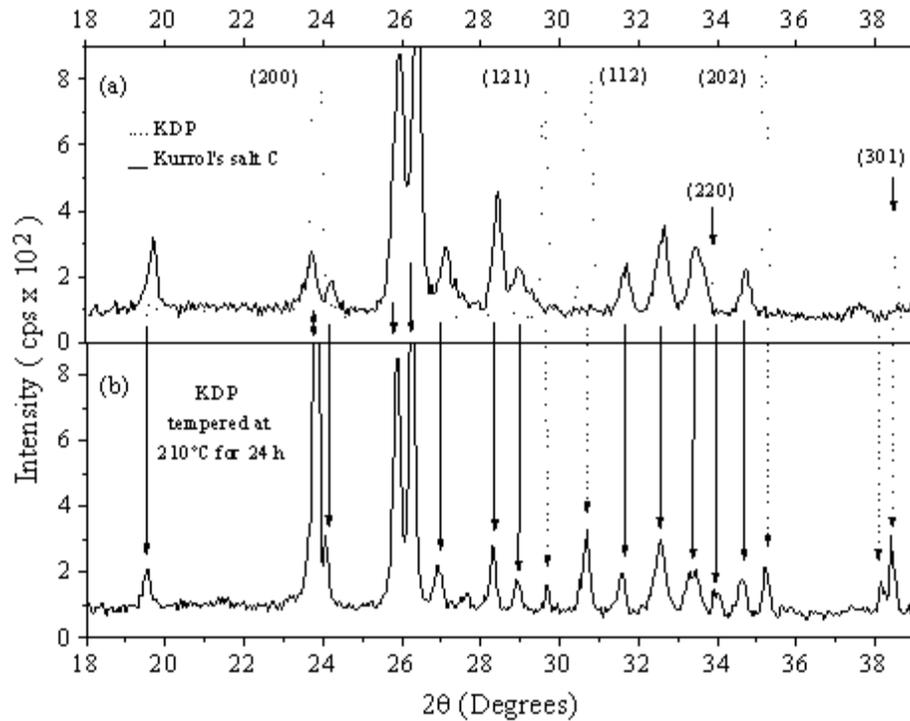


Figure 2. X – ray diffraction pattern at 20°C for: a) tetragonal fresh *KDP* (dotted curve) and Kurrol's salt C (continuous curve); b) *KDP* treated at 210°C for 24 hours. The indicated Miller indices correspond to the peaks of fresh *KDP*. The dotted and continuous line arrows show the peaks associated with the tetragonal fresh *KDP* and the monoclinic Kurrol's salt C respectively; the double arrow shows a peak associated with both phases.

### 3 Conclusion

The previously proposed third crystalline modification above  $T_p$  of *KDP* with monoclinic symmetry does not exist. Furthermore, on cooling a sample from above  $T_p$  to room temperature, the supercooled metastable high-temperature phase transforms back to the *KDP* phase with a very slow reaction rate, indicating the hydrolysis or depolymerization of Kurrol's salt C instead of a monoclinic  $\rightarrow$  tetragonal structural phase transition of *KDP*.

Acknowledgements—This work has been financially supported by the International Program in the Physical Sciences, IPPS, of Uppsala University, Sweden; the Colombia Research Agency, COLCIENCIAS, and the Swedish Board of Technical Development.

## References

- [1] Blinc R., Dimic V., Kolar D., Lahajnar G., Stepisnik J., Zumer S., Vene N. and Hadzi D., *J. Chem. Phys.* 49, 4996 (1968).
- [2] Itoh K., Matsubayashi T., Nakamura E. and Motegi H., *J. Phys. Soco Jpn.* 39, 843 (1975).
- [3] Grünberg J., Levin S., Pelah I. and Gerlich D., *Phys. Stat. So/. (b)* 49, 857 (1972).
- [4] Vargas R. A., Chacon M. and Trochez J. C., *Solid State Ionics* 34, 93 (1989).
- [5] Imry Y., Pelah I. and Wiener E., *J. Chem. Phys.* 43, 2332 (1965).
- [6] E. Ortiz, R.A. Vargas and B.E. Mellander, *J. Phys. Chem. Solids* 59, 305 (1998).

## CALOR ESPECIFICO DE LOS SISTEMAS $(1-x)AgI - xAgBr$ y $(1-x)AgI - xKI$ A BAJAS TEMPERATURAS

J. A. Trujillo y R. A. Vargas\*

Grupo Física de Materiales Departamento de Física, Universidad del Atlántico, A.A. 1890, Barranquilla, Colombia, jatrujil@hotmail.com

\*Grupo Transiciones de Fase en Sistemas no Metálicos Departamento de Física, Universidad del Valle, A.A. 25360, Cali, Colombia

**Resumen:** Se ha hecho sustitución catiónica en el  $AgI$  dopando con  $K^+$  y sustitución aniónica dopando con  $Br^-$ . La sustitución de  $K^+$  por  $Ag^+$  parece favorecer el desorden en la subred catiónica, puesto que se ha observado el cambio de entalpía  $\Delta H$  asociado con la anomalía de  $C_P(T)$  la cual aumenta fuertemente a través de la transición, comparada con el  $AgI$  puro. Sin embargo, la sustitución de  $Br^-$  por  $I^-$ , favorece la introducción de defectos en la red por el aumento de  $\Delta H$  asociado a  $C_P(T)$ .

**Palabras Claves:** Conductores iónicos de plata, Calor Específico

**Abstract.** We have done cationic substitution in  $AgI$  by doping with  $K^+$  and anionic substitution with  $Br^-$ . The substitution of  $K^+$  by  $Ag^+$  seems to favor disordering in the cationic sublattice, since we observed that the change of enthalpy through the  $T_T$  transition  $C_P(T)$  increase. However, the  $Br^-$  substitution by  $I^-$  appears to favor the increasing of defects since  $\Delta H$  increases

**Key-Words:** Silver-Ion Conductor, Specific Heat

### 1. Introducción

Las medidas reportadas aquí fueron realizadas usando la técnica de la calorimetría ac o de pulso de calor periódico, lo que permite la introducción de un gradiente muy pequeño de temperatura (del orden de  $10^{-2}K$ ) a través de la muestra.

Los sistemas iónicos  $(1-x)AgI - xAgBr$  y  $(1-x)AgI - xKI$ , con variadas concentraciones son considerados buenos conductores superiónicos por encima de  $420 K$ , por lograr conductividades iónicas del orden de  $1 (\Omega cm)^{-1}$  comparables a las de los electrolitos líquidos [1]. La aparición de la fase conductora iónica de estos materiales está precedida de transformaciones de fase que se requieren caracterizar para entender los mecanismos de la rápida conducción iónica en estado sólido.

### 2. Detalles Experimentales

Los sistemas  $(1-x)AgI - xAgBr$  y  $(1-x)AgI - xKI$ , con variadas concentraciones se prepararon por fusión con una presión de ( $P \sim 1 mbar$ ). Las combinaciones de sales con concentraciones de  $x = 0,5$  y  $0,8$  se pesaron en

una balanza analítica de alta precisión marca Ohaus, se mezclaron y luego se pulverizaron en un mortero hasta obtener una solución homogénea, después se encapsularon al vacío los sistemas  $AgI/AgBr$  y  $AgI/KI$ . Para el  $AgI/KI$  la temperatura del horno se mantuvo a  $450^\circ C$  durante 24 horas, mientras que para el  $AgI/AgBr$  se mantuvo por un orden de magnitud por encima del punto de fusión del  $AgBr$  aproximadamente de  $400^\circ C$  durante 24 horas. Después de crecidos los policristales se obtuvieron muestras por un proceso de pulimento, con papel de lija de grano fino y cortado hasta obtener laminas delgadas y pequeñas de dimensiones  $4 \times 1 \text{ mm}^2$  y espesores de  $0,12 \text{ mm}$  y  $0,15 \text{ mm}$ . Durante todo este proceso la muestra es adherida a una superficie plana por medio de parafina, soluble en tolueno, lo cual no afecta la muestra en forma apreciable [2].

### 3. Resultados y Discusión

La diferencia de potencial entre los extremos de la muestra inducida por la diferencia de temperatura entre estos puntos, se registraron continuamente para ciclos de calentamiento del baño térmico al cual está acoplada la muestra, en el rango de temperatura  $77 - 300 \text{ K}$ .

Tabla 1.  
Temperaturas de transición detectadas por calor específico en función de la temperatura.

Compuestos	$C_p(T)$ Kelvin(K)	Concen- tración x
$x(AgI) - (1 - x)KI$	235	0,8
$x(AgI) - (1 - x)KI$	234	0,5
$x(AgI) - (1 - x)AgBr$	240	0,8
$x(AgI) - (1 - x)AgBr$	238	0,5

Los resultados obtenidos en las medidas de la capacidad calorífica  $C_p(T)$  muestran anomalías que evidencian la existencia de transiciones de fase en los compuestos investigados, y además, de observarse un comportamiento similar de todos los electrolitos sólidos basados en el yoduro de plata[2], asociado con la aparición de estados iónicos móviles en la subred del  $Ag^+$ .

Para el sistema  $x(AgI) - (1 - x)KI$ , con concentraciones 0,8 y 0,5 se muestran las medidas de  $C_p(T)$  en las figuras 1 y 2 mostrando anomalías en  $T_T = 235K$ ,  $T_T = 234K$ . Estos resultados indican que los cambios térmicos (capacidad calorífica) observados cerca de  $220K$  en  $\beta - AgI$  se hacen mas pronunciados con la sustitución de  $K^+$  por  $Ag^+$  indicando que la presencia de iones  $K^+$  en la red introduce más defectos en la subred de los iones móviles  $Ag^+$  y por esto su participación en los excesos de calor específico observado en estos sistemas aumenta,

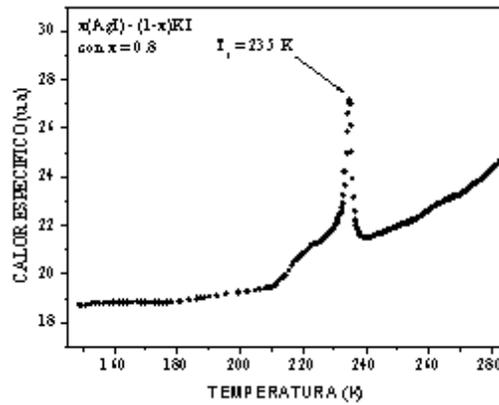


Figura 1: Calor Específico en Función de la Temperatura Muestra de  $xAgI - (1 - x)KI$ , para  $x = 0,8$ .

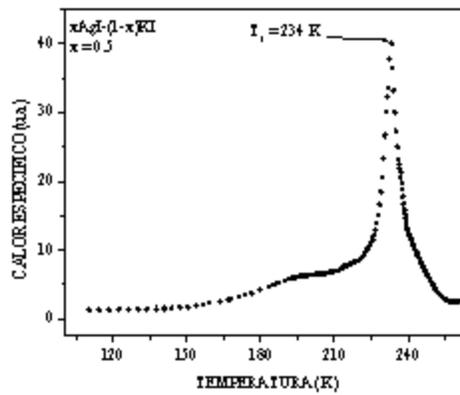


Figura 2: Calor Específico en Función de la Temperatura Muestra de  $xAgI - (1 - x)KI$ , para  $x = 0,5$

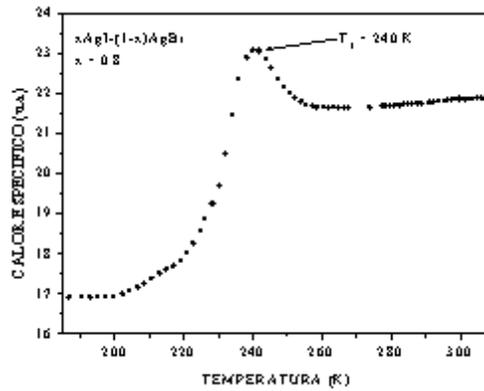


Figura 3: Calor Específico en Función de la Temperatura, para una Muestra de  $xAgI - (1 - x)AgBr$ , para  $x = 0,8$

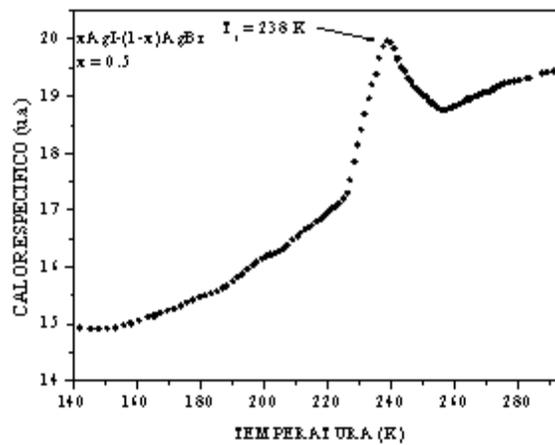


Figura 4: Calor Específico en Función de la Temperatura, para una Muestra de  $xAgI - (1 - x)AgBr$ , para  $x = 0,5$

sin embargo, se nota que la temperatura de transición  $220K$  en  $\beta - AgI$  puro[3] poco se mueve con la introducción de  $K^+$  en la red ( $235K$  para  $0,8AgI - 0,2KI$ ). Para el sistema  $x(AgI) - (1 - x)AgBr$ . al sustituirse el ión  $I^-$  en el  $AgI$  por  $Br^-$  también se observa un incremento de la densidad de defectos de Frenkel, como se refleja en sus propiedades térmicas (calor específico: cuya entalpía de transición,  $\Delta H = \int_{T_1}^{T_2} C_P(T) dT$ , aumenta). Un registro de estas medidas de  $C_P(T)$  para concentraciones de 0,8 y 0,5 se presentan en las figuras 3 y 4 mostrando anomalías en  $T_T = 240K$  y  $T_T = 238K$ .

#### 4. Conclusiones

Al sustituirse  $K^+$  por  $Ag^+$  en el  $AgI$ , se observa un incremento en la entalpía asociada con la transición de fase tipo orden-desorden en la subred de los iones  $Ag^+$  que ocurre cerca de  $220K$  en  $AgI$  puro, lo mismo ocurre con la anomalía observada en la potencia termoeléctrica. Estos resultados sugieren un aumento de la densidad de los defectos de Frenkel, cuyo ordenamiento por debajo de  $T_T$  ha sido atribuido como el mecanismo responsable de la transición de fase observada en este sistema.

Al sustituirse el ión halógeno  $I^-$  en el  $AgI$  por  $Br^-$ , también se observa un incremento de la densidad de defectos de Frenkel, como se refleja en sus propiedades térmicas (calor específico: cuya entalpía de transición,  $\Delta H = \int_{T_1}^{T_2} C_P(T) dT$ , aumenta).

#### Referencias

- [1] S. Chandra, Superionic Conductors, North-Holland, pp 56-84 (1991).
- [2] J. A. Trujillo, Tesis Doctoral, Universidad del Valle, Cali 2003.
- [3] H. Correa, et al., Revista Colombiana de Física, 34 N0. 2, 588-591(2002).

## CALOR ESPECÍFICO Y TRANSICIONES DE FASE DE ÓXIDOS METÁLICOS SUPERCONDUCTORES

Julio César Tróchez M.

jtrochez@uniatlantico.edu.co

Grupo de Física de Materiales, Departamento de Física, Universidad del Atlántico, Km 7 antigua vía a Puerto Colombia, A.A. 1890, Barranquilla

**Resumen.** Se presentan resultados de medidas calorimétricas efectuadas a muestras policristalinas de las series:  $Y - M - Cu - O$  y  $Bi - Sr - Ca - Cu - O$  ( $M = Ba, Sr, Ca$ ) que preparamos por reacción de estado sólido. Dichas medidas, de alta resolución, se llevaron a cabo utilizando la técnica ac en el rango de 80 a 750K. En las mismas muestras se realizaron medidas de resistencia eléctrica en la región cercana a la temperatura de transición normal superconductor. Las medidas de calorimetría ac revelan un comportamiento anómalo en el estado normal, entre las temperaturas 200 a 250 K, atribuible a ordenamiento magnético de los iones de  $Cu$  en los planos de  $CuO$ .

**Palabras claves:** Superconductores,  $YBaCuO$ ,  $BiSrCaCuO$

**Abstract.** Results of calorimetric measurements are showed. This measurements was carry out policrystallines samples of the  $Y - M - Cu - O$  and  $Bi - Sr - Ca - Cu - O$  ( $M = Ba, Sr, Ca$ ) which we prepared by solid state reaction. The named measurements of high resolution, was performed using the ac technique between 80 and 750K temperature range. We do electrical resistivity measurements near on superconductor-normal transition in the same samples. The ac calorimetric measurements reveal an anomalous behavior in the normal state, between 200 to 250K, that can be attributed to magnetic ordering of  $Cu$  ions into the  $CuO$  layers.

**Keywords:** superconductors,  $YBaCuO$ ,  $BiSrCaCuO$

### 1. Introducción

La búsqueda de materiales cuya resistencia eléctrica se anule por debajo de un valor de temperatura; denominada crítica, se ha acrecentado en los últimos años a partir del descubrimiento de nuevos compuestos superconductores basados en óxidos metálicos [1]. Hay un gran interés en esto, pues el potencial tecnológico de esos materiales es muy grande ya que permitirían desarrollos en diversos campos como: producción de altas energías, mejoramiento del transporte por medio de trenes superrápidos, electrónica mediante la utilización de junturas Josephson, etc.[2] La evolución que han tenido estos nuevos superconductores ha sido muy rápida [3]; desde el descubrimiento llevado a cabo por Bednorz y Muller en 1986. Un año después el profesor Chu encontró otra serie de óxidos superconductores; la serie  $Y - Ba - Cu - O$ , con temperatura crítica  $T=90K$ . En 1988 se descubrió la serie  $Bi - Sr - Ca - Cu - O$  con temperatura crítica  $T=110K$ [4]. Reemplazando  $Bi$  por  $Tl$  se ha elevado la temperatura crítica a

120K, sin embargo este último compuesto requiere un manejo adecuado por la toxicidad del Talio.

Numerosos estudios y análisis se han hecho en los materiales arriba mencionados; el propósito no es solamente adecuarlos para su posible utilización sino también indagar acerca de los mecanismos que producen la superconductividad, pues es diferente a la de los superconductores convencionales (metales y aleaciones), que son descritos por la teoría BCS [5].

Nuestro propósito en este trabajo fue medir el calor específico de éstos materiales en el rango de temperaturas comprendido entre 80 y 750K, a fin de encontrar evidencias sobre transiciones de fase y cambios estructurales en muestras policristalinas, de las mencionadas series. También fueron realizadas medidas de resistencia eléctrica DC en función de la temperatura en el rango de 80 a 300K con el fin de detectar la temperatura a la cual la resistencia cae a cero ( $T_c$ ).

## 2. Detalles Experimentales

Contando con reactivos, en forma de polvo, de alta pureza (99% o más) las muestras fueron preparadas por un método reportado en la literatura [6], consistente en efectuar dos reacciones parciales y luego mezclar los productos de ellas para obtener el material superconductor. Para el caso de los compuestos  $Y-M-Cu-O$ , El compuesto formado es sometido al tratamiento térmico en un horno a  $950^{\circ}\text{C}$  con flujo de oxígeno, transcurrido este tiempo se enfría a razón de  $2,5 \frac{^{\circ}\text{C}}{\text{min}}$ . hasta la temperatura ambiente. Una vez se ha cumplido esto, se macera el compuesto en el mortero de ágata y se forman pastillas de aproximadamente  $4\text{mm}$  de diámetro y  $1\text{mm}$  de espesor bajo presión de  $\sim 20 \frac{\text{ton}}{\text{cm}^2}$ , se someten a prueba de levitación magnética a la temperatura del Nitrógeno líquido. En el caso del compuesto  $Bi-Sr-Ca-Cu-O$  se somete al tratamiento térmico siguiente: permanece durante 20 horas en un horno a  $810^{\circ}\text{C}$  con atmósfera de aire, se deja enfriar sin controlar la temperatura del horno hasta el ambiente, se macera el producto resultante y se forman pastillas de manera similar al de las otras muestras. Luego se introducen al horno, previamente calentado a  $810^{\circ}\text{C}$  y se dejan allí las pastillas por espacio de 100 horas para su sinterizado en atmósfera de aire. Una vez enfriadas las pastillas, se someten a análisis de difracción por rayos X comprobándose que posee mayoritariamente la fase de alta temperatura crítica.

## 3. Caracterización Térmica

La caracterización térmica se llevó a cabo utilizando la técnica *ac*, con alta resolución y bajo ruido mediante una amplificación sensible a fase y frecuencia basada en un amplificador Lock-in [7]. Un esquema simple de calorimetría *ac* se muestra en la fig. 1 permite la medición del calor específico de una muestra sometida a excitación térmica periódica mediante la detección de su respuesta a dicha excitación. Para la implementación de esta técnica se usó el sistema ex-

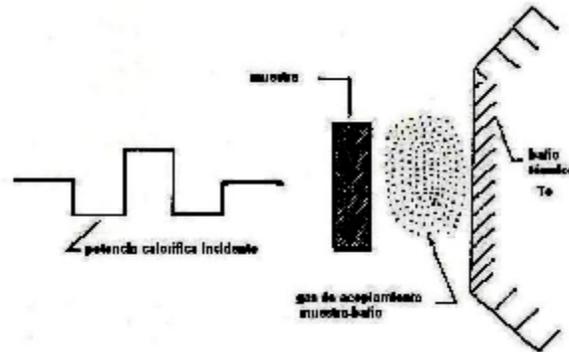


Figura 1: Diagrama simplificado de la medida de calorimetría AC.

perimental que consta básicamente de un subsistema para suministrarle potencia calorífica periódica a la muestra por medio de un pulso de luz con una frecuencia de aproximadamente 2Hz. La señal periódica es captada por una fotocelda y constituye la referencia del lock-in la otra señal que va al lock-in proviene de un termopar ligado a la muestra y permite conocer la respuesta de ésta al pulso de calor correspondiente. Hay también una señal de un termopar que registra la temperatura del baño donde se encuentra la muestra, y que constituye la componente dc de su temperatura. Con este sistema experimental se pueden efectuar barridos de calor específico en temperatura. Se puede establecer una relación entre la componente ac de la temperatura de la muestra y su calor específico así:

$$T_{ac} = \frac{P}{wC_m} \quad (1)$$

donde  $P$  es la potencia térmica suministrada a la muestra,  $w$  es la frecuencia a la cual se le suministra dicha potencia y  $C_m$  es la amplitud del calor específico de ella. De aquí se puede entonces hallar el calor específico de la sustancia de estudio.

#### 4. Caracterización Eléctrica

Se llevó a cabo midiendo la resistencia eléctrica del material superconductor por el método de las cuatro puntas [8]. Básicamente consiste en suministrar corriente por dos electrodos y medir el voltaje por otros dos electrodos situados de manera paralela a los primeros. La densidad de corriente utilizada para estas medidas fue de aproximadamente  $1 \frac{\text{Amperio}}{\text{cm}^2}$ . Un esquema del sistema experimental utilizado se muestra en la fig. 2.

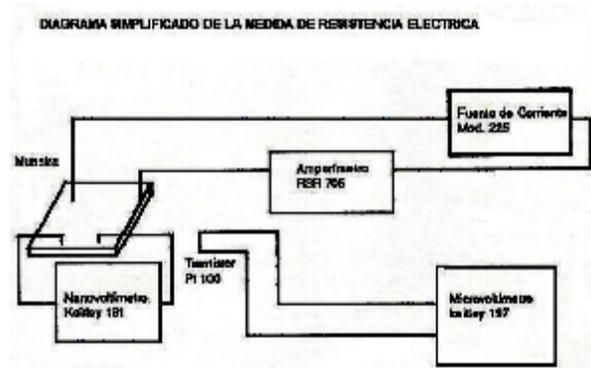


Figura 2: Diagrama del arreglo experimental para medida de resistencia eléctrica.

## 5. Resultados y Discusión

Considerando  $T_{ac}$  como la medida del calor específico de la muestra, ya que tanto la potencia suministrada así como su frecuencia no varían, se llevaron a cabo barridos de calor específico en el rango de 80K a 750K. En todas las muestras se evidencia un comportamiento anómalo del calor específico en la región comprendida entre las temperaturas de 200 a 250K. En la figura 3 se muestra una histéresis en sus ciclos de calentamiento y enfriamiento. En los compuestos que mostraron superconductividad a la temperatura del nitrógeno líquido, observada por levitación magnética se detectó el cambio de fase normal-superconductor, como un salto gradual de una pendiente a otra en el comportamiento del calor específico [8]. En cuanto a barridos por encima de la temperatura ambiente, cabe anotar que el comportamiento del calor específico da indicios acerca de las pérdidas de oxígeno a medida que se va calentando la muestra.

El comportamiento de la resistencia en función de la temperatura para el compuesto  $Bi_{1,6}Pb_{0,4}Sr_2Ca_2Cu_3O_{10}$  se muestra en la fig. 4, con la curva normalizada  $\frac{R(T)}{R(300K)}$  versus temperatura. Se observa que a partir de  $T=120K$  la resistencia comienza a descender rápidamente hasta la temperatura de 108K donde nominalmente es cero. Por encima de 120K la curva revela un comportamiento tipo semiconductor.

La anomalía detectada en éstos materiales en el estado normal, entre las temperaturas 200 – 250K es atribuible ordenamiento magnético de los subsistemas de  $CuO$ , que hacen parte de estos compuestos en forma de planos y cadenas, responsables de los mecanismos de conducción en éstos materiales [4], [8].

En conclusión, fueron realizadas medidas de calor específico y resistividad en función de la temperatura para muestras de  $YBa_2Cu_3O_{7-x}$  y  $Bi_{1,6}Pb_{0,4}Sr_2Ca_2$

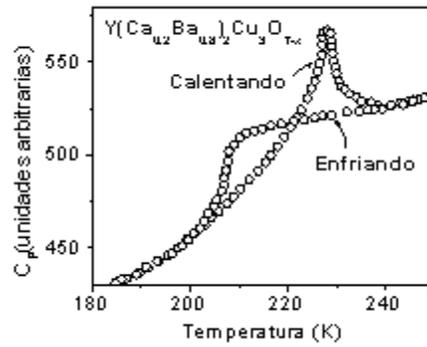


Figura 3: Medida del calor específico ( $C_p$ ) en unidades arbitrarias versus temperatura para el compuesto  $Y - Ba - Cu - O$ .

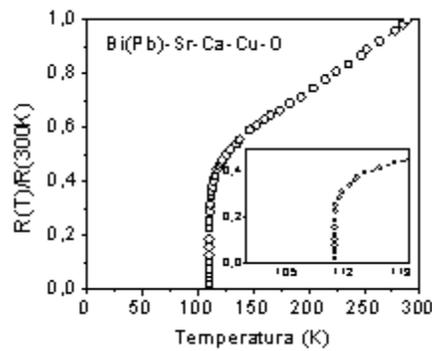


Figura 4: Medida de la resistencia eléctrica normalizada versus la temperatura para el compuesto  $Bi - Sr - Ca - Cu - O$ .

$Cu_3O_{10}$  desde  $T=77K$  hasta temperatura ambiente, en las dos muestras se observa un salto en el calor específico a la temperatura de transición normal-superconductor y en el compuesto de bismuto, se observa también la pérdida de la resistencia eléctrica en la temperatura de transición como también un comportamiento tipo metálico a temperaturas por encima de la de transición. De otra parte a temperatura cercana a  $220K$  se puede observar una anomalía en el calor específico del  $YBa_2Cu_3O_{7-x}$ , atribuible al ordenamiento antiferromagnético de los iones de Cu dentro de los planos de CuO.

El autor desea expresar su agradecimiento al grupo de Transiciones de Fase en sistemas no Metálicos de la Universidad del Valle, donde se desarrolló la parte experimental de este trabajo.

## Referencias

- [1] J.A. Bednorz, K.A. Muller; Z. Physics B, **64** (1986)189
- [2] Jonathan L. Mayo; Superconductividad. El umbral de una nueva Tecnología, Mc Graw Hill, 1991.
- [3] C.P. Enz; Helvética Física Acta, **61**, (1988) 741 .
- [4] R.A. Vargas, et. al; Physics Letters A, **152**, (1991)105 .
- [5] J. Bardeen, L.N. Cooper y J.R. Schiefferj Physical Review Letter, **68**, (1957)1175 .
- [6] J. Chunlín; et. al.; Solid State Communication **65**, (1988) 859 .
- [7] R.A. Vargas, A.J. Sanchez; Revista Mexicana de la Física, **31**,(1985) 663 .
- [8] Leon 1. Maïssel, Reinhard Gleng; Handbook of Thin Film Technology, Mc Graw Hill Company, 1970.
- [9] R.A. Vargas, et. al.; Physics Letters A, **139**, (1989) 81.

## ELLENTE GRAVITACIONAL 0957+561 Y LA CONSTANTE COSMOLOGICA

\*Libardo Ruz Ruz, \*\*Juan Manuel Tejeiro

\*Departamento de Física, Universidad del Atlántico, Km 7 antigua vía a Puerto Colombia, A.A. 1890, Barranquilla, Colombia, jruez@metrotel.net.co

\*\*Observatorio Astronómico Nacional, jtejeiro@ciencias.unal.edu.co

**Resumen.** En este artículo se estima un valor para el parámetro de densidad de energía del vacío,  $\Omega_v$ , utilizando los parámetros observacionales del sistema de lente gravitacional 0957+561, como son la magnificación relativa de sus dos imágenes y los corrimientos al rojo de las distribuciones de masa que conforman la lente y la fuente. Para tal fin se modela la masa deflectora como una esfera singular isoterma. En el trabajo se tienen en cuenta las inhomogeneidades locales en la distribución de masa del universo y se utiliza la ecuación de Dyer-Roeder para calcular las distancias diametrales angulares requeridas en el trabajo.

**Palabras Claves:** lentes gravitacionales, distancias cosmológicas, magnificación, constante cosmológica.

**Abstract.** In this article we estimate the value for the density of energy parameter of the vacuum  $\Omega_\Lambda$ , by using the observational parameters of the gravitational lens system 0957+561, as the relative magnification of its images and the mass distributions redshifts that conform the lens and the source. To this purpose we model the deflector mass as a singular isothermal sphere. In this research we take into account the local inhomogeneities in the mass distribution of the universe and we use the Dyer-Roeder equation for calculating the angular diameter distance that were required.

**Key words:** gravitational cosmological distance, magnification, cosmological constant.

## 1. Introducción

Según la Teoría General de la Relatividad, cuando se aplica la métrica de Friedmann-Lemaître-Robertson-Walker, la ecuación que gobierna el factor de expansión,  $R(t)$ , para un universo plano, viene dada por

$$H^2 = \left(\frac{\dot{R}}{R}\right)^2 = \frac{8\pi G}{3}\rho_m + \frac{\Lambda}{3} \quad (1)$$

donde  $\Lambda$  es la *constante cosmológica*,  $\rho_m$  es la *densidad de masa* y  $H$  es la *constante de Hubble*. Debe destacarse que estas dos últimas cantidades pueden cambiar con el tiempo. Se definen los parámetros asociados con la densidad de

masa y la constante cosmológica, respectivamente como

$$\Omega_m = \frac{8\pi G}{3H_0^2} \rho_{m0} \quad \text{y} \quad \Omega_\Lambda = \frac{\Lambda}{3H_0^2} \quad (2)$$

con lo cual la ecuación (1) se puede expresar así:

$$\Omega_m + \Omega_\Lambda = 1. \quad (3)$$

El subíndice cero indica los valores de las cantidades en la actualidad. En esta forma puede verse que los dos parámetros así definidos, se constituyen en factores que contribuyen en gran medida a la descripción de la evolución del universo. Por otra parte, los modelos cosmológicos de Friedmann-Robertson-Walker, suponen que la distribución de materia del universo es homogénea, pero a escalas menores que la de los cúmulos de galaxias, el universo realmente se muestra inhomogéneo y en consecuencia se define el *parámetro de suavidad*  $\alpha$ , que mide la fracción de masa del universo que se encuentra distribuida uniformemente, mientras que  $(1 - \alpha)$  corresponde a la fracción de masa que se encuentra en *clumps*, como galaxias y cúmulos de galaxias.

El sistema de lente gravitacional 0957+561 que se utiliza para acotar el valor de  $\Omega_\Lambda$ , [7] comprende un cuasar (*fuentes*), cuyo corrimiento al rojo es de  $z_s = 1,41$ , del cual se forman dos imágenes *A* y *B* por la acción de un cúmulo de galaxias (*lente*) con un corrimiento al rojo  $z_d = 0,36$ . Las posiciones angulares de las dos imágenes *A* y *B* de la fuente, respecto del centro de la galaxia, son  $\theta_A = 5,2''$  y  $\theta_B = 1,03''$ , su magnificación relativa observacional [8] es  $\mu_{AB} = 0,75 \pm 0,02$ , la velocidad de dispersión observacional de la galaxias respecto del eje óptico [13] es  $\sigma_v = (316 \pm 14) \text{Km.s}^{-1}$  y el tiempo de retardo entre las dos imágenes *A* y *B* es [9]  $\Delta t = (417 \pm 3)$  días.

## 2. Magnificación

Si consideramos un haz de luz emanado de un área infinitesimal de una fuente, al interactuar con un campo gravitacional, este haz cambiará continuamente su dirección y su sección transversal se va distorsinando en la medida en que avanza. Sin embargo, si se supone que la deflexión del haz ocurre en un medio donde no se presenta emisión o absorción de radiación, la intensidad luminosa *I*, del haz se conservará a lo largo de todo su recorrido, para todos los observadores que no registren corrimiento relativo de frecuencia. Esto indica que los cambios que se presentan en el flujo de una imagen, son debidos al cambio del área transversal del haz de luz que de ella emana.

Supongamos ahora una fuente infinitesimal que emite luz con una frecuencia  $\nu$  y que la intensidad luminosa registrada por un observador, *O*, en una determinada dirección, es *I*. En un espacio no perturbado, la fuente tiene una posición angular  $\beta$  y estará subtendida por un ángulo sólido  $d\omega_o$ ; entonces el flujo luminoso de esta fuente es

$$S' = Id\omega_o$$

En presencia de un campo gravitacional, una imagen de la fuente tendrá una posición angular  $\theta$ , y estará subtendida por un ángulo sólido,  $d\omega$ ; el flujo luminoso ahora es:

$$S = Id\omega$$

Se define la magnificación  $\mu$ , como el cociente de estos dos flujos, esto es

$$\mu = \frac{d\omega}{d\omega_o}$$

La relación entre estos dos ángulos sólidos se determina a partir de la relación [2]. o sea,  $\frac{d\omega_o}{d\omega} = \left| \det \frac{d\beta}{d\theta} \right|$ , y en consecuencia

$$\mu = \left| \det \frac{d\beta}{d\theta} \right|^{-1}$$

Consideremos una fuente con una posición angular  $\beta$  y sean  $A$  y  $B$  dos imágenes de esta fuente con posiciones angulares  $\theta_A$  y  $\theta_B$  respectivamente; entonces debe cumplirse que  $d\beta = A_A d\theta_A = A_B d\theta_B$ , luego

$$d\theta_B = A_B^{-1} A_A d\theta_A$$

Se define la magnificación relativa como

$$\mu_{BA} = \frac{\mu_A}{\mu_B} = \left| \det(A_B^{-1} A_A) \right|^{-1} = \left| \frac{\det A_B}{\det A_A} \right| \quad (4)$$

Si la lente se modela como una esfera singular isoterma [1], se demuestra que la magnificación relativa de las dos imágenes viene dada por

$$\mu_{BA} = \left| \frac{\theta_A D_s \theta_B \left( \frac{c}{\sigma_v} \right)^2 - 4\pi D_{ds}}{\theta_B D_s \theta_A \left( \frac{c}{\sigma_v} \right)^2 - 4\pi D_{ds}} \right| \quad (5)$$

donde  $D_s$  y  $D_{ds}$  son respectivamente las distancias diametrales angulares desde el observador a la fuente y desde la lente hasta la fuente.

### 3. Distancia Diametral Angular y la Ecuación de Dyer-Roeder

Para calcular la magnificación se requiere del previo conocimiento de las distancias diametrales angulares entre el observador y la fuente y entre ésta y la lente, las cuales se calculan por medio de la ecuación de *Dyer-Roeder*, que relaciona la distancia diametral angular con los parámetros cosmológicos[3] [4]. Para el caso especial de un universo plano del tipo Friedman-Robertson-Walker, teniendo

en cuenta las inhomogeneidades en la distribución de materia en el universo, a través del parámetro de suavidad  $\alpha$ , la ecuación de propagación es [6]

$$(1+z) \left( \Omega_{mo}z + 1 - \frac{z(z+2)\Omega_{\Lambda o}}{(1+z)^2} \right) \frac{d^2D}{dz^2} + \left( \frac{\Omega_{mo}(7z+1)}{2} + 3 + \frac{(3z^2+6z+1)\Omega_{\Lambda o}}{(1+z)^2} \right) \frac{dD}{dz} + \frac{3\alpha\Omega_{mo}D}{2} = 0 \quad (6)$$

donde  $D$  es la distancia diametral angular y  $z$  es el corrimiento al rojo cosmológico y  $\Omega_m$ ,  $\Omega_\Lambda$  y  $\alpha$  han sido definidos en la sección 1..

Las condiciones iniciales para resolver (6), respecto de un punto  $z = z_o$  para una fuente en  $z = z_o$ , con  $z > z_o$ , son

$$D(z_o, z_o) = 0, \quad \left[ \frac{dD}{dz} \right]_{z=z_o} = \frac{(1+z_o)^{-2}}{\sqrt{\Omega_{mo}z_o + 1 - \frac{\Omega_{vo}z_o(z_o+2)}{(z_o+1)^2}}}$$

#### 4. Magnificación y el parámetro de suavidad

En la figura 1 se ha graficado la magnificación relativa,  $\mu_{AB}$ , en función del parámetro de suavidad  $\alpha$ , para diferentes valores de la densidad de energía del vacío,  $\Omega_\Lambda$ .

Allí se puede observar que para cada valor fijo de  $\Omega_\Lambda$ , la magnificación decrece en la medida en que aumenta el parámetro de suavidad, de manera que, puede notarse la gran sensibilidad de la magnificación con relación a los cambios de  $\Omega_\Lambda$ .

Los cálculos muestran que únicamente los valores  $0.55 \leq \Omega_\Lambda \leq 0.80$ , permiten una magnificación  $\mu_{AB}$  en el intervalo  $0.75 \pm 0.02$ .

Obsérvese que cuando la densidad de energía del vacío es 1, la magnificación es de 0.52 para todos los valores del parámetro de suavidad. Este hecho está en concordancia con la suma cósmica, ya que si la densidad de energía del vacío, es 1, la densidad de materia es cero y en consecuencia la magnificación debe tomar el valor correspondiente al valor 0.0 del parámetro de suavidad.

La figura 2 muestra la gráfica de la magnificación en función de la densidad de energía del vacío. Se nota en esta figura que la magnificación del sistema de lente en estudio es muy sensible a la variación del parámetro de suavidad,  $\alpha$ , para valores de  $\Omega_\Lambda$  menores que 1, mientras que para  $\Omega_\Lambda = 1$ , la magnificación toma el valor de 0.52 para cualquier valor de  $\alpha$ , hecho que coincide con los resultados mostrados en la sección anterior.

Por otra parte, el valor central para el intervalo  $0.55 \leq \Omega_\Lambda \leq 0.80$  es de 0.67. Con este valor y el de la magnificación observacional de  $0.75 \pm 0.02$  se ha calculado el valor correspondiente del parámetro de suavidad de  $0.70 \pm 0.21$ .

#### 5. Conclusiones

En este artículo se ha estimado un conjunto de valores para la densidad de energía del vacío,  $\Omega_\Lambda$ , comprendido entre 0.55 y 0.80, a partir de los parámetros

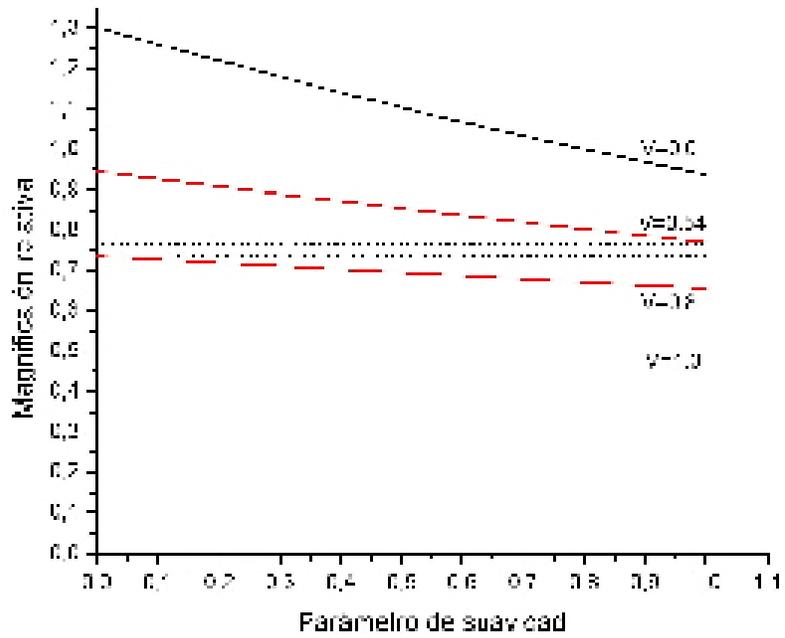


Figura 1: Magnificación en función del parámetro de suavidad.

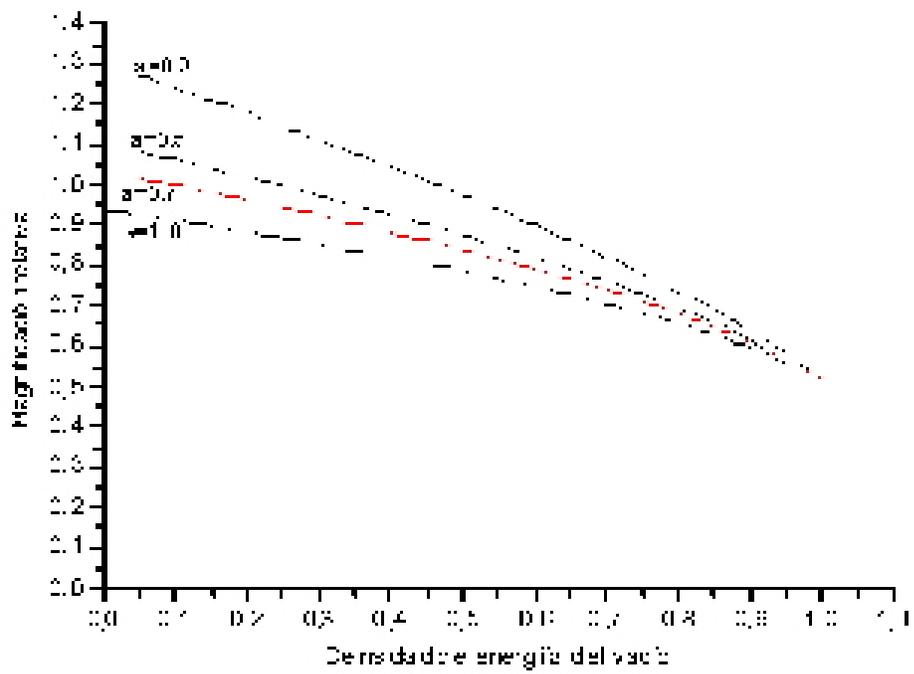


Figura 2: Magnificación relativa en función de la densidad de energía del vacío,  $V$ , para diferentes valores del parámetro de suavidad,  $a$ .

ros observacionales del sistema de lente gravitacional 0957+561. Para el valor central del anterior intervalo, que es de 0.67 y la magnificación observacional de  $0.75 \pm 0.02$ , se ha logrado un parámetro de suavidad en el intervalo  $0.70 \pm 0.21$ . Es muy recomendable repetir los cálculos realizados en este trabajo, con otros sistemas de lentes gravitacionales, porque puede conllevar a resultados que permitan reducir la incertidumbre en el valor del parámetro cosmológico  $\Omega_v$  y, con ello, también podría obtenerse una cota superior menor que 1 para el parámetro de suavidad  $\alpha$ .

Por otra parte, si bien es cierto que en este trabajo los cálculos se han hecho suponiendo un modelo de universo plano ( $k = 0$ ), es posible realizarlos con modelos de universo abierto ( $k = -1$ ) o cerrado ( $k = 1$ ) y comparar los resultados con lo que se han obtenido en el presente artículo.

## Referencias

- [1] Narayan, R. y Bartelmann, M. "Lectures on Gravitational Lensing". Max Planck- Institut für Astrophisik, 1997
- [2] Schneider, P., Ehlers, J. y Falco. E. "Gravitational lenses", Ed. Springer-Verlag, NY 1992
- [3] Linder, E. V., "Light propagation in generalized Friedmann models". Astron. Astrophys., 206. 190-198 (1988)
- [4] Linder, E. V., "Cosmological tests of generalized Friedmann models". Astron. Astrophys., 206. 175-189 (1988)
- [5] Carrol, S. M., Press, A. H. and Turner, E. L. "The cosmological Constant", Ann.Rev. Astron. Astrophys., 30, 499, 1992
- [6] Tejeiro, J. M. y Castañeda, L. "Estadística de lentes gravitacionales en diferentes modelos evolutivos de galaxias", preprint. Observatorio Astronómico Nacional, Universidad Nacional de Colombia, 2002.
- [7] Gorestein, M. V. "VLBI observations of the lens system 0957+561: structure and relative magnification of the A and B images" ApJ, 334: 42-58, 1988.
- [8] Falco, E. F., Gorestein, M. V. and Shapiro, I. "New model for the 0957-561 gravitational lens system" ApJ. 372: 364-379, 199
- [9] Garret, M. A. et al " Global VLBI observations of the gravitational lens system 0957+561" Mon. Not. Astron. Soc. 270, 457-464, 1994.
- [10] Grogin, N. and Narayan, R. "A new model of the 0957-561 gravitational lens system" ApJ. 464: 92-113, 1996 June 10.
- [11] Weinberg, S. Gravitation and Cosmology. Jhon Wiley & Sons 1972

- [12] Castañeda, L. "Efectos de la Constante Cosmológica en la Probabilidad de lentes gravitacionales" Universidad Nacional de Colombia, Bogotá, 2002.
- [13] Falco, E. E., Shapiro, I. I., Moustakas, L. A. & Davis, M. 1997 ApJ, 484, 70.

## CONDUCTIVIDAD ELECTRICA Y FASES INTERMETALICAS EN BICAPAS DE Cu-Ni

Neil Torres López.

Grupo de Física de Materiales, Departamento de Física, Universidad del Atlántico, Km 7 antigua vía a Puerto Colombia, A.A. 1890, Barranquilla, Colombia, ntorres@uniatlantico.edu.co

**Resumen.** En este trabajo se presentan resultados sobre la detección de una fase intermetálica en bicapas de  $Cu - Ni$  producidas por deposición electrolítica de  $Ni$  sobre  $Cu$ , recocidas con láser de potencia de  $CO_2$  a diferentes velocidades de exposición. El análisis se hizo con las técnicas de Calorimetría Diferencial de Barrido Modulada ( $MDSC$ ) y Difracción de Rayos X ( $XRD$ ). Se midió la conductividad eléctrica de las bicapas, para lo cual se diseñó y construyó una fuente de corriente constante.

**Palabras Claves:** fases intermetálicas, conductividad eléctrica, láser de potencia, fuente de corriente.

**Abstract.** An intermetallic phase is formed by the action of a  $CO_2$  power laser on a Nickel film, deposited by electrolysis on a copper substrate. Some experimental results are reported, based in the results obtained by the following techniques: Differential Scanning Calorimetry Modulated and X-Ray Diffraction. It was measured the electrical conductivity of the bilayers, for something which was designed and built a source of constant current.

**Key- Words:** Intermetallic phase, electrical conductivity, power laser, source of current.

### 1. Introducción

En muchas multicapas metálicas se han reportado la detección de fases intermetálicas, como en  $Al/Ni$  producidas en forma de películas delgadas y detectadas por  $DSC$  [1,2]. En este trabajo se presentan los resultados de una fase intermetálica detectada en bicapas de  $Cu - Ni$  producidas por deposición electrolítica de níquel sobre cobre y recocidas con un láser de  $CO_2$  de 140 *Watt* de potencia a diferentes velocidades de exposición. La detección se hizo por las técnicas de  $MDSC$  y  $XRD$  en la cual se muestra una fase llamada: *Cooper Nickel Catalyst Cu-Ni (79 pc Cu)*. Para la medición de la conductividad eléctrica se diseñó y construyó una fuente de corriente de 100 *mA*. Trabajos posteriores deberán mostrar mayores detalles de la estructura y concentración de las capas.

### 2. Detalles Experimentales y Resultados

Mediante el método de deposición electrolítica se depositó una película de níquel sobre un sustrato de cobre, para lo cual se utilizó el electrolito Sulfanato de

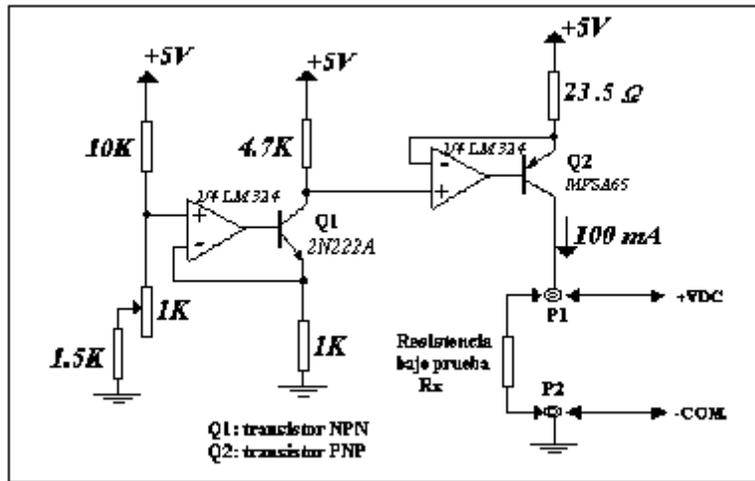


Figura 1: Diagrama esquemático del circuito de la fuente de 100 mA, entre los puntos  $P_1$  y  $P_2$  se coloca la lámina cuya conductividad se va a medir.

Níquel, la densidad de corriente se escogió de  $2,0 \text{ A/dm}^2$ . La lámina de cobre tiene un espesor de  $70 \mu\text{m}$  y el espesor del níquel depositado resultó de aproximadamente de  $30 \mu\text{m}$ , lo cual se determinó con un Microscopio Electrónico de Barrido (SEM)

El recocido de las láminas se hizo con un láser de  $\text{CO}_2$  de  $140 \text{ Watt}$ , el cual trabaja con un modo de descarga  $\text{TEM}_{00}$ , una frecuencia de pulso entre  $0,1-1,6 \text{ Hz}$  y no es polarizado.

Para la medición de la conductividad de las bicapas de  $\text{Cu} - \text{Ni}$ , se diseñó y construyó un dispositivo electrónico consistente en una fuente de corriente constante de  $100 \text{ mA}$  y un regulador de  $5 \text{ V}$  para su alimentación [3]; el diagrama electrónico de este dispositivo se muestra en la fig.1.

El circuito inyecta una corriente constante de  $100 \text{ mA}$  a la resistencia bajo prueba ( $R_x$ ), produciendo en la salida un voltaje  $\text{DC}$  directamente proporcional al valor de la resistencia.

Por la ley de Ohm se sabe que:

$$V_x = IR_x \tag{1}$$

Como en este caso la corriente es constante ( $100 \text{ mA}$ ) podemos escribir que el valor de la resistencia desconocida en términos de la lectura del multímetro digital utilizado, *Digital Fluke 97*:

$$R_x = FV_x \tag{2}$$

Donde el factor  $F$ , una vez calibrado el circuito es de  $F = 10 \frac{\Omega}{\text{V}}$ . La muestras se prepararon recortandolas en forma de rectángulos de  $13 \text{ mm} \times 4 \text{ mm}$  y colocandolas entre los puntos  $P_1$  y  $P_2$  de la fig. 1. Lo que realmente se mide por este

procedimiento es la resistencia cuadrada que viene dada por:  $R_x = R_{\square} = \frac{1}{\sigma t}$ , donde  $t = 100\mu m$  es el espesor de la lámina de Cu - Ni, por lo que la conductividad viene determinada por

$$\sigma = \frac{1}{tR_x} \tag{3}$$

Se tomaron tres muestras con las siguientes características:

$m_1$ : sin recocido láser

$m_2$ : con recocido láser cortada longitudinalmente a la huella del haz láser

$m_3$ : con recocido láser cortada transversalmente a la huella del haz láser

Los resultados de las mediciones son:

Muestra	Voltaje $V_x(V)$	Resistencia $R_x(\Omega)$	Conductividad $(\Omega m)^{-1}$
$m_1$	0.001	0.01	$10^6$
$m_2$	0.002	0.02	$0.5 \times 10^6$
$m_3$	0.002	0.02	$0.5 \times 10^6$

El análisis calorimétrico se realizó en forma modulada (*MDSC*) con un equipo *TA Instruments DSC 2820* [4]. En esta técnica, la muestra y el material de referencia están sujetos a un cambio de temperatura programado con precisión. Cuando ocurre una transición térmica (un cambio físico o químico que da lugar a una emisión o absorción de calor) en la muestra, se adiciona energía térmica bien sea a la muestra o a la referencia con el objeto de mantener ambas a la misma temperatura. Debido a que la energía transferida es exactamente equivalente en magnitud a la energía absorbida o producida en la transición, el balance de la energía proporciona una medición calorimétrica directa de la energía de transición. El flujo diferencial de calor hacia la muestra y a la referencia se monitorean mediante termopares; una sensibilidad calorimétrica constante permite obtener termogramas que señalan la temperatura en que se produce la transición y el área bajo la curva *MDSC* proporciona una medida directa del cambio de entalpia  $\Delta H$  para la transición.

Las muestra recocidas con láser con velocidades de exposición entre 120 – 350 *mm/ mín*, con masas entre 12 – 15 *mg*, se empaquetaron en cobre para el análisis calorimétrico; las condiciones de trabajo fueron: intervalo de temperatura de calentamiento entre la temperatura ambiente y 600° *C*, se utilizó como gas de purga nitrógeno con flujo de 60 *cc/ mín*. A cada una de las muestras se le repitió el calentamiento obteniéndose los mismos resultados, lo que garantiza la reversibilidad de la transición. En la fig. 2. se presenta, para una de las muestras, el resultado del termograma donde se señala la temperatura para la cual se produce la transición y el valor de la entalpia por unidad de masa  $\Delta H/m$ . Con la técnica de difracción de rayos X (*XRD*) se pudo identificar la fase previamente detectada con la técnica *MDSC*, para lo cual a las muestras se les removió parcialmente la capa de níquel con ácido nítrico y luego se colocaron sobre una placa de aluminio a fin de que estuvieran completamente planas para el análisis de rayos X. Para este análisis se utilizó un Difractómetro Philips tipo

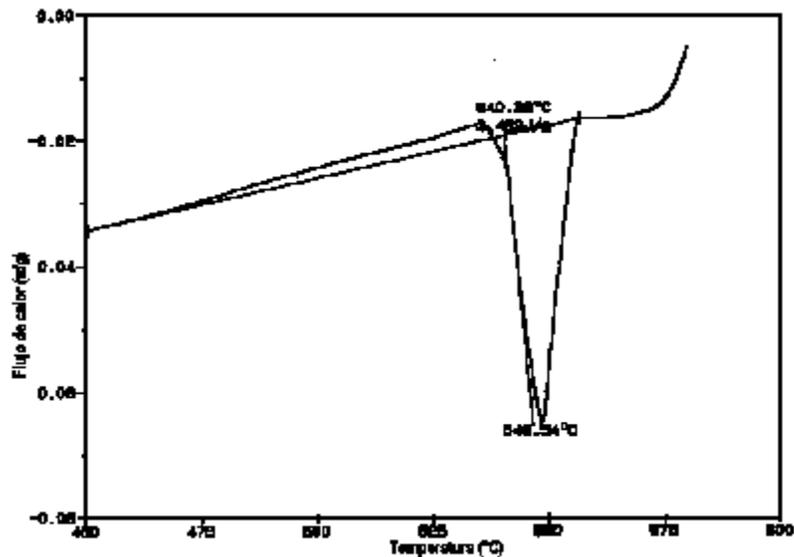


Figura 2: Termograma de una muestra de 12 mg y velocidad de recocido láser de 250 mm/mín.

*PW1710 BASED*, ánodo de cobre, voltaje de operación de 40 kV, corriente de 25 mA y longitud de onda de 1,54056 Å.

El difractograma de una de las muestras se presenta en la fig. 3; naturalmente, no se espera la presencia de líneas debidas a la estructura del cobre, pero si de níquel o de cualquiera otra estructura presente. Una vez consultado el catálogo, se identificaron los picos como de níquel y de la aleación llamada *Copper Nickel Catalyst Cu-Ni (79 pc Cu)* [5].

### 3. Conclusiones

La medición de la conductividad de las bicapas permitió encontrar un método útil y preciso, como es el de la fuente de corriente constante de 100 mA, diferente al tradicional de las cuatro puntas. Esta medición nos permite decir que la conductividad disminuye en un 50% con el recocido láser y que es independiente de la forma en que se cortan las muestras, transversal o longitudinal a la huella del haz láser. Esto se podría explicar diciendo que, cuando se forma la aleación el desorden en la estructura aumenta, por lo que la circulación de la corriente por estas bicapas recocidas se dificulta y por lo tanto disminuye su conductividad, de conocer la estructura cristalina de la aleación se podría obtener una mayor información que explicara este comportamiento.

A pesar de que la técnica de deposición electrolítica es bastante antigua permitió producir bicapas de *Cu – Ni* con el espesor adecuado para el recocido con láser

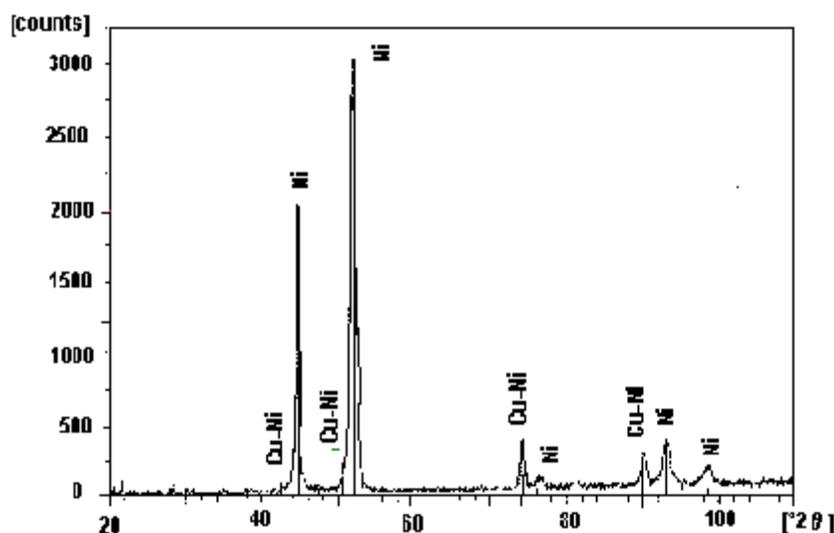


Figura 3: Difractograma de una muestra recocida con láser de  $CO_2$  a la velocidad de exposición de 250 mm/mín.

sin que se produjera la fusión del material. Aún deberá trabajarse más para dosificar en mejor forma la potencia, la velocidad de barrido de las láminas bajo el haz del láser y el gas de protección para poder lograr un óptimo recocido de las bicapas.

La detección de la fase intermetálica mencionada fue posible mediante la técnica *MDSC*, pues se presenta una transición de fase entre las temperaturas de  $538^{\circ}C$  y  $549^{\circ}C$ , para las diferentes muestras analizadas, no observándose variación significativa con la velocidad de exposición del láser.

La identificación de la fase intermetálica se realizó con la técnica *XRD* y se puede garantizar que se produce esta fase debido a que tanto en el recocido como en la deposición electrolítica hay energía suficiente para producir esta aleación o fase intermetálica, pues fue detectada también en las bicapas sin recocido láser. Se puede mejorar aún el análisis con esta técnica de darse una variación de la temperatura en el difractor.

Además, de la fase intermetálica detectada no se conocen trabajos que permitan conocer su estructura cristalina, así como también resultados experimentales para obtenerla. Se piensa que si se producen bicapas o multicapas por otros procedimientos como *Sputtering* o evaporación en vacío es posible obtener un mejor control sobre los parámetros de deposición y un mayor análisis de esta fase.

## Referencias

- [1] E. Ma, C.V. Thompson and Clevenger; J. Appl. Phys. **69**, 2211 (1991)
- [2] A.S. Edeltein, R.K. Everett, G.Y. Richardson, S.B. Qadri, E.I. Altman, J.C. Foley and J:H: Perepezko, J. Appl. Phys. **76**, 7850 (1994)
- [3] Hernandez Jorge E.; Electrónica & Computadores; Publicaciones Cedit S.A. **3**, 68 (1997)
- [4] Modulated DSC Compendium. Basic Theory & Experimental Considerations; Thermal Analysis & Rheology
- [5] Inorganic Index to the Powder Diffraction File, american Society for Testing and Materials, 1969

## MODOS ELECTROMANÉTICOS COLECTIVOS EN SUPERCONDUCTORES DE CAPAS EN ESTADO DE VORTICES

R. Vega Monroy\*, C. Montoya Morrón, P. Pacheco Martínez  
Grupo de Física Teórica del Estado Sólido, Departamento de Física,  
Universidad del Atlántico, Km 7 antigua vía a Puerto Colombia, A.A. 1890,  
Barranquilla, Colombia,\*rvega@uniatlantico.edu.co

**Resumen.** En este trabajo son estudiados diferentes tipos de modos colectivos electromagnéticos que se pueden propagar en superconductores de capas en estado de vórtices. Son obtenidas expresiones analíticas para modos del tipo helicón. Además son estudiados modos electromagnéticos que representan una mixtura entre magnetoplasmon y plasmón, así como ondas que representan una combinación entre helicón y plasmón. Es encontrado que la ley de dispersión de este tipo de modos presenta un corrimiento en frecuencia a diferencia de excitaciones similares en conductores normales y superconductores convencionales.

**Palabras Claves:** Superconductores de capas, modos colectivos electromagnéticos, estado de vórtices, helicón, plasmón, magnetoplasmon.

**Abstract.** Collective electromagnetic modes in layered superconductors in the vortex state are studied. Some analytic expressions for helicon-like, a mixture of helicon-plasmon-like and also plasmon-magnetoplasmon-like modes are obtained. The dispersion laws for these collective excitations present a frequency-shift in contrast with similar modes in layered conductors and conventional superconductors.

**Key- Words:** Layered superconductors, collective electromagnetic modes, vortex state, helicon, plasmon, magnetoplasmon.

## 1. Introducción

En la actualidad la gran importancia del estudio de la propagación de ondas electromagnéticas radica en la posibilidad que presentan este tipo de trabajos en el desarrollo y la caracterización de nuevos tipos de materiales, los cuales están ligados al avance de la tecnología.

La historia de estudios teóricos dedicados al análisis del espectro de modos colectivos en superconductores se remonta a los trabajos clásicos de De Gennes y Matricon [1]. En los años noventa, con el descubrimiento de los superconductores de altas temperaturas, los estudios de excitaciones colectivas electromagnéticas en superconductores de capas toman un nuevo auge y la literatura encontrada es sumamente extensa.

En los trabajos [2] y [3] se analiza el espectro de modos colectivos electromagnéticos en superconductores de capas y el acoplamiento entre estas excitaciones.

En [4] se determina el espectro de plasmones en conductores de capas vía interacción columbiana y cómo el efecto de éstos plasmones puede determinar el valor de la brecha energética en los superconductores. En el trabajo [5] son estudiadas, en el formalismo de la Transfer-Matriz, ondas superficiales en superconductores de capas, así como en [6] y [7] son analizados los llamados modos de plasma de Josephson en estos mismos sistemas. En [8] son analizados modos electromagnéticos localizados en capas defectuadas en superconductores de capas.

El presente trabajo continua los estudios realizados en [9], pero ampliados a sistemas superconductores de capas en presencia de vortices.

## 2. Modelo

El modelo estudiado representa un arreglo infinito de planos superconductores bidimensionales en estado de vortices embebidos en una matriz dieléctrica con constante  $\epsilon$ . La separación  $a$  entre los planos es suficientemente grande, así que se desprecia el tunelamiento de electrones superconductores a través del dieléctrico, de manera que la interacción entre planos se realiza a través del campo electromagnético. Un campo magnético externo es aplicado en dirección  $z$  perpendicular a los planos superconductores, además el sistema es excitado por medio de un campo electromagnético  $E_l = E_l(\vec{q}, z, \omega) \exp[i(\vec{q}\vec{\rho} - \omega t)]$ , donde  $\vec{q}$  es el vector de onda en el plano y  $\vec{\rho}$  es el vector de posición bidimensional,  $l = x, y, z$ .

Bajo estas condiciones el campo electromagnético induce corriente eléctrica  $J_\alpha = \sum_{\beta, n} \sigma_{\alpha\beta}(\vec{q}, \omega, H) \delta(z - an) E_\beta(\vec{q}, \omega, z)$  en los planos superconductores los cuales generan un campo electromagnético que polariza la matriz dieléctrica. Dicho proceso es repetitivo a lo largo de toda la estructura, dando como resultado la excitación de modos colectivos electromagnéticos.  $\sigma_{\alpha\beta}$  es el tensor bidimensional de conductividad,  $\delta(z - an)$  es la función delta de Dirac,  $\alpha, \beta = x, y$  y  $n$  es un índice que número el plano superconductor.

Teniendo en cuenta todo lo anterior podemos escribir las ecuaciones Maxwell de la siguiente manera:

$$\text{grad}(\text{div}\vec{E}) - \Delta\vec{E} = -\frac{\epsilon}{c^2} \frac{\partial^2 \vec{E}}{\partial t^2} + \frac{4\pi}{c^2} \frac{\partial}{\partial t} \vec{J}. \quad (1)$$

Asumiendo que  $\vec{q}$  es paralelo al eje  $y$  podemos escribir esta ecuación para las componentes del campo eléctrico en el plano como sigue:

$$\left(\frac{\partial^2}{\partial z^2} - q_\omega^2\right) E_x = \frac{4\pi i \omega}{c^2} J_x \quad (2)$$

y

$$\left(\frac{\partial^2}{\partial z^2} - q_\omega^2\right) E_y = -\frac{4\pi i q_\omega^2}{\omega \epsilon} J_y, \quad (3)$$

donde

$$q_\omega^2(z) = q^2 - \frac{\omega^2 \epsilon}{c^2}. \quad (4)$$

Teniendo en cuenta la expresión para la corriente podemos escribir las ecuaciones anteriores de la siguiente forma matricial:

$$E_\alpha(n) = \sum_{\beta, n'} U_{\alpha\beta} G_{q\omega}^\beta(n, n') \sigma_{\alpha\beta} E_\beta(n'), \quad (5)$$

donde la función de Green  $G_{q\omega}^\alpha(n, n') = -\frac{1}{2q\omega} \exp(-q\omega |z - z'|)$  satisface la ecuación

$$\left( \frac{\partial^2}{\partial z^2} - q_\omega^2(z) \right) G_{q\omega}^\alpha(z, z') = \delta(z - z'), \quad (6)$$

Los coeficientes  $U_{\alpha\beta}$  tienen la siguiente forma:

$$U_{xx} = U_{xy} = \frac{4\pi i\omega}{c^2}, \quad U_{yy} = U_{yx} = -\frac{4\pi i q_\omega^2}{\omega}. \quad (7)$$

Cambiando de representación a través de la transformada de Fourier

$$E_\beta(n) = \frac{a}{2\pi} \int_{-\pi/a}^{\pi/a} dk e^{ikn} E_\beta(k) \quad (8)$$

obtenemos la siguiente ecuación:

$$\sum_{\beta} [\delta_{\alpha\beta} - \sigma_{\alpha\beta}(q, \omega, H) U_{\alpha\beta} S(\vec{q}, k, \omega)] E_\beta(q, k, \omega) = 0, \quad (9)$$

donde

$$S(\vec{q}, k, \omega) = \sum_{n=-\infty}^{\infty} e^{-q\omega a|n| + ikn} = \frac{\sinh q\omega a}{\cosh q\omega a - \cos ka}. \quad (10)$$

La solución a la ecuación (9) expresa las leyes de dispersión de modos colectivos electromagnéticos. Esta ecuación tendrá soluciones diferentes de cero sí el determinante de la matriz principal es igual a cero.

Como se puede ver claramente de (9), la forma y el tipo de ley de dispersión de las ondas electromagnéticas depende enteramente de la forma que posea el tensor de conductividad, el cual obtendremos seguidamente.

Para describir la dinámica del sistema electrónico en los planos superconductores en estado de vórtices, haremos uso del modelo de Drude, en el cual los electrones superconductores de carga  $e$  y masa  $m$  poseen una aceleración:

$$\frac{\partial \vec{v}_s}{\partial t} = \frac{e}{m} \left[ \vec{E} + \frac{1}{c} (\vec{v}_s \times \vec{H}) \right] + \frac{\vec{F}}{\rho_s} \sum_i \delta(\rho_i), \quad (11)$$

donde  $\vec{E}, \vec{H}$  son el campo eléctrico y magnético respectivamente, y  $\vec{v}_s$  y  $\rho_s = n_s e$  es la velocidad y la densidad de los superelectrones.  $\vec{F}$  representa la fuerza de Magnus propiciada por la acción de los vórtices en el sistema electrónico ubicados en la posición  $\rho_i$ . La fuerza de Magnus tiene la siguiente forma [10]:

$$\vec{F} = \rho_s [(\vec{v}_l - \vec{v}_s) \times \vec{\kappa}], \quad (12)$$

donde  $\kappa = h/2m$  es el cuanta de circulación y  $\vec{v}_l$  es la velocidad con que se mueve el vórtice. Al colocar la expresión (12) en (11) y en el límite  $\vec{v}_l \ll \vec{v}_s$  tenemos

$$\frac{\partial \vec{v}_s}{\partial t} = \frac{e}{m} \left\{ \vec{E} + \frac{1}{c} \left[ \vec{v}_s \times \left( \vec{H} - \vec{B} \right) \right] \right\}, \quad (13)$$

donde  $\vec{B} = n_l \Phi_o$  es la inducción magnética.  $n_l$  es el número de vórtices y  $\Phi_o = ch/2m$  es el cuanta magnético. Finalmente expresando (13) en forma de ley de Ohm  $J_\alpha = \sigma_{\alpha\beta} E_\beta$  y teniendo en cuenta que  $\vec{J} = n_s e \vec{v}_s$ , obtenemos las componentes del tensor de conductividad del sistema electrónico superconductor bidimensional:

$$\sigma_{xx} = \frac{ia}{2\pi} \frac{\omega_p^2 \omega}{(\omega_c - \omega_l)^2 - \omega^2}, \quad \sigma_{xy} = \frac{a}{\pi} \frac{\omega_p^2 (\omega_c - \omega_l)}{(\omega_c - \omega_l)^2 - \omega^2}, \quad (14)$$

$$\sigma_{xx} = \sigma_{yy}, \quad \sigma_{xy} = -\sigma_{yx}, \quad (15)$$

donde  $\omega_p^2 = 2\pi n_s e^2 / ma$  es la frecuencia de plasma,  $\omega_c = eH/mc$  es la frecuencia ciclotrónica y  $\omega_l = eB/mc$ .

### 3. Modos colectivos electromagnéticos

En esta sección obtendremos expresiones analíticas para leyes de dispersión de modos colectivos electromagnéticos excitados en el sistema analizado.

Si escribimos de manera explícita el determinante de la ecuación (9), teniendo en cuenta (14) y (15) obtenemos:

$$1 - \frac{2\pi a \omega_p^2 \omega}{\Omega^2 - \omega^2} S(q, k) \left( \frac{\omega}{c^2 q_\omega} - \frac{q_\omega}{n_o^2 \omega} \right) + \frac{\omega_p^4}{c^2 n_o^2 (\Omega^2 - \omega^2)} S^2(q, k), \quad (16)$$

donde  $\Omega = \omega_c - \omega_l$ .

Inicialmente comenzaremos nuestro análisis con ondas cuya dispersión es a lo largo de la orientación del campo magnético externo, o sea cuando  $q = 0$ . En este sentido  $q_\omega = (in_o/c)\omega$  y el parametro  $S(q, k)$  adquiere la siguiente forma:

$$S(0, k) = \frac{\frac{in_o}{c} \omega}{2 \sin \frac{ka}{2}}. \quad (17)$$

Colocando esta expresión en (16) obtenemos la siguiente ecuación

$$\omega = \frac{\Omega \sin^2 \frac{ka}{2}}{\sin^2 \frac{ka}{2} + \left( \frac{\tilde{\omega}_p}{2} \right)^2} \quad (18)$$

donde  $\tilde{\omega}_p = \omega_p a / c$ .

La ecuación (18) representa la ley de dispersión de ondas circularmente polarizadas, orientadas a lo largo del vector de intensidad del campo magnético y

conocidas como helicones. La característica principal de estas ondas es la dependencia cuadrática de la frecuencia con respecto al vector de onda. Este tipo de modos ha sido estudiado en diferentes sistemas tanto superconductores convencionales [1], como en conductores normales de capas [9]. La diferencia de la ecuación (18) a la obtenida en conductores normales [8] radica en el corrimiento de la frecuencia  $\Omega = \omega_c - \omega_l$  debido a la presencia de los vortices en el sistema electrónico. Este corrimiento conlleva a que en el límite cuando  $\omega_l \rightarrow \omega_c$ , que coincide con la completa penetración del campo en el superconductor, el modo (18) desaparece.

En el límite  $ka \rightarrow 0$  obtenemos el siguiente resultado:

$$\omega = \frac{\Omega}{\omega_p^2} c^2 k^2 \quad (19)$$

que coincide con el resultado clásico estudiado por De Gennes y Matricon [1] en superconductores convencionales.

Analizemos ahora el límite  $q \gg n_o \omega / c$ . En este caso  $q_\omega \simeq q$  y de la ecuación (9) obtenemos la siguiente ley de dispersión:

$$\omega^2 = \frac{\Omega^2 qa}{qa + \tilde{\omega}_p^2 S(q, k)} + \frac{qa S(q, k) \omega_p^2}{n_o^2}. \quad (20)$$

Esta ecuación está formada por dos términos, el primero para el caso  $qa \ll 1$  toma la siguiente forma:

$$\omega_1^2 = \frac{\Omega^2 \sin^2 \frac{ka}{2}}{\sin^2 \frac{ka}{2} + \frac{\tilde{\omega}_p^2}{2}} \quad (21)$$

y representa un modo colectivo cuya ley de dispersión se asemeja a (18). El segundo término se puede escribir de la siguiente manera:

$$\omega_2^2 = \left( \frac{\omega_p}{n_o} \right)^2 \frac{qa \sinh qa}{\cosh qa - \cos ka}, \quad (22)$$

que es la expresión para una onda de plasma tridimensional. De esta ecuación podemos ver que para valores de  $ka$  múltiplos de  $\pi/2$  esta expresión se convierte en la ley de dispersión de un plasmón en superconductores convencionales. De lo anterior podemos concluir que (20) representa la ley de dispersión de un modo colectivo que es la combinación de un plasmón y un helicón.

Finalmente, para el caso en que  $ka$  es múltiplo de  $2\pi$  y  $q_\omega \simeq q$  tenemos que  $S \simeq 2/qa$  y

$$\omega^2 = \frac{q^2 a^2}{q^2 a^2 + \tilde{\omega}_p^2} \left[ \Omega^2 + \frac{2\omega_p^2}{n_o^2} \left( 1 + \frac{2\tilde{\omega}_p^2}{q^2 a^2} \right) \right]. \quad (23)$$

Este modo posee una brecha del orden de  $\omega_p$ , lo que claramente se ve en el límite cuando  $qa \rightarrow 0$ . Esta excitación colectiva es la combinación de un magnetoplasmon el cual se encuentra expresado a través del primer término de esta ecuación, y de un plasmón representado en el segundo término.

## 4. Conclusión

En este trabajo es analizada la propagación de diferentes tipos de modos colectivos electromagnéticos que pueden existir en superconductores de capas en estado de vórtices. Son obtenidas expresiones analíticas para modos electromagnéticos sin tener en cuenta la contribución de las excitaciones internas en los vórtices, sino desde el punto de vista fenomenológico, en el modelo de Drude, es analizado el efecto del vórtice sobre el movimiento mismo de los electrones. Inicialmente es obtenida una expresión general en la ecuación (9) para la ley de dispersión de modos electromagnéticos para estructuras de capas en completa analogía con [9]. La particularidad en el presente análisis consiste en la contribución de la fuerza, proporcional a la inducción magnética, en el tensor de conductividad como consecuencia de la aparición de vórtices en el sistema superconductor.

En este sentido se obtiene una expresión analítica concreta en la ecuación (18), para modos electromagnéticos polarizados circularmente que se propagan en la dirección del campo magnético externo conocidos como helicones. La ley de dispersión de estos helicones presenta un corrimiento de frecuencia con respecto a los helicones en conductores normales de capas analizados en el trabajo [9]. Para el límite  $k \rightarrow 0$  la ecuación (19) coincide exactamente con el tipo de helicones en superconductores convencionales analizados en el trabajo de De Gennes y Matricón [1].

En el límite  $q \gg n_o \omega / c$  es obtenida una expresión para un tipo de onda que representa una combinación entre helicón y plasmón, dependiendo de los valores para la componente  $z$  del vector de onda.

Para el caso en que  $ka$  es múltiplo de  $2\pi$  es obtenida la ley de dispersión para modos electromagnéticos que representan una mezcla entre magnetoplasmón y plasmón (ver Ec.(23)).

Todos los resultados aquí resumidos representan un primer paso para una mejor descripción del espectro de ondas en superconductores de capas en estado de vórtices. La siguiente etapa de estos estudios deberán tener presente las excitaciones excitantes en el vórtice mismo y como estas influyen en la dinámica del sistema electrónico superconductor, así como otros efectos propios de estos sistemas como son el pinning, etc.

## 5. Agradecimientos

Los autores agradecen a la Universidad del Atlántico por la financiación de este trabajo a través de la convocatoria "Pensar el Caribe Colombiano".

## Referencias

- [1] P.G. De Gennes and J. Matricón, Rev. Mod. Phys. 36, 45 (1964).
- [2] H.A. Fertig and S. Das Sarma, Phys. Rev. Lett. 65, 1482 (1990).

- [3] H.A. Fertig and S. Das Sarma, Phys. Rev. B 44, 4480 (1991).
- [4] R. Cote and A. Griffin, Phys. Rev. B 48, 10404 (1993).
- [5] V.M. Gvozdkov, Physica C 224, 293 (1994).
- [6] L.N. Bulaevskii *et. al.*, Phys. Rev B 53, 14601 (1996).
- [7] E.B. Sonin, Phys. Rev. Lett. 79, 3732 (1997)
- [8] V.M. Gvozdkov and R. Vega Monroy, Supercond. Sci. Technol. 12, 238 (1999).
- [9] V.M. Gvozdkov and R. Vega Monroy, Low Temp. Phys. 25, 802 (1999).
- [10] E.B. Sonin, cond-mat/9606099 (1996).

**RETARDO TEMPORAL EN EL SISTEMA QSO 0218+357  
USANDO EL MODELO DE LA ESFERA ISOTERMA CON  
NÚCLEO**

Ubaldo Molina Redondo  
ubaldoe40@hotmail.com

Departamento de Física, Universidad del Atlántico, Km 7 antigua vía a Puerto  
Colombia, A.A. 1890, Barranquilla, Colombia.

**Resumen.** En este artículo se encuentra una expresión analítica para el retardo temporal usando el modelo de la Esfera Isoterma con Núcleo ( $\Delta t_{EIN}$ ). Esta expresión se puede aplicar a cualquier sistema cuasar de lentes por galaxias y en particular el retardo temporal se aplica al sistema QSO 0218+357, haciendo uso de los valores observacionales medidos en dicho sistema y también fijando los parámetros cosmológicos más aceptados en la literatura. Por lo cuál el retardo temporal queda únicamente en función del radio del núcleo. Teóricamente cuando el radio del núcleo sea cero, el retardo temporal con núcleo ( $\Delta t_{EIN}$ ), debe coincidir con el retardo temporal del modelo de Esfera Singular Isoterma ( $\Delta t_{ESI}$ ) y de hecho debe ser acorde con el valor del retardo temporal medido observacionalmente en dicho sistema (10,1días). Se trata entonces de analizar qué tan sensible es el retardo temporal con respecto al radio del núcleo de la galaxia deflector[1].

**Palabras Claves:** Retardo temporal, Esfera Isoterma, Lentes por Galaxias.

**Abstract.** In this article, it is found an analytical expression for temporal retard using the isothermal sphere models with nucleus ( $\Delta t_{EIN}$ ). This expression is applied or assigned to any quasar system of lensing by galaxies particularly the temporal retard is applied to the QSO 0218+357 system, using the observational values measured in the mentioned system and setting the cosmological parameters more acceptable in the literature. Because of this the temporal retard just remains in function of the nuclear radius. Theoretically when the nuclear radius is zero, the temporal retard with nucleus ( $\Delta t_{EIN}$ ), must coincide with the temporal retard of the singular Isothermal Sphere model ( $\Delta t_{ESI}$ ) in fact must be accord with the value of the temporal retard measured observationally in the mentioned system (10.1 days). It is about analyzing the sensitivity of the temporal retard with respect to the nuclear radius of the deflector galaxy.

**Key- Words:** Temporal Retard, Isotherm Sphera, Galaxy Lens.

## 1. Introducción

De acuerdo con datos observados, el sistema QSO 0218+357 muestra que el retardo temporal entre sus dos imágenes es de  $\Delta t_{ob} = 10,1días$ . Al aplicarle

a éste sistema la expresión analítica del retardo temporal del modelo de la Esfera Singular Isoterma ( $\Delta t_{ESI}$ ), y fijando los parámetros cosmológicos se encuentra que retardo temporal se ajusta con mucha satisfacción al valor del retardo observacional (10,1días). Los parámetros cosmológicos fijados también se ajustan en buena medida a los parámetros cosmológicos más aceptados en la literatura. De tal manera que en la actualidad el quasar QSO 0218+357, se ajusta mucho mejor al modelo de la ESI, que cualquier otro modelo de lentes por galaxias.

Mediante el modelo de la EIN se encuentra la expresión analítica del retardo temporal, el cuál se puede aplicar a cualquier sistema de lentes por galaxias. A manera de ejemplo la expresión del retardo temporal con núcleo ( $\Delta t_{EIN}$ ), se aplica al quasar QSO 0218+357, habiendose fijando para ello inicialmente los parámetros comológicos más aceptables en la literatura. Se analiza la validez de la expresión analítica del retardo temporal tomando diferentes valores del radio del núcleo hasta encontrar el intervalo en donde dicho retardo temporal coincida con el valor observacional.

## 2. Modelo

La distribución de densidad volumétrica de masa para el modelo de la Esfera Isoterma con Núcleo (EIN), es de la forma,

$$\rho(r) = \frac{\sigma_p^2}{2\pi G (r^2 + a^2)} \tag{1}$$

siendo:  $\sigma_p$  la velocidad de dispersión

$a$  el radio del núcleo

$G$  contante de gravitación de Newton

De distribución (1) se observa que cuando el radio del núcleo es cero ( $a = 0$ ) el modelo se reduce al modelo de la Esfera Singular Isoterma[2], es decir,

$$\rho(r) = \frac{\sigma_p^2}{2\pi G r^2} \tag{2}$$

El modelo propuesto en la ec.1 se puede proyectar sobre un plano, obteniendose una densidad superficial de masa  $\Sigma$  para la lente, usado el operador proyección[4],

$$\Sigma(R) = 2 \int_R^\infty \frac{\rho(r)r}{\sqrt{r^2 - R^2}} dr \tag{3}$$

donde:  $R$  es el parámetro de impacto.

Usando el cambio de variable:  $r^2 = R^2 + z^2$  se obtiene,

$$\begin{aligned} \Sigma(R) &= 2 \int_0^\infty \rho(r) dz \\ &= \frac{\sigma_p^2}{2G\sqrt{R^2 + a^2}} \end{aligned} \tag{4}$$

Se observa que cuando el radio del núcleo es cero ( $a = 0$ ) la densidad superficial de masa  $\Sigma$  se reduce a la del modelo de la ESI,

$$\Sigma_{ESI}(R) = \frac{\sigma_p^2}{2GR} \tag{5}$$

En la expresión de la densidad superficial de masa con núcleo (ec,4) se puede escribir mejor usando los cambios algebraicos:  $R = \xi_0 x$  y  $A = \frac{a}{\xi_0}$ , lo cuál facilitan los cálculos de los elementos de las Lentes Gravitacionales,

$$\Sigma(\xi_0 x) = \frac{\sigma_p^2}{2G\xi_0\sqrt{x^2 + A^2}} \tag{6}$$

donde:  $A, x$  son cantidades adimensionales y  $\xi_0$  es un factor de escala

### 3. Ángulo y Potencial de Deflexión

Para obtener las expresiones analíticas del ángulo de desviación y el potencial de deflexión, se debe encontrar el shear,

$$\begin{aligned} k(x) &= \frac{\Sigma(x)}{\Sigma_{cr}} \\ &= \frac{4\pi\sigma_p^2 D_L D_{LS}}{2\sqrt{x^2 + A^2} \xi_0 c^2 D_S} \end{aligned} \tag{7}$$

siendo:  $\Sigma_{cr} = \frac{c^2 D_S}{4\pi G D_L D_{LS}}$  la densidad crítica y  $R = \xi_0 x$   
Escogiendo el factor de escala en la forma,

$$\xi_0 = \frac{4\pi\sigma_p^2 D_L D_{LS}}{c^2 D_S} \tag{8}$$

el shear queda así,

$$k(x) = \frac{1}{2\sqrt{x^2 + A^2}} \tag{9}$$

Con ésta expresión (ec,9) se obtienen las expresiones analíticas del ángulo de desviación y el potencial de deflexión.

El ángulo de desviación y el potencial de deflexión se obtiene aplicando las ecuaciones 8.3 y 8.7 respectivamente del libro lentes gravitacionales de “P. Schneider, J. Ehlers y E. Falco<sup>2</sup>” pág231[5], después realizar la integral y de volver a las cantidades originales se tiene:

#### Ángulo de desviación,

$$\begin{aligned} \alpha &= \frac{2}{x} \int_0^x x' k(x') dx' \\ &= \sqrt{1 + \frac{a^2}{R^2}} - \frac{a}{R} \end{aligned} \tag{10}$$

**El potencial de deflexión,**

$$\begin{aligned} \Psi &= 2 \left[ \ln x \int_0^x x' k(x') dx' - \int_0^x x' k(x') \ln x' dx' \right] \\ &= \frac{1}{\xi_0} \left[ \sqrt{R^2 + a^2} - a \ln \left| a + \sqrt{R^2 + a^2} \right| - a(1 - \ln 2a) \right] \end{aligned} \quad (11)$$

Las expresiones analíticas del cuadrado del ángulo de desviación y el potencial de deflexión se utilizan para hallar el retardo temporal.

#### 4. Retardo Temporal

Aplicando la ecuación 5.44 de la pág170 del libro de “P. Schneider, J. Ehlers y E. Falco<sup>2</sup>”, el retardo temporal entre dos imágenes es[5],

$$\Delta t = \frac{\xi_0^2 D_S}{c D_L D_{LS}} (1 + z_L) \left| \frac{1}{2} (\alpha_2^2 - \alpha_1^2) - (\Psi_2 - \Psi_1) \right| \quad (12)$$

donde:  $D_S$  es la distancia observador-fuente  
 $D_L$  es la distancia observador-lente  
 $D_{LS}$  es la distancia lente-fuente  
 $z_L$  es el corrimiento hacia el rojo de la lente.

Reemplazando las ecuaciones (10) y (11) en la expresión del retardo temporal (ec.12) se tiene,

$$\Delta t = \frac{(1 + z_L)}{c} \frac{\xi_0^2 D_S}{D_L D_{LS}} \left| \begin{aligned} &a^2 \left( \frac{1}{R_2^2} - \frac{1}{R_1^2} \right) - a \left( \frac{\sqrt{R_2^2 + a^2}}{R_2^2} - \frac{\sqrt{R_1^2 + a^2}}{R_1^2} \right) \\ &- \frac{1}{\xi_0} \left[ \sqrt{R_2^2 + a^2} - \sqrt{R_1^2 + a^2} - a \ln \left( \frac{a + \sqrt{R_2^2 + a^2}}{a + \sqrt{R_1^2 + a^2}} \right) \right] \end{aligned} \right| \quad (13)$$

siendo:  $R_1 = \theta_1 D_L$  y  $R_2 = \theta_2 D_L$  los parámetros de impactos de las imágenes  $\theta_1$  y  $\theta_2$  respectivamente.

Usando el valor del factor de escala  $\xi_0$  (ec.8) y haciendo las operaciones algebraicas necesarias el retardo temporal (ec.13) queda en la forma,

$$\Delta t = \frac{(1 + z_L)}{c} \left| \begin{aligned} &\left( 4\pi \left( \frac{\sigma_p}{c} \right)^2 \right)^2 \frac{D_L D_{LS}}{D_S} \left[ \frac{a^2}{R_2^2} - \frac{a^2}{R_1^2} - \left( \sqrt{1 + \frac{a^2}{R_2^2}} - \sqrt{1 + \frac{a^2}{R_1^2}} \right) a \right] \\ &- 4\pi \left( \frac{\sigma_p}{c} \right)^2 \left[ \sqrt{R_2^2 + a^2} - \sqrt{R_1^2 + a^2} - a \ln \left( \frac{a + \sqrt{R_2^2 + a^2}}{a + \sqrt{R_1^2 + a^2}} \right) \right] \end{aligned} \right| \quad (14)$$

Esta expresión para el retardo temporal es aplicable a cualquier sistema de lentes por galaxias y además se observa que cuando el radio del núcleo es cero ( $a = 0$ ), la ec.14 se reduce a la expresión de la ESI, es decir,

$$\begin{aligned} \Delta t_{ESI} &= 4\pi \frac{(1 + z_L)}{c} \left( \frac{\sigma_p}{c} \right)^2 |R_2 - R_1| \\ &= 4\pi \frac{(1 + z_L)}{c} \left( \frac{\sigma_p}{c} \right)^2 D_L |\theta_2 - \theta_1| \end{aligned} \quad (15)$$

Este resultado particular obtenido a partir de la ec.14, garantiza que al aplicarlo al sistema QSO 0218+357 se tendrán retardos temporales  $\Delta t$  acordes con el observacional  $\Delta t_{ob}$ , cuando el radio del núcleo sea pequeño respecto al parámetro de impacto.

### 5. Aplicación al Sistema QSO 0218+357

Una de las aplicaciones más satisfactorias del modelo de la ESI se hace sobre el sistema QSO 0218+357 el cuál muestra algunos valores observacionales como: velocidad de dispersión  $\sigma_p = 150Km/s$ , posición de las dos imágenes  $\theta_1 = 290mas$  y  $\theta_2 = 40mas$ , corrimiento hacia el rojo tanto de la fuente  $z_S = 0,94$  como de la lente  $z_L = 0,68$ , y el retardo temporal  $\Delta t_{ob} = 10,1días$ . El retardo temporal  $\Delta t$  (ec,14) se aplicará a éste mismo sistema para analizar en qué medida el núcleo afecta los valores en dicho retardo temporal. Fijando los parámetros comológicos más aceptables en la literatura y usando la ecuación de Dyer-Roeder[3], con los valores de  $z_S$  y  $z_L$ , se obtienen los valores numéricos de la distancia observador-lente  $D_L = 1,364 * 10^9 Pc$  y la sección eficaz  $\frac{D_L D_{LS}}{D_S} = 2,250 * 10^7 Pc$ . Usando la relación  $R = \theta D_L$ , los valores de los parámetros de impacto de las dos imágenes quedan fijados:  $R_1 = 1918,21 Pc$  y  $R_2 = 264,58 Pc$ . Al reemplazar todos los valores numéricos en la ec.14, el retardo temporal únicamente queda en función del radio del núcleo. Expresado el radio del núcleo de la distribución esférica de masa, en la unidades de parsec ( $1Pc=3.08*10^{16}m$ ) el retardo temporal  $\Delta t$  quedará en las unidades  $\frac{Pc}{c}$ , es decir,

$$\Delta t = \left| \begin{array}{l} 0,103 \left[ 1,40 * 10^{-5} a^2 - \left( \sqrt{1 + \left( \frac{a}{264,58} \right)^2} - \sqrt{1 + \left( \frac{a}{1918,21} \right)^2} \right) a \right] \\ -6,27 * 10^{-3} \left[ \sqrt{264,58^2 + a^2} - \sqrt{1918,21^2 + a^2} \right] \\ -a * \ln \left( \frac{a + \sqrt{264,58^2 + a^2}}{a + \sqrt{1918,21^2 + a^2}} \right) \end{array} \right| \tag{16}$$

donde el radio del núcleo toma los valores en el intervalo  $0 \leq a \leq 264,58 Pc$ . Para algunos valores del radio del núcleo se obtiene,

**Tabla1**  
**Retardo temporal contra el radio del núcleo**

a(Pc)	Δt(días)
0	10.37
1	10.36
2	10.35
3	10.33
5	10.31
10	10.25
20	10.12
30	9.989

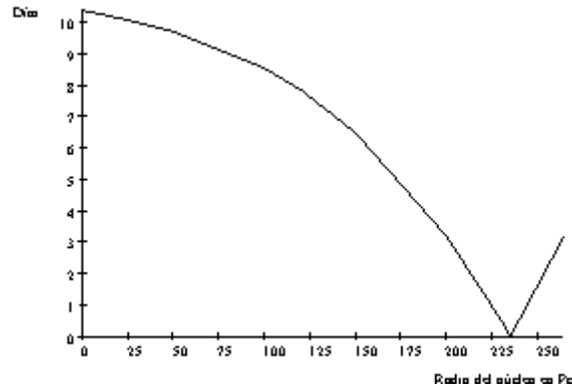


Figura 1: Retardo temporal  $\Delta t$  contra el radio del núcleo en el modelo de la EIN

La tabla1, muestra el intervalo de valores en el retardo temporal que más se ajusta al valor observacional (10,1días), en el cuál el radio del núcleo se encuentra en el intervalo  $0 \leq a < 30Pc$ . En la siguiente gráfica se observa la variación del retardo temporal contra el radio del núcleo considerando el intervalo  $0 \leq a \leq 264,58Pc$

## 6. Conclusiones

Se encontró una expresión analítica para el retardo temporal, usando el modelo de la EIN y se aplicó al sistema particular QSO 0218+357. De acuerdo con los resultados obtenidos y que se muestran en la tabla 1 y en la gráfica, el retardo temporal es bastante sensible con el radio del núcleo. Los valores del retardo temporal se encuentran entre,  $0 \leq \Delta t \leq 10,4$  días, para radios del núcleo en el intervalo  $0 \leq a \leq 240Pc$ , por lo cuál el radio del núcleo aleja al retardo temporal de la zona de valores observadas. El intervalo de valores en el radio del núcleo en las cuáles se otienen los mejores retardos temporales es,  $0 \leq a \leq 30Pc$ , puesto que en ésta zona el retardo temporal es aproximadamente  $10,1^{\pm 0,3}$  días.

Es posible encontrar también la expresión analítica para la densidad superficial de masa con el modelo de la EIN, con lo cuál se estudiaría la distribución de masa de cualquier sistema de lentes por galaxias en función del radio del núcleo y en particular el sistema QSO 0218+354. Es por esto que los rangos de valores en el radio del núcleo obtenidos con el retardo temporal tienen mucha importancia.

## Referencias

- [1] Adler, R., Schiffer, M., y Bazin, J. "Introduction to General Relativity". McGraw-Hill co, New York, 1975.
- [2] Castañeda L. "Efecto de la Constante Cosmológica en la Probabilidad de Lentes gravitacionales". Tesis de Maestría. Santafé de Bogotá. U.N 2002
- [3] Dyer, C. C., y Roeder, R. C. "Observations in Locally Inhomogeneous Cosmological Models" *Apj*, 167, 189. 1974
- [4] Narayan, R., y Bartelmann, M. "Lectures on Gravitational Lensing". Max Planck- Institut für Astrophisik, 1997
- [5] Schneider, P., Ehlers, J., y Falco. E. "Gravitational lenses", Ed. Springer-Verlag, NY 1992

## TAMAÑO DE MUESTRA PARA POBLACIONES MULTINOMIALES EN MUESTREO BIETÁPICO

Svetlana Ivanovna Rudnykh.

Departamento de Física Universidad del Atlántico Km 7 antigua vía a Puerto  
Colombia, A.A. 1890, Barranquilla, Colombia, Svetarudn@hotmail.com  
Material Tesis de Especialización en Estadística, Convenio Universidad  
Nacional - Universidad del Atlántico

**Resumen.** En esta investigación se presenta un algoritmo que permite establecer un tamaño de muestra para poblaciones multinomiales que requieren el mínimo costo para realizar un muestreo bietápico.

**Palabras clave:** distribución binomial, muestreo bietápico, tamaño de muestra, distribución multinomial.

**Abstract.** In this research, I introduce an algorithm that allows establishing an optimal sample size for multinomial populations in two-step survey.

**Key-Words:** binomial distribution, two-step survey, sample size, multinomial distribution.

### 1. Introducción

El cálculo del tamaño de muestra para estimar parámetros de proporciones con distribución multinomial se ha convertido en una tarea cotidiana en las investigaciones sociales (ver MEDINA 1998). Este problema ha sido analizado, entre otros, por COCHRAN (1963), TORTORA (1978), THOMPSON (1987) y ANGERS (1974, 1984), quienes han podido aplicar sus métodos en actividades tan disímiles como control de calidad, opinión pública, antropología, teoría del juego, biología y estudios de simulación.

En la estimación del número de unidades que forman parte de una muestra, debe ser considerada la varianza de la variable de interés, así como la precisión con la que se desean obtener las estimaciones y la confianza requerida, los dominios de estudio y el esquema de muestreo. Sin embargo, la forma de abordar este problema es muy compleja y la teoría conocida hasta hoy presenta soluciones muy puntuales a casos particulares.

En este estudio se consideró un procedimiento de muestreo formado por dos etapas (bietápico). Se supuso, además, que en la etapa inicial se extrae una muestra aleatoria simple sin reemplazo de  $n$  *UPM* (Unidades Primarias de Muestreo, las cuales están conformadas a su vez por unidades de menor tamaño), de un total de  $N$  que componen la población objetivo, en una segunda etapa se extrae una muestra aleatoria simple sin reemplazo de  $m$  *USM* (Unidades Secundarias de Muestreo) de las  $M$  que componen cada *UPM*. En otras palabras, el procedimiento bietápico aquí considerado es aplicado a una población de  $N$  *UPM*, en donde cada *UPM* tiene igual tamaño  $M$ . De aquí son extraídas  $m$  *USM* para

ser examinadas y estimar la proporción de una característica de interés (esta variable es de tipo multinomial).

Bajo estas condiciones, se propone un algoritmo para estimar los tamaños de muestra  $(n, m)$  de poblaciones multinomiales en el muestreo bietápico.

## 2. Tamaños de Muestra de Poblaciones Binomiales en Muestreo Bietápico

El procedimiento usual para el cálculo del tamaño de muestra en el esquema bietápico cuando se estima el parámetro desconocido  $(P)$  de poblaciones binomiales implica optimizar una función de costo teniendo en cuenta las restricciones contenidas en la expresión que se obtenga de la varianza del estimador  $(\hat{P})$ .

$P$  se define aquí como la proporción poblacional en la  $i$ -ésima  $UPM$ , o también la razón entre el número total de unidades en la  $i$ -ésima  $UPM$  que posee la característica de interés y  $M$  (tamaño de cada  $UPM$ ).

Por su parte  $\hat{P} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \hat{P}_i$  y  $\hat{P} = \frac{a_i}{m}$ , siendo  $a_i$  el total de unidades USM que

poseen atributo de interés y pertenecen a la  $UPM$   $i$ .

Aplicando el teorema de Madow (PÉREZ 2000) se obtiene la varianza del estimador  $(\hat{P})$ , cuya expresión es la siguiente:

$$V(\hat{P}) = (1 - f_1) \frac{S_b^2}{n} + (1 - f_2) \frac{S_w^2}{nm} \tag{1}$$

Donde  $f_1 = \frac{n}{N}$ ,  $S_b^2 = \frac{\sum_{i=1}^N (P_i - \bar{P})^2}{(N - 1)}$ ,  $f_2 = \frac{m}{M}$  y  $S_w^2 = \frac{\sum_{i=1}^N MP_i (1 - P_i)}{N(M - 1)}$ . Una función de costo del muestreo dependiente de  $n$  y  $m$  se puede presentar de la siguiente forma:

$$C = nC_1 + nmC_2, \tag{2}$$

donde  $C_1$  y  $C_2$  son los costos de muestreo correspondientes a cada unidad primaria y secundaria en la encuesta, respectivamente.

Utilizando la metodología de Lagrange se logra optimizar (minimizar) la función de costos (2) bajo las condiciones de (1) y de esa forma encontrar  $m$  y  $n$  óptimos:

$$m_{opt.} = \sqrt{\frac{C_1 M S_w^2}{C_2 (M S_b^2 - S_w^2)}} \\ n = \frac{C}{C_1 + m C_2}.$$

Se observa que el tamaño óptimo de  $m$  aumenta proporcionalmente a  $\sqrt{\frac{C_1}{C_2}}$ , pero no es muy sensible a pequeños cambios en  $\frac{C_1}{C_2}$ , también se observa que  $m_{opt.}$  no depende de  $C$  ni de  $n$ .

### 3. Tamaño de Muestra de Poblaciones Multinomiales en Muestreo Monoetápico

Para el cálculo del tamaño de muestra en distribuciones multinomiales se han desarrollado procedimientos que se orientan a resolver parte de los problemas teóricos que comprende la estimación simultánea de los parámetros en poblaciones multinomiales, pero no logran optimizar sus soluciones para todos los casos.

Así, en Angers (1984) se propone un método que consiste en elegir de manera arbitraria un tamaño de muestra  $n$  y calcule los  $k$  cocientes por medio de la expresión:  $nd_i^2 P_i(1 - P_i)$ ;  $i = 1, 2, \dots, k$  (categorías de la variable de diseño) que representan los valores de las abscisas, mientras que en el eje de las ordenadas se ubican los niveles de confianza ( $0 \leq \alpha \leq 0,10$ ) y ( $0 \leq \alpha \leq 0,01$ ).

Posteriormente, se buscan en las gráficas propuestas los valores obtenidos en el eje de las abscisas, a fin de identificar los correspondientes niveles de confianza ( $\alpha_i$ 's); y se compara la  $\sum \alpha_i$  con el valor de definido por el investigador. El criterio que se utiliza para decidir es que si la sumatoria ( $\sum \alpha_i$ ) es mayor (menor) que  $\alpha$ , entonces el tamaño de muestra propuesto es muy pequeño (grande), por lo que se deberá modificar el tamaño de muestra en múltiplos de  $n$  y continuar con el procedimiento descrito hasta encontrar un intervalo ( $n_1 \leq n \leq n_2$ ) que contenga el valor buscado. Cuando se logre ubicar el intervalo, el número final de observaciones se obtiene por medio de interpolación lineal simple.

Este procedimiento permite obtener el límite empírico para el tamaño de muestra cuando se asume que los intervalos de confianza tienen amplitudes iguales y no se hacen restricciones a los aparte de que  $\sum \alpha_i = \alpha$ .

En la propuesta de Angers (*ut supra*), se nota que el tamaño de muestra se incrementa con el aumento del número de categorías  $k$ . Este es un resultado irregularmente conservativo, puesto que falla al tomar en cuenta la restricción

$$\left( \sum_{i=1}^k P_i = 1 \right) \text{ de los parámetros multinomiales.}$$

Para la determinación del tamaño de muestra, se requiere definir la precisión de cada parámetro de la distribución multinomial. Esta situación representa una diferencia sustantiva respecto del procedimiento tradicional, en donde generalmente se elige una variable de diseño y sobre ella se determina el número de observaciones necesarias para realizar la investigación. De esta manera, suponga que se desea una precisión absoluta para cada celda; entonces, se tiene que:

$$P_i - \delta_i = P_i - \sqrt{\frac{\chi^2_{(1,\alpha/k)} P_i (1 - P_i)}{n}},$$

$$P_i + \delta_i = P_i + \sqrt{\frac{\chi^2_{(1,\alpha/k)} P_i (1 - P_i)}{n}},$$

Despejando el valor de  $\delta_i$  en las anteriores expresiones, se obtiene:

$$\delta_i = \sqrt{\frac{\chi^2_{(1,\alpha/k)} P_i (1 - P_i)}{n}},$$

y resolviendo para  $n$  se encuentra que el tamaño de muestra necesario para estimar cada celda con una precisión  $\delta_i$  es:

$$n = \max_i \frac{\chi^2_{(1,\alpha/k)} P_i (1 - P_i)}{\delta_i^2}.$$

En 1987, Thompson plantea que el método propuesto por Angers en 1984 era el óptimo de los procedimientos existentes, pero resultaba muy tedioso en su aplicación, por lo que propuso una manera de determinar el “peor de los casos” (worst case  $P_i = 0,5$ ) para un vector de parámetros multinomiales cuando se desean obtener intervalos de confianza simultáneos para cada uno de los componentes del vector  $P$ .

Thompson (*ibid*) plantea que el objetivo consiste en determinar el tamaño de muestra  $n$  para una variable aleatoria de una distribución multinomial, de tal forma que la probabilidad de que todas las proporciones estimadas de manera simultánea estén contenidas en el intervalo sea menor que  $(1 - \alpha_i)$ , esto es,

$$P_r \left\{ \bigcap_{i=1}^k |p_i - P_i| \leq \delta_i \right\} \geq 1 - \alpha,$$

en donde  $P_i$  es la proporción de observaciones en la  $i$ -ésima categoría en la población,  $p_i$  la proporción observada en la muestra,  $k$  el número de categorías y

$$\alpha_i = P_r \left\{ |Z_i| \geq \frac{\delta_i \sqrt{n}}{\sqrt{P_i(1 - P_i)}} \right\} = 2(1 - \phi(Z_i)),$$

en donde  $Z_i$  es la variable normal estandarizada,  $\phi$  la función acumulativa de probabilidad y

$$Z_i = \frac{\delta_i \sqrt{n}}{\sqrt{P_i(1 - P_i)}}.$$

Cuando  $k = 2$  y  $\delta_i = \delta_1 = \delta_2$  se trata de una distribución binomial y el tamaño de muestra se determina de la manera tradicional:

$$n = \frac{Z^2 P_i (1 - P_i)}{\delta_i^2}$$

Si la proporción  $P_i$  es desconocida, se utiliza el criterio de máxima varianza (worst case) con  $P_i = 0,5$ .

#### 4. Efecto de Categorías para la Determinación de los Tamaños de Muestra

Para tratar de resolver la situación que se presenta en el cálculo de tamaño de muestra en encuestas complejas, en donde no se cuenta con una fórmula para la varianza de las proporciones de las categorías de la variable de interés, siguiendo la propuesta de Kish (1972) al definir un factor de ajuste que a partir de una muestra aleatoria simple permite aproximarse al número de selecciones necesarias para un diseño de conglomerados, proporciona la misma varianza, se define aquí el tamaño efectivo de muestra como,

$$n_e = n_0 * efdk$$

donde  $n_0$  es el tamaño de muestra obtenido según el procedimiento clásico de Cochran,  $efdk$  es el efecto de diseño que, en la situación aquí analizada, sería el efecto de  $k$  categorías. Este efecto se expresa como las variaciones de los tamaños de muestra propuestos por los distintos procedimientos entre el tamaño de muestra de aproximación clásica (COCHRAN 1963) (ver tabla 1).

El tamaño efectivo calculado puede ser interpretado como la cantidad de información contenida en una muestra multinomial.

La subvaloración de la aproximación clásica (COCHRAN 1963) en el caso de la estimación de proporciones para poblaciones multinomiales con más de 2 categorías y por ende en la determinación del tamaño de muestra, se debe a la consideración no realista de que todos los parámetros son iguales a 0.5 (peor de los casos) y que la suma de los mismos es igual a 1.

Si en lugar de considerar poblaciones binomiales se consideran ahora poblaciones multinomiales, en otras palabras, si en lugar de estimar una sola proporción interesa estimar  $k$  proporciones de categorías de una variable, la varianza dentro de las unidades secundarias aumenta. Este aumento de la varianza se debe a la estimación simultánea de  $k$  proporciones de la variable.

Por otra parte, al expresar la varianza del estimador de la proporción en el modelo binomial mediante el coeficiente de correlación intraconglomerados, se observa que dicha varianza es igual al producto de varianza del estimador de la proporción en el muestreo aleatorio simple cuando el tamaño de muestra es  $mn$  por el factor  $(1 + (m - 1)\rho)$ , que es llamado por Kish (1972) efecto de diseño.

En resumen, el efecto de diseño dado por la razón entre la varianza del estimador de la proporción para el muestreo en etapas y varianza del estimador bajo el muestreo aleatorio simple depende vitalmente de  $m$ , el tamaño de muestra de unidades secundarias, y no tanto del tamaño de muestra de unidades primarias  $n$ .

En el cambio de poblaciones binomiales a poblaciones multinomiales siguiendo un esquema bietápico el tamaño de muestra que resulta incrementado sustancialmente es el de las unidades secundarias ( $m$ ), y su influencia se puede medir por el efecto de categorías  $efdk$  expresada de la siguiente manera:

$$m = m' * efdk,$$

donde es el tamaño de muestra de unidades secundarias y

$$efdk = \frac{\tilde{n}}{\tilde{n}'},$$

donde  $\tilde{n}'$  es el tamaño de muestra propuesto por Cochran (1963) de la aproximación clásica y  $\tilde{n}$  es el tamaño de muestra propuesto por distintos autores para poblaciones multinomiales.

### 5. Algoritmo para el Tamaño de Muestra

Los tamaños de muestra de una población multinomial para el muestreo bietápico pueden encontrarse de una manera práctica desarrollando el siguiente procedimiento:

- Se obtienen los tamaños de muestra  $n$  de unidades primarias y  $m'$  (número de unidades secundarias) para poblaciones binomiales en muestreo bietápico.
- Escoger el procedimiento de aproximación de estimadores que más se ajusta a situación planteada en el problema que se resuelve (Tortora 1978, Angers 1984 o Thompson 1987).
- Luego que se ha escogido el procedimiento, ir a la celda correspondiente en la tabla 1, de acuerdo a los valores de  $\alpha$  y  $k$ , y localizar el valor del efecto de categoría para este caso.
- Multiplicar  $m'$  por valor del efecto de categoría hallado en paso anterior. El resultado es aproximadamente el tamaño de muestra de las unidades secundarias recomendado por el procedimiento escogido.
- El tamaño de muestra  $n$  de unidades primarias fue el obtenido con la aproximación binomial al inicio del algoritmo.

Conf									Ang	Thom
$\alpha$	k=3	k=4	k=5	k=6	k=7	k=8	k=9	k=10	1984	1987
0.0001	1.14	1.18	1.20	1.22	1.24	1.26	1.28	1.29	1.09	1.09
0.0005	1.17	1.21	1.25	1.28	1.30	1.32	1.34	1.36	1.11	1.11
0.001	1.19	1.24	1.28	1.31	1.34	1.36	1.38	1.40	1.12	1.12
0.005	1.25	1.32	1.37	1.42	1.45	1.48	1.51	1.54	1.16	1.16
0.010	1.30	1.38	1.44	1.49	1.53	1.57	1.60	1.63	1.19	1.19
0.020	1.36	1.46	1.53	1.59	1.64	1.69	1.73	1.76	1.23	1.23
0.025	1.39	1.49	1.57	1.63	1.69	1.74	1.78	1.82	1.24	1.24
0.050	1.49	1.62	1.73	1.81	1.88	1.95	2.00	2.05	1.33	1.33
0.075	1.58	1.74	1.87	1.97	2.05	2.13	2.20	2.26	1.41	1.41
0.100	1.67	1.86	2.00	2.12	2.22	2.31	2.38	2.45	1.49	1.49
0.20	2.05	2.34	2.57	2.76	2.92	3.06	3.18	3.30	1.82	1.82
0.30	2.52	2.95	3.29	3.58	3.82	4.03	4.22	4.38	2.24	2.24
0.40	3.18	3.82	4.33	4.75	5.11	5.42	5.70	5.95	2.83	2.86
0.50	4.20	5.17	5.95	6.59	7.14	7.63	8.06	8.44	3.74	3.88

## Referencias

- [1] ANGERS, C. "A Graphical Method to Evaluate Sample Sizes for the Multinomial Distribution". *Technometrics*, Vol.16, No. 3, pp. 469-471. 1974.
- [2] "Large Sample Size for the Estimation of Multinomial Frequencies from Simulations Studies". *Simulation*: Oct, pp.175-178. 1984.
- [3] COCHRAN, W.G. *Técnicas de Muestreo*. México D.F.: Continental, S.A. 1963.
- [4] KISH, L. *Muestreo de Encuestas*. México D.F.: Trillas. 1972.
- [5] MEDINA, F. "Tamaño Óptimo de Muestra en Encuestas de Propósitos Múltiples". En: CEPAL, *Memoria del Taller Regional sobre Planificación de Encuestas en Hogares*, Santiago de Chile. 1998.
- [6] PÉREZ, C.). *Técnicas de Muestreo Estadístico. Teoría, Práctica y Aplicaciones informáticas*. México D. F.: Alfaomega. 2000.
- [7] THOMPSON, K.T. Sample Size for Estimating Multinomial Proportions. *The American Statistician*, Vol. 41, No. 1, pp. 42-46. 1987.
- [8] TORTORA, R.D. A Note on Sample Size Estimation for Multinomial Populations. *The American Statistician* Vol. 32, No. 3, pp. 100-103. 1978.

**PARASITISMO INTESTINAL EN HOGARES COMUNITARIOS.  
MUNICIPIO DE SANTO TOMAS . COLOMBIA, ATLÁNTICO**

Juan Carlos Londoño<sup>1</sup> Álvarez, Aldo Polo Hernández<sup>2</sup>, Consuelo Vergara Sánchez<sup>3</sup>, Ramón Matos Mareño<sup>4</sup>.

<sup>1</sup>Biólogo, Universidad del Atlántico, epijuancho@yahoo.com.mx

<sup>2</sup>Biólogo, Universidad del Atlántico, apolo\_21@yahoo.com

<sup>3</sup>Directora Laboratorio de Zoonosis y enfermedades parasitarias Laboratorio de Salud Pública del Atlántico

<sup>4</sup>Departamento de Matemáticas, Universidad del Atlántico, Km 7 Antigua vía a Puerto Colombia, A.A. 1890, Barranquilla, Colombia, rmatos@dinanet.net.co

Material Tesis de pregrado, Departamento de Biología, Universidad del Atlántico, Km 7 Antigua vía a Puerto Colombia, A.A. 1890, Barranquilla, Colombia

**Resumen.** Entre los meses de Enero y Marzo de 2004 se realizó un estudio del parasitismo intestinal en hogares comunitarios del Municipio de Santo Tomas en el Departamento del Atlántico, con la finalidad de estimar su prevalencia y describir factores asociados con la aparición y mantenimiento de enteroparásitos. La investigación se refirió al grupo etéreo comprendido entre 2 a 6 años de edad asistentes a hogares comunitarios del Instituto Colombiano de Bienestar Familiar (ICBF). El tamaño de la muestra fue de 216 niños, distribuidos en 18 hogares comunitarios seleccionados por muestreo monoetápico por conglomerados. Se encontró una prevalencia de 81.9%, los parásitos que presentaron mayor frecuencia fueron: *Trichuris trichiura* (39.8%), *Ascaris lumbricoides* (21.3%), *Giardia duodenale* (36.1%), *Blastocystis hominis* (12%) y *Entamoeba histolytica/dispar* (8.3%). Se aplicó un cuestionario para obtener información referente a características socioeconómicas y hábitos higiénico-sanitarios de la población. La inadecuada disposición de las materias fecales, el hacinamiento y el bajo nivel educativo de los padres se presentan como factores de riesgo de importancia en la epidemiología de las infecciones causadas por parásitos intestinales en esta comunidad.

**Palabras Claves:** Parásitos intestinales, hogares comunitarios, prevalencia, helmintos, geohelmintos, protozoarios.

**Abstract.** Between January and March of 2004, we studied the intestinal parasitism in communitarian homes of municipality of Santo Tomás at the department of Atlántico, Colombia, with the aim of to estimate their prevalence and describing factors associated with arise and maintenance of enteric parasites. The study subject population was composed by children between 2 and 6 years old, visitors of Familiar Welfare Colombian Institute's communitarian homes. Sample size was 216 children, distributed in 18 communitarian homes selected via mono-step by conglomerates survey. We find a prevalence of 81.9%, the parasites which presented more frequency were:

*Trichuris trichiura* (39.8%), *Ascaris lumbricoides* (21.3%), *Giardia duodenale* (36.1%), *Blastocystis hominis* (12%) and *Entamoeba histolytica/dispar* (8.3%). We used a questionnaire to obtain information about socioeconomic characteristics and hygienic-sanitary habits of the population. The inadequate disposition of faecal materials, stacking and low educational level of the parents are presented as important factors of risk in epidemiology of infections caused by intestinal parasites in this community.

**Key-Words:** Intestinal parasites, communitarian homes, prevalence, helminths, ground-helminths, protozoa.

## 1. Introducción

Las enteroparasitosis constituyen un gran problema de salud pública en el mundo. Entre éstas, las nematodosis figuran entre las más frecuentes en Colombia, debido a que estos parásitos pueden ingresar al organismo por vía oral o cutánea, y, además, los hábitos higiénico-sanitarios deficientes facilitan su transmisión y conservación [1]. La prevalencia de parasitismo intestinal suele ser un indicador de la pobreza de un lugar, así por ejemplo, en las áreas marginadas suburbanas y rurales se presentan las condiciones necesarias para la diseminación y permanencia de los parásitos intestinales. Un aspecto a tomar en cuenta consiste en la migración de algunos miembros de estas localidades hacia otras regiones, confluyendo en lugares como los centros educativos, donde el parasitismo se disemina y aumenta su radio de acción. Por esto, los niños en edad escolar son los más afectados por los enteroparásitos y su prevalencia es un indicador del estado sanitario ambiental de una población [2].

## 2. Materiales y Métodos

El municipio de Santo Tomas se encuentra ubicado en el margen oriental del Departamento del Atlántico, entre los 10°46' de latitud Norte y 74°55' de longitud Oeste. Su cabecera municipal se encuentra a 22 Km. de Barranquilla. Está localizado a 8 msnm, presenta una temperatura media anual de 27°C y una precipitación media anual de 620 mm. En este municipio funcionan 47 hogares comunitarios del ICBF, a los que asisten 611 niños con edades que oscilan entre 2 y 6 años de edad, de entre los cuales se tomó una muestra representativa con el objetivo de determinar la prevalencia del parasitismo intestinal en este grupo etareo e identificar factores asociados a esta problemática y aportar la información básica para el diseño e implementación de programas de prevención y control de las infecciones parasitarias.

Se seleccionaron 18 hogares comunitarios del Municipio de Santo Tomas por medio del muestreo monoetápico de conglomerado. Se creó un canal de comunicación interinstitucional entre el Laboratorio Departamental de Salud Pública del Atlántico (LDSP), el ICBF y la oficina de trabajo social de la Alcaldía Mu-

nicipal de Santo Tomas a través del cual se concretaron una serie de visitas a la localidad para:

- Socialización del proyecto con las autoridades civiles y madres comunitarias de los hogares seleccionados.
- Sensibilización educativa a los padres sobre la problemática del parasitismo intestinal y obtención de su aval para la realización del estudio.
- Capacitación a madres comunitarias y entrega de material necesario para la recolección de la información y muestras de materia fecal.
- Recolección y transporte de muestras biológicas.

La recolección de muestras se efectuó en horas de la mañana, en grupos de 4 a 5 hogares comunitarios por jornada. Para su traslado inmediato al laboratorio se empleó cadena de frío, y fueron transportadas desde Santo tomas al LDSP.

El procesamiento de las muestras se llevó a cabo en el laboratorio de zoonosis del LDSP por medio de las técnicas de montaje húmedo en solución salina, solución yodada, y concentración éter- formalina cuando el diagnóstico fue negativo en montaje húmedo. Para calcular la importancia de los factores de riesgo se empleó el Odds Ratio o Desigualdades relativas, que permite cuantificar el riesgo de la exposición a un determinado factor con respecto a la aparición de la enfermedad. Los hogares comunitarios seleccionados fueron los siguientes:

**Tabla 1.**  
**Hogares comunitarios seleccionados.**

<b>HOGARES COMUNITARIOS</b>	
El Porvenir	Mis Capullitos
Los Pitufos	Los Patitos
Mi Segundo Hogar 2	Los Cariñositos
Chiquilladas	Compañeritos
Mundo Alegría	Pequeñin
Casita de Amor	María Auxiliadora
Kuki Yan	Los Enanitos
Los Amiguitos	Los Caminitos
San Juan	Los Chamitos

### 3. Resultados

El conglomerado general de infecciones causadas por parásitos intestinales en hogares comunitarios del municipio de Santo Tomas fue del 81,9%. Dentro de los helmintos el que presento mayor prevalencia fue *Trichuris trichiura* con 39.8% *Ascaris lumbricoides* con 21.3%, también se reporta la presencia de *Hymenolepis nana* (3.2%), *Enterobius vermicularis* (0.92%), *Stroglyoides stercoraris* (0.46%) y *Uncinarias* (0.46%). Dentro de los protozoarios el más prevalente fue *Giardia duodenale* con 36.1 seguido de *Blastocystis hominis* con 12% y *Entamoeba histolytica/dispar* con 8.3%, también se encontraron comensales como *Entamoeba coli*, *Iodamoeba butschlii* y *Enteromonas hominis*.

En el estudio se encontró que 88 niños de 216 encuestados presentaron dos o más especies de parásitos intestinales, lo cual equivale a un 40,7 % de prevalencia para esta condición.

Los resultados muestran que todos los hogares encuestados presentan problemas de parasitismo intestinal, con prevalencias que van desde el 50 % hasta el 100 %. Se encontró que las mayores frecuencias de presentación de infecciones causadas por parásitos intestinales ocurrieron en aquellos niños en cuyas casas, la procedencia del agua de consumo fue diferente a obtención a través de acueducto público.

Se observó que, aunque todos los sistemas de eliminación de excretas presentan valores altos para la prevalencia, los sistemas de alcantarillado público y pozo séptico brindaron mayor seguridad con respecto a los otros sistemas de eliminación de materias fecales, donde al parecer, el más inseguro es el método de incineración, donde el 100 % de los niños que viven en hogares que poseen este sistema presentaron infecciones ocasionadas por parásitos intestinales.

#### 4. Discusión

En el presente estudio se evaluaron condiciones socioeconómicas e higiénico-sanitarias de la población objeto de estudio y se obtuvieron los siguientes factores de riesgo:

En Colombia según la encuesta nacional de morbilidad realizada en 1981, se encontró una prevalencia global de parásitos intestinales del 81 %, constituida por 18.2 % de no patógenos y 63.6 de potencialmente patógenos [1]. La prevalencia general hallada en este estudio fue del 81,9 %, lo que deja al descubierto que la magnitud de esta problemática no ha variado mucho respecto a la prevalencia encontrada para el País en 1981, sin embargo hay que tomar en cuenta que el estudio nacional se refiere a población general y la presente investigación se llevo a cabo en una población infantil donde las infecciones por parásitos intestinales suelen mostrar las mayores prevalencias.

La prevalencia de infecciones parasitarias es un indicador de las características socioeconómicas y de saneamiento ambiental de una comunidad. La prevalencia encontrada para el municipio de Santo Tomás de 81.9 % es comparable a la encontrada por Tarazona et al [3] en niños desplazados de Santander la cual fue del 82 %. Es importante señalar que si se realizara un estudio de pobreza basado en las necesidades básicas insatisfechas, un gran porcentaje de la comunidad del municipio de Santo Tomás se catalogaría como pobres y cierto sector se encontraría en condiciones de miseria absoluta, por su parte la comunidad estudiada por Tarazona en su totalidad serian ubicados en esta última categoría ya que prácticamente todas sus necesidades básicas se encuentran insatisfechas. Esto pone en tela de juicio las políticas de seguridad social y de saneamiento ambiental llevadas a cabo por las autoridades municipales de Santo Tomás.

La alta prevalencia encontrada para el municipio de Santo Tomás en cuanto a los geohelminthos puede tener su explicación en parte a que este municipio se asemeja más a un área rural, donde la prevalencia de estos tiende a ser alta

con respecto a las áreas urbanas, esto se refleja en lo encontrado por Cortes y colaboradores [4] en un estudio de parasitismo intestinal de niños preescolares en Bogotá, donde la prevalencia de los geohelminos se reduce considerablemente (Áscaris y Tricocéfalos 0.5%) con respecto a los protozoos (Giardias 14.9%). Mientras que en un estudio realizado en una comunidad rural por Reyes et al. [5], las prevalencia de A. lumbricoides (36.4%) y T. trichiura (34.8%), se asemejan a las encontradas en el municipio de Santo Tomás de 39.8% y 21.3% respectivamente, además, el alto índice de poliparasitismo hallado (40,7%) es otro factor que nos indica un comportamiento de tipo rural en este municipio.

**Tabla 2.**  
**Factores de riesgo y valoración Odds Ratio.**

FACTORES DE RIESGO			OR
Factores Socio-Económicos	Nivel Educativo Madre	Primaria T/P	*2.2336
		Secundaria T/P	0.7494
		Técnico-Superior T/P	0.5724
	Nivel Educativo Padre	Primaria T/P	*3.0105
		Secundaria T/P	0.4943
		Técnico-Superior T/P	0.8578
	Tipo Piso Vivienda	Tierra	—
		Cemento rústico	*1.2721
		Cemento Pulido	*1.2237
		Baldosa	0.4463
	No. Habitaciones Vivienda	1	*3.3517
		2	*1.6593
		3	0.9389
		>3	0.3900
Factores Higiénico-Sanitarios	>10 Habitantes en Vivienda		0.8796
	Hervir Agua para consumo		0.5123
	Defecación frecuente en suelo		*1.4562
	Lavado manos después baño y prep. alim.		*1.1071
	Niño con manos sucias en Entrevista		0.8437
	Convivencia Animales domésticos	Perro	0.4382
		Cerdo	*1.7979
	Disposición Final Excretas	Alcantarillado	0.7031
		Pozo séptico	0.7935
Incineración		—	
Cielo abierto		*3.1234	

Convenciones: T/P= Total o parcial; O.R.=Odds Ratio.

Las infecciones intestinales por E. vermicularis suelen ser frecuentes, pues su transmisión es directa persona a persona y no necesitan de la intervención del suelo [6]; sin embargo la prevalencia hallada para este nematodo fue muy baja, solo se encontraron dos casos. Esta situación se puede explicar fácilmente, dado a que los huevos de este parásito no suelen salir con la materia fecal, sino que

la hembra de *E. vermicularis* migra hacia la zona perineal del individuo y allí deposita sus huevos, razón esta que demanda de métodos diagnósticos adecuados como la cinta de celofán con los cuales se puede obtener un mejor estimativo de la prevalencia como en el caso del estudio realizado por Acuña y colaboradores [7] en guarderías comunitarias de Montevideo donde el nematodo diagnosticado con mayor frecuencia fue *E. vermicularis* con un 15,4% de prevalencia.

De acuerdo a Matzkin [2] y Cheng [8], uno de los factores que puede estar ocasionando los altos porcentajes de parasitismo intestinal encontrados en los hogares comunitarios de Santo Tomás es la infección intra-institucional la cual juega un papel importante en la epidemiología del parasitismo intestinal ya que facilita una fuente de propagación común por medio de portadores asintomáticos y el constante contacto físico entre los niños, entre otras características de estas instituciones. En un sentido general, las prevalencias obtenidas corroboran lo encontrado en un estudio sobre las principales patologías del niño inmigrante latinoamericano [9], donde se encontró a la tricocefalosis, ascariasis y giardiasis entre las parasitosis intestinales más frecuentes.

Al igual que lo encontrado en otros estudios [10, 11, 12], en el presente trabajo de investigación algunos hábitos higiénico-sanitarios, el bajo nivel educativo de los padres, el hacinamiento, la incorrecta disposición de las excretas y la procedencia insegura del agua de consumo representan cierto riesgo de contraer parasitosis intestinal por parte de la población en estudio.

El agua de consumo es un factor de riesgo importante, pues en todos los casos donde el agua de consumo fue diferente a la procedente de acueducto público, la frecuencia de infecciones por parásitos intestinales fue superior a la registrada en los casos donde el agua de consumo provenía de acueducto público. La importancia del agua de consumo en la epidemiología del parasitismo intestinal, particularmente el ocasionado por protozoarios de ubicación intestinal se refleja en lo encontrado por Lura et al. [13], en un estudio sobre “el agua subterránea como agente transmisor de protozoos intestinales” donde concluye que “existe un alto riesgo de infecciones por protozoos intestinales cuando se consume agua contaminada de origen subterráneo que sólo fue clorada antes de su distribución”. Hay que tomar en cuenta que el agua de consumo del municipio de Santo Tomás fue catalogada como “no aceptable” después del análisis microbiológico realizado por la Secretaría Departamental de Salud Pública para el mes de mayo del año 2004 [14].

La presencia de cerdos resulto importante como factor de riesgo asociado al parasitismo intestinal en el municipio de Santo Tomás, esto sugiere la realización de estudios para dilucidar cual es el papel del cerdo en esta parasitosis, pues en otros estudios [15] se ha asociado la presencia de cerdos como posibles reservorios de protozoarios intestinales como *Balantidium coli* y *B. hominis*, este último presenta valores altos ubicándose como la segunda protozoosis intestinal de mayor prevalencia en el municipio de Santo Tomás.

## 5. Conclusiones

Los resultados de la presente investigación muestran que el municipio de Santo Tomás en el Departamento del Atlántico presenta una alta prevalencia tanto de geohelminthos como, lo cual es típico de áreas rurales donde las condiciones medio ambientales permiten la continuidad del ciclo biológico de estos parásitos. Por otro lado, la alta prevalencia hallada para *G. duodenalis*, la cual es considerada una parasitosis hídrica, pone de manifiesto la necesidad de realizar trabajos destinados a garantizar la calidad del agua de consumo tanto físico-química, microbiológica como parasitológica en esta comunidad.

La investigación identificó las siguientes situaciones como factores de riesgo importantes en la cadena epidemiológica de las infecciones ocasionadas por parásitos intestinales:

-Contaminación fecal: principalmente por la defecación frecuente el suelo o alrededores de la casa por parte de los niños y la incorrecta eliminación de las materias fecales.

-Tenencia de animales domésticos: como en el caso de los cerdos.

-Características socioeconómicas: hacinamiento y nivel educativo de los padres por debajo del nivel de secundaria.

Este tipo de estudios se constituyen en la base de posteriores estudios experimentales y en el fundamento para una mejor toma de decisiones por parte de los entes responsables de la salud pública en nuestro país con respecto a como afrontar la problemática del parasitismo intestinal y desarrollar programas de prevención y control acordes con cada región.

## Referencias

- [1] BOTERO, J. y N. ZULUAGA. Revisión del tema: nematodos intestinales de importancia medica en Colombia ¿un problema resuelto? En: Revista Iatreia Vol. 20 No.4 (2000); p. 47-56.
- [2] MATZKIN, R. Parasitosis entéricas en una población escolar periurbana de resistencia, Chaco. Universidad Nacional del Nordeste. Buenos Aires: Comunicaciones científicas y tecnológicas, 2000
- [3] TARAZONA Y OTROS. Parásitos intestinales en niños desplazados en Santander. En: Salud UIS Vol. 32 (2000); p. 89-92.
- [4] CORTES, J.R., SALAMANCA, L., SÁNCHEZ, M., VANEGAS, F. y P. SIERRA. "Parasitismos y estado nutricional en niños preescolares de las instituciones del Distrito capital". En: Revista de Salud Publica Vol. 1 No. 2 (1999); p. 28-36
- [5] REYES, P. y OTROS. "Desparasitación masiva, estado nutricional y capacidad de aprendizaje en escolares de una comunidad rural". Disponible en Internet: <http://www.medicina.unal.edu.co./list/revistasp/v1n3/rev37.htm>

- [6] BOTERO, D. y M. RESTREPO. Parasitosis humanas. Medellín: Publicaciones Corporación para Investigaciones Biológicas CIB, 3a ed., 1998
- [7] ACUÑA, A.M. y OTROS. Parasitosis intestinales en guarderías comunitarias de Montevideo. En: Rev – Med Uruguay Vol. 15 (1999); p. 5 – 12.
- [8] CHENG, R. y OTROS. Prevalencia de giardiasis en hogares de cuidado diario en el municipio San Francisco, estado Zulia, Venezuela. Investigación clínica .Vol. 1 No. 4 Maracaibo, 2002
- [9] RODRÍGUEZ, B., CORTES, O. y J.L. MONTÓN. Patología del niño inmigrante latinoamericano. Centro de salud Mar Báltico. Área IV Madrid, España. Disponible en Internet: <http://www.aepap.org/inmigrante/latinoam.madrid.htm>
- [10] CASTILLO, B., IRIBAR, M., SEGURA, R. y M. SALVADOR. Prevalencia de parasitismo intestinal en la población infantil perteneciente al policlínico “4 de agosto” de Guantánamo. En: MEDISAN Vol. 6 No. 1 (2002); p. 46-52.
- [11] NUÑEZ, F., GONZÁLEZ, O., BRAVO, J., ESCOBEDO, A. y I. GONZÁLEZ. Parasitosis intestinales en niños ingresados en el Hospital Universitario Pediátrico del Cerro, la Habana, Cuba. En: Boletín epidemiológico semanal de Instituto Pedro Kourii. Vol. 12 No. 14, 2002.
- [12] RODRÍGUEZ, L., HERNÁNDEZ, E. y J. RODRÍGUEZ. Parasitosis intestinal en niños seleccionados en una consulta ambulatoria de un hospital. En: Revista Mexicana de Pediatría. Vol. 67 No. 3 (2000); p. 117 – 122.
- [13] LURA, M. y OTROS. El agua subterránea como agente transmisor de protozoos intestinales. En: Archivos argentinos de pediatría.; p. 18-26.
- [14] SECRETARIA DE SALUD DEL ATLÁNTICO. Calidad microbiológica del agua de acueductos. Secretaria de Salud del Atlántico. Salud Ambiental mes de mayo 2004.
- [15] DEVERA, R. y OTROS. Importancia de los cerdos como reservorios de enteroparásitos en una comunidad rural del estado Bolívar, Venezuela. Universidad de Oriente, Núcleo Bolívar. Ciudad Bolívar, Estado Bolívar, Venezuela. Disponible en Internet: <http://www.genserca.com/trabajos/salud/cs008.htm>

**MÉTODOS ESTADÍSTICOS PARA LA ESTIMACION DE POBLACIONES DE CROCODÍLIDOS EN ESTADO SILVESTRE EN TRES ZONAS DEL EMBALSE EL GUÁJARO, DEPARTAMENTO DEL ATLÁNTICO, COLOMBIA.**

Agudelo-H. William<sup>1</sup>, De La Hoz-R. Carlos<sup>2</sup>, Torrenegra-J. Franklin<sup>3</sup>, Vergara-G. Danilo<sup>4</sup> & Berlys.Ariza-M<sup>5</sup>

Material Tesis de pregrado, Departamento de Biología, Universidad del Atlántico, Km 7 antigua vía a Puerto Colombia, A.A. 1890, Barranquilla, Colombia

<sup>1</sup>wiliaghe@hotmail.com, <sup>2</sup>ca\_delahoz@hotmail.com, <sup>3</sup>franktorre7@hotmail.com, <sup>4</sup>anolis120@yahoo.com.mx, <sup>5</sup>berlys\_a@latinmail.com

**Resumen.** Se presentan aquí tres métodos estadísticos para la estimación de poblaciones silvestres de babilla (*Caiman crocodilus fuscus*), tomando como base los resultados de los conteos nocturnos realizados durante seis meses (septiembre 2004 – febrero 2005) en tres áreas del Embalse El Guájaro, departamento del Atlántico. Al conjunto de datos se le aplicaron los siguientes métodos: 1. estimación por cuadros, 2. estimación por cuadros cargados y 3. Estimación por fracción significativa. Los resultados fueron cotejados, encontrándose diferencias notables entre el primer y segundo método y entre el segundo y el tercero, respectivamente; las diferencias entre el primero y el tercero fueron despreciables, por lo que se recomienda la aplicación de ambos dependiendo de las necesidades del investigador.

**Palabras Claves:** Estimación de poblaciones, muestreo por cuadros, cuadros cargados, fracción significativa.

**Abstract.** In this work, three statistical methods are presented in order to estimate the Brown Caiman's wildlife population (*Caiman crocodilus fuscus*), taking into account night-counts results obtained through a 6- months period (from September 2004 to February 2005) in three areas of "El Embalse El Guajaro", department of Atlántico.

Data set was analyzed using three methods: 1. Estimate by square method; 2. Estimate by loaded square method; and 3. Estimate of sighting fraction method. There was a significant variation between the first and the second method, as well as between the second and the third one; the differences between the first and the third one are insignificant; therefore both are recommended, depending on the researcher's purposes.

**Key- Words:** Population estimate, Square method, loaded square method, sighting fraction method. Introducción

## 1. Introducción

La aplicación de métodos estadísticos para la estimación del tamaño de poblaciones en estado silvestre de cualquier especie sometida a presiones de caza y al deterioro de su hábitat se convierte en una herramienta de gran utilidad para tratar de conocer dos aspectos fundamentales de éstas: la condición actual y su tendencia [1].

Debido a la importancia que representa la “babilla” (*Caiman crocodilus fuscus*) desde el punto de vista ecológico, como regulador de la biocenosis en el ecosistema, y desde una perspectiva económica para el uso de su piel en la industria marroquinera para la exportación en la región, es de suma relevancia establecer técnicas de estudio que faciliten la investigación y el seguimiento de las poblaciones a través del tiempo.

En este artículo presentamos tres métodos para la estimación del número de individuos de babilla presentes en tres zonas del Embalse El Guájaró, Departamento del Atlántico. El primer método, *Muestreo por Cuadros* [2], se basa en el supuesto que la población presenta una distribución de Poisson, el segundo, *Muestreo por Cuadros Cargados* [2], confiere gran importancia a la presencia o ausencia de individuos en la unidad de muestreo (a). Por su parte, el tercer método, *Fracción Significativa*, a partir del cálculo de la probabilidad de avistamiento de la población en una jornada de muestreo estima el tamaño de poblacional a partir de las medias de las observaciones. Este último método ya ha sido utilizado en otras poblaciones de crocodílidos [3,4], con resultados óptimos.

## 2. Metodología

### 2.1. Área de estudio

El Embalse El Guájaró se encuentra ubicado al sur-occidente de departamento de Atlántico, costa Caribe Colombiana, entre los 10° 25' latitud Norte – 75° 00' longitud Oeste y 10° 38' N – 75° 08' O.

Actualmente el embalse ocupa una extensión de ca.12,000 Ha, donde se desarrollan principalmente actividades pesqueras y agrícolas; también presta servicio a las granjas de cría de ciclo cerrado (acuacultivos y zocriaderos), ubicándolo como el cuerpo de agua más importante de la región [5].

De acuerdo con los intereses de esta investigación, el embalse se dividió en tres áreas, denominadas *Zona Norte*, *Zona centro* y *Zona Centro-Sur*, que representan ca. 75% de la superficie total de este cuerpo de agua.

### 2.2. Conteos nocturnos

Para los conteos nocturnos se siguió la metodología estándar utilizada para el conteo de taxa *Crocodylia* [4,6], la cual consiste en examinar el cuerpo de agua con un haz de luz (lámpara o linterna) desde un bote o a pie, aprovechando el reflejo de luz que produce en el ojo de los animales sobre el tapetum lucidum,

para detectar la presencia de individuos, que en el caso de la especie *C. crocodilus fuscus* es rojizo.

Los recorridos en el embalse se realizaron a lo largo del litoral, en caños y playones, ubicados dentro y adyacentes a éste. La longitud de los recorridos se expresaron en Km. con un ancho promedio de 0.1 Km. a cada lado de la línea transitada. Dichos recorridos variaron de 1 a 13 Km.

### 2.3. Estimadores

La estimación en estadística se define como el cálculo aproximado que por lo general supone una o más aproximaciones, efectuado para dar una respuesta preliminar a un problema [2]. El objeto de esta investigación consistió en estimar el tamaño de la población de “babillas” en un periodo de tiempo determinado poniendo en consideración los siguientes estimadores:

**Muestreo por cuadros** [2]: la estimación del número de babillas ( $\widehat{M}$ ) en las áreas de estudio puede calcularse estimando primero el número de individuos por unidad de área (densidad:  $\widehat{\lambda}$ ) y luego multiplicando  $\widehat{\lambda}$  por el tamaño total del área de estudio ( $A$ ).

Cada cuadro ( $a$ ) representa 1 Km. de recorrido multiplicado por el ancho total, es decir, 0,2 Km<sup>2</sup>.

Los  $n$  cuadros resultantes se muestrearon con cuidado y se determinó un conteo exacto de individuos ( $m_i$ ) para cada cuadro. Si se define que:

$$m = \frac{\sum_{i=1}^n m_i}{n} \tag{1}$$

Entonces se tienen los siguientes estimadores:

$$\widehat{\lambda} = \frac{m}{a} \tag{2}$$

$$\text{Limite del error} = 2\sqrt{\frac{\widehat{\lambda}}{an}} \tag{3}$$

$$\widehat{M} = \widehat{\lambda}A \tag{4}$$

$$\text{Limite del error} = 2A\sqrt{\frac{\widehat{\lambda}}{an}} \tag{5}$$

El estimador  $\widehat{\lambda}$  para este método supone que los individuos están dispersos aleatoriamente y no se encuentran agrupados; esta suposición es equivalente a aquella que señala que las  $m_i$  tienen una distribución de Poisson.

Con este método se realizaron tres pruebas: 1) utilizando los valores máximos de los  $m_i$  de cada cuadro durante los seis meses de muestreo 2) utilizando los valores promedio de los  $m_i$  de cada cuadro y 3) utilizando el promedio intermensual de las densidades ( $\sum \hat{\lambda}/No.Meses$ ).

**Cuadros cargados** [2]. Este método de estimación, en contraste con el anterior, no tiene en cuenta los valores de  $m_i$  encontrados en cada cuadro, sino que basta con el conocimiento de la presencia o ausencia de individuos en el cuadro para obtener un estimador de la densidad y el tamaño poblacional; en este método se introduce una nueva variable:  $\gamma$ , que es el número de cuadros no cargados. Fundamentándose el método en los siguientes estimadores:

$$\hat{\lambda} = - \left( \frac{1}{a} \right) \ln \left( \frac{\gamma}{n} \right) \tag{6}$$

$$\text{Limite del error} = 2 \sqrt{\frac{1}{na^2} (e^{\hat{\lambda}a} - 1)} \tag{7}$$

$$\hat{M} = \hat{\lambda}A \tag{8}$$

$$\text{Limite del error} = 2A \sqrt{\frac{1}{na^2} (e^{\hat{\lambda}a} - 1)} \tag{9}$$

Este método comparte el mismo criterio de suposición de aleatoriedad de hallar individuos en la población al igual que el estimador anterior, entonces  $e^{-\lambda a}$  es la proporción de cuadros no cargados en la población, siendo éste un buen estimador de la proporción poblacional [2].

**Fracción significativa** [3]. Este método se basa en una distribución normal donde la variación de una cantidad ( $x$ ) respecto a su valor medio ( $m$ ) es completamente aleatoria. El método tiene en cuenta la media censal de los resultados (media experimental) y una media teórica para hallar la probabilidad ( $p$ ) de avistar animales en un muestreo. A partir de este procedimiento se estima el tamaño total de la población ( $N$ ).

Durante una noche típica de muestreo solamente una fracción de los cocodrilos presentes en la población puede ser observada, debido a una gran diversidad de factores. Esta fracción se calculó utilizando los datos con mayor número de réplicas durante los seis meses de muestreo en un área escogida, a partir de la siguiente fórmula:

$$p = \frac{m}{(2s + m)1,05} \tag{10}$$

donde  $p$  = porcentaje promedio de la población observada durante los muestreos,  $m$  = media de los censos y  $s$  = la desviación estándar.

El tamaño total de la población ( $N$ ) con un límite de confianza del 95 % [8] se calcula como:

$$N = \frac{m}{p} \pm \frac{[1,96(s)]^{1/2}}{p} \tag{11}$$

La densidad estimada se obtiene dividiendo  $N$  entre la longitud de su respectivo recorrido ( $N/Km$ ).

### 3. Resultados

#### 3.1. Muestreo por cuadros.

Para la Zona Norte, utilizando el promedio intermensual, se obtuvo una densidad poblacional de 10 babillas/Km<sup>2</sup> y se estimó la población en 52 babillas. En la Zona Centro la densidad fue de 8 babillas/Km<sup>2</sup> y el total estimado de la población fue de 30 babillas. En la Zona Centro-Sur, por su parte, los resultados de densidad y estimación de la población fueron 4 babillas/Km<sup>2</sup> y 27 babillas, respectivamente. La estimación poblacional para las tres áreas fue de 109 babillas.

Los resultados con los valores medios para las tres áreas de estudio se resumen en la tabla 1.

**Tabla 1.**  
**Densidad, valores medios y máximos de tamaño poblacional estimados para las tres áreas de muestreo, según el método por cuadros.**

Estimaciones	Zona Norte	Zona Centro	Zona Centro-sur	Total
Densidad	9	7	3	
Tamaño Poblacional	45	28	21	94

Finalmente, los resultados de los valores máximos fueron en la Zona Norte de 27 babillas/Km<sup>2</sup> y 139 babillas; para la Zona Centro se obtuvieron 19 babillas/Km<sup>2</sup> y 74 y en la Zona centro-Sur los resultados fueron 10 babillas/Km<sup>2</sup> y 67 babillas. La estimación en este caso para la población fue de 280 babillas.

#### 3.2. Muestreo por cuadros cargados.

Los resultados obtenidos usando el promedio de los censos en la Zona Norte fueron de 4 babillas/Km<sup>2</sup> y 20 babillas; en la zona Centro fueron de 2 babillas/Km<sup>2</sup> y 8 babillas y para la Zona Centro-Sur 2 babillas/Km<sup>2</sup> y 10 babillas. La estimación de la población total fue de 38 babillas. Estos resultados se presentan en la tabla 2.

**Tabla 2.**  
**Densidad, valores medios y máximos de tamaño poblacional estimados para las tres áreas de muestreo, según el método por cuadros cargados**

Estimaciones	Zona Norte	Zona Centro	Zona Centro-sur	Total
Densidad	4	2	2	
Tamaño Poblacional	20	8	10	38

### 3.3. Fracción significativa.

La probabilidad de ver babillas en un muestreo fue del 0.3, lo que corresponde al 30%. Así, en la Zona Norte, la densidad estimada y el tamaño poblacional fueron de 5 babillas/Km. y 128 babillas, respectivamente; en la Zona Centro, los resultados fueron de 5 babillas/Km. y 92 babillas; en la Zona Centro-Sur, los resultados obtenidos fueron de 2 babillas/Km. y 66 babillas. La estimación del total de la población para las tres áreas fue de 286 babillas y una densidad estimada en 4 babillas/Km. Estos resultados se presentan en la tabla 3.

**Tabla 3.**  
**Densidad, valores medios y máximos de tamaño poblacional estimados para las tres áreas de muestreo, según el método de fracción significativa.**

Estimaciones	Zona Norte	Zona Centro	Zona Centro-sur	Total
Densidad	5	5	2	
Tamaño Poblacional	128	92	66	286

## 4. Discusión

Los resultados obtenidos en las tres áreas varían de acuerdo con el método aplicado. El estimador de Muestreo por Cuadros utilizando los valores medios y valores totales presentó valores bajos con respecto a las medias de observación de muestreo durante los seis meses. El estimador de Muestreo por cuadros cargados fue el que presentó los valores más bajos con respecto a los otros métodos, debido a las características del mismo, ya que éste no tiene en cuenta los valores que presentan los  $m_i$  de los cuadros muestreados. Utilizando los valores máximos de los  $m_i$  para cada cuadro durante la investigación, los muestreos por Cuadros estiman una población de 280 individuos para las tres áreas, un resultado que al ser comparado con el obtenido por el de Fracción Significativa (286 individuos) se aprecia una diferencia mínima de 6 individuos.

## Referencias

- [1] Sánchez O. Conservación y Manejo de Anfibios y Reptiles: Métodos y Técnicas. Disponible en Internet: URL: <<http://www.ine.gob.mx/dgoece/diplomado/download/sanchez2.pdf>>. [23 Febrero, 2005].
- [2] Scheaffer R.L., Mendenhall, W. y L. Ott. Elementos de Muestreo. G. Rendón y J.R. Gómez (trad.), México, D.F.: Iberoamérica, 1987; p. 264-268.
- [3] King, F.W., Espinal, M. & C.A. Cerrato. Distribution and Status of the crocodilians of Honduras. En: Crocodiles. Proceedings of the 10th Working Meeting of the Crocodile Specialist Group, IUCN—The World Conservation Union, Gland, Switzerland, 1990; pp. 313- 354.
- [4] Thorbjarnarson, J., Platt, S.G. & S.W. Khaing. A Population survey of the estuarine crocodile in the Ayeyarwady Delta, Myanmar. En: Oryx. Vol. 34 No.4 (2000); p. 317-324.
- [5] Ministerio del Medio Ambiente, Banco Interamericano de Desarrollo, CRA y CARDIQUE. Plan de Manejo Ambiental del complejo de ciénagas El Totumo, El Guájaro, y El Jobo en la ecorregión estratégica del Canal del Dique. (Convenio # 201680), 2002; 243 p.
- [6] Seijas, A.E. Estimaciones poblacionales de babas (*Caiman crocodilus*) en los llanos occidentales de Venezuela. Vida Silvestre Neotropical. Vol. 1 No. 1 (1986); p. 24-30.

**EFEECTO DE LA DIETA EN LOS PARÁMETROS  
MORFOMÉTRICOS Y EN LOS NIVELES SÉRICOS DE  
GLUCOSA, COLESTEROL Y ÁCIDO ÚRICO EN  
CAIMAN CROCODYLUS FUSCUS**

Saray Movilla Bolivar, Danilo de la Rosa Mercado, Carlos Alzate y Carmiña L.  
Vargas Zapata\*.

Grupo de Investigación Biología de Nutrientes. Departamento de Biología,  
Universidad del Atlántico, Km 7 antigua vía a Puerto Colombia, A.A. 1890,  
Barranquilla, Colombia

\*carminaluvarza52@hotmail.co.

**Resumen.** El objetivo de este estudio fue determinar la influencia de la calidad de distintas dietas con proporciones diferentes de pollo, carne y pescado en los parámetros morfométricos de peso y talla y en los niveles sanguíneos de glucosa, colesterol y ácido úrico de *Caiman crocodilus fuscus*, perteneciente a la categoría III por un periodo de alimentación de 4 meses. Los animales fueron divididos en cinco grupos de diez individuos machos en cada grupo y alimentados con la dieta respectiva. Las dietas 1- 5 contenían 0, 25, 50, 75, 100 % de pescado; completado al 100 % con partes iguales de carne vaca y pollo. La dieta 5 fue utilizada como control. Datos bromatológicos evidenciaron que la dieta 1 contenía mayor concentración de proteína y menor concentración de grasa y posiblemente de glicógeno; valores que disminuían y aumentaban en las otras dietas respectivamente. Los mayores valores de peso y talla se observaron en los animales alimentados con las dietas 1 y 2. La calidad de la dieta no afectó los valores séricos de glucosa, colesterol y ácido úrico, posiblemente debido a la gran variación interindividual que se observó. Sin embargo, esto parece indicar que los animales se adaptan metabólicamente a cualquiera de las dietas suministradas sin alterar los indicadores en la sangre, datos a ser reportados por la primera vez en la literatura científica.

**Palabras claves:** *Caiman crocodilus fuscus*, alimentación animal, parámetros morfométricos, niveles sanguíneos de glucosa, ácido úrico, colesterol total

**Abstract.** The purpose of this study was to determine the effect of different diets with variable proportions of chicken, meat, and fish on morphometric parameters (weigh and size) and glucose, cholesterol and uric acid levels in blood of 50 males of *Caiman crocodilus fuscus* belonging to the category III during a 4-months period. The animals were divided in five groups of the 10 individuals each, and supplied with five different diets, pattern diet (100 % fish), and the others (1-4 diets) had 0, 25, 50, 75 % of fish and completed with chicken and meat in same proportion. Bromatological analysis showed that diet 1 had higher protein and lower lipids and concentrations and possibly of glycogen than other diets. But these concentrations below and

up in second to fifth diets restively. Animals feed with diet 1 and 2 shown higher values in weigh and size but the quality of diet did not affect the values of blood parameters, possibly due to great inter individual variability. These results appear to indicate that animals were metabolically adapted with any diet shown no changes in the blood parameters. Values of serum glucose, cholesterol and uric acid levels in *Caiman crocodilus fuscus* are reported for first time in the scientific literature.

**Keywords:** *Caiman crocodilus fuscus*, animal feed, morphometric parameters, serum glucose, serum cholesterol, serum uric acid levels.

## 1. Introducción

La zootría de la babilla o babas, *Caiman crocodilus fuscus* ha tenido éxito en el país y los alimentos más utilizados para su cría son: aves de corral, pescado, carnes rojas de caballo, asno, cabra, ganado vacuno o de babilla, así como de los subproductos de estas carnes, siendo esta última obtenida del sacrificio de los animales en cautiverio cuando se benefician de las pieles [1 – 3]. Sin embargo, esta alimentación no ha sido evaluada en los animales sobre cual sería el porcentaje de cada alimento de la dieta suministrada que proporcione un buen crecimiento, peso y salud de los animales.

Los alimentos antes mencionados son utilizados por los crocodílidos de una forma eficiente debido a que poseen un proceso digestivo eficaz, pero ellos también pueden presentar anormalidades en el metabolismo de algunos nutrientes, principalmente cuando se exceden o se restringen los requerimientos nutricionales y/o cuando existen problemas en la fisiología del individuo: anormalidades que pueden ser evidenciadas a través de parámetros bioquímicos sanguíneos [4 – 7]. Las carnes de pollo, de pescado o de res proporcionan gran cantidad de proteínas totales, sales minerales, grasa y de glicógeno (ver análisis bromatológico en resultados) en diferentes concentraciones, pero no se conoce su efecto sobre los niveles séricos de glucosa, ácido úrico y colesterol, parámetros relacionados con el metabolismo de los principales macronutrientes, carbohidratos, proteínas y lípidos, cuyas anormalidades metabólicas pueden ocasionar el apareamiento de hipo o hiperglicemia, gota o hipo e hipercolesterolemia, respectivamente; tampoco se conoce el efecto sobre el crecimiento y el peso del animal. Por tanto, el objetivo de este estudio fue determinar el efecto que tienen distintas dietas con diferentes proporciones de carnes de pescado, pollo y res sobre los parámetros morfométricos de talla y peso, así como en los valores séricos de glucosa, ácido úrico y colesterol de *Caiman crocodilus fuscus* en cautiverio.

## 2. Metodología

### 2.1. Colección de animales estudiados

Los animales objeto de estudio fueron individuos nacidos en cautiverio, descendientes de los parentales del zocriadero ZOOSEL S.A (Remolino, Magdalena) [8]. Se tomaron al azar de la población de juveniles pertenecientes a la categoría III, 50 individuos machos previamente sexados y distribuidos en 5 grupos de 10 individuos por grupo y marcados con una placa colocada en la quinta cresta caudal por perforación. Dichos animales se ubicaron en encierros de cemento con un área vital de 1.5 m<sup>2</sup> /animal, utilizando 5 piletas, una para cada grupo de babillas.

### 2.2. Dietas utilizadas

Las materias primas utilizadas para la elaboración de las distintas dietas fueron: carne de res, pollo y pescado frescos, manteniendo siempre el mismo tipo de materia prima y proporcionándoles a cada grupo de animales una dieta diferente, diseñadas en base a la variación del porcentaje de pescado (0 – 100%) (Tabla 1). Los alimentos (materias primas) fueron procesados en un molino eléctrico, y el producto de cada uno se depositó en bandejas plásticas por separado (carne, pollo, pescado), para luego ser pesados en un peso de reloj las cantidades necesarias para cada dieta, 6% del peso vivo del total de animales por grupo.

Cada dieta fue analizada bromatológicamente, a través de análisis suministrados por los Laboratorios de Suelos, E.C.N, Santa Marta (Magdalena).

**Tabla 1.**  
Porcentaje de alimento suministrado en cada dieta.

Dieta	Pescado (%)	Carne (%)	Pollo (%)
1	0.00	50.0	50.0
2	25.0	37.5	37.5
3	50.0	25.0	25.0
4	75.0	12.5	12.5
5*	100	0.00	0.00

\*Dieta testigo. Fuente: C. Alzate com. pers. (2002).

### 2.3. Diseño experimental y colección de datos morfométricos, muestras de sangre y determinaciones bioquímicas

Después de la selección y marcación de los animales, a cada animal se le determinó la talla y el peso corporal y alimentados con la dieta específica de cada grupo, día por día en las horas de la tarde y asistidos por un periodo de cuatro meses y obtenido mensualmente el peso y la talla y una muestra de sangre. Las medidas de peso y longitud se efectuaron con ayuda de una plantilla de madera

de 100 cm. y un peso de reloj de 60 libras. La recolección de muestras de sangre (3 ml.) se practicó en las horas de la mañana en la vena coccígea ventral, situada en la línea ventral media de la cola, caudal a la cloaca, las mismas fueron refrigeradas y transportadas hasta el laboratorio donde fueron procesada para la separación del suero sanguíneo por centrifugación a 1500 rpm por 10 minutos y determinaciones de glucosa, ácido úrico y colesterol por método enzimático colorimétrico utilizando un Kit comerciales (BioSystem S.A) [5]

#### 2.4. Análisis estadísticos

Los análisis estadísticos comprendieron análisis descriptivo de las variables, análisis de varianza y análisis de correlación, realizados por medio del software Statgraphics Plus versión 2.1.

### 3. Resultados

En la tabla 2 se aprecia el análisis bromatológico de las diferentes dietas, se puede observar que la dieta 1 (0% de pescado), en comparación a las otras dietas, proporciona mayor concentración de proteína, y menor concentración de extracto etéreo (grasa) y de extracto no nitrogenado, en cambio, la dieta 5 (100% de pescado) proporciona menor concentración de proteína y mayor concentración del extracto etéreo y del extracto no nitrogenado, indicando que las proporciones de pescado suministrado en la dieta influyen sobre las concentraciones de los macronutrientes proteína, glicógeno y lípidos.

La evolución de las tallas y los pesos de los animales durante el periodo de estudio se encuentran registrados en las figuras 1 y 2. Se observa que los grupos de animales alimentados con las dietas 1 y 2 presentaron mayores niveles de estos parámetros morfométricos en comparación al tratamiento de las otras dietas.

Los niveles séricos medios de glucosa, colesterol y ácido úrico de cada grupo de animales alimentados con las dietas 1 al 5 durante el tiempo del estudio se encuentran consignados en las tablas 3, 4, 5, respectivamente.

Se puede observar en los valores de los indicadores sanguíneos que hubo mucha variación interindividual y que en media se mantuvieron constante durante el estudio pues no se observó diferencia significativa entre el tiempo inicial del estudio y al cuarto mes de tratamiento. No hubo correlaciones significativas entre el contenido de dieta y los valores de los parámetros sanguíneos, pero si se presentó correlación significativa entre los valores morfométricos (*figura3*).

### 4. Discusión

En Colombia, la forma como se ha venido manejando la especie *Caiman crocodilus fuscus* bajo condiciones de cautiverio presenta muchas inconsistencias, sobre todo lo que hace referencia a la nutrición del animal y sus alteraciones metabólicas, siendo una de las principales causas la falta de conocimiento y/o la poca investigación que se ha realizado sobre este complejo tema de la nutrición en dicha

especie [3, 9, 10]. El presente trabajo es un aporte para el mejor tratamiento de estos animales y constituye el primer reporte de los valores de glucosa, ácido úrico y colesterol en esta especie de reptil, así como ayuda a verificar que la dieta suministrada a estos animales en cautiverio afecta de forma directa el crecimiento y normal desenvolvimiento del animal.

**Tabla 2.**  
**Análisis bromatológico de las dietas proporcionadas a los individuos de Caiman crocodilus fuscus en estudio.**

<b>Análisis realizado</b>	<b>Dieta1</b>	<b>Dieta2</b>	<b>Dieta3</b>	<b>Dieta4</b>	<b>Dieta5</b>
%N	6.840	7.020	7.110	8.040	8.100
%P	3.110	2.880	3.350	3.770	3.920
%K	0.470	0.377	0.381	0.386	0.42
%Ca	7.820	5.930	4.860	5.130	4.100
%Mg	0.512	0.312	0.381	0.341	0.320
%Proteínas	50.12	48.80	47.16	46.47	45.78
%Fibra bruta	1.160	0.910	0.600	0.880	0.690
%Extracto etéreo (grasa)	8.150	8.850	9.500	9.670	10.20
%Cenizas	15.20	13.20	13.80	14.22	13.80
Cu(mg/lb)	12.23	7.100	7.930	7.420	5.330
%Fe	0.209	0.143	0.115	0.075	0.043
%Na	—	0.037	0.075	0.141	0.183
Mn (mg/lb)	9.770	9.780	10.78	10.89	12.92
%Extracto no Nitrogenado*	25.66	28.24	28.94	28.76	29.53

\* Obtenido por medio de la ecuación:  $ENN = 100 - Proteína - Grasa - Fibra - Ceniza$  Fuente: Laboratorio de suelos E.C.N. Ltda (2003).

En este estudio se utilizaron animales juveniles de la categoría III para observar mejor el efecto de los tratamientos utilizados durante cuatro meses, puesto que al terminar el estudio los animales se encontrarían en el tiempo en que son generalmente comercializadas sus pieles. En la Figura 1 y 2, se puede observar que los animales en todos los grupos presentaron pesos y tallas parecidos al tiempo inicial del estudio indicando la homogeneidad de la muestra al comienzo del mismo. De la dieta suministrada en cada grupo de animales se escogió el pescado como alimento control, debido a que ese es el alimento base en el zoológico ZOOSSEL [8] y porque es el alimento base en la mayoría de zoológicos comerciales (C. Alzate, Com. Pers. 2002).

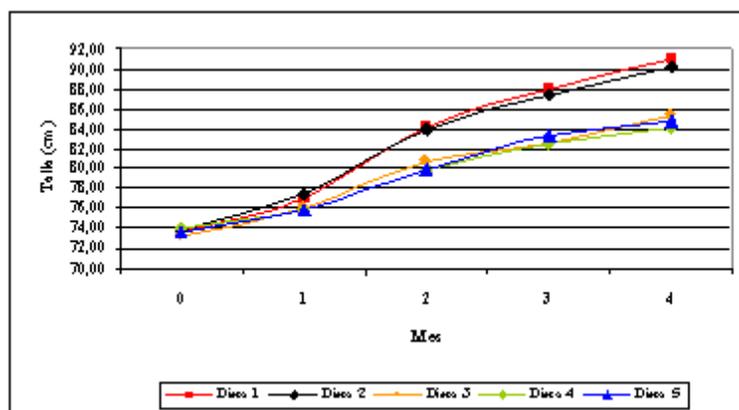


Figura 1: Evolución de la talla en *Caiman crocodylus fuscus* en estudio alimentados con la dieta respectiva

En la tabla 1, se puede observar que la dieta 1 (0 % de carne de pescado, 50 % de pollo y 50 % carne de res) contiene mayor cantidad de proteína, menor cantidad de lípidos (extracto etéreo) y de extracto no nitrogenado, y que estos valores van disminuyendo y aumentando, respectivamente en las dietas 2, 3, 4 y 5 (100 % de pescado), indicando que la carne de pescado contiene menor cantidad de proteína y mayor cantidad de lípidos y posiblemente de glicógeno en comparación con las carnes de pollo y de res. Esta diferencia evidenció que la constitución de la dieta en relación a estas carnes tiene influencia significativa en los parámetros morfométricos de talla y peso, ya que en las dietas en las que hay ninguna o poca cantidad de carne de pescado, como son en las dietas 1 y 2, los animales presentaron mayor incremento de esos parámetros. El incremento para la talla tuvo un valor medio de 4.33 cm y 4.08 cm en los animales alimentados con las dietas 1 y 2, respectivamente, en cambio, en los que fueron alimentados con las dietas 3, 4, y 5 el incremento fue mucho menor, siendo la media de 3.06 cm, 2.53 cm y 2.75 cm, respectivamente. Con relación al peso los animales alimentados con la dieta 1, estos presentaron un incremento al final del estudio de 534.26 gramos y los alimentados con la dieta 2 tuvieron un incremento de 457.99 gamos, siendo menores en los otros grupos. Estos resultados parecen indicar que los nutrientes, sobre todo de la calidad de proteína presente en la carne de pollo y de res, proporcionan una buena biodisponibilidad y utilización metabólica en el organismo de *Caiman crocodylus fuscus* [11]. Esta biodisponibilidad y utilización de la dieta fue de una forma homogénea, ya que hubo una correlación significativa entre estos parámetros (ver figura 3). Este estudio es el primero reportado en la literatura científica que verifica la influencia que tiene la calidad de la dieta sobre los parámetros morfométricos de *Caiman crocodylus fuscus*.

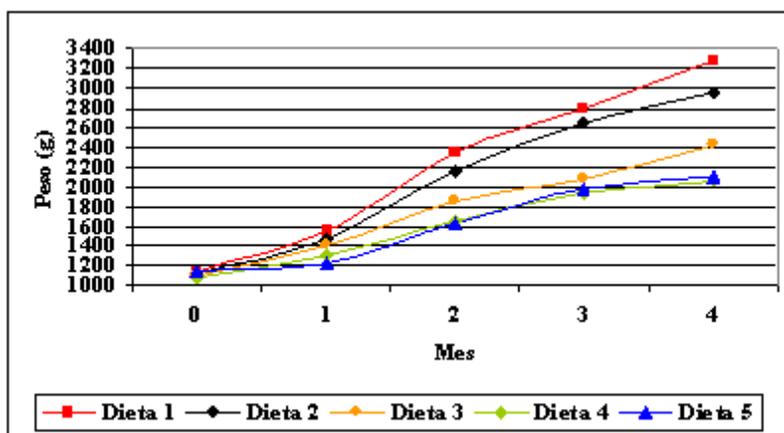


Figura 2: Evolución del peso de *Caiman crocodylus fuscus* en estudio alimentados con la dieta respectiva

Tabla 3.  
Valores medios de glucosa sérica en los grupos de *Caiman crocodylus fuscus*

Parámetro	D	t inicial	Mes1	Mes2	Mes3	Mes4	Media ±SD
GLU-COSA (mg/dl)	1	137.07	143.36	126.59	113.39	143.76	132,31 ±12,89
	2	128.51	121.10	138.39	102.26	129.99	123,41 ±13,64
	3	184.53	119.94	185.99	123.62	143.59	148,85 ±32,08
	4	141.74	143.04	175.08	166.86	89.420	139,57 ±33,43
	5	95.900	134.45	115.09	125.37	116.93	116,82 ±14,34

La calidad de la dieta no afectó los valores séricos de glucosa, colesterol y ácido úrico, pues no se presentó diferencia significativa entre los diferentes grupos, posiblemente por la gran variación interindividual que hay en los diferentes organismos de los animales. Sin embargo, esto parece indicar que los animales se adaptan metabólicamente a cualquiera de las dietas suministradas sin alterando los indicadores de la sangre.

Como la dieta no influyó sobre los valores sanguíneos de estos parámetros y como a los animales no se les observó ninguna alteración metabólica o sintomatología de ninguna enfermedad, se pueden considerar estos valores como referencia en esta especie de reptil en cautiverio, siendo por tanto los primeros reportados en

la literatura científica. Las concentraciones tuvieron los siguientes rangos: 102.3 a 186,0 mg/dl, para glucosa; de 145.07 a 190.0 mg/dl para colesterol y de 2.14 a 2.95 mg/dl para ácido úrico, respectivamente. Estos valores son semejantes a los encontrados en reptiles de otras especies, como los hallados por, Knotek y colaborador [12] y por Foundation for iguana rescue, safety and training [13] en iguanas; Knotková y colaboradores [14] en tortugas sanas de Rusia (*Agrionemys horsfieldi*), y Millan, [15] en *Crocodylus porosus*. Beynan, (1998) [16] reportó valores semejantes de glucosa y ácido úrico para los sauria (squamata), pero valores menores a los encontrados en el presente estudio en serpientes; y valores menores para colesterol total en ambas especies.

**Tabla 4.**  
Valores medios de colesterol total sérico en los grupos de *Caiman crocodylus fuscus*

Parámetro	D	t inicial	Mes1	Mes2	Mes3	Mes4	Media $\pm$ SD
	1	145.73	148.21	148.60	145.07	145.80	146,67 $\pm$ 1,6
<b>COLESTEROL</b> (mg/dl)	2	154.34	159.56	176.20	175.27	171.80	167,19 $\pm$ 9,9
	3	167.13	169.18	169.34	166.91	161.98	166,89 $\pm$ 3,0
	4	155.5	161.83	176.53	148.34	160.43	160,26 $\pm$ 10,4
	5	189.96	168.15	183.87	170.20	156.02	173,22 $\pm$ 13,5

Sin embargo, otros estudios reportan niveles muy superiores de glucosa y ácido úrico en otras especies como en *Anolis c.*, *Trachemys s.*, *Chelidra s.*, *Pogona v.*, *Coluber c.*, y *Boa constrictor c.* [Eliman, 1997 (17); Wallach y Boever, 1983 (18)]. Pero en estos estudios, al igual que este, los valores de los parámetros séricos presentaron mucha variación con rangos muy extensos, posiblemente por diferencias en el comportamiento metabólico de los animales de cada especie.

De este trabajo se concluye que la dieta 1 (0% pescado, 50% pollo y 50% de carne de res) fue muy bien asimilada y utilizada por el organismo de *Caiman crocodylus fuscus*, una vez que el grupo de animales alimentados con esta dieta por un periodo de cuatro meses presentaron mayores valores de peso y talla y que los parámetros séricos de glucosa, colesterol total y ácido úrico no son influenciados por la ingestión dietética, datos a ser reportados por primera vez en la literatura científica

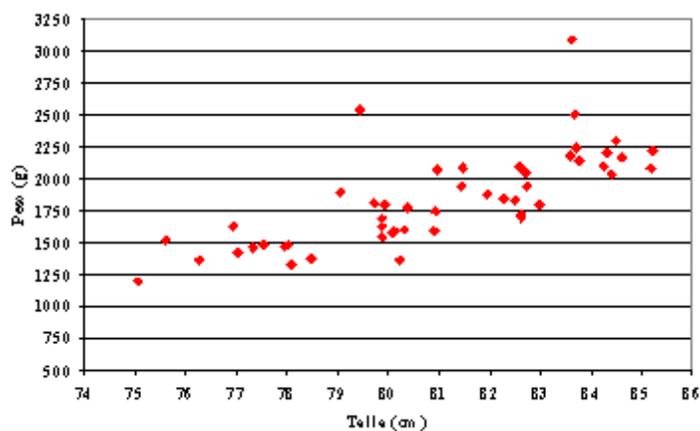


Figura 3: Diagrama de dispersión que muestra el grado de asociación entre las variables peso – talla de los individuos de la especie *Caiman crocodilus fuscus* ( $r = 0,75, p < 0,01$ )

**Tabla 5.**  
Valores medios de ácido úrico séricos en los grupos de *Caiman crocodylus fuscus*

Parámetro	D	t inicial	Mes1	Mes2	Mes3	Mes4	Media ±SD
	1	2.64	2.72	2.95	2.87	2.86	2,80 ±0,12
ÁCIDO ÚRICO (mg/dl)	2	2.55	2.61	2.83	2.44	2.34	2,55 ±0,18
	3	2.37	2.68	2.60	2.22	2.45	2,46 ±0,18
	4	2.38	2.40	2.88	2.37	2.34	2,47 ±0,23
	5	2.23	2.32	2.26	2.14	2.21	2,23 ±0,07

### Referencias

- [1] Mc DONALD P, EDWARDS R.A, GREENHALGH J.F.D. Nutrición Animal. Ed. Acribia. Zaragoza, España. 1979. p. 168
- [2] ALDERTON, D. Crocodyles And Alligators Of The World. Blanford publishing. London. 1995.

- [3] BEYNAN PETER H., John E. Cooper, Harcourt Brace. Manual de Animales Exóticos. Madrid, España.1998. pág 286-287.
- [4] COMETTA, María Laura. Análisis De Sangre ¿Cómo interpretarlos?. La importancia de la temperatura en los reptiles.2002. Disponible en Internet <http://www.infomascota.com/articulos/veterinaria/generales/2002/10/17/vet.sangre.htm>. [Febrero 19, 2001]
- [5] KAPLAN, Melissa. 2001 Hypoglycemia and Hyperglycemia in Reptiles. Disponible en Internet: <http://www.sonic.net/~melissk/diabetes.html>. [Febrero 19,2001]
- [6] MARTÍNEZ SILVESTRE, Albert. Manual Clínico de Reptiles. Barcelona, España : Grass – latros, 1995. p. 38, 57-59, 65, 67.
- [7] ROLDAN P. Gases disueltos en el agua, Oxígeno Disuelto. Fundamentos de Limnología Neotropical. Editorial Universidad de Antioquia. 1992; 1: 225-242.
- [8] CERESO J. Factores que afectan al consumo de oxígeno, concentraciones crítica y letal de oxígeno, frecuencia de ventilación en el sargo picudo (*Diplodus puntazzo*), el dentón común (*Dentex dentex*) y el pulpo de roca (*Octopus vulgaris*). Tesis doctoral, Departamento de Fisiología, Universidad de Valencia. España. 2002.
- [9] MARTINEZ R & M. MARTINEZ. Diseño de experimentos-Análisis de datos estándar y no estándar. Fondo Nacional Universitario. Santa Fé de Bogotá. 1997; 87-91.
- [10] WOOD CM, MC MAHON BR, MC DONALD DG. Respiratory gas exchange in the resting starry flounder, *Platichthys stellatus*; a comparison with other teleost. *J. Exp. Biol.* 1979:167-79.
- [11] DUTHIE GG. The respiratory metabolism of temperature-adapted flatfish at rest and during swimming activity and the use of anaerobic metabolism at moderate swimming speeds. *J. Exp. Biol.* 1982; 97:359-73.
- [12] BENETTI DD, BRILL RW, KRAUL SA. The standar metabolic rate of dolphin fish. *J. Exp. Biol.* 1995; 46:987-96.
- [13] WELLS MJ, O'DOR RK, MANGOLD K, WELLS J. Feeding and metabolic rate in *Octopus*. *Mar. Behav. Physiol.* 1983; 9:275-187.

**ANACRONEURIA CARACA STARK: PRIMER REGISTRO DE PLECOPTERA (INSECTA) PARA LA SIERRA NEVADA DE SANTA MARTA, COLOMBIA**

María del Carmen Zúñiga<sup>1</sup>, Bill P. Stark<sup>2</sup>, Luis Carlos Gutiérrez<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Universidad del Valle. Escuela de Ingeniería de Recursos Naturales y del Ambiente. Programa Bioindicadores de calidad de agua. Cali, Colombia. azuniga@emcali.net.co

<sup>2</sup> Mississippi Collegue, Biology Department. Clinton, MS, 390587, USA.

<sup>3</sup>Departamento de Biología. Universidad del Atlántico, Km 7 antigua vía a Puerto Colombia, A.A. 1890, Barranquilla, Colombia, rotifero1@yahoo.es

**Resumen.** Ejemplares adultos machos y hembras de *Anacroneuria caraca* (Stark, 1995) fueron colectados en el río Córdoba, Departamento del Magdalena, Municipio de Ciénaga, a 930 metros de altitud. La especie fue previamente reportada para los estados venezolanos de Aragua, Barina y Guárica, sin embargo, su presencia en la Sierra Nevada de Santa Marta se constituye en el primer registro para Colombia y en el primer reporte de un Plecoptera para este complejo montañoso y para la Región Natural del Caribe. En el trabajo se discuten los caracteres diagnósticos de la especie y su distribución geográfica.

**Palabras Claves:** Plecoptera, Taxonomía, Distribución entomofauna acuática.

**Abstract.** Male and female adult specimens of *Anacroneuria caraca* (Start, 1995) were collected from Córdoba river (Cienaga, Magdalena), 930 meters above sea level. This species was previously reported for Aragua, Barina and Guárica states in Venezuela, however its presence in the Sierra Nevada de Santa Marta represents the first report for Colombia, for this mountainous system and for the Caribbean Natural Region. The diagnosis characters for the species and its geographic distribution are discussed in this paper.

**Key-Words:** Plecoptera, taxonomy, distribution, aquatic entomofauna.

## 1. Introducción

La Sierra Nevada de Santa Marta está situada en el nor oriente de Colombia (entre los 10°10' y 11°20'N; los 73° y 74°10'W), compartida por los Departamentos de Magdalena, Guajira y Cesar. Es el complejo montañoso costero de mayor elevación a nivel mundial, cuyas características biogeográficas y culturales son excepcionales. La Sierra Nevada se alza con su volumen piramidal de tres caras para alcanzar los picos nevados más altos de Colombia (5776 m). Se separó del extremo norte de la Cordillera Central de los Andes durante el Período Terciario, moviéndose hacia el norte hasta su actual posición [Van der Hammen & Ruiz 1984]. El aislamiento prolongado, las condiciones climáticas y

su gradiente topográfico con varias zonas de vida, han producido un alto grado de endemismo de especies y subespecies de plantas y animales.

Entre los parques localizados en ella está el Parque Nacional Natural Sierra Nevada de Santa Marta. El flanco occidental de este complejo está parcialmente cubierto por densos bosques, ganadería, granjas y plantaciones de cacao, café, coca y papa y algunas vías de penetración entran hasta una altitud de 2.000 metros donde está situada la Estación Experimental San Lorenzo [Van der Hammen & Ruiz 1984]. Posee una gran biodiversidad, pero también es una región de conflictos de intereses por parte de los diferentes grupos humanos que la habitan. La Sierra Nevada posee numerosos ecosistemas acuáticos que suplen de agua a millón y medio de personas y a tierras dedicadas a la agricultura y crianza de animales en las zonas medias y bajas de la región [Mayr-Maldonado 1996].

Todos estos ecosistemas acuáticos han sido pobremente estudiados en términos de la biodiversidad de su entomología acuática, especialmente en cuanto a la fauna de Plecoptera, Trichoptera y Ephemeroptera. Estos Ordenes son un componente importante de los ecosistemas acuáticos neotropicales, en términos de su abundancia, diversidad y distribución, como también por su utilización en programas de bioindicación de calidad de aguas. Por consiguiente, un mejor conocimiento y entendimiento de su taxonomía y distribución en la región mejorará la efectividad de programas de manejo sustentable y conservación de los ecosistemas acuáticos, ayudando a resolver y mitigar los conflictos por los recursos hídricos en la región.

## 2. Objetivos y Metodología

Con el objeto de conocer la biodiversidad y distribución del Orden Plecoptera en la Sierra Nevada de Santa Marta, durante Diciembre de 1997 se visitaron cinco ecosistemas acuáticos del flanco occidental (Figura 1). Esta jornada de campo fue el primer intento de recolección de individuos adultos de Plecoptera, pues no hay antecedentes ni estudios que consideren inventarios del Orden en la región.

Los adultos de Plecoptera fueron colectados mediante trampas de luz ultravioleta y blanca suspendidas sobre una pantalla blanca, encendidas entre las 18:00 y las 21:00 horas y ubicadas muy cerca de los cuerpos de agua. Los estudios taxonómicos están basados fundamentalmente en la genitalia del macho (edeagus), el noveno esternito del macho, el octavo esternito de la hembra, el patrón de coloración de la cabeza y el pronoto y la longitud de las alas anteriores. Los especímenes estudiados se encuentran depositados en el Museo de Entomología de la Universidad del Valle.



Figura 1: *Distribución de Anacroneuria Caraca Stark.*

### 3. Resultados y Discusión

Ejemplares adultos machos y hembras de *Anacroneuria caraca* Stark (Plecoptera: Perlidae) se colectaron en la cuenca del Río Córdoba, en el Departamento del Magdalena, Municipio de Ciénaga ( $11^{\circ} 2' 22''$  N;  $74^{\circ} 2' 18''$  ), a 930 metros sobre el nivel del mar (Figura 1).

La especie fue previamente registrada por Stark [1995] para los estados venezolanos de Aragua, Barinas y Guárico. Sin embargo, su presencia en la Sierra Nevada de Santa Marta se constituye en el primer registro de distribución para Colombia y en el primer reporte de un Plecoptera para la Región Natural del Caribe y para la Sierra Nevada de Santa Marta. La Figura 1 ilustra sobre la distribución geográfica de la especie en Venezuela y Colombia.

### 4. Caracteres Diagnósticos de la Especie

*Anacroneuria caraca* Stark, 1995. Holotipo macho. Venezuela, Aragua, Parque Nacional Henri Pittier, Río Limón.

*Anacroneuria caraca*: Stark 1999

#### 4.1. Material Examinado

COLOMBIA, Magdalena, Municipio de Ciénaga, Río Córdoba, 25 Km. Nor occidente Estación experimental San Lorenzo, Sierra Nevada de Santa Marta ( $N 11^{\circ} 2' 22''$ ;  $W 74^{\circ} 2' 18''$  ), trampa de luz, 930 metros de altura, 12 – xii – 1997. F. Muñoz-Quesada, L.C. Gutiérrez, R.C. Cardozo-Zúñiga.

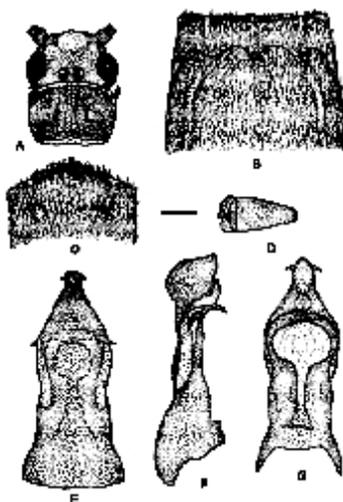


Figura 2: *Anacroneuria caraca*. A. Cabeza y pronoto. B. Esternito 8 y 9 de la hembra. C. Esternito 9 del macho. D. Huevo. E. Aedeagus, dorsal. F. Aedeagus lateral. G. Aedeagus ventral. Escalas: 0.6 mm (A), 0.3 mm (B C), 0.15 mm (D E F G) (Stark, 1995).

#### 4.2. Patrón de Color del Adulto

Cabeza de color amarillento, el área en la base de las antenas oscura y el área de la parte anterior de los ocelli marrón pálido. Pronoto marrón con una estrecha banda mesal de color amarillo (Figura 2A). Alas membranosas con venas café excepto en el límite del área costal.

#### 4.3. Macho

Longitud del ala anterior entre 9 y 10 mm. El martillo del esternito 9 con forma de delgado cilindro, cuya longitud es cerca de dos veces el diámetro. La punta del edeagus con un par de pequeñas proyecciones dorsolaterales y una angosta quilla dorsal (Figuras 2B-C-D); ganchos anchos en su longitud media (Figura 2E).

#### 4.4. Hembra

Longitud del ala entre 11 y 12 mm. Placa subgenital con 4 lóbulos casi simétricos. El margen posterior del esternito noveno con una banda angosta esclerotizada; el área media está cubierta con un parche poco denso de setas. Lateralmente las setas son mas largas y mesalmente hay finas y cortas setas (Figura 2F).

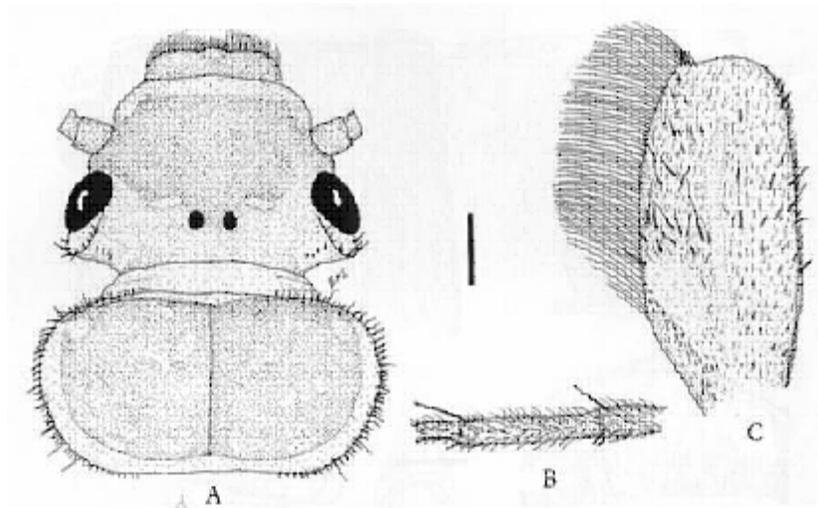


Figura 3: 0.3 mm (B), 0.15 mm (C) (Stark, 1995)

#### 4.5. Huevo

Longitud 0.32 mm, ancho 0.17 mm. Forma de huso con un collar inferior como botón. Corion suave, ancla membranosa con una pequeña protuberancia mesalmente (Figura 2G).

#### 4.6. Ninfa

Longitud del cuerpo entre 8 y 11 mm. La cabeza es de coloración café en la parte anterior de los ocelli; en el área de la base del labrum es pálida. El pronoto es café con manchas pálidas dispersas en forma de discos y márgenes laterales también pálidos (Figura 3A). Fémur anterior con un parche lineal de cerdas cortas que se extienden desde la base hasta cerca de la franja marginal. Hilera de cerdas transversales con 5 a 7 cerdas largas en la longitud media del fémur y aproximadamente 15 cerdas robustas detrás de la línea (Figura 3B). Segmentos apicales de los cercos con una franja esparcida con setas cortas (Figura 3C).

En la Sierra Nevada de Santa Marta no se ubicaron ninfas que permitieran establecer una asociación confiable entre estados inmaduros y adultos. Las ninfas de la población que se encuentra en Venezuela fueron asociadas positivamente con base en la disección de la genitalia de un individuo macho, próximo a emerger.

## 5. Recomendación

Teniendo en cuenta la riqueza hídrica de la Sierra Nevada de Santa Marta y el conocimiento incipiente e incompleto de su entomofauna acuática, es prioritario desarrollar trabajos que contribuyan a la investigación de la biodiversidad, taxonomía, distribución y ecología básica del Orden Plecoptera y diferentes grupos de macroinvertebrados que caracterizan la región, con el fin de apoyar futuros programas de diversidad neotropical, uso sustentable y conservación de recursos naturales y bioindicación de calidad de agua, herramienta valiosa que facilita la evaluación del deterioro ambiental del recurso hídrico

## 6. Agradecimientos

Esta investigación fue apoyada por la Universidad del Valle (Cali, Colombia), la Universidad del Magdalena (Santa Marta, Colombia) y el Museo de Insectos de la Universidad de Minnesota (E.U.A.). Agradecemos la colaboración de los Doctores Ivan Ramos y Juan Francisco Díaz, Decano y Vice-Decano de Investigación de la Facultad de Ingeniería, Universidad del Valle; la cooperación de las autoridades de las Universidades del Magdalena, Santa Marta, y de la Oficina Regional del Sistema de Parques Nacionales en la Costa Atlántica, adscrita al Ministerio del Medio Ambiente y, en especial, al Biólogo Carlos Sáenz por las facilidades en la Estación Experimental San Lorenzo (Parque Nacional Natural Sierra Nevada de Santa Marta). A Fernando Muñoz-Quesada (Universidad de Minnesota), Gloria E. Guevara (Universidad del Valle) y los estudiantes Ricardo Cardozo Zúñiga y Elisa Mier por su valiosa colaboración en la colecta de los especímenes.

## Referencias

- [1] Mayr-Maldonado, J. 1996. Water - the universal solvent. *World Conservation*. 2:24-25.
- [2] Stark, B.P. 1995. New species and records of *Anacroneuria* (Klapálek) from Venezuela. *Spixiana* 18: 211-249.
- [3] Stark, B.P. 1999. *Anacroneuria* from northeastern South America (Insecta:Plecoptera:Perlidae). *Proceedings of the Biological Society of Washington* 112(1):70-93.
- [4] Van der Hammen, T. & P.M. Ruiz (eds.). 1984. *Studies on tropical Andean ecosystems. Vol. II: La Sierra Nevada de Santa Marta (Colombia) Transecto Buritaca - La Cumbre*. Cramer, Vaduz. 603pp.

**APORTE AL CONOCIMIENTO SOBRE LA VARIACIÓN  
HORIZONTAL DE LOS ROTÍFEROS PLANCTÓNICOS EN  
ECOSISTEMAS LENTICOS SOMEROS DEL CARIBE  
COLOMBIANO A TRAVÉS DE EXPERIMENTOS DE  
SIMULACIÓN**

Luis Carlos Gutiérrez Moreno<sup>1</sup>. Oriana Patricia Heredia Gómez<sup>2</sup>. Liseth  
Cecilia Atencio Fontalvo<sup>3</sup>

Departamento de Biología Universidad del Atlántico, Km 7 antigua vía a  
Puerto Colombia, A.A. 1890, Barranquilla, Colombia

<sup>1</sup>rotifero1@yahoo.es, <sup>2</sup>fallaci25@yahoo.com <sup>3</sup>lucasilseth@yahoo.com

**Resumen.** Se desarrolló un experimento de simulación utilizando estanques artificiales de 1000 m<sup>2</sup> (50 x 20) y 2.0 metros de profundidad, expuestos a ráfagas de vientos naturales de 5 a 8 m/s en dirección norte – sur, localizados en la estación piscícola de Repelón [INCODER] en el departamento del Atlántico. El propósito del estudio fue determinar si el movimiento del agua por efecto del viento es un factor que puede ser considerado para explicar el complejo comportamiento de la distribución horizontal del zooplancton en ecosistemas lenticos someros.

Dentro de los resultados es destacable que la rotiferofauna colectada presenta una riqueza de especies significativamente alta, considerando los resultados de otros estudios sobre rotíferos en medios naturales para el Caribe colombiano, presentándose nuevos registros de especies para la región. La comunidad de rotíferos estuvo dominada en diversidad y abundancia por los géneros *Brachionus*, *Keratella* y *Polyarthra*, resultados acorde a las condiciones físicas y químicas registradas en el agua y donde la conductividad juega un papel fundamental.

El análisis de densidad por especies muestra que la influencia de la dirección del viento a través de las capas superficiales es un factor significativo o determinante para explicar los patrones de dispersión horizontal de los rotíferos planctónicos en la zona limnetica de ecosistemas lenticos.

**Palabras Claves:** Rotífero, zooplancton, distribución horizontal y ecosistema lenticos.

**Abstract.** A simulation experiment was Developed using 1000 m<sup>2</sup> (50 x 20 m) artificial ponds (2.0 m deplht), exposed to 5 - 8 m/s natural wind, addressed N-S, located at the INCODER fishing facilities at Repelón – Atlántico. The purpose of this study was to stablish whether if wind induced water movement can be considered to explain the complex behaviour of the horizontal distribution of zooplancton in raw lentic ecosystems.

The colleted rotiferofauna presents a significantly high specific richness, considering the results of other studies on rotifers in natural

environments for the Colombian Caribbean region. The rotifer community was dominated, in terms of richness and abundance, by the *Brachionus*, *Keratella* and *Polyarthra* genus, these results are in accordance with the physical and chemical conditions of water, and where electrical conductivity plays a fundamental role. The density analysis, performed by species shows that the influence of wind direction throughout the superficial layers of water is a significant factor among those affecting to explain the horizontal distribution pattern of planktonic rotifers in the limnetic zone of lentic ecosystems.

**Key-Words:** Rotifers, zooplankton, horizontal distribution, lentic ecosystems.

## 1. Introducción

El componente animal del plancton de agua dulce está dominado por tres grupos principales: los rotíferos y dos taxas de crustáceos; cladóceros y copépodos. En la mayoría de las circunstancias los rotíferos y los crustáceos limneticos constituyen los elementos dominantes de la productividad zooplanctonica [Wetzel, 1981]. El zooplancton lacustre consiste en estirpes que han superado una rigurosa selección, quizás por las características efímeras y fluctuantes de las aguas epicontinentales [Pianka, 1983].

Las tres cuartas partes de los rotíferos son sésiles y están asociados a sustratos litorales, aproximadamente 100 especies son completamente planctónicas, formando una parte significativa del zooplancton de ríos y lagos [Ruttner- Kolisko, 1974; Wetzel, 1981; Cole, 1988]

Los zooplanctares poseen cierta motilidad propia de tal manera que pueden migrar verticalmente en la columna de agua. Varios autores han intentado determinar las causas de la distribución horizontal de los zooplanctares, considerando para ello la poca habilidad de las especies del zooplancton para nadar en contra de las corrientes del agua, y definiendo entonces a las corrientes como la principal causa para explicar la distribución de la rotiferofauna en ecosistemas lenticos [Margalef, 1983; Armengol, 1984; Esteves, 1988; Gutiérrez, 2002].

Las condiciones físicas y químicas han sido consideradas como una causa importante para determinar la distribución espacial de la rotiferofauna [Paggi & Paggi, 1974; Oliver, 1965; Michellangelli, 1980; Esteves, 1988; Gutiérrez, 2000;] sin embargo estas correlaciones son aún objeto de criticas.

Si bien las corrientes son el mejor factor para explicar la distribución horizontal de la rotiferofauna, para los ecosistemas lenticos someros las corrientes internas son producidas por los afluentes y sistema de vaciado principalmente durante el ciclo hidrológico, pero existen otros fenómenos como el viento con alta incidencia en el desplazamiento de las masas de agua y por lo tanto posiblemente también de los rotíferos planctónicos de estos ecosistemas, pregunta que es el propósito principal de esta investigación.

### 1.1. Distribución Horizontal del Zooplancton

La distribución horizontal de los rotíferos es con frecuencia heterogénea. Muchas veces se observan grandes concentraciones de rotíferos distribuidos de manera localizada, esta situación es típica cuando ocurre la dominancia de formas totalmente planctónicas, en los sistemas acuáticos se han descritos ciertos patrones de distribución relacionados con algunos factores físicos, químicos e hidráulicos que influyen de manera directa o indirecta sobre las comunidades de zooplancton.

Asegura *Siebeck*, 1982. que las diferencias en la distribución horizontal del plancton se debe a la migración activa de los zooplanctares desde la ribera. Otras propuestas definen como causa de las llamadas nubes planctónicas a las corrientes locales del agua en el sistema.

Las especies de rotíferos, en su mayoría son de amplia distribución, muchos son ubicuitas o cosmopolitas, pero no todos son euritopicos y presentan niveles de tolerancia que los restringen a ciertos hábitats [Oliver, 1965; Koste, 1978; Esteves, 1988; Paggi, S, 1995;]. Los rotíferos son organismos oportunistas y sus variaciones en composición y la abundancia están relacionados con los cambios en las condiciones ambientales, que maximizan su dispersión [Paggi, S., 1990].

En relación a la abundancia de rotíferos planctónicos en lagos tropicales, los resultados hasta ahora obtenidos, evidencian la ausencia de patrones de distribución en relación a el nivel trófico. Matsumura, Tundisi & Tundisi, 1976, en estudios realizados en Brasil documenta que es poco probable la correlación con los factores físicos y químicos del agua debido a las adaptaciones biológicas propias de los rotíferos dentro de las cuales se puede mencionar: tolerancia a los cambios ambientales, su condición pionera, y una reproducción de tipo partenogenética, considerando que estas distribuciones heterogéneas son el resultado de factores alimenticios y del efecto de las corrientes internas. Sin embargo, para los ecosistemas lenticos del caribe colombiano Gutiérrez et al, 1995 en el Guajaro (Atlántico) determinó una distribución horizontal relacionada inversamente con la conductividad, de igual manera Gutiérrez et al, 1997 en Cicuco (Bolívar), encontró una correlación también inversa con la conductividad y DQO.

Diferentes autores han descrito algunos patrones de distribución de los zooplanctares en los ecosistemas loticos, explicados por efectos de las corrientes como Hamilton, 1998 en el Orinoco (Colombo-Venezolano), Jose Paggi y Susana de Paggi 1996 en el Río Paraná (Argentina); Armengol, 1999, en una cadena embalses en España y Andrade, 2000 en el Amazonas (Colombia).

En ecosistemas lenticos se encuentran trabajos como el de Gutiérrez, 2002 realizado en el embalse El Guajaro registra que la distribución de los rotíferos esta relacionada con efectos del viento, las corrientes internas y la ubicación de los afluentes. Mejía et al, 2001 en la Ciénaga Grande de Santa Marta define los patrones de distribución del zooplancton en relación con las corrientes y por efecto de las mareas.

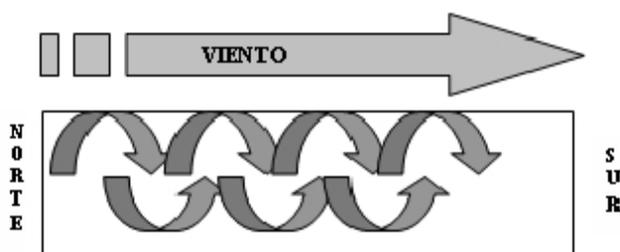


Figura 1: *Modelo conceptual, para mostrar el efecto del viento en el sistema evaluado.*

## 1.2. Modelo Conceptual del Efecto del Viento sobre Ecosistemas Lenticos Someros

Se consideró para determinar el efecto del viento sobre los cuerpos de agua lenticos dos características: la primera que el sistema sea someros (máximo de 2.0 metros de profundidad) y la segunda que no presente protección por barreras vegetales (riberas con vegetación arbustiva) que permite una acción directa del viento sobre el espejo de agua y por ende sobre las comunidades animales que están suspendidas en la columna de agua. Los vientos producen en los ecosistemas con estas características, la formación de celdas de convección permanente que los tipifica en la categoría de polimicticos, evitando la estratificación y mantiene a las comunidades zooplanctónicas en un constante desplazamiento en dependencia de las corrientes. (figura 1)

## 2. Metodología

### 2.1. Área de Estudio

El experimento de simulación se realizó en estanques artificiales de 1000 m<sup>2</sup> (50 x 20) y de 2.0 metros de profundidad, los cuales están expuestos a ráfagas de viento naturales (5 a 8 m/seg.) en dirección norte – sur, localizados en la estación piscícola de Repelón (INCODER) en el departamento del Atlántico. Se seleccionaron dos puntos de muestreo, uno a cada extremo del estanque, su ubicación se muestra en la figura 2.

### 2.2. Toma y Registro de Factores Biológicos

Se realizó una colección biológica, en un horario que cubrió el periodo de luz, aplicando las técnicas propuestas por Schwoerbel, 1975, siguiendo el siguiente protocolo:

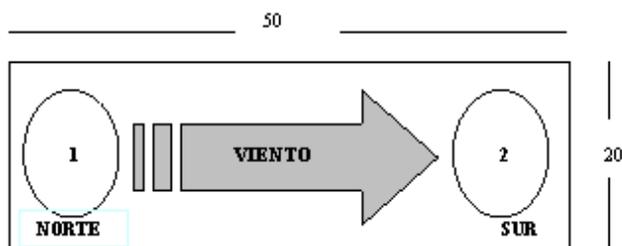


Figura 2: Ubicación de los puntos de muestreo. (1 norte y 2 sur) con efecto diferencial del viento

- Colecta de los organismos. La técnica que se empleó fue filtrado en pasivo con mallas de 40 micras de diámetro de poro. Se tomó un volumen de agua conocido (40 lts) colectados subsuperficialmente con botella de Van Dorn. Las muestras se tomaron simultáneamente en ambos puntos de muestreo.
- Fijación de la muestra. El material filtrado se fijó con solución de formalina al 4%.
- Identificación de los ejemplares. Se realizó con la ayuda de las claves taxonómicas e ilustraciones de Koste, 1978; Paggi, 1995; Hauer, 1955; Nededhan & Needhan, 1978 y Gutiérrez, 2002.
- Cuantificación. Se determinó la abundancia y densidad de los rotíferos para cada uno de los puntos de muestreo. Para cuantificar la población se revisó el 100% de la muestra a través de la utilización de la cámara de Kolkwitz. Se contabilizaron los ejemplares con presencia de procesos reproductivos (con huevos) y sin proceso reproductivo evidente (sin huevos).
- Estimación de la población reproductiva, se calcula con la fórmula  $nir/NT \cdot 100\%$  (nir: número de individuos con huevos, NT: número total de individuos).

### 2.3. Toma y Registro de Factores Físicos y Químicos del Agua

La toma de muestras y la determinación de los factores físicos y químicos se realizó según metodologías recomendadas por APHA AWA, 1982 en STANDARD METHODS Las técnicas de análisis se listan a continuación:

**Tabla 1.**  
Resumen de las técnicas y unidades de los factores físicos y químicos del agua

FACTOR	TÉCNICA	UNIDADES
Oxígeno disuelto	Winkler	mg/l
pH	Potenciometría	Unidades
Conductividad	Potenciometría	uS/cm
Temperatura	Potenciometría	° C
Velocidad del viento	Anemómetro	m/s

### 3. Resultados y Discusión

La rotíferofauna colectada presenta una riqueza de especies significativamente alta, se identificaron un total de 47 especies que corresponden a 10 géneros, siendo este el reporte más alto en términos de riqueza específica, considerando los resultados de otros estudios sobre rotíferos en medios naturales para el Caribe colombiano, en el Guajaro se reportan 19 especies, Zapayán 16, para la Ciénaga Grande de Santa Marta 9, para el complejo cenagoso de Cicuco 42 especies y en la Mojana 18 especies.

Se presentó una predominancia de las especies de los géneros *Brachionus*, *Keratella* y *Polyarthra*, resultados acorde con las condiciones físicas y químicas registradas en el agua y donde la conductividad juega un papel fundamental y se encontró un nuevo registro de especie para la región (*Brachionus budapestensis*).

**Tabla 2.**

**Lista de especies reportadas para el sistema y su distribución en los puntos de muestreo**

Especies	Punto 1		Punto 2	
	SH <sup>1</sup>	CH	SH	CH
<i>Asplanchna</i> sp	1	0	4	0
<i>Brachionus angularis</i> vr <i>videns</i>	40	3	67	4
<i>Brachionus budapestensis</i>	15	0	0	0
<i>Brachionus calyciflorus</i>	93	35	14	1
<i>Brachionus caudatus</i>	13	1	11	1
<i>Brachionus diversicornis</i>	46	10	17	0
<i>Brachionus dolobratatus</i>	33	3	11	1
<i>Brachionus falcatus falcatus</i>	4	1	50	12
<i>Brachionus havannaensis</i>	585	161	124	63
<i>Brachionus kasadensis</i>	1	0	0	0
<i>Brachionus patulus patulus</i>	15	0	10	5
<i>Brachionus quadridentatus</i>	93	59	2	0
<i>Brachionus</i> sp1	1192	187	4	0
<i>Brachionus</i> sp2	1	0	10	0
<i>Brachionus</i> sp3	1	0	191	17
<i>Brachionus</i> sp4	5	0	22	2
<i>Brachionus</i> sp5	4	0	1	1
<i>Brachionus</i> sp6	15	0	0	0
<i>Brachionus</i> sp7	1	0	0	0
<i>Brachionus urceolaris</i>	10	9	13	4

<sup>1</sup>SH: sin huevo; CH: con huevo

Especies	Punto 1		Punto 2	
	SH	CH	SH	CH
Filinia longiseta longiseta	5	1	21	1
Filinia longiseta limnetica	16	0	4	0
Hexarthra intermedia intermedia	21	0	113	0
Keratella americana	67	0	18	1
Keratella cochlearis	171	0	10	1
Keratella trophica	27	8	786	100
Lecane luna	0	0	1	0
Lecane monostyla sp1	0	0	1	0
Lecane sp	0	0	6	0
Polyarthra major	198	0	545	4
Plyarthra remata	3	0	349	1
Pomphodyx sp	4	3	0	0
Testudinella patina	0	0	5	0
Trichoceca sp2	0	0	2	0
Trichoceca sp1	0	0	1	1
Indeterminado 4	5	0	22	2
Indeterminado 5	4	0	1	1
Indeterminado 6	15	0	0	0
Indeterminado 1	0	0	1	0
Indeterminado 2	0	0	2	0
<b>TOTAL</b>	<b>2704</b>	<b>481</b>	<b>2439</b>	<b>223</b>

Para el punto de muestreo 1 (zona de origen de la corriente), se registraron 30 especies de las cuales 3 son exclusivas para este punto. En el punto de muestreo 2 (zona de llegada de la corriente), se registró un total de 38 especies, de las cuales 11 son especies únicas para este sector. En ambos puntos de muestreo se reporta un total de 33 especies compartidas. Estos resultados se presentan en la tabla 2.

La abundancia total de individuos cuantificados fue de 8.627 ind/80l, de los cuales 3.165 corresponden al punto de muestreo 1 y 5.462 al punto de muestreo 2, registrando una diferencia significativa con porcentajes de 36 y 74 % de representación de la comunidad de los rotíferos planctónicos en los puntos de muestreo 1 y 2 respectivamente.

La cuantificación de la población de ejemplares con procesos reproductivos muestra una abundancia total de 1.212 ind/80l, de los cuales 486 corresponden al punto de muestreo 1 y 726 al punto de muestreo 2. Al estimar el porcentaje de la población en proceso reproductivo se encuentra que los valores corresponde 15.3 y 13.3 % respectivamente para los puntos de muestreo 1 y 2. Estos resultados sin diferencias significativas, son una evidencia de que no existe un gradiente diferencial de reproducción entre los puntos de muestreo, por lo tanto la reproducción no explica la distribución heterogénea de los rotíferos planctónicos en este experimento.

La estimación de la variación en la densidad de rotíferos planctónicos del sistema

de simulación, evidencia una distribución horizontal heterogénea con 79.13 y 136.40 ind/l para los puntos 1 y 2 respectivamente, este resultado corrobora que los ejemplares se dispersan en el sistema en dirección al viento predominante.

## 4. Características Físicas y Químicas del Agua

Los resultados de los análisis, se presentan en la siguiente tabla.3

**Tabla 3.**  
**Registro de los Factores Físicos y Químicos del Área de Estudio**

Factor	Punto 1	Punto 2
Oxígeno Disuelto mg/l	5.2	5.0
pH	7.8	7.8
Conductividad (uS/cm)	459	459
Temperatura ° C	28.3	28.1
Velocidad a vientos: ráfagas	5 m/s	8 m / s

En general no se presentan diferencias locales que determinen efectos diferenciales sobre las poblaciones de rotíferos en el sistema. Los valores de los factores físicos y químicos presentan un comportamiento típico para ecosistemas lacustre de zonas bajas del neotropico, que ha sido ampliamente documentados [Margalef, 1983; Esteves, 1988; Wetzel, 1981; Cole 1988; Roldán, 1992].

### 4.1. Temperatura

Los valores registrados de la temperatura para el presente estudio no sobrepasan los límites registrados para el desarrollo de la comunidad de rotíferos, lo que concuerda con lo reportado por Gutiérrez, 2002, en la zona tropical, los sistemas de aguas someras presentan temperaturas con una mínima variación espacial (en el espejo de agua) y no presenta obstáculo alguno para la dispersión de los organismos.

### 4.2. pH

En las aguas dulce el pH oscila generalmente entre 6.5 – 8.7 y valores por debajo o por encima se deben a la presencia respectiva de ácidos o carbonatos. Los valores registrados en el área de estudio presentan tendencia hacia aguas de pH ligeramente alcalino (mayor a 7.5), que no representan un límite para establecimiento y reproducción de poblaciones de rotíferos.

### 4.3. Oxígeno Disuelto

Los valores registrados se encuentran dentro de los rangos tolerables. Las poblaciones de rotíferos por su condición pionera y de tolerancia a las variaciones ambientales [Esteves, 1988] no parecen ser afectados en su diversidad y densidad de especies por la disminución drástica del O<sub>2</sub> disuelto, aunque este no fue

el caso en este estudio donde los valores se presentaron entre 5.0 y 5.2 mg/l, valores típicos de aguas tropicales oxigenadas por acción del viento.

#### 4.4. Conductividad

La medida de este factor es de gran importancia ya que ofrece información sobre el funcionamiento del ecosistema acuático y del contenido de iones disueltas en el agua. Los valores de conductividad registrados (459 uS/cm) se pueden considerar como valores altos para ecosistemas dulceacuícolas. Estos resultados se explican como producto de los fenómenos geológicos, por el tipo de suelo dominante en la zona [Gutiérrez, 2002].

El valor de la conductividad explica la dominancia de los géneros *Brachionus*, *Keratella* y *Polyarthra* que han demostrado una amplia tolerancia a aguas mineralizadas [Paggi, 1981; Gutiérrez, 2002].

#### 4.5. Velocidad del Viento

Los valores registrados indican vientos relativamente fuertes con la capacidad de influir en el sistema acuático objeto de estudio, capas de producir corrientes desde el punto 1 al punto 2 de muestreo, ocasionando el desplazamiento de los animales planctónicos que allí se encuentran, está sería la principal causa de la distribución heterogénea de la rotíferofauna planctónica en el sistema de simulación.

### 5. Conclusiones

- Los resultados son consistentes con la hipótesis planteada: sobre un efecto dispersor del viento sobre la comunidad de los rotíferos en ecosistemas lentos someros
- La diferencia en la riqueza de especies planctónicas de la rotíferofauna entre estaciones (30 y 38 especies respectivamente entre los punto 1 y 2), se debe posiblemente a un efecto diferencial del viento sobre la distribución de las especies.
- El viento es un factor determinante en la distribución espacial y dinámica de dispersión (derivas migratorias) de los rotíferos planctónicos, por lo tanto se sugiere para los estudios del zooplancton limnetico, considerar la dirección del viento como un factor fundamental que explica la distribución horizontal heterogénea en la medida en que causa desplazamiento de masas de agua y con ello a la fauna suspendida.

### Referencias

- [1] ARMENGOL, S., 1984. Ciclo anual y heterogeneidad espacial en el zooplancton de una cadena de embalses del río Guadiana, (España). *Oecología-aquatica* 7: 43-72.

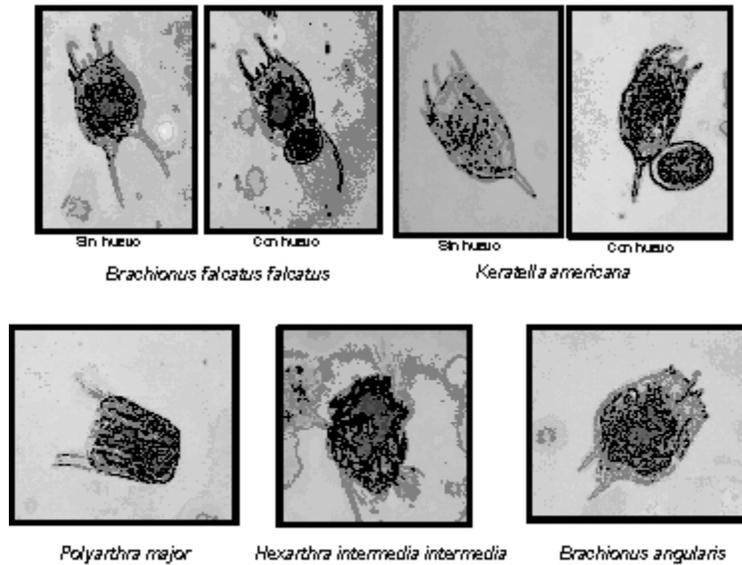


Figura 3: Fotografías de algunos ejemplares de los rotíferos.

- [2] ANDRADE, Camilo, 2000. Composición y variación estacional de rotíferos planctónicas en un lago de inundación del río Amazonas (L. Yahuaracaca-Colombia).
- [3] COLE, A. G. 1988. Fundamentos de limnología. Ed. Hemisferio sur. Argentina pp. 404.
- [4] EDMOSON, W. T., 1946. Freshwater biology. John Wiley and Sons. Inc. New York.
- [5] ESTEVES, F., 1988. Fundamentos de Limnología. Ed. Interciencia Ltda., Río de Janeiro, Brasil.
- [6] GUTIÉRREZ, Luis Carlos; MANJARRES, Gustavo; PÉREZ León; HERNANDEZ Carlos; 1997. Estudio Limnológico de los complejos cenagosos de Cicuco-Boquete. Informe técnico final. Unimag-CARDIQUE. ECOPEPETROL. ED. CEA.UNIMAG.
- [7] \_\_\_\_\_ 1995, MANJARRES, Gustavo; PÉREZ León; HERNANDEZ Carlos BLANCO Jacobo; ESPINA Josefina. Estudio limnológico del Embalse del Guajaro. Informe técnico final. Unimag; CRA SEC, PLANEACIÓN DEPARTAMENTAL. ED CEA UNIMAG.

- [8] \_\_\_\_\_ 2002. Variación Espacio-Temporal de los Rotíferos Planctónicos en el Embalse El Guajaro (Dpto. Del Atlántico, Colombia). Tesis de Maestría. Universidad de los Andes, Bogotá-Colombia.
- [9] HAMILTON, 1998 Zooplankton abundance and evidence for its reduction by macrophyte mats in two Orinoco Floodplain Lakes. *J. Plankton Res*, 12:345-363.
- [10] HAUER, J. 1956. Rotatorian aus Venezuela and Kolumbien, *Ergebn. DT limnol. Venezuela exp.* 1952. 277-312.
- [11] KOSTE W., 1978. Rotatoria. Die Raedertiere Mitteleuropo. Ein Bestimmungswel bergr. Von M. vorgt. *Überordnung Monogononta*, 1 textband VIII +1-673. 11 + afelbd 111+ 1-146 mit 234 Tafeln, Stuttgart.
- [12] MARGALEF, Ramón, 1983. *Limnología*. De. Omega. Barcelona. 1010 p.
- [13] MATSUMURA-TUNDISI, T & TUNDISI, J.G.-1976- I. Preliminary data on zooplankton ecology of Broa Reservoir. *Ecologia*, 25:265-270.
- [14] MEJIA et al, 2001. Variación espacio-temporal del zooplanton en la zona norte de la C.G.S.M. (Sector de Isla). Dpto del Magdalena-Colombia. Tesis de Grado. Universidad del Magdalena, Sta Marta-Colombia.
- [15] MICHELLANGELLI, 1980. Rotíferos en sabanas inundables en Mantecal. Estado de Apure. Venezuela. *Cah O.R.S.T.O.M. Sr Hydrobiol.* 13: 47-59.
- [16] NEEDHAM, J.P Needham, 1978, *A guide to the Study of fresh water Biology*, Holden-day. Inc. San Francisco.
- [17] OLIVER, S.P. 1965. Rotíferos Planctónicos de Argentina, *Rev.Mus La Plata VIII* 63:177-260.
- [18] PAGGI, J. C. & DE PAGGI S. 1974. Primeros estudios sobre el zooplancton de aguas lólicas del Paraná Medio, *Phycis*, B. 33(86) 91 – 114.
- [19] PAGGI, J. 1981. Observaciones sobre zooplancton de algunos lagos de la Patagonia extraandina. I Rotíferos, *Studies on Neotropical Fauna and enviromental.* 16: 23 – 33.
- [20] PAGGI, S. 1981. Variaciones temporales y distribución horizontal del zooplancton en algunos cauces secundarios del río Paraná Medio, *Studies on Neotropical Fauna and enviromental.* 6: 185 – 199.
- [21] 1990. Ecological and Biogeographical Remarks rotifer fauna of Argentina. *Rev. hydrobiologia. Trop.* 23: 297-311.
- [22] \_\_\_\_\_ 1993. Composition and seasonality of planctonic rotifers in limnetic and litoral regions of a floodplain lake (Paraná River sytem). *Rev. Hydrobiol. Trop.* 26: 53-63.

- [23] \_\_\_\_\_ 1995. Rotifera. En: Lopreto, E.C & Tell, G. 1995. Ecosistemas de aguas continentales. Metodologías para su estudio. Tomo III. Ediciones Sur. La plata, Argentina.
- [24] PAGGI, Susana & Koste, W. 1996. Additions to the Checklist of rotifers of the superorder Monogononta Recorded from Neotropics. Int. Revue. Ges. Hydrobiol. 80 (1): 133-140.
- [25] PIANKA, E. R. 1983. Evolutionary Ecology. 3 ed. Ed. Harper & Row. Pub. New York. USA. 416.p.
- [26] ROLDAN, Gabriel. 1992. Fundamentos de limnología neotropical
- [27] RUTTNER-KOLISKO, A. 1974. Pankton Rotifers, Biology and taxornomy, Die binnegewasser 2611 suppl. Stuttgart.
- [28] SCHWOERBEL, J. 1975. Métodos de hidrobiología. Ed. Blume. Madrid.
- [29] SIEBECK, 1982. Der königse: Eine limnologische Projektstudie der Arbeitsgruppe des. Deutsch Instituts Universität. Manchen.
- [30] WETZEL, R, 1981, Limnología. Ed. Omega. Barcelona, 530. p.

**EVALUACIÓN DE LA ACTIVIDAD COAGULANTE “in vitro”  
DEL EXTRACTO TOTAL EN ETANOL Y FRACCIONES DE LA  
CORTEZA DE *Brownea ariza* Bentham (CAESALPINIACEAE)**

Rita Márquez Vizcaíno\*, Catalino De La Rosa\*\*, Emilio José Arrieta García\*,  
Juan Villalba Uparela\*

\*Grupo de Investigación Fitoquímica Universidad de Sucre Departamento de  
Biología. Facultad de Educación y Ciencias.

\*\*Grupo de Investigación Fitoquímica, Departamento de Química,  
Universidad del Atlántico, Km 7 antigua vía a Puerto Colombia, A.A. 1890,  
Barranquilla, Colombia

\* fitorita@yahoo.es ; \*\*cdelarosa@uniatlántico.edu.co

**Resumen.** *Brownea ariza* Bentham (Caesalpiniaceae) es conocido popularmente por sus propiedades hemostáticas. Debido a la escasa información científica de esta planta, se decidió realizar una investigación experimental considerando a la posible actividad coagulante que presentaron extractos obtenidos a partir de la corteza. Se obtuvo, primeramente, un extracto total en Etanol, mediante extracción por maceración y seguidamente, se fraccionó una parte de éste obteniéndose fracciones por medio de cromatografía en columna, las cuales por previa concentración a presión reducida y total eliminación del solvente, se prepararon cinco concentraciones (variable dependiente) a partir de una inicial de  $500\text{mg/mL}$ . Estas fueron ensayadas con la técnica Tiempo de Tromboplastina Parcial Activada, reemplazando, inicialmente, el reactivo de Tromboplastina y luego, el  $\text{CaCl}_2$   $0,025\text{M}$ . en este caso se evidenció solidificación en Plasma Pobre en Plaquetas una vez usados el Extracto Total, Fracción cuatro y Fracción cinco registrando el tiempo (Variable independiente) en segundos. Los datos anotados fueron sometidos a un análisis de correlación y regresión lineal de acuerdo a las variables ensayadas, concluyéndose que dichas correlaciones estuvieron cerca de 1 y  $-1$ , siendo significativas tomando  $\alpha$  de 0,20 para el Extracto total en Etanol, 0,10 para Fracción cuatro y 0,05 para Fracción cinco. Las gráficas de regresión lineal mostraron puntos cercanos a dicha línea y el ANOVA mostró valores relativamente bajos con respecto al  $\alpha$  seleccionado (0,05) aceptándose que las medias de las tres poblaciones eran iguales.

**Palabras Claves:** *Brownea ariza*, coagulación, extractos, Plasma Pobre en Plaquetas, Tiempo de Tromboplastina Parcial Activada.

**Abstract.** *Brownea ariza* Bentham (Caesalpiniaceae) it is known popularly by their hemostatic properties. Due to the scarce scientific information of this plant, was decided to carry out such an experimental investigation considered the possible clotting activity that what were presented extracts obtained starting from the bark. It was obtained, firstly, a total extract in Ethanol, by means of extraction for maceration and subsequently, a part was fractioned of

this obtaining you fractions by means of chromatography in column, those which for previous concentration to pressure reduced and total elimination of the solvent, they got ready five concentrations (dependent variable) starting from an initial of 500 mg/mL. These were rehearsed with the technical Activated Tromboplastine Partial Time, replacing, initially, the reagent of Tromboplastine and then, the  $C_aCl_2$  0,025M. in this case solidification was evidenced once in Platelets Poor Plasma used the Total Extract, Fraction four and Fraction five registering the time (independent Variable) in seconds. The logged data were subjected to a correlation analysis and lineal regression according to the rehearsed variables, being concluded that this correlations were near 1 and -1, being significant taking of  $\alpha$  0,20 for the total extract in ethanol, 0,10 for Fraction four and 0,05 for Fraction five. Likewise, the graphs of lineal regression showed near points to this line and the ANOVA showed relatively low values with regard to the selected  $\alpha$  (0,05) being accepted that the stockings of the three populations were same.

**Key-Words:** *Brownea ariza*, clotting, extracts, Platelets Poor Plasma, Activated Tromboplastine Partial Time.

## 1. Introducción

*Brownea ariza* Bentham, incluida en el orden de las leguminales y en la familia caesalpiniaceae [1], es un árbol de copa redondeada de alrededor de 9 metros de alto, cuyas hojas son alternas paripinnadas e inflorescencias en racimos semiesféricos que pueden ser axilares o terminales; la legumbre que presenta es comprimida de un largo de 14 a 18 *cm.* aproximadamente [2,3]. Este árbol maderable, posee propiedades medicinales tales como laxantes y hemostáticas, siendo popularmente utilizado en casos de hemorragias internas y heridas sangrantes [3,4].

La hemostasia es entendida como el conjunto de mecanismos que permiten un equilibrio dinámico entre todos los procesos bioquímicos que mantienen la fluidez de la sangre y la integridad vascular [5,6]. Cualquier alteración en dicho proceso es causa de coagulopatías, ejemplo de ello la coagulación intravascular diseminada (CID), e incluso, podrían desatarse eventos de señalización celular pro-inflamatorios mediados por receptores en la superficie plaquetaria activados por proteasas (PAR) o por la liberación de citocinas (IL-6 e IL-8) [7,8]. De igual forma, la coagulación sanguínea (que es solo un paso del proceso hemostático) se inicia una vez es lesionado cualquier tejido, impidiéndose la salida de sangre gracias al trombo formado por medio del fibrinógeno activado o fibrina. La generación de esta última puede darse mediante 3 etapas: la primera de ellas, generando protrombinasa, la cual es el complejo activador de la protrombina gracias a activaciones sucesivas de varios factores de la coagulación, ya sea por la vía intrínseca o la vía extrínseca; la segunda, generando trombina y finalmente, que es cuando ocurre la formación de la fibrina [5,6].

Debido a la escasa información registrada acerca de *Brownea ariza* Bentham, se realizó esta investigación de tipo experimental, evaluando la posible actividad coagulante de los extractos en plasma pobre en plaquetas (PPP) por medio de la técnica conocida como tiempo de tromboplastina parcial activada (TTPA) (tiempo de referencia 33–48 segundos), la cual evalúa el proceso de coagulación por medio de la vía intrínseca a partir del tiempo registrado en la formación del coágulo de fibrina “in vitro”.

## 2. Materiales, Métodos y Experimentos

La investigación realizada es de tipo experimental, intentándose evaluar la posible actividad coagulante de extractos vegetales.

### 2.1. Material Vegetal Empleado

La especie en estudio actualmente se encuentra en proceso de reidentificación en el Instituto de Ciencias Naturales del Herbario Nacional Colombiano de la Universidad Nacional de Colombia.

Se trabajó con 835 g. de cortezas en buen estado (secas y trituradas) de *Brownea ariza* Bentham, las cuales fueron sometidas a extracción mediante maceración durante 4 días, obteniéndose alrededor de 163,5 g. (rendimiento del 19,58 %) del Extracto Total en Etanol.

### 2.2. Fraccionamiento en Columna Flash

15 g. del extracto total fueron fraccionados mediante columna flash utilizando como fase estacionaria sílica 60GF<sub>254</sub> [9] y como fase móvil (éter de petróleo, cloroformo, acetato de etilo, etanol y metanol) obteniéndose cinco fracciones codificadas como F1, F2, F3, F4, y F5 las cuales se sometieron a concentración a presión reducida en rota evaporador y en una campana de vacío para eliminar totalmente el solvente orgánico.

### 2.3. Pruebas de Coagulación

Se llevó a cabo la técnica conocida como tiempo de Tromboplastina parcial activada (TTPA) usando el kit distribuido por Wiener Lab. [10].

#### 2.3.1. Obtención de Plasma Pobre en Plaquetas

Las pruebas se realizaron en plasma obtenido de sangre extraída de 3 pacientes sanos, no fumadores y sin ninguna dependencia de drogas. El anticoagulante usado fue Citrato de sodio al 3,8 %. La sangre citratada, se centrifugó a 2.500 rpm durante 10 minutos, recuperándose el Plasma Pobre en Plaquetas.

### 2.3.2. Preparación de las Concentraciones

Se preparó el extracto y las fracciones a una concentración de 500 mg/mL usando como vehículo solución salina, para determinar cual extracto y fracción presentaba reacción de coagulación sobre Plasma Pobre en Plaquetas.

Conociendo los extractos con los que se presentó enturbiamiento y/o solidificación en el plasma, se prepararon concentración de 500, 250, 50, 10 y 1 mg/mL.

### 2.3.3. Controles (Testigos)

Para la técnica Tiempo de Tromboplastina Parcial Activada se emplearon como controles positivos el reactivo de Tromboplastina parcial activada y el Cloruro de Calcio ( $CaCl_2$ ) 0,025 M. y como control negativo solución salina, que por ser isotónica con respecto al plasma no altera o activa los factores implicados en el proceso de la coagulación sanguínea.

### 2.3.4. Análisis Estadístico

El análisis estadístico se basó en un análisis de correlación (incluyendo la estadística de prueba  $t$ ) y de regresión lineal y, un análisis de varianza (ANOVA) para tamaños de muestras iguales, con el fin de establecer la correlación existente entre las dos variables sometidas a experimentación y la capacidad de darse la reacción de formación del coágulo de fibrina de manera similar en muestras de plasma obtenida de sangre extraída de 3 pacientes.

## 3. Resultados y Discusión

Al reemplazar el reactivo de TPA, no se evidenció cualquiera de las dos características a considerarse como positivas en la reacción de coagulación "in vitro" (enturbiamiento y/o solidificación), lo cual resulta lógico si se tiene en cuenta que dicha reacción no tendrá lugar mientras no esté participando la tromboplastina parcial en presencia de calcio iónico.

Reemplazado el  $CaCl_2$  por las concentraciones de 500, 250, 50, 10 y 1 mg/mL, del extracto total, F4 y F5 se evidenció reacción de formación del coágulo de fibrina en las muestras de plasma. Los resultados de la prueba biológica se indican en la Tabla 1.

La prueba se realizó por duplicado, cuya diferencia no sobrepasaba el 5 %, siendo los datos aceptados por la mínima variación presentada entre ellos. El análisis de correlación lineal entre las dos variables sometidas a experimentación, demostraron una correlación lineal cercana a 1 y -1, según se indica en la Tabla 2. siendo significativas las correlaciones, empleando una prueba de hipótesis formal basada en la estadística de prueba  $t$  con valores de  $\alpha$  específicos para el extracto y fracciones (0,20 para el Extracto Total; 0,10 para Fracción cuatro y, 0,05 para Fracción cinco).rechazándose la hipótesis nula acerca de no haber correlación lineal significativa, ya que los resultados corroboran la afirmación de

una correlación entre el tiempo y la concentración requeridos para la formación del coágulo de fibrina “*in vitro*”.

**Tabla 1.**

**Resultado de la técnica TTPA reemplazando el  $\text{CaCl}_2$ , indicándose los tiempos (promedios) en segundos de cada paciente usando las concentraciones en mg/mL del Extracto Total, Fracción cuatro y Fracción cinco.**

Muestra	Concen- tración (mg/mL)	Tiempo (s) Paciente 1	Tiempo (s) Paciente 2	Tiempo (s) Paciente 3
<b>Extracto Total en Etanol</b>	500	16,04	16,07	15,78
	250	30,93	30,81	32,24
	50	31,78	29,75	29,24
	10	31,49	29,56	29,83
	1	32,12	30,02	29,48
<b>Fracción cuatro</b>	500	32,20	37,31	34,61
	250	41,11	43,97	40,18
	50	44,38	49,44	44,14
	10	50,4	55,92	53,58
	1	56,9	59,84	59,04
<b>Fracción cinco</b>	500	82,5	61,5	50,16
	250	64	46,8	50,5
	50	40,69	36,42	38,86
	10	36,47	31,83	33,23
	1	33,85	32,40	30,59

El análisis de regresión lineal, mostró gráficas con puntos muy próximos a la línea de regresión y errores estándar estimados muy bajos, lo cual sugiere un comportamiento un tanto ideal en función de dicha línea (Figuras 1,2,3); con respecto al tiempo registrado con el control positivo, se observó solidificación en el Plasma Pobre en Plaquetas utilizando la concentración mas alta del extracto Total a un tiempo muy inferior y con la Fracción cuatro se dio la reacción dentro de los lapsos citados por la literatura (33 -48 segundos), siendo el comportamiento de éstos en forma inversa proporcional a la concentración. Las concentraciones de la Fracción cinco mostraron un comportamiento diferente, ya que la reacción se presentó en forma directa proporcional a la concentración, resultado que es sorprendente puesto que se esperaría un comportamiento un tanto similar a los mencionados y, desde el punto de vista farmacológico es interesante, ya que se presenta la formación del coágulo de fibrina utilizando la concentración mínima 1 mg/mL en un tiempo de 33,85 segundos cercano al citado en la literatura que es de 33 a 48 segundos.

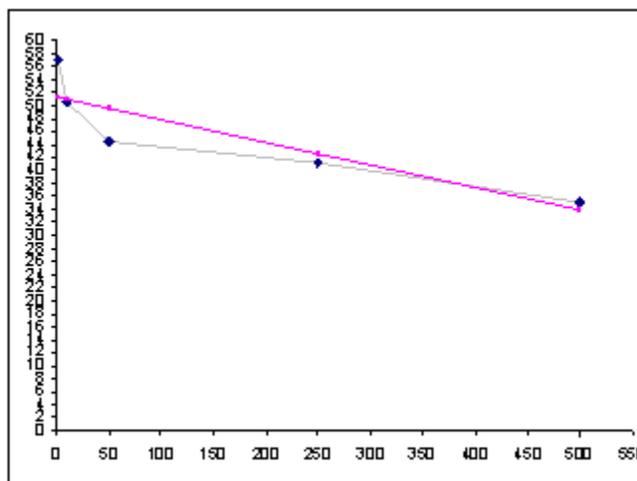


Figura 1: Gráfica indicando las líneas de regresión en paciente  $P_1$  Ex. Total. en eje horizontal se muestra la variable independiente (concentración en mg/mL) y en el eje vertical la variable dependiente (tiempo en segundos). Nótese la cercanía de los datos a la línea de regresión y Ex. Total en forma directamente proporcional a la concentración.

Tabla 2

Correlación registrada en cada paciente usando el Extracto Total, Fracción cuatro y Fracción cinco.

Muestras	Correlación ( $r$ )		
	$P_1$	$P_2$	$P_3$
Extractototal	-0,905	-0,85	-0,785
Fracción cuatro	-0,881	-0,934	-0,871
Fracción cinco	0,993	0,998	0,881

En el análisis de varianza (ANOVA) para tamaños de muestras iguales comparando los valores medios de los tres pacientes, el nivel de  $\alpha$  utilizado fue 0,05, demostrándose que existían suficientes indicios para justificar que se aceptara la afirmación de que las tres muestras provenían de poblaciones cuyas medias eran iguales, puesto que el valor del estadístico de prueba fue inferior en todos los casos al nivel de  $\alpha$  ensayado.

Se sabe que el calcio es fundamental para que ocurra la activación de los factores implicados en la activación de la protrombina en el proceso de formación de la fibrina [5, 6]. Al reemplazar el  $CaCl_2$  por las concentraciones ensayadas, los resultados obtenidos muestran que los metabolitos secundarios presentes en los extractos potencian el proceso de la coagulación mediante la vía intrínseca

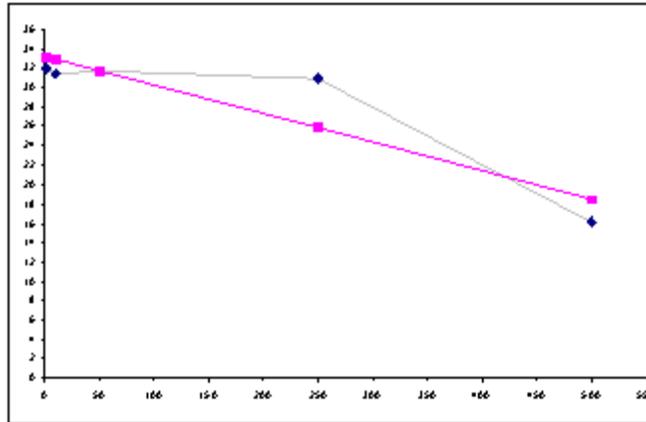


Figura 2: Gráfica indicando las líneas de regresión en paciente  $P_1$  F4. En eje horizontal se muestra la variable independiente (concentración en mg/mL) y en el eje vertical la variable dependiente (tiempo en segundos). Nótese la cercanía de los datos a la línea de regresión y F4 en forma directamente proporcional a la concentración.

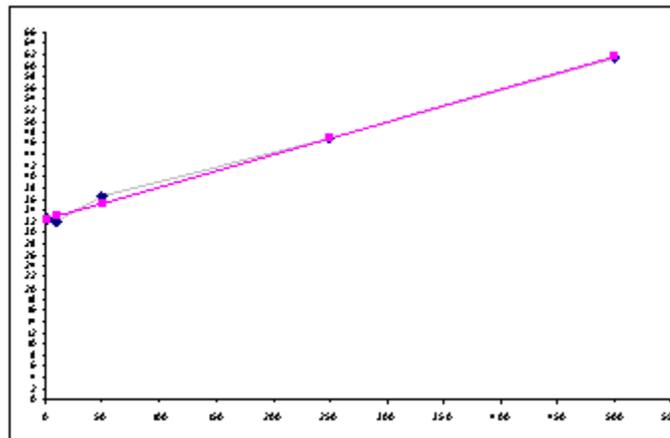


Figura 3: Gráfica indicando las líneas de regresión en paciente  $P_2$  F5. En eje horizontal se muestra la variable independiente (concentración en mg/mL) y en el eje vertical la variable dependiente (tiempo en segundos). Nótese la cercanía de los datos a la línea de regresión y F5 en forma inversamente proporcional a la concentración.

cuyo efecto en el Plasma Pobre en Plaquetas es notorio; sin embargo, “*in vivo*” se llevan a cabo diversas reacciones dentro del proceso hemostático que necesariamente dependen de una concentración adecuada de Calcio, los resultados obtenidos de la técnica aplicada muestran que las concentraciones ensayadas del Extracto Total y fracciones cuatro y cinco de corteza de *B. ariza* Bentham, potencian la activación de los factores implicados en el proceso de la coagulación sanguínea mediados por el calcio.

Agradecimientos a Nelly Pacheco Mercado (Bacterióloga) y Md. Graciela Herrera por la valiosa asesorías durante la realización de la prueba biológica.

## Referencias

- [1] Strasburger A., Tratado de Botánica, 6<sup>o</sup>. ed. Barcelona, María S.A.; 1974.
- [2] Gupta M. 270 plantas medicinales iberoamericanas, 1<sup>a</sup>. ed. Bogotá, Editores Presencia Ltda.; 1995.
- [3] García H. Flora medicinal de Colombia, 2<sup>a</sup> ed. Bogotá, Tercer Mundo Editores; 1992.
- [4] Encuesta Etnobotánica realizada por los autores.
- [5] Casas A., et al. Laboratorio Clínico Hematología. 1<sup>a</sup> ed. Madrid, Mc Graw Hill – Interamericana; 1994.
- [6] Forero Y, Forero A. Manual de procedimientos en coagulación, 1<sup>a</sup> ed. Bogotá, Publicaciones INS; 1998.
- [7] Riewald M, Ruf W. Mechanistic coupling of protease signalling and initiation of coagulation by tissue factor. PNAS, 2001; 98:7742-7747.
- [8] De Jonje et al. Activation of coagulation by administration of recombinant factor VIIa elicits interleukin 6 (IL-6) and IL-8 release in healthy human subjects. Clin. Diagn. Lab. Immunol, 2003; 10:495-497.
- [9] Pasto D, Johnson C. Determinación de estructuras orgánicas, 1<sup>a</sup> ed. Madrid, Reverté S.A.; 1981.
- [10] Wiener Laboratorios S.A. I.C. Rosario – Argentina; 2000.

**ESTUDIO FITOQUÍMICO PRELIMINAR Y ACTIVIDAD BIOLÓGICA DE LOS EXTRACTOS DE HOJAS, CORTEZAS Y SEMILLAS DE *Thevetia peruviana* (Persoon) Schum.**

Catalino De la Rosa. Torres\* , Dency José Pacheco López\*\* , Manuel Enrique Taborda Martínez\*\* , Rita Luz Márquez Vizcaíno\*\*\*

\*Grupo de Investigación Fitoquímica, Departamento de Química, Universidad del Atlántico, Km 7 antigua vía a Puerto Colombia, A.A. 1890, Barranquilla, Colombia, cdelarosa@uniatlántico

\*\*Departamento de Química, Facultad de Ciencias Básicas, Universidad del Magdalena

\*\*\* Departamento de Biología , Facultad de Educación y Ciencias, Universidad de Sucre, fitorita@yahoo.es

**Resumen.** Los constituyentes determinados en el análisis preliminar fitoquímico fueron glucósidos cardiotónicos, flavonoides, triterpenos y esteroides en las hojas, corteza y semillas de *Thevetia peruviana*. De las semillas de *Thevetia peruviana* se aislaron cinco compuestos previamente conocidos. La separación cromatografía (HRGC-FID) del extracto etéreo de las semillas, presentó un rendimiento individual de los constituyentes Ácido oleico (46 %), Ácido palmítico (23,4 %), Ácido linoleico (17 %), Ácido esteárico (9.4 %) y Ácido arachídico (1.8 %). Los extractos no presentaron potente actividad antifúngica.

**Palabras Claves:** *Thevetia peruviana*; *Mycosphaerella fijiensis*; Apocynaceae; Thevetina A y B; Triterpenos; Flavonoides

**Abstract.** The analysis preliminary phytochemical determined as constituents main glycosides cardiotoxic, flavonoids, triterpenoids and steroids in leaves , barks and seeds of *Thevetia peruviana*. From the seeds of *Thevetia peruviana* five previously known compounds have been isolated. Chromatographic separation (HRGC-FID) of the petrol extract of seeds, yielded the individual constituents, oleic (46 %), palmitic (23,4 %), linoleic (17 %), stearic (9,4 %) and arachidic (1,8 %) acid. The extracts commonly not have potent antifungal activity.

**Key- Words:** *Thevetia peruviana*; *Mycosphaerella fijiensis*; Apocynaceae; Thevetine A and B; Triterpenoids ; Flavonoids.

## 1. Introducción

Colombia, en particular, tiene un amplio potencial como fuente de principios activos contra las enfermedades que afectan a la humanidad, pues se calcula que en nuestro país hay entre 35.000 y 50.000 especies vegetales, de las 350.000 a 500.000 existentes en el mundo, y de éstas, aproximadamente 5.000 han sido utilizadas por nuestros indígenas y campesinos para combatir el amplio espectro de enfermedades a que se ven sometidos. Sobre esto último existen estudios

etnobotánicos que demuestran la amplia variedad de plantas medicinales existentes en nuestros suelos [1,2,3,4,5,6,7]. Con base en lo anterior, el Ministerio de Salud elaboró un listado de plantas medicinales de venta libre en Colombia, avalado por la Comisión Revisora de Productos Farmacéuticos, de la cual hacen parte varias universidades del país[8].

Se plantea, entonces, la necesidad de complementar el saber popular con estudios fitoquímicos y fitoterapéuticos, con el fin de optimizar el uso que se le ha venido dando a las plantas medicinales razón por la cual la Universidad colombiana está llamada a ser el ente que dinamice el proceso investigativo.

Este es el marco referencial en el que se ubica el presente trabajo con cuya realización se pretende contribuir al conocimiento y la investigación científica de la Flora Colombiana, especialmente de la subregión de Santa Marta, Costa Norte de Colombia. Asimismo evitar la pérdida de la sabiduría tradicional de la medicina popular, practicada por sus pobladores prístinos, divulgar el buen uso de dicho saber ancestral combinado con el científico que se ha logrado acumular a través de diversas generaciones de investigadores.

La especie vegetal seleccionada para el estudio fue *Thevetia peruviana* a la cual se le determinó, en forma cualitativa, la presencia de metabolitos secundarios en semilla, corteza y hojas; se realizó también un perfil de ácidos grasos del aceite obtenido de la semilla y se evaluó la actividad antifúngica de los extractos etéreos y etanólicos de semillas, hojas y corteza, frente al hongo *Mycosphaerella fijiensis*, causante de la sigatoka negra del plátano.

## 2. Propiedades y Usos Medicinales[9]

En Colombia y Perú la tintura de la corteza se ha utilizado como febrífugo, purgativo y emético [10] ; para tal fin se usa también la decocción de las hojas [11]. En Ecuador, se aplica el látex directamente sobre heridas o úlceras para evitar infecciones. Existe la tradición que el látex aplicado sobre muelas cariadas produce la caída de las mismas. La decocción de las hojas tiene efecto cardiotónico. En México las semillas se usan en homeopatía por su efecto analgésico en hemorroides. El látex se emplea para las hemorroides, sarna, úlceras y llagas; el extracto de toda la planta sirve como antimálarico [12]

### 2.1. Farmacología y Actividad Biológica

Varios de los principios activos, entre ellos neriifolina, peruvósido, ruvósido, thevetina A y B, producen efectos inotrópicos positivos y dosis altas, en animales de laboratorio, producen paro cardíaco. El látex puede causar dermatitis y se ha utilizado como vesicante [13]. Extractos acuosos crudos de hojas cortezas y semillas se ensayaron en ratas albinas y produjeron síntomas marcados de envenenamiento que culminaron con la muerte. Los síntomas indicaron mal funcionamiento cardíaco, neuromotor y mental y se manifestó taquicardia, arritmia, parálisis, ataxia y desorientación[14] .

Extractos acuosos de los cotiledones tienen actividad larvicida contra *Culex quinquefasciatus* [15]. El fruto fresco en extracto  $EtOH - CHCl_3$ , ha demostrado efecto promotor de tumores en ratas [16]. El aceite de la semilla mostró actividad antibacteriana contra *Bacillus anthracis*, *Bacillus subtilis*, *Bacillus pumilus*, *Stathylococcus*, *Aureus* y *Vibro cholerae* [17,18,19]. Las semillas son tóxicas y a veces son utilizadas para cometer suicidios[20] causan vómito, mareos, diarrea, dolor abdominal, cambios en el electrocardiograma y pueden ocasionar la muerte [21]. Glicósidos, flavonoles y flavanonas aislados de las hojas, mostraron actividad inhibitoria sobre las enzimas transcriptasa e integrasa del virus de la inmunodeficiencia humana HIV-1 [22]. En un trabajo muy reciente [5], se estudió las propiedades antifúngicas fotoactiva de extractos de semillas (n-hexano y  $CH_2Cl_2$ ) y sus fracciones contra el hongo *Cladosporium cucumerinum*, la fracción mas fotoactiva contenía mayoritariamente Terpenos y ácidos grasos y sus derivados. Los terpenos parecen ser las sustancias con mayor actividad antifúngica..

## 2.2. Experimental

Los resultados del análisis fitoquímico preliminar está acorde con la quimiotaxonomía de la familia a la que pertenece la especie estudiada (Apocynaceae), por cuanto reveló la presencia de glicósidos cardiotónicos en todas las estructuras analizadas; así como flavonoides, triterpenoides y esteroides.

Un gran porcentaje del peso de la semilla, de la especie vegetal *T. peruviana*, corresponde a un aceite fijo, el cual contiene ácidos grasos de 14 hasta 24 átomos de carbono. Por el elevado rendimiento en su extracción y por las características fisicoquímicas de sus ácidos grasos, este aceite podría ser explotado a nivel industrial en la elaboración de jabones, pinturas y detergentes, así como en la industria farmacéutica, de cosméticos y de lubricantes.

Tomando como base que casi las dos terceras partes de su contenido corresponde a ácidos grasos insaturados, podría servir como aceite comestible, aunque para ello debe someterse a un tratamiento previo que permita eliminar metabolitos, tales como glicósidos cardiotónicos, que pueden resultar tóxicos.

La planta objeto de esta investigación, como lo demuestran los estudios etnobotánico tiene una amplia distribución en la zona tropical, es de crecimiento rápido y una vez llega a la madurez sexual, florece durante todo el año, produciendo frutos con semillas de tamaño apreciable; además resiste condiciones ambientales adversas. Los anterior permitiría realizar cultivos de este arbusto que seria productivo en corto tiempo, lo cual sustenta aun más los posibles usos del aceite extraído de la semilla.

Los extractos etéreos y etanolicos de hojas, corteza y semillas no presentan actividad antifúngica contra el hongo *Mycosphaerella fijiensis*, no se descarta que posean esta actividad contra hongos menos resistentes, pero igual de importantes por el perjuicio que pueda causar al humano. Son necesario entonces ensayos tendientes a evaluar propiedades antimicrobianas de los extractos de esta planta, en los que sea posible emplear alternativas metodológicas que incluyan, por ejemplo, bioensayos de fitoactividad antifúngica, pues como se ha demostrado en



Figura 1: Flor de la *Thevetia peruviana* (Persoon) Schum

otros estudios, extractos de esta especie vegetal presentan actividad microbiana frente a varias especies de hongos y bacterias patógenas.

### 2.3. Material Vegetal

Corteza fue recolectadas entre los meses de junio y julio del 2002 y finales del mismo año, en la ciudad de Barranquilla (Atlántico). Identificada botánicamente por el Botánico Eduino Carbono docente de la Universidad del Magdalena . Se recolecto la parte aérea, corteza del fruto. Después de un período de secado al sol se molió en un molino tipo Willey.

El material seco y molido se extrajo con disolventes de polaridad creciente: éter de petróleo , metanol y agua. Los extractos se concentraron en un rota evaporador tipo flash (marca Buchii) a presión reducida. Los principios activos se separaron por cristalización fraccionada, métodos cromatográficos ( columna, capa delgada) y por partición usando solventes de variada polaridad.

### 2.4. Extracción y Aislamiento

A 82 g de corteza, 170 g de semillas y 180 g de hojas secas y molidas se les realizaron sendas extracciones tipo soxhlet con éter de petróleo y etanol.

Los extractos resultantes colocados en un rotaevaporador fueron concentrados a mínimo volumen, a presión reducida. El proceso de extracción se monitorio mediante cromatografía en capa fina (TLC), utilizando placas de vidrio, Silicagel como fase estacionaria,  $CHCl_3$  como fase móvil; el revelado se realizó con vapores de yodo.

## 2.5. Ácidos Grasos del Aceite de Semilla

Del extracto etéreo de semilla (aceite) se tomaron 60 mg y adicionaron 5 mL de solución del complejo trifluoruro de boro al 12% (w/v) en metanol. La mezcla, con agitación magnética, fue sumergida en un baño de aceite a 85-90° C. durante una hora hasta desaparición de la fase lipídica

Finalizada la reacción, se realizó la extracción de los derivados metil ésteres de los ácidos grasos con 1mL x 3 mL de n-heptano. El extracto orgánico obtenido, se tomaron 0.5 mL y se aforó a 1 mL con n-heptano; un  $\mu$ l de esta solución fue inyectado para su análisis cromatográfico en un cromatógrafo de gases de alta resolución con detector de ionización En llama (HRGC-FID), marca Hewlett Packard, modelo HP5890A Serie II Este análisis se realizó en el Laboratorio de Cromatografía de la Universidad Industrial de Santander (Bucaramanga), bajo los siguientes parámetros analíticos:

**CG** Modelo : HP 5890A Serie II (Hewlett-Packard, Palo Alto California, USA).

Detector : FID Temperatura: 280°C

**Horno:** Temperatura inicial: 100°C Tiempo inicial: 0 min.

A 2°C/min hasta 136°C durante 1 min.

A 7°C/min hasta 250°C durante 25 min.

Columna Longitud (m) 60 d.i (mm) 0,25

Fase DB WAX Espesor(um) 0.25

Velocidad del gas de arrastre: 1,5 mL/(70°C)

Presión de entrada de columna: 200 kPa

Inyector Manual \_\_\_ Automático: HP-7683

Split: 21,4 mL/min Splitless: — Relación split 14 : 1

Temperatura (°C) : 250

Volumen de inyección ( $\mu$ l) 1,0

**Gases** Carrier: Helio (99,995%)Nitrógeno (mL/min) : 25

Aire (mL/min) : 397 \_\_\_ Mezcla Ar/CH<sub>4</sub>(mL/min) : \_\_\_\_\_

Hidrógeno (mL/min) : 43

## 3. Resultados

Las pruebas de caracterización química dieron positivo para glicósidos cardiotónicos, flavonoides, triterpenoides y esteroides en las tres estructuras vegetales estudiadas, cortezas, hojas y semillas. Estos resultados son consistentes con la quimiotaxonomía de la familia Apocynaceae, la cual, según la literatura consultada se caracteriza por producir una amplia variedad de alcaloides y glicósidos cardiotónicos . El análisis de ácido grasos del aceite fijo de semilla, se llevó a cabo mediante la preparación y cuantificación de sus metilesteres según las normas ISO 5509(“Animal and Vegetable Fats and Oils – Preparations of Methyl Ester of Fatty Acids”) y 5508 (“Animal and vegetable Fats and Oils – Analysis by Gas Chromatography of Methyl Ester Fatty Acids”), respectivamente. Para la identificación de los metil ésteres de ácidos grasos presentes en la muestra, se utilizó el método de comparación de sus tiempos de retención con los de los

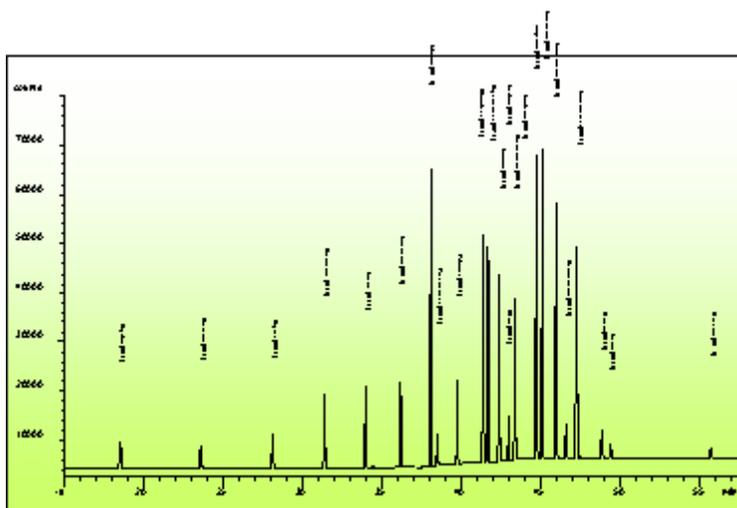


Figura 2: Cromatograma de los tiempos de retención de la mezcla de estándares de Metilesteres de ácidos grasos.

patrones certificados de metil ésteres de ácidos grasos (mezcla de estándares GLC-10 GLC-50, GLC 70, GLC 80, GLC 100, Matreya Inc Pensilvana, USA), analizados con las mismas condiciones cromatograficas (Tabla 1. y Figura 2.)

**Tabla 1.**  
Cantidad Relativa (%) de ácidos grasos del aceite de semilla de *T. peruviana*

ACIDOS	MEDICIÓN	MEDICIÓN	PROMEDIO
Mirístico	0,190	0,190	0,20
Pentadecanoico	0,030	0,030	0,10
Palmítico	23,46	23,39	23,4
Palmitoleico	0,200	0,190	0,20
Heptadecanoico	0,100	0,080	0,10
Esteárico	9,350	9,360	9,40
Oleico	46,04	46,03	46,0
Linoleico	17,00	17,02	17,0
Nonadecanoico	0,030	0,030	0,10
Linolénico	0,030	0,030	0,10
Araquídico	1,770	1,780	1,80
Eicosenoico	0,490	0,500	0,50
Behénico	0,620	0,630	0,60
Nervónico	0,040	0,040	0,10

### 3.1. Evaluación de actividad antifúngica

La totalidad de los extractos en sus diferentes concentraciones, dieron resultados negativos en las prueba de actividad antifungicas contra el hongo *Mycosphaerella fijiensis*, causante de la enfermedad Sigatoka Negra. No hubo diferencia en cuanto al crecimiento del hongo, entre el control negativo, (Vehículo) y los tratamiento a diferentes concentraciones de los extractos.

## 4. Discusión de los Resultados

Los resultados del análisis fitoquímico preliminar está acorde con la quimiotaxonomía de la familia a la que pertenece la especie estudiada (Apocynaceae), por cuanto reveló la presencia de glicósidos cardiotónicos en todas las estructuras analizadas; así como flavonoides, triterpenoides y esteroides.

Un gran porcentaje del peso de la semilla, de la especie vegetal *T. peruviana*, corresponde a un aceite fijo, el cual contiene ácidos grasos de 14 hasta 24 átomos de carbono. Por el elevado rendimiento en su extracción y por las características fisicoquímicas de sus ácidos grasos, este aceite podría ser explotado a nivel industrial en la elaboración de jabones, pinturas y detergentes, así como en la industria farmacéutica, de cosméticos y de lubricantes.

Tomando como base que casi las dos terceras partes de su contenido corresponde a ácidos grasos insaturados, podría servir como aceite comestible, aunque para ello debe someterse a un tratamiento previo que permita eliminar metabolitos, tales como glicósidos cardiotónicos, que pueden resultar tóxicos.

La planta objeto de esta investigación, como lo demuestran los estudios etnobotánico tiene una amplia distribución en la zona tropical, es de crecimiento rápido y una vez llega a la madurez sexual, florece durante todo el año, produciendo frutos con semillas de tamaño preciable; además resiste condiciones ambientales adversas. Los anterior permitiría realizar cultivos de este arbusto que seria productivo en corto tiempo, lo cual sustenta aun más los posibles usos del aceite extraído de la semilla.

Aunque los extractos etéreos y etanólicos de hojas, corteza y semillas no presentan actividad antifúngica contra el hongo *Mycosphaerella fijiensis*, no se descarta que posean esta actividad contra hongos menos resistentes, pero igual de importantes por el perjuicio que pueda causar al humano. Son necesario entonces ensayos tendientes a evaluar propiedades antimicrobianas de los extractos de esta planta, en los que sea posible emplear alternativas metodológicas que incluyan, por ejemplo, bioensayos de fitoactividad antifungica, pues como se ha demostrado en otros estudios, extractos de esta especie vegetal presentan actividad microbiana frente a varias especies de hongos y bacterias patógenas.

## 5. Conclusiones

El análisis fitoquímico preliminar determinó como constituyente principales glicósidos cardiotónico, flavonoides, triterpenoides y esteroides en hojas, cortezas y

semillas de *T.peruviana*. Al aceite fijo extraído de la semilla se le realizó un perfil de ácidos grasos en un cromatógrafo de gases de alta resolución con detector de ionización en llama ( HRGC-FID) , Los componentes mayoritarios fueron los ácidos oleico (46%), palmítico (23.4%), linoleico (17%), esteárico (9,4%) y araquídico (1.8%). La actividad antifúngica de los extractos etéreos y etanólico dieron resultados negativos; sin embargo, no se descarta que posea esta propiedad contra hongos menos resistentes.

## 6. Agradecimientos

A la Universidad del Atlántico, por la financiación que presto al proyecto. Pontificia Universidad Javeriana por los análisis fitoquímicos preliminares, a la Universidad del Magdalena por permitirnos cualificar en la especialización en Química Orgánica, a los docentes , compañeros que nos colaboraron y animaron para la culminación de este trabajo.

## Referencias

- [1] Bonzani, R. 1999. Medicinal use of plants by the peasant community of San Jacinto, Northern Colombia. *Caldasia* 21(2): 203-218.
- [2] Correa, J. y Bernal, H. 1989. Especies vegetales promisorias de los países del convenio Andrés Bello. 1° Edición. Editorial Guadalupe. Bogotá. Tomo I. 379-399.
- [3] García-Barriga, H. 1986. Aplicabilidad de las plantas medicinales en la Terapéutica moderna. *Rev. Acad. Colomb. Cienc.* 16(61): 79-97.
- [4] Gata-Goncalves, L., Nogueira, J.M.F., Matos, O. And Bruno de Sousa, R. 2003. Photoactive extracts from *Thevetia peruviana* with antifungal properties against *Cladosporium cucumerinum*. *Journal of Photochemistry and photobiology B: Biology.* 70(1):51-54.
- [5] Giraldo-Tafur, C. 1996. Medicina Tradicional de las mujeres Siona del resguardo de Buenevista en el Río Putumayo. *Caldasia* 18(2): 227-238.
- [6] Hayes, G.. D. 19387. Manual de datos para Ingeniería de Alimentos. Acribia. Zaragoza. 91-92.
- [7] Saxena, V. K. 1990. *Thevetia peruviana* kernel oil: a potencial bactericidal agent. *Fitoterapia* 61(4): 348-349.
- [8] Fonnegra, R y Jiménez, S. 1996. Plantas medicinales de venta libre en Colombia. *Cespedesia* 21(67): 337-346.
- [9] Abe, F., Yamauchi, T., Yahara, S y Nohara, T. 1995. Minor iridoids from *Thevetia peruviana*. *Phytochemistry* 38(3): 793-794.

- [10] Bonzani, R. 1999. Medicinal use of plants by the peasant community of San Jacinto, Northern Colombia. *Caldasia* 21(2): 203-218.
- [11] García-Barriga, H. 1986. Aplicabilidad de las plantas medicinales en la Terapéutica moderna. *Rev. Acad. Colomb. Cienc.* 16(61): 79-97.
- [12] Mendieta, R. M. Y S. Del Amo. 1981. Plantas medicinales del estado de Yucatán. Instituto Nacional de Investigaciones sobre Recursos Bióticos. Ed. Continental. México. 336.
- [13] Schultes, R. 1987. Ethnopharmacology of the Northwest Amazon: Unexpected chemical discoveries. *Rev. Acad. Colomb. Cienc.* 16 (62): 85-92.
- [14] Oji, O. And Okafor, Q.E. 2000. Toxicological studies on stem bark, leaf and seed kernel of yellow oleander (*Thevetia peruviana*). *Phytoter Res.* 14 (2): 133-135.
- [15] Evans, D.A. y Ray, R.K. 1998. Extracts of Indian plants as larvicides. *Indian J. Med. Res.* 88(1): 38-41.
- [16] Caldwell, M.E. y Brewer, W.R. 1983. Plants whit potencial to enhance significant tumor growth. *Cáncer Res.* 43(12): 5775-5777.
- [17] Basile, A., Giordano, S y Castaldo-Gobianchi, R. 1993. Antibiotic activity in *Thevetia neriifolia* and *Thevetia peruviana* (Apocinaceae). *Pharm. Res.* 27(1): 99-100.
- [18] Naovi, S. A., Khan, M. S. y Vohora, S. B: 1991. Antibacterial, antifungal and antihelmintic investigations on Indian medicinals plants. *Fitoterapia* 63(2): 221-228.
- [19] Saxena, V. K. 1990. *Thevetia peruviana* kernel oil: a potencial bactericidal agent. *Fitoterapia* 61(4): 348-349.
- [20] Eddleston, M. 1999. Epidemic of self-poisoning with seeds of the yellow oleander tree (*Thevetia peruviana*) in Northern Sri Lanka. *Trop. Med. Int. Health.* Citado en <http://www.biomednet.com> con acceso 25.04.2003.
- [21] Salam, A. 1995. Poisonous Plants of Malaysia. Tropical Press Sdn. Bhd. Kuala lampur. Malaysia. 11-12.
- [22] Tewtrakul, S., Nakamura, N., Hattori, M., Fujiwara, T y Supavita, T. 2002. Flavanone and Flavonol glycosides from leaves of *Thevetia peruviana* and their HIV-1 reverse transcriptase and HIV-1 integrase inhibitory activities. *Chem. Pharm. Bull.* 50(5): 630-635.

## EXTRACCIÓN E HINCHAMIENTO DE CARBONES DEL CARIBE COLOMBIANO EN DIFERENTES SOLVENTES A TEMPERATURA AMBIENTE

R. Agulo\*, J.Maury, F.Bernal

\*ricardoangulo20@hotmail.com

Grupo de investigación del carbón GIC, Departamento de Química e Ingeniería Química, Universidad del Atlántico, Km 7 antigua vía a Puerto Colombia, AA 1890, Barranquilla.

**Resumen.** Cinco carbones colombianos de la costa caribe: Cerrejón Norte(CN), La Loma(L), Oreganal(O), La Jagua(J) y Montelíbano(M) fueron extraídos e hinchados con diez solventes a temperatura ambiente: Dietileter(DE), Heptano(He), Tetracloruro de carbono(TCC), Tolueno(To), Tetrahidrofurano(THF), Cloroformo (ClF), Acetona(Ac), Piridina(Pi), Metanol(Me), Monoetilamina (MEA). La mayor extracción se obtuvo con el carbón de M en Pi (13.68 %). Los porcentajes de extracción más bajos se obtuvieron con el carbón de CN. Sin embargo, sus residuos de extracción tuvieron el más alto hinchamiento de todos los carbones estudiados. El carbón de M también alcanzó el mayor hinchamiento con la (MEA),  $Q=2.32$ . Este sistema presentó una alta afinidad, que se hace evidente por la formación de un gel. En general la Pi fue el mejor solvente de extracción e hinchamiento para el resto de carbones utilizados. El análisis de los resultados nos permite concluir que en el carbón de M predominan las interacciones tipo puentes de hidrógeno, mientras que en el carbón de CN predominan las interacciones de tipo aromático (transferencia de carga, etc.) Finalmente, se observó la tendencia a la disminución de la extracción y el hinchamiento con el aumento de rango.

**Palabras Claves:** hinchamiento volumétrico; extracción ; carbón.

**Abstract.** Five caribbean colombian coals were extracted and swelled in different (10) solvents at room temperature in an attempt to study predominant secondary interactions in these coals. The extraction coal residues were additionally swelled using the same solvents. The highest extraction yield was obtained in Montelibano coal with Pyridine, PYR (13.68 wt %, daf). The lowest extraction yields were obtained in Cerrejon coal. However, its extraction residues reached the highest swelling ratio of all the coals studied. Montelibano coal also reached the highest swelling ratio in original coals with Monoethanolamine (MEA),  $Q = 2.32$ , this system showed a high affinity, that can be seen by the formation of a gel structure. In general, PYR was the best extraction and swelling solvent for the rest of coals in this study.

It can be concluded from the analysis of the results that Montelibano coal has predominantly hydrogen bond interactions in its structure, while in Cerrejon coal aromatic interactions (i.e. charge transfer) are

supposed to predominate, although it is considered to have a mainly covalent crosslinked structure.

Finally, a tendency to decrease both extraction and swelling upon coal rank decreases was observed.

**Key-Words:** volumetric swelling; extraction; coal.

## 1. Introducción

La extracción e hinchamiento con solventes orgánicos han sido técnicas que se han venido utilizando para investigar la estructura química de los carbones. El porcentaje de extracción obtenido con un solvente orgánico varía de acuerdo a la naturaleza del solvente y del tipo de carbón. Dryden encontró que un buen solvente para los carbones tiene un átomo de nitrógeno u oxígeno con un par de electrones listos para coordinación[1]. El comportamiento del carbón a la extracción depende de la naturaleza del solvente. Debido a la polifuncionalidad, presentes en la estructura del carbón, interacciones de tipo iónico, transferencia de carga, e interacciones  $\pi - \pi$  están presentes. Cada solvente rompe interacciones determinadas. La Pi, uno de los mejores solventes de extracción rompe principalmente puentes de hidrógeno en la matriz carbonosa.

El modelo macromolecular de la red covalentemente entrecruzada no se aplica a todos los carbones, a pesar de que las extracciones relativamente bajas obtenidas con Piridina parecía confirmarlo, como demostró Nishioka[2] La investigación de la naturaleza real del entrecruzamiento en los carbones puede contribuir a optimizar los diferentes procesos de conversión.

El fenómeno del hinchamiento se ha utilizado de igual manera para investigar la estructura física del carbón[3] y develar la naturaleza del entrecruzamiento[2]. El hinchamiento es una manifestación de la interacción carbón solvente y se puede medir fácilmente utilizando el método volumétrico de Liotta y colaboradores[4] Nishioka[2, 5] utilizó el hinchamiento para verificar la importancia de las interacciones secundarias en el carbón. El hinchamiento de los residuos de extracción también permite evaluar la importancia de este tipo de interacciones.

En el presente artículo se evalúa la extracción y el hinchamiento de cinco carbones del Caribe colombiano con diez solventes de diferente naturaleza estructural para establecer diferencias estructurales y evaluar la importancia de las interacciones secundarias que predominan en sus estructuras fisicoquímica.

## 2. Metodología Experimental

### 2.1. Preparación de las muestras.

Muestras de cinco carbones del Caribe colombiano: J, CN, O, L y M de tamaño de partículas mayores de 4 mm se trituraron en un molino y luego se tamizaron para obtener fracciones para el análisis próximo e inmediato y para los procesos de extracción e hinchamiento. Sus análisis próximos e inmediatos se realizaron de acuerdo con las normas ASTM. Las muestras reducidas a 60 mm fueron

utilizadas para las experiencias de hinchamiento y la de 75-150 mm para la extracción. El carbón se sometió a secado a 105-110°C durante 40-60 min

## 2.2. Extracción con Solventes de los Carbones.

La muestra seca (1g) se extrajo con cada solvente (100 ml) bajo ultrasonido a temperatura ambiente por 30 min. El residuo fue lavado con acetona (10 min.) bajo ultrasonido varias veces para remover el solvente de extracción retenido(1). El porcentaje de extracción se determinó a partir del peso de residuo en base seca y libre de ceniza (daf)

$$\text{Extracción (wt \%, daf)} = \frac{[1 - (\text{residuo (g)}) (\text{carbón inicial (g)})] \times 100}{\left[1 - \left(\frac{\text{Ceniza (wt \%, db)}}{100}\right)\right]} \quad (1)$$

donde *wt %*: porcentaje en peso, *db*: base seca

## 2.3. Hinchamiento con Solventes.

La relación de hinchamiento (*Q*) fue medida por el método volumétrico de Hombach[3], Liotta y Green[6] modificado. El carbón (0,6g) se colocó en un tubo cilíndrico de 9 mm de diámetro. Se centrifuga a 1500 *rev/min* durante 30 *min*. Aproximadamente. Se mide entonces la altura inicial del lecho (*h*<sub>1</sub>). Se adicionan 1,5 *ml* de solvente, se mezcla vigorosamente y se centrifuga nuevamente. Se mide entonces la altura final (*h*<sub>2</sub>). La relación de hinchamiento (*Q*) se calculó como la relación de volumen de carbón antes y después de la adición del solvente,  $Q = h_2/h_1$ . El mismo procedimiento se aplicó a los residuos de extracción. Para el estudio del efecto de la humedad se utilizaron muestras de carbón sin secar.

## 3. Resultados y Discusión

### 3.1. Análisis Próximo y Último

Los Análisis Próximo y último de los carbones estudiados, así como el análisis mineralógico de las cenizas se muestran en las Tablas 1 y 2.

Según la norma de clasificación de la A.S.T.M. el carbón de M es un carbón subbituminoso A; L es un carbón bituminoso alto en volátiles C; los carbones de O, El CN y J son carbones bituminosos altos en volátiles B. El carbón de M es el de más bajo rango (68 %C), cerca de la frontera de los lignitos; presenta el mayor contenido de oxígeno junto con el carbón de la L..

El análisis mineralógico nos indica que el carbón de M tiene mayor cantidad de iones metálicos Calcio, Sodio y Magnesio. Los carbones de O y J por su parte, como la mayoría de los carbones bituminosos altos en volátiles tienen menor cantidad de estos iones..

Tabla 1.  
Análisis Próximo y Último

	Análisis Último ( <i>daf</i> )				Análisis Próximo		Análisis Próximo (B seca)		
	% C	% H	% S	% O+N <sup>a</sup>	% Ce	% Mv	% Cf	Ca <sup>b</sup>	% Hu
<b>M</b>	68.8	4.7	0.57	25.8	3.4	46.11	50.42	11367	14.6
<b>L</b>	76.3	5.1	0.57	18.0	5.5	38.97	55.52	12455	11.8
<b>O</b>	79.2	5.2	0.42	15.1	1.4	39.41	59.2	13510	13.1
<b>CN</b>	80.1	5.7	1.27	12.8	4.5	39.34	56.10	13358	7.50
<b>J</b>	81.1	5.5	0.45	12.8	5.3	39.93	54.71	13476	5.20

Ce. = Ceniza, Mv = Materia Volátil, Cf = Carbono Fijo, <sup>a</sup>Por diferencia, Ca = poder calorífico <sup>b</sup>En BTU/Lb, O = Oxígeno y N = Nitrogeno.

Tabla 2.  
Análisis Mineralógico de Cenizas (wt %)

	CN	L	M
<i>Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub></i>	18.45	8.14	13.24
<i>CaO</i>	2.440	2.99	10.93
<i>MgO</i>	1.100	1.41	3.150
<i>Na<sub>2</sub>O</i>	1.200	0.45	0.670
<i>K<sub>2</sub>O</i>	2.170	0.86	0.360
<i>Mn<sub>3</sub>O<sub>4</sub></i>	0.110	0.08	0.130
<i>SiO<sub>2</sub></i>	52.75	68.21	18.94
<i>Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub></i>	18.95	13.05	28.40
<i>TiO<sub>2</sub></i>	0.950	0.67	1.210
<i>P<sub>2</sub>O<sub>5</sub></i>	0.240	0.18	0.820

## 4. Hinchamiento

### 4.1. Hinchamiento de los Carbones Secos.

En la Tabla 3 se observan los resultados del hinchamiento de los carbones en los 10 solventes a un tiempo de 7 días, tiempo en el que se considera se ha alcanzado el equilibrio de hinchamiento para el sistema carbón-solvente dado y por consiguiente el valor de Q es constante. También se evaluó el hinchamiento a los 11 días (Tabla 4) y se observó que la variación es pequeña respecto a los siete días en la mayoría de los casos.

Los valores de Q listados son un promedio entre los valores originales y sus réplicas. La desviación promedio de los datos fue de  $\pm 0,04$  que implica un grado de confiabilidad satisfactorio en los ensayos.

Los carbones están ordenados de menor a mayor contenido de carbón y los solventes están ordenados de menor a mayor Parámetro de Solubilidad (Tabla 3 y 4).

El máximo valor de hinchamiento de todas las experiencias se obtuvo con el carbón de M en MEA,  $Q = 2,32$ . En las experiencias con este solvente se observó la formación de una especie de gel, en la que parece no haber solvente libre. Este comportamiento puede explicarse teniendo en cuenta la doble funcionalidad de la MEA (Grupo amino e hidroxilo) cuyos heteroátomos (N y O) son los responsables de la mayoría de las interacciones secundarias en los carbones de bajo rango. Estos grupos están ubicados en los extremos de la molécula lo que hace que la MEA quede unida al carbón de forma compleja por dos sitios.

**Tabla 3.**  
**Hinchamiento de los Carbones Secos (7 días)**

	M	L	O	CN	J
<b>Dietil-Eter</b>	1.17	1.17	1.19	1.06	1.08
<b>Heptano</b>	1.05	1.12	1.07	1.07	1.05
<b>CCl4</b>	1.11	1.18	1.03	0.95	1.09
<b>Tolueno</b>	1.08	1.20	1.23	1.16	1.33
<b>THF</b>	1.68	1.50	1.65	1.43	1.71
<b>Cloroformo</b>	1.15	1.02	1.14	0.90	1.30
<b>Acetona</b>	1.33	1.09	1.20	1.14	1.26
<b>Piridina</b>	2.04	1.61	2.10	1.61	1.77
<b>Metanol</b>	1.20	1.13	1.08	0.96	1.05
<b>MEA</b>	2.32	1.51	1.74	1.36	1.40

**Tabla 4.**  
**Hinchamiento de Carbones Secos (11 días)**

	M	L	O	CN	J
<b>Dietil-Eter</b>	1.176	1.095	1.120	1.025	1.254
<b>Heptano</b>	1.034	1.109	1.035	1.050	1.084
<b>CCl4</b>	1.061	1.010	1.029	0.968	0.944
<b>Tolueno</b>	1.066	1.060	1.074	1.135	1.131
<b>THF</b>	1.707	1.521	1.695	1.387	1.650
<b>Cloroformo</b>	1.133	1.036	1.073	0.949	0.999
<b>Acetona</b>	1.353	1.149	1.267	1.140	1.251
<b>Piridina</b>	2.094	1.660	1.802	1.623	1.929
<b>Metanol</b>	1.171	1.114	1.070	0.934	1.087
<b>MEA</b>	2.314	1.539	1.396	1.391	1.834

La MEA es el solvente más polar y básico utilizado, por lo que tiene gran capacidad de romper interacciones carbón-carbón (puentes de hidrógeno) y formar nuevas interacciones carbón-solvente hinchando el carbón. La MEA queda entonces unida al sistema carbonáceo por estas nuevas asociaciones o puentes cuya

fuerza es tal que el solvente no es totalmente expulsado del carbón por el reordenamiento de la estructura carbonácea para buscar un estado energético más estable.

Con algunas excepciones, el orden en que hincharon los carbones en los solventes, especialmente los polar, fue:  $M > O, J > L \gg CN$ . El carbón que mejor hinchó en casi todos los solventes fue el de M. Sin embargo, su hinchamiento sólo fue apreciable en MEA, PYR y THF, los solventes más polares y con capacidad de romper y formar nuevos puentes de H. El carbón de M es el de más bajo rango de la Costa con alto contenido de Oxígeno, volátiles y gran cantidad de grupos -COOH e -OH, hecho evidenciado por su capacidad de intercambio iónico natural[7]. En los carbones de la Costa Atlántica los resultados de hinchamiento y extracción obtenidos son similares a los presentados para carbones internacionales del mismo rango[8, 4, 9]. Ha sido reportado que a medida que aumenta el rango aumentan el hinchamiento y la extracción en buenos solventes[4], no obstante, en las experiencias el mejor comportamiento en el hinchamiento se presentó en el carbón de más bajo rango. Una explicación de esto puede ser la mayor afinidad entre el carbón de M y los mejores solventes (solventes polares) con respecto a los otros carbones. Los mejores solventes son más efectivos con las interacciones más abundantes en el carbón de M (puentes de Hidrógeno), logrando mayor penetración por la ruptura de buena parte de esas asociaciones. La ruptura ocurre cuando la molécula que hincha actúa como un donador de puentes de H y reemplaza el grupo donador en el carbón, esto causa la expansión de la estructura del carbón, pero conlleva a la retención de la molécula en el carbón. Es de esperarse que el efecto del solvente sea menor en los carbones con menor cantidad de puentes de H (mayor rango), por lo que tendrá mayor dificultad de penetración y por tanto de hinchar el carbón. Esto explica el menor hinchamiento en el resto de los carbones. Un comportamiento similar debe esperarse en la extracción.

El carbón de CN hinchó considerablemente menos que el resto de carbones en la mayoría de los solventes, esto implica que sus interacciones son de una naturaleza menos susceptible de ser disociada por estos solventes.

Todos los solventes presentaron, independientemente de su naturaleza, un comportamiento similar con los carbones, como puede observarse en la Figura 1 (Gráfica de la tabla 4). Las diferencias son solamente de magnitud entre los valores, y son más pronunciadas cuanto mejor es el solvente. La Pi, la MEA y el THF (Solventes de mayor polaridad) alcanzaron los mayores valores de hinchamiento con los carbones. Los valores de Q para estos solventes estuvieron muy por encima de los del resto ( $Q > 1,4$ ); el 70 % de las experiencias alcanzaron valores muy pobres ( $Q < 1,2$ ). El orden en que lograron hinchar fue:  $Pi > MEA > THF \gg TOL, ACET$ . El resto de solventes prácticamente no logró hinchar el carbón. La relación para este orden radica en la mayor efectividad que tienen para romper las interacciones más abundantes en estos carbones (puentes de H).

El mejor solvente de hinchamiento en los carbones, exceptuando el carbón de M, fue la Pi. Este solvente ha sido ampliamente utilizado en las investigaciones y procesos del carbón por sus buenos resultados[10, 11]. Su eficiencia con los

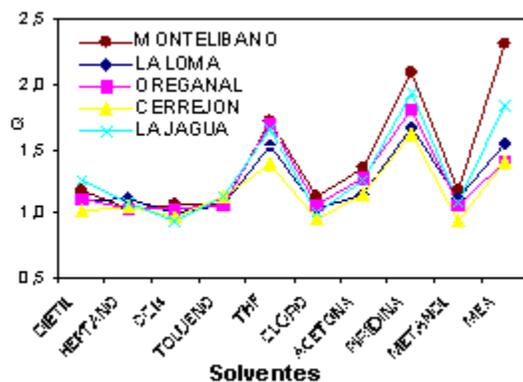


Figura 1: Comportamiento del hinchamiento de los carbones en diferentes solventes

carbones, independientemente del rango, se explica por su gran capacidad de romper puentes de hidrógeno (predominantes en los carbones de bajo rango) y al mismo tiempo atacar interacciones aromáticas (abundantes en los carbones de mayor rango). Este doble efecto se debe a la presencia de un átomo de N unido a un anillo aromático en su estructura.

#### 4.2. Efecto de la Humedad sobre el Hinchamiento

En la Tabla 4 se encuentran los valores de  $Q$  para las experiencias con carbones originales. El objetivo es estudiar el efecto de la humedad sobre el hinchamiento de los carbones estudiados. El mayor valor de hinchamiento se alcanzó nuevamente con el carbón de M en MEA ( $Q = 2.1$ ), ligeramente inferior que el valor encontrado en los carbones secos. En los casos de La Jagua y el Cerrejón (los carbones con menor humedad) los valores de hinchamiento, como era de esperarse, no variaron apreciablemente.

El comportamiento de los carbones con los solventes fue el mismo que en los carbones secos (Figura 1). En general, puede decirse que la influencia de la humedad en estos carbones sobre la magnitud del hinchamiento es poca, aún para los carbones con contenidos de humedad mayores como el carbón de M (14,65%), pues los valores de hinchamiento disminuyeron ligeramente con respecto a los secos. Ha sido reportado por Otake y Suuberg[12] que los carbones de bajo rango hinchan más lentamente si han sido secados. Es decir, que la velocidad de hinchamiento de los carbones húmedos es mayor que la de los carbones secos. En la Tabla 5 pueden observarse los valores de  $Q$  inicial, a 24 horas y en el equilibrio (7 días), para todos los carbones, (húmedos y secos) en Piridina, MEA y THF. Si la velocidad de hinchamiento de los carbones húmedos es mayor que la de los secos, como lo reportaron Otake y Suuberg, los valores de  $Q$  inicialmente alcanzados

deben ser un alto porcentaje del que finalmente se obtendrá en el equilibrio. En la Tabla 5 se observa que en los carbones húmedos se alcanza un 97-99 % del hinchamiento final en las primeras 24 h, mientras que en los carbones secos se obtiene en promedio un 83 % del hinchamiento final, independientemente del solvente.

La diferencia fue notoria aun en los carbones con bajo contenido de humedad (El Cerrejón y La Jagua). Esto confirma lo planteado por Otake y Suuberg, es decir que la velocidad de hinchamiento en los carbones estudiados es mayor cuando su contenido de humedad no ha sido removido.

Una explicación de este hecho es que la presencia de agua puede promover la solvatación parcial de las fuerzas iónicas que son abundantes en los carbones de bajo rango[4]. Esto favorecería la penetración del solvente acelerando el proceso de hinchamiento, lo que implica que las fuerzas iónicas junto con los puentes de hidrógeno, tienen una influencia significativa en la conformación estructural de estos carbones, en concordancia con el modelo asociado. Sin embargo, otras evidencias son necesarias antes de llegar a esta conclusión. Más adelante se discutirá este punto.

#### 4.3. Hinchamiento de los Residuos de Extracción.

Los resultados de hinchamiento para los residuos de extracción de Piridina, THF y Tolueno de todos los carbones en los mejores solventes se muestran en la Tablas 5.1 y 5.2.

**Tabla 5.1**  
**Comparación del hinchamiento de los carbones en Piridina, MEA y THF**

	Montelibano			La Loma			Oreganal		
	Q0	Q24	Q7	Q0	Q24	Q7	Q0	Q24	Q7
<b>Carbones Secos</b>									
<b>Pi</b>	1.7	1.8	2.0	1.6	1.6	1.6	1.5	1.7	2.1
<b>MEA</b>	1.8	2.2	2.3	1.2	1.5	1.5	1.4	1.5	1.7
<b>THF</b>	1.5	1.6	1.7			1.5			1.6
<b>Residuo Piridina</b>									
<b>Pi</b>	1.8	1.8	1.8	1.5	1.5	1.4	1.9	1.7	1.6
<b>MEA</b>	2.1	2.4	2.4	1.5	1.3	1.4	1.6	1.6	1.6
<b>THF</b>	1.4	1.5	1.6	1.7	1.7	1.5	1.6	1.5	1.6
<b>Residuo THF</b>									
<b>Pi</b>	1.7	1.8	1.7	1.33	1.6	1.4	1.7	1.7	1.6
<b>MEA</b>	2.2	2.5	2.1	1.2	1.4	1.3	1.6	1.7	1.7
<b>THF</b>	1.5	1.5	1.5	1.4	1.5	1.3	1.6	1.6	1.6
<b>Residuo MEA</b>									
<b>Pi</b>	1.7	1.7	1.6	1.5	1.5	1.4	2.1	2.2	2.2
<b>MEA</b>	1.6	1.6	1.6						
<b>THF</b>	1.5	1.6	1.5	1.4	1.3	1.4	1.6	1.3	1.5

**Tabla 5.2**  
**Comparación del hinchamiento de los carbones en Piridina, MEA y THF**

	Cerrejón			La Jagua		
	Q0	Q24	Q7	Q0	Q24	Q7
<b>Carbones Secos</b>						
<b>Pi</b>	1.4	1.5	1.6	1.6	1.7	1.8
<b>MEA</b>	1.3	1.3	1.4	1.2	1.41	1.4
<b>THF</b>			1.4			1.7
<b>Residuo Piridina</b>						
<b>Pi</b>	1.8	1.8	1.7	1.8	1.9	1.7
<b>MEA</b>	1.4	1.6	1.6	1.6	1.5	1.6
<b>THF</b>				1.7	1.6	1.7
<b>Residuo THF</b>						
<b>Pi</b>	1.6	1.7	1.7	1.6	1.4	1.6
<b>MEA</b>	1.3	1.5	1.4	1.3	1.4	1.4
<b>THF</b>	1.7	1.5	1.5	1.6	1.6	1.5
<b>Residuo MEA</b>						
<b>Pi</b>	2.5	2.7	1.9	1.9	1.9	1.9
<b>MEA</b>				1.4		
<b>THF</b>	1.6	1.5	1.6		1.4	1.4

Utilizando la comparación del comportamiento del hinchamiento de los carbones originales y los residuos puede extraerse información de la naturaleza de las interacciones predominantes en ellos.

La variación del hinchamiento con respecto a los carbones originales no fue uniforme en todos los carbones. El carbón de CN aumentó su hinchamiento en todos los residuos y en todos los solventes. En los residuos donde se obtuvo mayor extracción (Pi y To) el aumento fue considerable, especialmente con la Pi como solvente. Este inesperado comportamiento nos indica que la extracción facilitó el acceso del solvente al carbón, aumentando la interacción. Esto implica una disminución del entrecruzamiento, probablemente debido a que la mayor parte de los solubles extraídos debe estar compuesta por cadenas aromáticas relativamente largas, abundantes en el Cerrejón. Estas cadenas están fuertemente entrecruzadas, por lo que su remoción implica más espacio vacío y mayores lugares de penetración. La estructura aromática y condensada del carbón CN debe entonces estar unida en un porcentaje considerable por interacciones secundarias fuertes, es poco probable que el aumento del hinchamiento obedezca a la ruptura de enlaces covalentes. Un comportamiento similar, especialmente con el residuo de To en Pi, se presentó en los carbones de O y de J lo que confirma el efecto de la remoción de cadenas aromáticas sobre el hinchamiento. En los residuos de extracción con Pi el hinchamiento aumentó en todos los carbones, excepto en la Loma. Esto implica una disminución de la densidad del entrecruzamiento, que dependerá en cada carbón de la extensión de la extracción y de la naturaleza de la materia soluble extraída. Por ejemplo, en el carbón de

M donde se alcanzaron las mayores extracciones, es de esperar que haya mayor espacio para la penetración del solvente durante el hinchamiento; en El carbón de CN, como se discutió anteriormente también hubo aumento, aunque presentó menor extracción, esto se explicó porque los compuestos extraídos contribuían a la disminución del entrecruzamiento.

Hay otro factor a tomar en cuenta en la interpretación del hinchamiento de los residuos. El residuo presenta dos tipos de enlaces no covalentes: los que existían originalmente y los nuevos formados por el reordenamiento del carbón durante la extracción. Estas nuevas interacciones obstaculizan el hinchamiento pues el solvente debe romper también estas interacciones. En carbones como el de M y CN, el efecto de estos nuevos enlaces no logró disminuir el hinchamiento; en el caso del carbón de M porque los solventes son capaces de romper estas interacciones y en el Cerrejón porque las bajas extracciones y poca funcionalidad no favorecen la formación de estas interacciones. La formación de estas nuevas asociaciones carbón-solvente puede explicar en parte el por qué los residuos del carbón de L disminuyeron su hinchamiento respecto al carbón original.

#### 4.4. Efecto del Rango de los Carbones

Para analizar la relación entre el hinchamiento y el rango de los carbones se utilizará como parámetro de rango el porcentaje de Carbono (%C). En la Figura 2 se observan los valores de Q versus el %C para los mejores solventes. Se aprecia que no existe una uniformidad de comportamiento, incluso entre carbones con contenidos de carbono similares como los carbones de O, CN y J, lo que pone en evidencia una vez más la existencia de diferencias estructurales entre ellos. La magnitud de los valores obtenidos es similar a la reportada internacionalmente para carbones de %C cercanos. En ambos casos los valores de hinchamiento son menores que los obtenidos con carbones de mayor rango. Este comportamiento inferior en los carbones de menor rango se ha explicado considerando que está mayormente formado por una estructura de red covalente en virtud de su menor desarrollo con respecto a su origen vegetal [4]. Si esto es así, entonces el hinchamiento debe disminuir con el rango.

### 5. Extracción con Solventes

La Tabla 6 muestra los resultados para la extracción de los cinco carbones estudiados. Los porcentajes de extracción obtenidos son semejantes a los reportados para carbones de rango similar en artículos internacionales[8]. En general son bajos comparados con los alcanzados por carbones bituminosos.

La máxima extracción se obtuvo en el carbón de M con la Pi, 13,68%. El carbón de M alcanzó las mayores extracciones en todos los solventes, excepto en Metanol. El orden en que fueron extraídos los carbones en todos los solventes fue: M >> O > L > J >>CN, prácticamente el mismo orden en que hincharon. La Pi fue el mejor solvente de extracción en todos los carbones, con valores considerablemente más altos que los obtenidos por el resto de solventes (55%

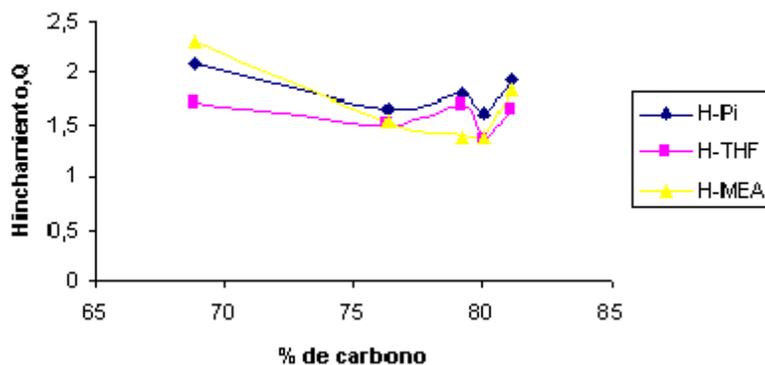


Figura 2: Hinchamiento en Pi, THF y MEA versus % de carbono de los carbones.

más altos que el promedio). El orden de extracción fue: Pi > To > THF a pesar que el To resultó un solvente más eficiente en la extracción que el THF, en virtud de su naturaleza aromática, semejante a los carbones. La acetona por el contrario fue el solvente más pobre en el proceso de extracción.

**Tabla 6.**  
**Resultados de Extracción (wt %, daf)**

	M	L	O	CN	J
<b>Heptano</b>	6.900	5.060	5.610	1.26	5.870
<b>Tolueno</b>	11.18	6.170	9.130	4.89	6.140
<b>THF</b>	8.510	6.440	6.680	3.18	3.000
<b>Acetona</b>	2.670	1.540	1.910	1.10	1.180
<b>Piridina</b>	13.68	13.17	12.81	9.69	10.70
<b>Metanol</b>	4.530	4.760	7.000	4.45	5.320

En la Figura 3 se observa la variación de la extracción con el hinchamiento. La línea de tendencia evidencia que a medida que aumenta el hinchamiento puede esperarse mayor porcentaje de extracción.

La razón por el cual el carbón de M alcanzó la mayor extracción está relacionada con el análisis realizado durante el estudio de hinchamiento. La gran capacidad de la Pi para romper los puentes de Hidrógeno, abundantes en el carbón de M, permite una mayor penetración y por tanto una mayor extracción de solubles. El alto hinchamiento que produce la Pi es otro factor que favorece, por la vía de aumentar la penetración.

La relativa facilidad con que el carbón de M es extraído indica que debe tener una estructura menos condensada, donde los sitios activos susceptibles de interactuar con la Pi deben ser accesibles.

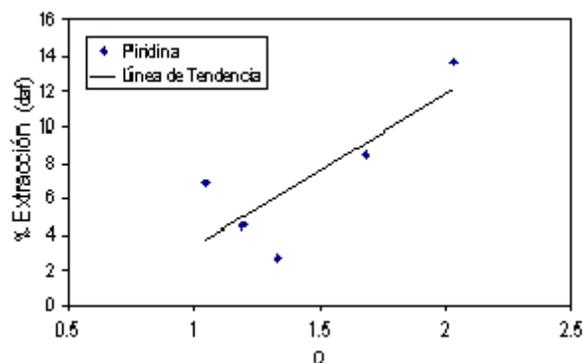


Figura 3: Relación entre hinchamiento y la extracción de los carbones en Piridina.

En general, las extracciones bajas permiten afirmar que, en estos carbones, hay un alto porcentaje de entrecruzamiento, como es previsible debido al rango de los mismos. La naturaleza de dicho entrecruzamiento es el punto de discusión, si éste es en su mayor parte covalente o por el contrario asociado.

En el carbón de M se alcanzó una buena extracción, especialmente con Pi y To. Esto indica que hay cierta facilidad de extraer compuestos aromático en éste carbón. Se supone, de igual manera que debe haber una mayor presencia de compuestos alifáticos solubles dado su menor desarrollo, hecho que se confirma con la buena extracción en He, un solvente que sólo extrae cadenas alifáticos.

En el caso de CN, con el que se obtuvieron las más bajas extracciones, los solventes que más lograron extraer fueron los aromáticos (Pi y To), lo que indica un mayor grado de aromaticidad, de acuerdo con los resultados obtenidos en el hinchamiento. Sin embargo, el He, solvente de carácter alifático no logró extraerlo en alguna extensión considerable.

La diferencia entre los resultados de las extracciones para los cinco carbones nos confirma las diferencias existentes entre sus estructuras, es así como los carbones de J, CN y O, con composiciones elementales semejantes (79, 80 y 81 % C respectivamente), presentan comportamientos radicalmente diferentes.

Particularmente relevante es la diferencia planteada entre el carbón de CN y O, pues además de su similitud en su composición elemental provienen de la misma zona geográfica. Mientras el carbón de CN tiene el comportamiento más pobre; el carbón de O es, después del carbón de M, el de mejor comportamiento tanto en los proceso de hinchamiento como en la extracción. Parte del mejor comportamiento del carbón de O puede explicarse por su mayor contenido de oxígeno. Debe anotarse que los resultados obtenidos con el carbón de O se asemejan mucho más a los reportados para carbones bituminosos altos en volátiles típicos que los obtenidos con el carbón de CN. Este último es un carbón que presenta una baja reactividad en la mayoría de los procesos de conversión del

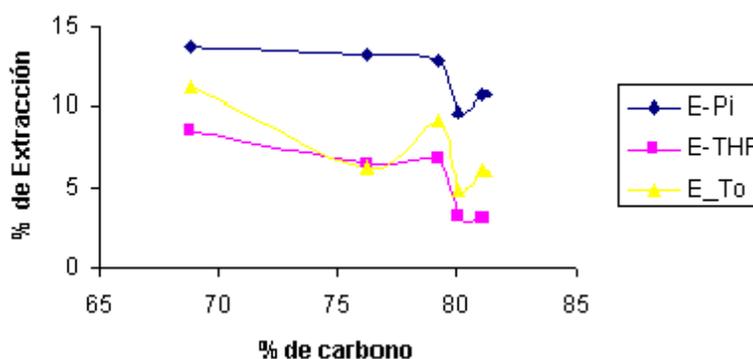


Figura 4: % de Extracción en Pi, THF y To versus % de carbono de los carbones.

carbón[13,14]. El carbón de O debe entonces estar más entrecruzado por efecto de fuerzas secundarias tipo puentes de hidrógeno que el carbón de CN; los heteroátomos además deben estar ubicados en su estructura de modo que sean accesibles por parte de los buenos solventes donores. Este punto se discutirá más adelante al estudiar el efecto del rango de carbón en la extracción.

### 5.1. Efecto del Rango de los Carbones

La dependencia del porcentaje de extracción con el contenido de carbono puede verse en la Figura 4. Las curvas presentan nuevamente la tendencia que tuvieron en el hinchamiento. La extracción tiende a disminuir con el rango. Ha sido reportado[15] que la extracción aumenta a medida que aumenta el %C desde 65 hasta un 85 % y luego decrece rápidamente. Esto, más que una regla, es un intento por establecer una relación cualitativa entre ambos parámetros

## 6. Conclusiones

Los porcentajes de extracción y las razones de hinchamiento obtenidos en los carbones estudiados fueron bajos, lo cual es usual en carbones de rango similar. El mayor hinchamiento se presentó en el carbón de M con la MEA, ( $Q = 2.32$ ). La máxima extracción se obtuvo con el carbón de M extraído en Pi (13.68%). El carbón de M fue el que presentó el mejor comportamiento en todos los solventes, tanto en la extracción como en el hinchamiento.

Con el carbón de CN se obtuvieron los valores más bajos de extracción e hinchamiento.

La Pi fue el mejor solvente de hinchamiento y de extracción en los carbones, exceptuando el carbón de M.

Los carbones estudiados hinchan más lentamente en los solventes al ser eliminada la humedad de los mismos por un proceso de secado.

La razón de hinchamiento y el porcentaje de extracción disminuyen con el aumento del rango en los carbones estudiados.

En el carbón de M predominan interacciones tipo puentes de hidrógeno y fuerzas iónicas.

En el carbón de CN es probable que predominen las interacciones secundarias fuertes, probablemente aromáticas (fuerzas  $\pi - \pi$  y transferencia de carga), que se manifiestan en el alto hinchamiento de los residuos de extracción.

## Referencias

- [1] DRYDEN I.G.C. Fuel 1951, 39. 203.
- [2] NISHIOKA M. Fuel, 1993, 72, 1219.
- [3] HOMBACH H. P. Fuel 1980,59, 465.
- [4] Liotta R, Brown G and Issac J. Fuel, 1983, 62,781.
- [5] NISHIOKA, M.. Fuel, 1993, 72,997.
- [6] LARSEN, J.W.; GREEN, T.K.; KOVAC, J. J. Org. Chem. 1985, 50. 4729.
- [7] ALVAREZ, Jaime y BASTIDAS, Daniel. Características de intercambio iónico de carbones sulfonados de la Costa Atlántica. Barranquilla. 1992. Tesis. Universidad del Atlántico.
- [8] NISHIOKA, M.. Fuel, 1993,72, 1719.
- [9] TAKANOHASHI, Toshimasa; YANAGIDA, T.; IINO, Masashi. Energy & Fuels, 1996, 10,1128.
- [10] LARSEN, John, MOHAMMADI, M Energy& Fuel, 1990, 4, 107.
- [11] NISHIOKA, M.. Fuel, 1991, 70, 1413.
- [12] OTAKE, Yoshinobu, SUUBERG, Eric M. Energy& Fuels,1993,3,387
- [13] ANGULO, Ricardo. Licuefacción del carbón del Cerrejón con solventes donadores de hidrógeno. Tesis. Facultad de Ciencias, Departamento de Química, Universidad Nacional. 1995.
- [14] ANGULO, Tania. Caracterización de la reactividad de semicoques de carbón de Amagá y Cerrejón en la gasificación con CO<sub>2</sub> a 800°C. Barranquilla. 1997. Tesis. Universidad del Atlántico.
- [15] IINO, M.; TAKANOHASHI T.; OHSUGA, H.. Fuel, 1988, 67,1639.

## INSTRUCCIONES PARA LOS AUTORES

La revista DUGANDIA considerará para publicación artículos dentro de la siguientes categorías:

- Comunicaciones ordinarias: artículos de investigación en cualquier campo de las Ciencias Básicas (Biología, Química, Matemática, Estadística y Física), con una extensión hasta quince páginas.
- Monografía: artículos de actualización en un determinado tema, compilación de avances recientes en técnicas experimentales, matemáticas o computacionales, desarrollo de un tema novedoso de interés general, etc., con una extensión hasta de veinte páginas.
- Cartas al editor: críticas a artículos previamente publicados en la Revista o en otras publicaciones y réplicas a estas críticas. Reseñas de libros publicados recientemente. Presentación breve de resultados de investigación que puedan publicarse con mayor detalle en fecha posterior, con una extensión hasta de cinco páginas.

Todas las contribuciones, exceptuando las Cartas al Editor, deben estar precedidas por un resumen en el idioma en que se ha escrito el trabajo y por una versión de aquel en inglés o español, según el caso. El resumen no debe tener una extensión mayor a veinte líneas y debe escribirse en formato que se especifica más adelante.

Los manuscritos deben ser inéditos y no deben estar bajo consideración de otras publicaciones. deben ser enviados para su estudio a la siguiente dirección electrónica: *ntorres@uniatlantico.edu.co*, dirigida al Director de la Revista o cualquiera de los miembros del Comité Editorial; teniendo en cuenta las siguientes especificaciones una vez hayan sido aceptados para su publicación:

- El texto debe enviarse listo para reproducción en Scientific WorkPlace, según formato que se le suministrará a quien lo solicite
- La primera página debe incluir el título del trabajo, el nombre del autor o autores con su correo electrónico, el nombre del departamento académico o institución donde están adscritos, el resumen del artículo tanto en español como en inglés y palabras claves en los dos idiomas.
- Todas las ecuaciones deben estar numeradas ordenadamente en el extremo derecho, usando símbolos arábigos entre paréntesis. Todas las ilustraciones (fotografías, dibujos, diagramas y tablas) deben ser insertadas en el texto. Las fotografías deben presentar alto contraste.
- Las referencias bibliográficas y notas deben ordenarse numéricamente al final del artículo. Las citas de las referencias deben hacerse en paréntesis cuadrado, por ejemplo [7]. En artículos que contengan un gran número de referencias, como puede ocurrir en monografías, éstas pueden ordenarse alfabéticamente al final del trabajo, e identificarse dentro del texto con el nombre del autor y el año de publicación.
- Las discusiones, conclusiones, reconocimiento y apéndices deben ir al final del texto y antes de las referencias, en el orden descrito. Su trabajo sólo será publicado cuando cumpla estas condiciones.