



Enfrentando o Genocídio da
Luta Armada - ENLUTADA

TECNOCIENCIA

Volume 3, Nº 1



Publicado em parceria com o Departamento de Ciências Sociais da Universidade Federal de Pernambuco, sob a coordenação de
a equipe de produção, 1999, pp. 164, R\$ 10,00

UN MÉTODO DE ESTIMACIÓN A CORTO PLAZO DE DEMANDA ELÉCTRICA AUN EN CONDICIONES INESTABLES

Percy Ariel Garrido Zúñiga
Empresa de Transmisión Eléctrica. ETESA. S.A.

RESUMEN

En situaciones de inestabilidad, es complicado hacer pronósticos, pues los repentinos cambios en las variables de las cuales depende el objeto a estimar lo apartan de lo que consideraríamos como su comportamiento normal. Para el análisis de variables que desde cierta distancia muestran un comportamiento inestable, debe utilizarse un método capaz de circunscribir la inestabilidad observada, de tal forma que se evidencie un comportamiento estable subyacente. Observando el comportamiento de la demanda eléctrica, desde un punto de vista adecuado, puede notarse que se mantiene un perfil que varía muy levemente en el tiempo. Aunque el perfil de la demanda eléctrica es casi constante, la intensidad o magnitud de la demanda es un rasgo que varía repentinamente.

PALABRAS CLAVES

Mínimos cuadrados, primer grado, extrapolación, regresión polinomial, demanda eléctrica, factor de carga, curva de consumo.

INTRODUCCIÓN

El pronóstico de demanda eléctrica es una cuestión que siempre tras de sí conlleva repercusiones importantes. Una leve desviación de un 5% en un pequeño sistema integrado como el de Panamá, puede significar 1 millón de dólares no considerados o en caso contrario, sobrevalorados en un mes. También el pronóstico de demanda puede llevar tras de sí, decisiones de tipo booleanas, las cuales para algunos de

los integrantes del sistema significarían diferencias de 100% en sus ganancias.

No podemos basar decisiones en pronósticos que se apoyan solamente en un pequeño grupo de situaciones puntuales de la historia, pero tampoco es acertado considerar que tales situaciones puntuales podrían ser sucesos aleatorios.

En casi la totalidad de los casos, un cambio súbito de las condiciones no es causado por el azar, lo que se demuestra cuando su ocurrencia se ve reflejada en los datos futuros.

Se puede decir que el conjunto de los cambios climáticos aparentemente aleatorios es en realidad el reflejo de las condiciones meteorológicas por las que está atravesando el objeto analizado. De lo anterior, se deduce que para llegar a un buen pronóstico del comportamiento de la demanda, sobre la cual las condiciones climáticas influyen grandemente, no se debe desestimar ninguno de los cambios climáticos registrados.

FUNDAMENTO TEÓRICO

Demanda eléctrica: Un Todo Orgánico

Con la finalidad de explicar el comportamiento de un objeto estudiado, no siempre resulta correcto intentar descomponerlo en las variables que lo determinan. Cuando la incertidumbre de las variables que determinan el objeto de estudio llega a niveles críticos, los resultados obtenidos se tornan cada vez más inconsistentes (ejemplo: estimaciones de volumen de precipitación con muchos días de antelación).

Cuando la precisión difumina más el objeto de estudio, es el momento de cambiar de estrategia y pensar en totalidad. Al suponer el objeto como un organismo, se puede considerar que su propia conducta es lo que define su comportamiento futuro. Analizando la conducta del organismo, se busca distinguir patrones que sustenten su comportamiento futuro.

Periodo Semana

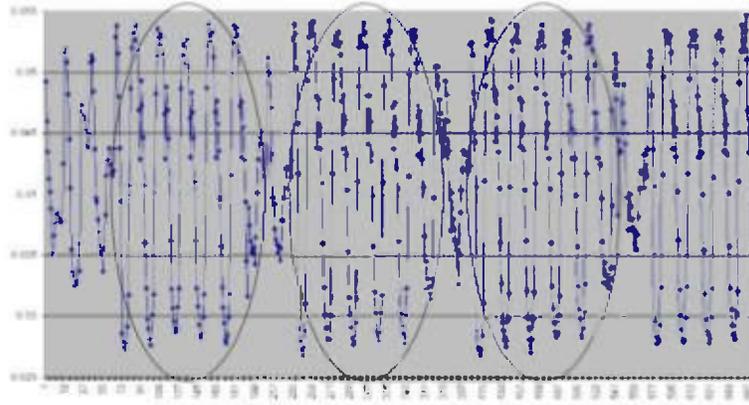


Fig. 1. Gráfico de 4 Semanas Demanda, en el cual se distingue el ciclo

Observando el comportamiento diario de la demanda eléctrica, fácilmente se puede ver que la misma tiene un comportamiento prácticamente cíclico de periodo semanal. Este periodo semanal, sugiere a la semana como unidad mínima de pronóstico y constituye uno de los primeros patrones distinguibles en la conducta de la demanda eléctrica.

Perfil de demanda

Se puede demostrar que para el caso de la demanda eléctrica de un sistema específico, el factor de carga para cada tipo de día es casi constante.

El factor de carga es la relación entre la demanda máxima del periodo y la demanda promedio del mismo periodo.

$$\text{Factor de Carga} = \frac{\text{Demanda}_{\text{MÁXIMA}}}{\frac{\sum_{H=1}^{H=24} \text{Demanda}_H}{24}}$$

Si se extrapola esta suposición para cada hora, se obtiene un perfil del comportamiento de la demanda:

$$\text{Relación : Demanda}_H \cdot \text{Vs} \cdot \text{Demanda Diaria} = \frac{\text{Demanda}_H}{\frac{\sum_{H=1}^{H=24} \text{Demanda}_H}{24}}$$

$$\text{Demanda}_H = [\text{Relación : Demanda}_H \cdot \text{Vs} \cdot \text{Demanda Diaria}] \times \frac{\sum_{H=1}^{H=24} \text{Demanda}_H}{24}$$

Considerando que generalmente la demanda máxima tiende a suceder siempre a la misma hora, se puede esperar que la extrapolación de la suposición inicial sobre el factor de carga también fuera cierta, es decir, se puede suponer que cada tipo de día tendiera a comportarse con un mismo perfil de demanda.

Superponiendo un grupo de curvas de perfil de demanda del mismo tipo de días, es notable que las mismas tienden a una curva promedio típica.

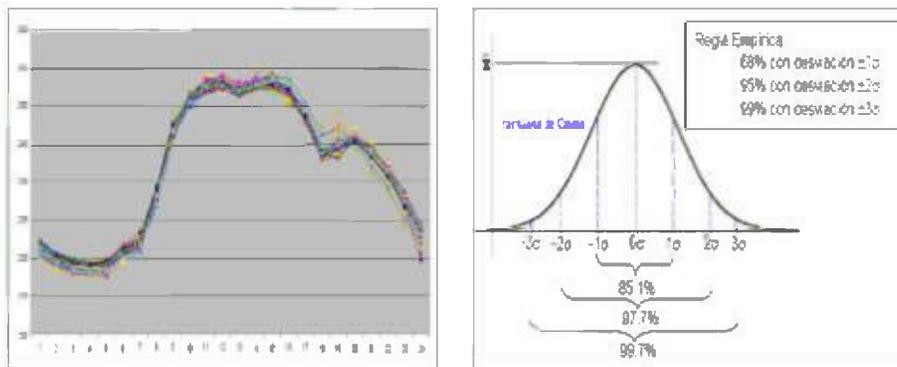


Fig. 2. Superposición de perfiles de demanda de una muestra conformado por días del mismo tipo.

El resultado observado gráficamente de la superposición de curvas de perfil de demanda es demostrable apoyándose en la llamada “Regla Empírica de la Distribución Normal”. Si se utilizan datos de la demanda eléctrica de Panamá para calcular la desviación horaria para una muestra de un año, y se promedia luego para obtener la desviación promedio diaria con respecto al perfil de demanda, se obtiene que para un mismo tipo de día el 85.1% de los días se mantienen por debajo de una desviación $\pm 1\sigma$ (σ =desviación estándar), 97.7% de los días se mantienen por debajo de una desviación $\pm 2\sigma$ y el 99.7% de los días se mantienen por debajo de una desviación $\pm 3\sigma$. Los resultados obtenidos demuestran que el perfil de demanda tiene un comportamiento Normal, por lo cual pudiéramos considerarlo prácticamente constante a lo largo del año. En resumen, la importancia del factor de carga o relación demanda máxima versus demanda total diaria, no hace más que respaldar otro de los patrones de conducta de la demanda eléctrica: *Perfil de Demanda*.

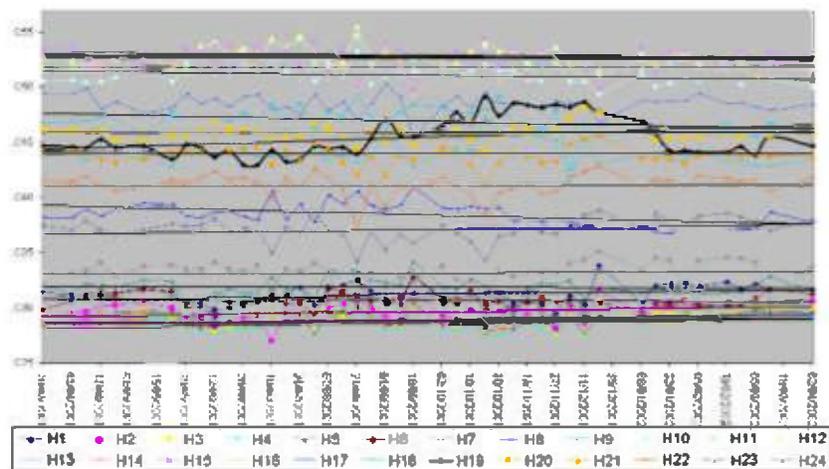


Fig. 3. Comportamiento Cronológico del Perfil de Demanda

Observando el perfil de demanda del mismo grupo de días analizado previamente, pero ordenado ahora en forma cronológica, es notable que aunque varía muy levemente, en ciertos casos la variación debe obedecer a una causa propia de ese periodo.

En conclusión, se puede señalar que para un mismo tipo de día el comportamiento de *la demanda eléctrica tiende a un perfil de demanda de periodo semanal que varía muy lentamente.*

Expresando el comportamiento previo

Si se observa el comportamiento semanal de la demanda total, desde una escala en donde sean apreciables los cambios significativos, se notará que aunque haya variaciones significativas, éstas no se pueden considerar aleatorias, pues, con frecuencia, el comportamiento previo demostrado sustenta los resultados de cada subsiguiente semana.

Resulta natural observar variaciones graduales de la demanda total semanal, ya que casi la totalidad de los factores que inciden importantemente en su comportamiento también se manifiestan gradualmente. Parámetros como los cambios de estación, depresiones económicas o proximidad de festividades importantes, son situaciones que conforme sea mayor su manifestación, mayor será su influencia en la demanda.

Aunque el propósito del método en cuestión es predecir la demanda, la premisa que siempre se debe cumplir es que aún cuando el pronóstico falle el objetivo, el margen de error siempre debe ser pequeño.

Gracias al horizonte de nuestro pronóstico, la clave para mantenerse cerca del objetivo, aún cuando este esté atravesando situaciones que alteran su comportamiento, está en apoyarse en el hecho de que debido al tamaño del objeto en contraposición con lo pequeño del horizonte en el cual es estudiado, el grupo de posibilidades se reduce porque el objeto puede variar su situación subsiguiente muy levemente con respecto a su estado previo.

Considerando que la demanda del periodo subsiguiente está muy relacionada con su comportamiento reciente, se puede concluir que expresando el comportamiento de unos pocos datos previos y luego utilizando esta expresión para extrapolar al periodo subsiguiente se obtendría un buen pronóstico de su comportamiento futuro.

Utilizando regresión polinomial con minimos cuadrados podemos encontrar expresiones que definen el comportamiento previo del

Asegurando una buena muestra

Naturalmente, para hacer un buen pronóstico debemos valernos de un grupo de datos históricos del objeto pronosticado. Aunque observando el perfil de comportamiento de la demanda notamos el periodo semana, lo cual sugería a la semana como unidad mínima de pronóstico, no resulta práctico utilizar este concepto directamente, pues realmente la semana es la composición de varios días que pueden ser de diferentes tipos.

Si se intenta pronosticar la demanda semanal como un solo objeto, tendríamos que valernos de data histórica poblada por el mismo tipo de semana a pronosticar. Así pues, si una semana contiene un día feriado con especial comportamiento, la data histórica debe estar compuesta por semanas pasadas que contengan el mismo día feriado de especial comportamiento, no sólo eso, sino que este día debiera haber caído el mismo día de semana que caerá en la semana pronosticada. Hacer este filtrado nos surtiría con una data histórica demasiado alejada en el tiempo del periodo por pronosticar, lo cual reduciría drásticamente la calidad a los resultados obtenidos.

Para evitar utilizar datos históricos de poca validez, resulta mejor descomponer la semana para utilizar unidades menores, ya no semanas sino días. Estimando los días por separado, se procura contar con una base histórica de datos que sea lo más reciente posible.

METODOLOGÍA

Pronóstico de demanda diaria

La subpoblación utilizada para el pronóstico debe estar compuesta por los datos históricos de los días más recientes del mismo tipo que el día estimado.

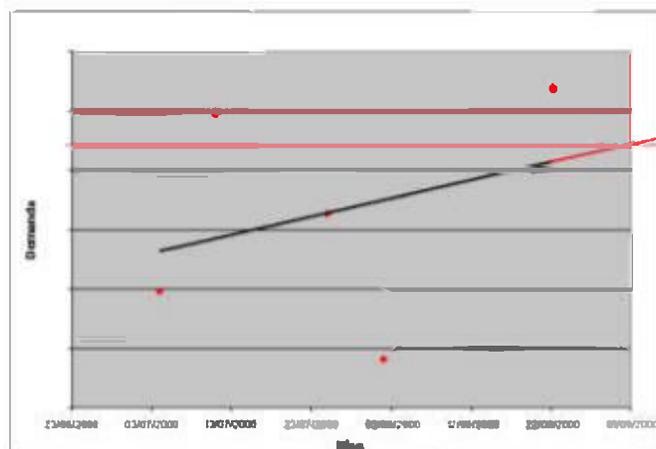


Fig. 4. Representación Gráfica de Método de Estimación

El comportamiento reciente de la demanda queda expresado utilizando regresión polinomial con mínimos cuadrados de primer grado, en donde la variable independiente es la fecha y la dependiente es la demanda total del día.

$$Demanda_{DIA_i} = a_0 + a_1 \times Fecha_{DIA_i}$$

Extrapolando o evaluando para la fecha a estimar la ecuación lineal que expresa el comportamiento reciente de la demanda, se obtiene la demanda total estimada del día en cuestión.

Parámetro de sintonización: Número de muestra para cálculo de demanda total

La cantidad de datos históricos necesarios para expresar el comportamiento reciente de la demanda es un valor que depende de la variabilidad del comportamiento de la demanda total diaria.

La cantidad de datos históricos considerados debe ser lo suficientemente pequeña para no incluir datos que no guardan relación con la actualidad y lo suficientemente grande para poder expresar el verdadero comportamiento. En resumen, el número de muestras para el cálculo de demanda total es el punto crítico en donde la *desviación* entre la demanda real y pronosticada es menor.

La variabilidad del comportamiento de la demanda es una propiedad del sistema y por ende debe ser tratado como un parámetro de sintonización.

Pronóstico de demanda semanal

Estimando los días por separado se introduce la desventaja de que, debido a lo pequeño de la muestra utilizada, una alteración “aparentemente anormal” en alguno de los datos usados provoca una importante repercusión en los resultados. Si se consideran algunos datos como de comportamiento “anormal”, y de no tomárseles en cuenta, se cae en el error de despreciar una manifestación de una situación evidente solamente desde otro punto de vista y que en general ciertamente se verá reflejada en el comportamiento futuro que se intenta estimar.

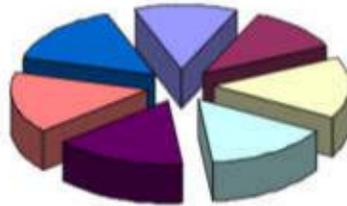


Fig. 5. Semana: Conjunto de 7 días

Manteniendo en la base histórica de datos los días que pudieran ser la manifestación de una situación subyacente, el conjunto de los días estimados contendrá el reflejo de esta situación por la cual se está atravesando, pero ciertamente el efecto estimado estará distribuido erróneamente.

En los resultados obtenidos de este pronóstico de días separadamente, en algunos casos situaciones puntuales han influido demasiado los resultados y, paradójicamente en otros casos, situaciones que son la manifestación de la situación por la cual atraviesa la demanda, no han sido consideradas.

Sólo el conjunto de los 7 días encierra el reflejo de la situación por la cual está atravesando la demanda, por lo tanto, sólo la suma de los 7 días pronosticados es un resultado provechoso.

$$Demanda\ Semanal = \sum_{i=1}^{i=7} Demanda_{DIA,i}$$

Utilización del perfil de comportamiento de demanda para distribuir la demanda semanal estimada a nivel horario

Para poder considerar las leves variaciones que sufre el perfil de comportamiento de demanda, es necesario pronosticar la relación Demanda Horaria versus Demanda Diaria para cada una de las 24 horas de los 7 días que componen la semana pronosticada.

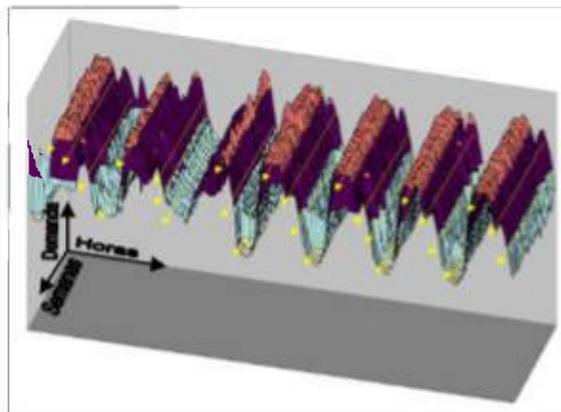


Fig. 6. Múltiples Pronósticos Independientes, resultan en una estimación semanal.

En cada hora de la semana pronosticada y con el fin de conservar las mismas ventajas explicadas anteriormente (puntos 1.3 y 2.1), se puede conseguir un pronóstico del perfil de comportamiento haciendo uso de polinomios de primer grado, pero esta vez la variable dependiente será la relación "Demanda Horaria versus Demanda Diaria".

$$[\text{Relación : Demanda}_H - \text{Vs} - \text{Demanda Diaria}] = a_0 + a_1 \times \text{Fecha}_{DLA_i}$$

Cabe destacar que la suma de la relación Demanda Horaria versus Demanda Diaria para cada día es igual a 1 y el mismo resultado debe obtenerse de la suma de la correspondiente relación horaria de los perfiles pronosticados. Para utilizar esta relación Demanda Horaria versus Demanda Diaria como pivote para obtener deducciones sobre la demanda diaria es necesario conseguir también la demanda diaria correspondiente a este perfil de comportamiento de demanda horario. El conjunto de perfil de comportamiento de demanda y demanda diaria estimada definen lo que podemos llamar "día modelo" y el conjunto de los 7 perfiles y sus correspondientes 7 demandas diarias definen lo que podemos llamar "Semana Modelo".

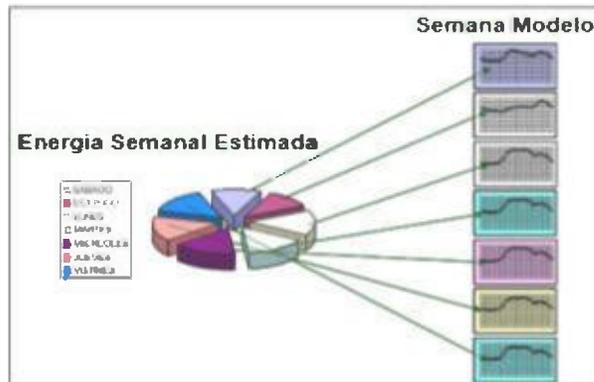
$$\text{Semana Modelo} = \sum_{i=1}^{i=7} \text{Día Modelo}_{DLA_i} :$$

$$\left\{ \begin{array}{l} \text{Perfil de} \\ \text{Comportamiento}_{DLA_i} : \left\{ \begin{array}{l} [\text{Relación}_1 : \text{Demanda}_H - \text{Vs} - \text{Demanda Diaria}] = a_{0H_1} + a_{1H_1} \times \text{Fecha}_{DLA_1} \\ [\text{Relación}_2 : \text{Demanda}_H - \text{Vs} - \text{Demanda Diaria}] = a_{0H_2} + a_{1H_2} \times \text{Fecha}_{DLA_2} \\ \vdots \\ [\text{Relación}_7 : \text{Demanda}_H - \text{Vs} - \text{Demanda Diaria}] = a_{0H_7} + a_{1H_7} \times \text{Fecha}_{DLA_7} \end{array} \right. \\ \\ \text{Demanda Correspondiente Día Modelo}_{DLA_i} = a_0 + a_1 \times \text{Fecha}_{DLA_i} \end{array} \right.$$

La demanda diaria correspondiente al perfil de comportamiento de demanda de cada uno de los 7 perfiles pronosticados, contiene también la proporcionalidad promedio entre la demanda de cada día de la semana y la demanda semanal. Como de la suma de los resultados obtenidos por el pronóstico de los 7 días separadamente obtenemos la demanda semanal estimada, respetando la proporción pronosticada para nuestra "Semana Modelo", se puede deducir cuánto sería la demanda de cada uno de los días que componen la semana pronosticada.

$$\text{Demanda Pronosticada}_{DLA_i} = \text{Demanda Correspondiente Día Modelo}_{DLA_i} \times \frac{\text{Demanda Semanal}}{\sum_{i=1}^{i=7} \text{Demanda Correspondiente Día Modelo}_{DLA_i}}$$

Obtenida la demanda de cada uno de los días que componen la semana estimada y respetando en esta ocasión la proporción “Demanda Horaria versus Demanda Diaria”, pronosticada para cada correspondiente “Día Modelo”, se obtiene la demanda horaria para cada una de las 168 horas de la semana pronosticada, lo que finalmente constituiría el resultado de nuestro pronóstico.



$$\text{Demanda}_{\text{DIA}_i, \text{H}_j} = [\text{Relación : Demanda}_{\text{H}_j} - \text{Vs} - \text{Demanda Diaria}_{\text{DIA}_i}] \times \text{Demanda Pronosticada}_{\text{DIA}_i}$$

Parámetro de sintonización: Número de muestra para cálculo de perfil de comportamiento

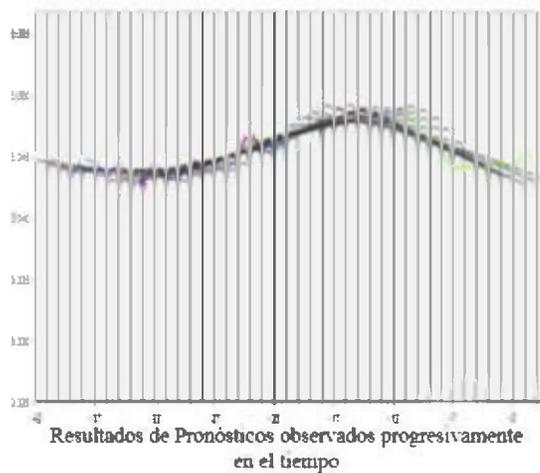
La cantidad de datos históricos necesarios para expresar el perfil del comportamiento de la demanda es un valor que depende de su variabilidad.

La cantidad de datos históricos considerados debe ser lo suficientemente grande para solamente notar variaciones en el pronóstico cuando las alteraciones en datos históricos sostenidamente evidencien que esto obedece a una causa propia de ese periodo. Típicamente el número de muestras para el cálculo de perfil de comportamiento debe ser significativamente mayor que el número de muestras para el cálculo de demanda total.

En resumen, el número de muestras para el cálculo de perfil de comportamiento es el punto crítico en donde la *desviación absoluta* entre la demanda real y pronosticada es menor.

La variabilidad del perfil de comportamiento de la demanda es una propiedad del sistema y por ende debe ser tratado como un parámetro de sintonización.

Observando los resultados progresivamente obtenidos podemos notar que, si se hizo una buena elección para el número de muestra para el cálculo del perfil de comportamiento, las extrapolaciones de las rectas que expresan la relación demanda horaria versus demanda diaria de los datos previos se mantienen cerca del objetivo.



Estimación semanal, el punto de equilibrio

Reduciendo desviaciones utilizando los días ocurridos

Debido a que la mínima unidad de análisis es el día, una ventaja natural que presenta el método expuesto consiste en que conforme avanza la semana, cada día transcurrido puede ser utilizado para procurar datos más recientes y su consideración influye positivamente en todos los días pronosticados.

Una ventaja adicional del método presentado es que debido a que se obtiene con buen grado de certeza la demanda total para la semana completa pronosticada, conforme transcurre la misma, si al monto de demanda semanal pronosticado se le resta la demanda de los días transcurridos, entonces en teoría, con mayor grado de certeza se determina la demanda de los días restantes de la semana inicialmente pronosticada.

Simbiosis

Métodos determinísticos, los cuales se basan en la descomposición del objeto analizado, resultan satisfactorios en escenarios donde solamente los elementos en los que se descompuso el objeto son preponderantes y además donde las estimaciones independientes de cada uno de los elementos en los cuales se descompuso el objeto son fiables.

Ejemplo, en un horizonte de muy corto plazo, en donde las estimaciones de condiciones climáticas son aceptablemente confiables

y, casualmente, en donde el resto de los elementos que desvían el comportamiento normal de la demanda pueden considerarse como invariables, es en donde métodos tales como redes neuronales pueden ser aplicados con éxito. La posible ventaja de utilizar métodos determinísticos, en este muy corto plazo, es natural; pues debido a la propia filosofía de descomposición del objeto estudiado, en este escenario, se aprovechan más elementos de casi segura ocurrencia.

Otra de las adaptaciones que el método acepta, consiste en la simbiosis con métodos alternos que pudieran demostrar un mejor desempeño para plazos menores a la semana. Restando la demanda total de los días pronosticados por métodos alternos menos la demanda semanal pronosticada, se obtiene la demanda requerida para el resto de los días y así por deducción se aprovechan las posibles ventajas de métodos alternos utilizados.

CONCLUSIÓN

El método presentado procura contar con una base de datos fidedigna para producir mejores resultados en lo que se refiere al pronóstico de la demanda semanal. Por otro lado, apoyándose en el comportamiento normal demostrado por los datos históricos de la demanda, procura evitar estimaciones en donde situaciones puntales produzcan influencias desproporcionadas.

Debido al sólido apoyo que utiliza el método en el comportamiento modelo de la demanda tanto a nivel diario como horario, el perfil del comportamiento de los resultados obtenidos siempre obedece al perfil demostrado por los datos históricos.

Actualmente el método aquí desarrollado está siendo utilizado con comprobado éxito y aceptación en el Centro Nacional de Despacho (CND) de la Empresa de Transmisión Eléctrica (ETESA) para el Mercado Mayorista de Energía Eléctrica en Panamá.

ABSTRACT

In unstable situations, is complicated to make forecast because the sudden changes in the variables which the analyzed object depends, separate it from which we would consider like the normal behavior. For the analysis of variables that from certain distance show as unstable behavior, the used method must circumscribe the observed

instability as an underlying stable behavior. Looking the behavior of the electrical load, from an suitable point of view, we can see that it maintains a profile that varies very slightly in the time. Although the profile of the electrical load is almost constant, the intensity or magnitude of the demand is a characteristic that varies suddenly.

REFERENCIAS

Ekeland. 1988. "El cálculo, lo imprevisto", Breviarios FCE, México.

Guante, W. D. 1980. "Bioestadística", Editorial Limusa. México.

Kosko, B. 1995. Pensamiento borroso: La nueva ciencia de la lógica borrosa, Barcelona, Grijalbo / Mondadori.

Sharpa, S. C. & Canale, R. P. 1998. "Métodos Numéricos para Ingenieros con Aplicaciones en Computadoras Personales". Editorial McGraw-Hill. México.

Recibido mayo del 2002, aceptado agosto del 2002.



AVANCES EN LA CATALISIS EN FASE ACUOSA SOPORTADA. ADVANCES IN SUPPORTED AQUEOUS PHASE CATALYSIS.

Ulises J. Jáuregui Haza^{*a)}, Anne Marie Wilhelm^{b)}, Henri Delmas^{b)}

a) Centro de Química Farmacéutica (CQF). Apdo 16042, C. Habana, Cuba

Tel. (537) 217822, Fax (537)336471, e-mail: ulises@cqf.co.cu

b) Ecole National Supérieure d'Ingenieurs de Genie Chimique (ENSIGC). 18. chemin

de la Loge 31078, Toulouse, France. Tel. (33)562252300, Fax (33)562252318

* Autor a quien dirigir la correspondencia

RESUMEN

El acelerado desarrollo en la química de los ligandos hidrosolubles y de sus complejos metálicos ha favorecido la aparición a escala industrial de procesos catalíticos bifásicos y el avance en los estudios en fase líquida soportada, entre los que se encuentra la catálisis en fase acuosa soportada (SAPC). En el presente trabajo se describen los principios de la SAPC y las principales tendencias y perspectivas en la investigación y desarrollo de productos, aplicando esta técnica.

PALABRAS CLAVES

Catálisis en fase acuosa soportada, hidroformilación, oxidación, hidrogenación.

INTRODUCCIÓN

Los procesos catalíticos son ampliamente utilizados en las industrias química y biotecnológica, especialmente en la petroquímica, la química fina y farmacéutica. Los volúmenes de producción y la complejidad de algunos de estos productos imponen nuevos retos en la búsqueda de procedimientos más económicos desde el punto de vista

energético, y más seguros para la protección del hombre y el medio ambiente.

En los primeros procesos catalíticos industriales, muchos de ellos utilizados hoy en día, se utilizaban metales y/o sus óxidos como activadores de las reacciones. Con el de cursar del tiempo se desarrolló la catálisis en medio homogéneo, que si bien permite trabajar a presiones y temperaturas poco elevadas con buenos rendimientos, no permite una separación fácil del catalizador y los productos de reacción. Es por ello que desde hace varios años se trabaja en la búsqueda de métodos para “heterogenizar” los catalizadores homogéneos. Entre estos métodos se encuentra la catálisis en fase acuosa soportada (SAPC), que abrió el camino para hidroformilar alquenos hidrofóbicos, entre otras aplicaciones (Arhancet *et al.*, 1989). Teniendo en cuenta el interés que ha despertado la SAPC, se presenta el estado actual de las investigaciones científicas y las perspectivas de aplicación de la SAPC en la industria.

LA CATÁLISIS EN FASE ACUOSA SOPORTADA: PRINCIPALES APLICACIONES

Los catalizadores en fase acuosa soportada están formados por una capa fina de agua retenida en un soporte hidrofílico de gran superficie específica. La película de agua contiene un complejo organometálico hidrosoluble. El contacto entre el complejo catalítico y el sustrato insoluble en medio acuoso ocurre en la interfase película acuosa-fase orgánica. Estos catalizadores han sido empleados en reacciones de hidroformilación (Arhancet *et al.*, 1990; Davis, 1992; Guo *et al.*, 1991; Anson *et al.*, 1998; Malmstrom, *et al.*, 1999; Sandee, *et al.*, 1999; Riisager *et al.*, 2000), hidrogenación (Fache *et al.*, 1993) y oxidación (Arhancet *et al.*, 1991a).

Las primeras aplicaciones de la SAPC fueron en la hidroformilación del alcohol oleico (figura 1), el 1-octeno y el dicitopentadieno (Arhancet *et al.*, 1989).

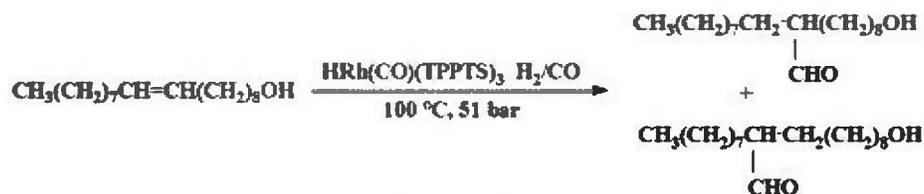


Fig. 1. Hidroformilación del alcohol oleico

Por su parte, Horvath (1990), al estudiar la hidroformilación de una mezcla de hexeno, octeno y deceno, obtuvo resultados prometedores al alcanzar la conversión total a las 1.25 horas. En este caso, el autor reporta pérdidas de agua con el aumento de temperatura. A pesar de las pérdidas de agua, no se detectaron fugas de catalizador a la fase orgánica.

Al estudiar la hidroformilación del 1-hepteno y sus isómeros (Arhancet *et al.*, 1991b), se apreció mejor selectividad en aldehído lineal para el 1-hepteno y mayor la reactividad para los isómeros *cis* en comparación con los *trans*. Igualmente, quedó demostrado que la conversión, al hidroformilar cadenas más largas (hasta 17 carbonos) y dienos, no depende del número de carbonos ni de la cantidad de dobles enlaces, aunque en el caso de los dienos la reacción es secuencial (Arhancet *et al.*, 1991b).

La SAPC se ha empleado también en la hidroformilación del acrilato de metilo (Fremy *et al.*, 1996). El producto mayoritario de esta reacción se utiliza como intermediario en la síntesis de productos farmacéuticos. Los rendimientos obtenidos en SAPC fueron mejores que los obtenidos en sistemas bifásicos. Los autores atribuyen la mejoría a las interacciones polares entre el acrilato de metilo y el gel de sílice y/o al agua soportada en la superficie del soporte.

Los catalizadores en fase acuosa soportada a base de rutenio han sido utilizados para la hidrogenación selectiva de aldehídos α , β -insaturados (Fache *et al.*, 1992), garantizando la hidrogenación del 3-metil-2-butenal al 100 %. De interés resulta la hidrogenación del retinal por para obtener retinol, por los elevados rendimientos y selectividad obtenidos (Fache *et al.*, 1992). En la hidrogenación del ácido 2-(6'-metoxi-2'naftil) acrílico para obtener naproxeno se obtuvieron valores de la conversión y la enantioselectividad superiores

a los obtenidos en catálisis bifásica (Wan & Davis, 1996). También el platino ha sido empleado en fase acuosa soportada para la hidrogenación catalítica de hidrocarburos aromáticos (Horvath, 1991).

En cuanto a la aplicación de la SAPC en reacciones de oxidación, en la literatura aparece sólo un reporte (Arhancet *et al.*, 1991). Los autores estudiaron la oxidación del 1-hepteno obtenido como producto de la reacción la 2-heptanona, observándose una significativa isomerización del producto de partida a 2-hepteno y 3-hepteno, los que no sufren oxidación en las condiciones estudiadas. Una de las ventajas fundamentales del empleo de la SAPC en la oxidación de Wacker es la confinación del Cu^{2+} en el soporte, ya que las disoluciones acuosas de este catión son muy corrosivas.

Finalmente, el sistema paladio-TPPTS se ha empleado en SAPC para la reacción de sustitución alílica del carbonato de E-cinamiletilo por el acetilacetato de etilo, entre otros sustratos (Schneider *et al.*, 1998; Dos Santos *et al.*, 1998). Aun cuando el complejo catalítico resultó ser menos activo, se logró la conversión total y selectiva del sustrato a las 24 horas de reacción. Los autores no observaron reducción significativa del paladio a estado metálico, ni pérdidas del complejo a la fase orgánica.

SOPORTES UTILIZADOS EN SAPC Y PRINCIPALES MÉTODOS DE PREPARACIÓN DE LAS MATRICES SOPORTE-COMPLEJO CATALÍTICO

La matriz soporte-complejo catalítico puede prepararse en un paso único en el propio reactor donde ocurre la reacción por simple adición del soporte, el complejo catalítico, el exceso de ligando y la cantidad de agua necesaria para alcanzar la hidratación deseada (Arhancet *et al.*, 1991c); o en dos pasos: impregnación e hidratación (Arhancet *et al.*, 1989, 1990, 1991c; Guo *et al.*, 1992; Horvath, 1990; Choplin *et al.*, 1998). Se han descrito dos vías de impregnación. La primera consiste en la adsorción del complejo catalítico y el ligando hidrosoluble en disolución acuosa sobre el soporte y la ulterior evaporación del agua al vacío (Arhancet *et al.*, 1989, 1990; Jáuregui-Haza *et al.* 2002). La técnica de síntesis *in situ*, más trabajosa que la primera, prevé la adsorción del precursor del complejo catalítico disuelto en un

disolvente orgánico que se evapora al vacío; la adsorción del ligando y la síntesis del complejo catalítico directamente en el interior del soporte (Guo et al., 1992).

Arhancet & colaboradores utilizaron diferentes soportes para hidroformilar alquenos (Arhancet *et al.*, 1989, 1990, 1991c). Cuando en la hidroformilación del alcohol oleico se empleó como soporte el CPG-350, en cantidad tal que la superficie total fue la misma que cuando se utilizó el CPG-240, no se observaron variaciones ni en el rendimiento ni en la selectividad. En cuanto a la sílice S-970 y la gamma alúmina, las velocidades de reacción fueron menores que para el CPG-240 (Arhancet *et al.*, 1991c). Además, la S-970 resultó mecánicamente inestable al desintegrarse a las 24 horas de reacción, mientras que la gamma alúmina no se recomienda para la SAPC por las significativas pérdidas de Rh detectadas en la reacción. Recientemente se han publicado los primeros resultados de la SAPC empleando fosfatos (Dessoudeix *et al.*, 2002).

PRINCIPALES FACTORES QUE INCIDEN EN LA EFICIENCIA DE LOS PROCESOS POR SAPC

Los principales factores que inciden en la eficiencia de la SAPC son el nivel de hidratación del soporte, la temperatura, la presión, el exceso de ligando hidrosoluble y la naturaleza de los reaccionantes y del catalizador.

La actividad de un catalizador en fase acuosa soportada está estrechamente ligada a la cantidad de agua presente en el soporte sólido. La actividad es máxima para un por ciento de hidratación dado. Se ha demostrado que la disminución de la actividad catalítica fuera de la zona de máximo no está asociada a pérdidas del complejo (Arhancet *et al.*, 1989, 1990, 1991; Davis, 1992, Toth *et al.*, 1997, Fremy *et al.*, 1996; Jáuregui-Haza, 2001). En la hidroformilación del 1-octeno, por ejemplo, la conversión es de 65 % para un contenido de agua de 8.5 % en la sílice, mientras que para valores de hidratación de 2.9 % y de 45 % la conversión se reduce a 10 y 5 % respectivamente (Arhancet *et al.*, 1989, 1990). Para el propio octeno, pero utilizando un complejo catalítico diferente, el óptimo de hidratación fue 12% (Toth *et al.*, 1997).

El nivel de hidratación del soporte se ha asociado con el mecanismo de acción de la SAPC. Atendiendo al contenido de agua en el soporte, se pueden delimitar tres entornos para la SAPC (Arhancet *et al.*, 1990). El primero, a pequeñas concentraciones de agua, conlleva a una fuerte adsorción del complejo catalítico sobre la superficie, con la consiguiente pérdida de movilidad, que pudiera ser la causa de poca actividad y mayor estabilidad del complejo. En un rango intermedio de hidratación, definido entre 4 y 12 % de agua, la actividad catalítica alcanza su valor máximo, lo que puede explicarse por una mayor movilidad del complejo, lo que permite mayor acceso de los sitios activos a la interfase. A concentraciones mayores del 20 % de hidratación, el complejo pierde actividad y estabilidad.

Según Horvath (1990), la interrogante está en definir dónde se produce realmente la reacción durante la SAPC. Horvath observó que aún con la SAPC, la incidencia del tamaño de hidrocarburos sigue jugando un papel en la reacción. Para ello, estudió la hidroformilación de una mezcla equimolar de 1-hexeno, 1-octeno y 1-deceno, observando que, mientras más pesado es el alqueno, es menor la productividad. Si la reacción ocurriera realmente en la interfase, los tres sustratos deberían tener igual conversión. Al no ocurrir ello así, la reacción puede ocurrir parcialmente en la fase acuosa. El propio Horvath (1990) planteó la hipótesis de que para la SAPC, el catalizador tenga sólo los grupos sulfonados del ligando en la fase acuosa, mientras que el resto del complejo permanecerá en la fase orgánica, donde ocurre la reacción.

Dos Santos & colaboradores (1998) obtuvieron resultados interesantes en la reacción de alquilación alílica del etilacetoacetato y la morfolina. En el caso del etilacetoacetato, al variar el contenido de agua entre 3.4 y 65.4%, se llegó al 100% de conversión y una elevada selectividad en una hora de reacción en el intervalo de hidratación 32.8-48.7%. El rendimiento cayó bruscamente cuando el contenido de agua en el soporte fue de 65.4%, valor que se corresponde con un exceso de agua en el sistema, pues la saturación del soporte se alcanza para más del 50% de hidratación. Sin embargo, al emplear como soporte la morfolina, se apreció una estabilización del rendimiento entre el 51 y el 90 % de agua en el soporte. Los autores atribuyen este

comportamiento a la solubilidad parcial de la morfolina en agua (Dos Santos *et al.*, 1998).

A partir de la hipótesis que la saturación del soporte en agua ayuda a estabilizar el rendimiento, se decidió evaluar el comportamiento de diferentes sílices en la hidroformilación del octeno por SAPC, variando la saturación de los soportes en agua del 1 al 150 % (Jáuregui-Haza *et al.*, 2001). Este estudio permitió confirmar la existencia de un nuevo mecanismo para la SAPC, por el cual la reacción tiene lugar en la superficie del soporte cuando los poros están saturados en agua y estos sirven para almacenar el complejo catalítico y el exceso de ligando hidrosoluble TPPTS. Igualmente se evidenció el papel que juega el tamaño de poros para este tipo de reacción (Jáuregui-Haza *et al.*, 2001).

Al emplear el complejo Ru-BINAP en la hidrogenación selectiva del ácido 2-(6'-metoxi-2'-naftil) acrílico, se observó que al aumentar el contenido de agua en el disolvente de 0 a 3%, correspondiente a la saturación del acetato de etilo en agua, la conversión aumentó hasta el 100% y la enantioselectividad se vio favorecida (de 28.7 a 70%). Wan & Davis (1996) explican las diferencias en el comportamiento del complejo con BINAP al variar la hidratación, en comparación con la TPPTS por la mayor estabilidad del primero en el agua.

Fache & colaboradores (1992) estudiaron la reutilización de la matriz soporte-complejo catalítico en la hidrogenación del 3-metil-2-butenal y del retinal. En ambos casos, después de 4 ó 5 ciclos, la conversión disminuyó entre 60 y 90%. Esta caída de la actividad no se debe a las pérdidas de Ru, que fueron en cada ciclo menores al 0.02%, sino que se explican por envenenamiento del soporte con las sustancias reaccionantes y productos de la síntesis. Otros autores reportan pérdidas de actividad al reutilizar catalizadores de Rh en la hidroformilación de alquenos, pero asocian la disminución de la actividad catalítica a la oxidación de la TPPTS (Arhancet *et al.*, 1989, 1990, Davis, 1992; Toth *et al.*, 1997).

La limitación en la reutilización de las matrices soporte-complejo catalítico en la SAPC es hoy uno de los mayores obstáculos para la introducción de esta tecnología a escala industrial. Una excepción lo constituye la hidrogenación selectiva del ácido 2-(6'-metoxi-2'-naftil)

acrílico en presencia de un complejo Ru-BINAP, donde después de siete ciclos la conversión y la selectividad no se vieron significativamente afectadas (Wan & Davis, 1996).

CONCLUSIONES

La SAPC ha despertado interés en los últimos años, centrandose su estudio en reacciones de hidroformilación, hidrogenación, oxidación y sustitución alílica. Los principales factores que inciden en la eficiencia de la SAPC son el nivel de hidratación del soporte, la temperatura, la presión, el exceso de ligando hidrosoluble y la naturaleza de las sustancias reaccionantes y del catalizador. De estos factores, el nivel de hidratación del soporte es el más significativo y decisivo en la definición del mecanismo de acción de la SAPC. Los resultados experimentales indican la existencia de más de un mecanismo, siendo el de saturación de poros en agua, el más prometedor, al garantizar una vía para estabilizar los rendimientos y la selectividad en función del contenido de agua.

Entre las ventajas fundamentales de la SAPC está la contención del catalizador en el soporte, evitando pérdidas significativas de metal en comparación con la catálisis bifásica u homogénea. Sin embargo, la limitación en la reutilización de las matrices soporte-complejo catalítico en la SAPC es hoy uno de los mayores obstáculos para la introducción de esta tecnología a escala industrial.

ABSTRACT

The accelerated development in the chemistry of hydrosoluble ligands and their metallic complexes has allowed the introduction of catalytic biphasic processes in the industry and the advance in the study of supported liquid phase catalysis. The supported aqueous phase catalysis (SAPC) is a special case of supported liquid phase catalysis. In the present work, the principles of SAPC and the main tendencies and perspectives in the research and development of different products using this technique are described.

KEYWORDS

Supported aqueous phase catalysis, hydroformylation, oxydation, hydrogenation.

REFERENCIAS

- Anson, M.S., M.P. Leese, L. Tonks & J.M.J. Willians. 1998. *J. Chem. Soc., Dalton Trans.*, 21, 3529-3538.
- Arhancet, J.P., M.E. Davis & B.E. Hanson. 1991a. *Catal. Lett.*, 11, 129-136.
- Arhancet, J.P., M.E. Davis & B.E. Hanson. 1991b. *J. Catal.*, 129, 94-99.
- Arhancet, J.P., M.E. Davis, S.S. Merola & B.E. Hanson. 1990. *J. Catal.*, 121, 327-339.
- Arhancet, J.P., M.E. Davis, S.S. Merola & B.E. Hanson. 1991c. *J. Catal.*, 129, 100-105.
- Arhancet, J.P., M.E. Davis, S.S. Merola & B.E. Hanson. 1989. *Nature*, 339, 454-455.
- Choplin, A., S. Dos Santos, F. Quignard, S. Sigismondi & D. Sinou. 1998. *Catal. Today*, 42, 471-478.
- Davis, M.E. 1992. *Chemtech*, 22, 498-502.
- Dessoudeix, M., U.J. Jáuregui Haza, M. Heughebaert, A.M. Wilhelm, H. Delmas, A. Lebugle & Ph. Kalck. 2002. *Adv. Synth. Cat.* 344, 406-412.
- Dos Santos, S., Y. Tong, F. Quignard, A. Choplin, D. Sinou & J.P. Dutasta. 1998. *Organometallics*, 17 (1), 78-89.
- Fache, E., C. Mercier, N. Pagnier, B. Despeyroux & P. Panster. 1993. *J. Mol. Catal.*, 79, 117-131.
- Fremy, G., E. Monflier, J.F. Carpentier, Y. Castanet & A. Mortreux. 1996. *J. Catal.*, 162, 339.
- Guo, I., B.E. Hanson, I. Toth & M.E. Davis. 1991. *J. Mol. Catal.*, 70, 363-368.

Horvath, I.T. 1991. *Angew. Chem., Int. Ed. Engl.*, 8, 30.

Horvath, I.T. 1990. *Catal. Lett.*, 6, 43-48.

Jáuregui Haza, U. J., M. Dessoudeix, Ph. Kalck, A.M. Wilhelm & H. Delmas. 2001. *Catal. Today*, 66, 297-302.

Jáuregui Haza, U. J., A.M. Wilhelm & H. Delmas. 2002. *Latin Amer. Appl. Res.* 32, 131-136.

Malmstrom, T., C. Andersson & J. Hjortkjaer. 1999. *J. Mol. Catal. A*, 139-147.

Riisager, A., R. Fehrmann & J. Hjortkjaer. 2000. 12th International Congress on Catalysis. RR135.

Sandee, A. J., V. F. Slagt, J. N. H. Reek, P. C. J. Kamer & P. W. N. M. van Leeuwen. 1999. *Chem. Commun.*, 1633-1634.

Schneider, P., F. Quignard, A. Choplin & D. Sinou. 1996. *New J. Chem.*, 20, 545-547.

Toth, I., I. Guo & B.E. Hanson. 1997. *J. Mol. Catal.*, 116, 217-229.

Wan, K.T. & M.E. Davis. 1994. *J. Catal.*, 148, 1-8.

Recibido marzo del 2002, aceptado agosto del 2002.



MODELO CIRCUITAL DE CÉLULAS SOLARES DE PELÍCULA DELGADA

Alcides Muñoz Lasso

Universidad de Panamá, Facultad de Ciencias Naturales, Exactas y Tecnología,
Departamento de Física y Centro de Investigación con Técnicas Nucleares
e-mail: alcides_up@yahoo.com

RESUMEN

Este trabajo se refiere a las características y criterios de elaboración de las células solares así como al tipo de estructura más utilizada para las células de a-Si:H y las razones para el uso de las mismas. Igualmente, se indican los parámetros característicos que se definen en una célula, tales como: corriente de corto circuito I_{sc} , voltaje de circuito abierto V_{oc} , factor de forma FF, eficiencia η resistencias de circuito abierto R_{oc} y resistencia de corto circuito R_{sc} . Se repasa el comportamiento de una célula solar a través de un circuito equivalente. En este circuito se incluye un elemento que representa las pérdidas por recombinación en la célula. A partir del circuito equivalente, damos la interpretación física de los parámetros característicos y de las constantes que intervienen en el funcionamiento de una célula. De los resultados, proponemos utilizar el método VIM (Variable Illumination Measurement) de Merten, que permite la medición y análisis de los parámetros más significativos de una célula solar de una manera fácil y rápida.

PALABRAS CLAVES

Células solares, silicio amorfo hidrogenado a-Si:H, modelo circuital, corriente de corto circuito I_{sc} , voltaje de circuito abierto V_{oc} , factor de forma FF, eficiencia η , resistencia de circuito abierto R_{oc} , resistencia de corto circuito R_{sc} , método VIM.

INTRODUCCIÓN

Las células solares utilizan el efecto fotovoltaico. Los primeros materiales sólidos que mostraron una significativa dependencia luz-voltaje entre dos contactos fueron el selenio y posteriormente el

óxido cuproso, lo que indicó que los semiconductores podrían ser los materiales más adecuados para la conversión fotovoltaica. Su progreso tecnológico comienza en 1954, con el desarrollo de la unión *pn* de silicio, en los Laboratorios Bell. Un predecesor de las actuales células solares, que convertía luz en electricidad con una razonable eficiencia (Johnston, 1980; Takashi & Konagi, 1983; Möller, 1993). Casi coincidiendo con el comienzo de las tecnologías de las células solares de silicio se desarrollaron las primeras heterouniones de sulfuro de cobre/sulfuro de cadmio, las cuales establecieron las bases para la investigación de dispositivos de células solares de película delgada. Las primeras aplicaciones fueron a pequeña escala y su primer gran impacto lo alcanzaron con el advenimiento de las exploraciones espaciales. En 1958 se usó la primera célula solar de silicio en el espacio (Möller, 1993). A mediados de la década de 1970, a raíz de la crisis política del Oriente Medio y el embargo petrolero, las células solares se consideraron una alternativa a las fuentes de energía convencionales. Paralelamente los países industrializados reconocieron que las fuentes fósiles no son inagotables. Los esfuerzos realizados en la investigación mejoraron la eficacia y bajaron los costos energéticos de producción. Desde comienzo de 1980, nuevos materiales para células solares y conceptos muy innovadores para varios dispositivos han sido probados y evaluados en plantas de producción piloto. En la actualidad se siguen ensayando nuevos materiales y dispositivos de células solares, pero todas las investigaciones coinciden en que es en la comprensión de los mecanismos físicos donde está la clave para alcanzar los mejores rendimientos y su posterior aplicación a escala industrial.

Parámetros Característicos de las Células Solares

Las células solares pueden caracterizarse funcionalmente a partir de la curva, corriente-vs-voltaje $I(V)$, figura 1. La respuesta $I(V)$ queda definida básicamente por siete parámetros a saber: tensión en circuito abierto V_{oc} , corriente en cortocircuito I_{sc} , factor de forma FF, eficiencia η , punto de potencia máxima V_{mp}, I_{mp} ($P_{mp} = V_{mp}I_{mp}$) y pendiente a cortar los ejes, R_{sc} y R_{oc} (Möller, 1993).

El voltaje de circuito abierto V_{oc} se define por la condición

$$I(V_{oc}) = 0 \quad (1)$$

Este es el voltaje de la célula cuando no fluye corriente. Otro parámetro es la corriente de cortocircuito I_{sc}

$$I_{sc} = |I(V = 0)| \quad (2)$$

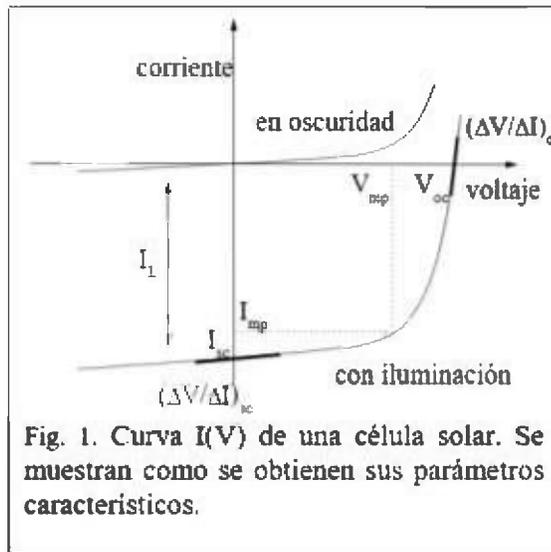
Es la corriente de la célula sin caída de voltaje en sus terminales. La corriente de cortocircuito I_{sc} para efectos prácticos puede considerarse proporcional a la luz absorbida en la célula (Merten, J. 1996).

Otro parámetro es el factor de forma (*Fill Factor*) FF que describe la desviación de la curva $I(V)$ de la forma rectangular:

$$FF = \frac{V_{mp} I_{mp}}{V_{oc} I_{sc}} \quad (3)$$

La eficiencia η de una célula es:

$$\eta = \frac{P_{mp}}{P_o} = \frac{FF \cdot V_{oc} \cdot I_{sc}}{P_o} \quad (4)$$



Donde P_{mp} es la potencia máxima que provee la célula y P_o es la radiación incidente en la célula. Los dos parámetros V_{mp} e I_{mp} son importantes para el diseñador de generadores solares, ya que las cargas conectadas a los paneles solares deben adaptarse, en impedancia, para permitir que trabajen en el punto de potencia máxima P_{mp} :

$$P_{mp} = V_{mp} I_{mp} \quad (5)$$

Los dos últimos parámetros característicos se refieren a la pendiente inversa de la curva $I(V)$ en condiciones de corto circuito y circuito abierto:

$$R_{sc} = \left(\frac{\partial V}{\partial I} \right)_{sc} \quad (6)$$

$$R_{oc} = \left(\frac{\partial V}{\partial I} \right)_{oc} \quad (7)$$

Células Solares con Estructura p-i-n

En una célula solar los procesos más importantes que intervienen en la generación fotovoltaica son:

- Absorción de luz y generación de pares de portadores electrón-hueco.
- Separación y colección de los portadores por el campo eléctrico de la unión.

Puesto que sus cargas son opuestas, electrones y huecos pueden ser separados por un campo eléctrico y colectados en los contactos, dando lugar a una fotocorriente, si éstos se conectan externamente.

Las células solares de silicio se han beneficiado de los avances de la tecnología de semiconductores al usar las estructuras de estos dispositivos, tales como: la homounión *pn* del diodo (es la más ampliamente usada), unión metal semiconductor (diodos Schottky) o metal-aislante-semiconductor (MIS). La fabricación de células requiere el depósito de capas semiconductoras (amorfás o cristalinas) sobre sustratos de vidrio, cerámica, metal, plástico u otro semiconductor. Diferentes técnicas desarrolladas en la industria de la microelectrónica se usan actualmente, como por ejemplo: evaporación, depósito químico en fase vapor (CVD), epitaxia por haces moleculares (MEB), o pulverización catódica (Sputtering), teniéndose una gran flexibilidad en la formación de la película semiconductoras en su composición y eficiencia (Johnston, 1980; Takashi & Konagi, 1983; Möller, 1993).

La alta concentración de defectos en el a-Si:H dopado requiere un diseño diferente de los dispositivos en relación con los cristalinos. A diferencia de las uniones *pn* usadas en casi todas las células solares, el

a-Si:H usa siempre una estructura *pin*. La fotogeneración se produce en la zona intrínseca, mantiene un campo eléctrico importante y favorece la colección de portadores por arrastre. En las células solares de c-Si la colección no es un problema, ya que la longitud de difusión de los portadores minoritarios L_{diff} es lo suficientemente grande para que éstos sean transportados por difusión a la unión, donde la separación entre huecos y electrones tiene lugar gracias al campo interno en la región de vaciado. Esta región de vaciado es típicamente mucho más delgada que el grosor total de la célula y el campo eléctrico se extiende sobre esta región muy delgada. El silicio amorfo, en contraste, tiene unas propiedades de transporte relativamente pobres: Baja movilidad μ y una vida media de portadores τ corta. La longitud de difusión es

$$L_{diff} = \sqrt{D\tau} = \sqrt{\frac{k_B T}{q} \mu \tau} \quad (8)$$

la cual es muy pequeña, en el mejor material intrínseco es aproximadamente $0,2 \mu\text{m}$. Por consiguiente, la colección es un problema en las células solares de silicio amorfo; la difusión sola no es suficiente como mecanismo de transporte, debido a la necesidad de que la mayor parte de los portadores libres no recombinen dentro de la célula. Esto hace imperativo tener un transporte por arrastre, basado en un campo eléctrico E extendido en la mayor parte de la célula, sobre todo en la capa-i. La longitud de arrastre L_{drift} en una capa-i (intrínseca) es bastante general,

$$L_{drift} = \mu \tau E = \mu \tau \frac{V_{bi}}{d_i} \quad (9)$$

donde V_{bi} es el voltaje de construcción y d_i el grosor de la capa-i.

Si definimos un parámetro κ de modo que $\kappa = L_{drift}/d_i$ y suponemos que $V_{bi} \sim 1$ y calculamos la razón

$$\frac{L_{drift}}{L_{diff}} = \sqrt{\frac{V_{bi}}{(k_B T/q)} \frac{1}{\kappa}} \cong \sqrt{\frac{40}{\kappa}} \quad (10)$$

Para un $\kappa \leq 0,5$ (lo cual es razonable para obtener una colección satisfactoria), se obtiene que la longitud de arrastre es aproximadamente un factor 10, o mayor que la longitud de difusión, lo que hace que el mecanismo de arrastre sea dominante en el transporte en las células de silicio amorfo.

Es bien conocido que uno de los principales problemas del silicio amorfo tiene que ver con los defectos inducidos por luz (efecto Staebler-Wronski, SWE), los cuales producen la degradación de las propiedades de transporte del semiconductor. Su conocimiento es un tópico de gran importancia para alcanzar un material estable en el campo de los semiconductores amorfos, para aplicaciones optoelectrónicas (Shah, Plastz & Keppner, 1995; Vieira & colaboradores, 1996; Wronski, 1996; Staebler & Wronsky, 1977; Yang, Chen & Catalano, 1991). La recombinación de exceso de portadores libres creados por la iluminación o por inyección de corriente causa la formación de nuevos enlaces no saturados (*dangling bonds*), que actúan como nuevos centros de recombinación adicionales, afectando así la vida media de los portadores. A su vez, los centros cargados afectan la distribución del campo eléctrico y actúan como centros de recombinación. Este proceso de formación de defectos es reversible, si uno calienta el semiconductor durante un cierto tiempo a temperatura moderada, aproximadamente 180° C. Afortunadamente, este proceso se limita a sí mismo y la eficiencia de la célula se estabiliza a un valor menor que la eficiencia inicial después de un cierto tiempo (Shah, Plastz & Keppner, 1995; Vieira & colaboradores, 1996; Wronski, 1996; Yang, Chen & Catalano, 1991; Sze, 1995).

De la ecuación 9 vemos que la evaluación del producto $\mu\tau$, movilidad-vida media, es un buen indicador de la eficiencia de colección de portadores (Vieira & colaboradores, 1996). La concentración final de defectos en la capa-i es el resultado de un equilibrio entre los defectos inducidos por luz y su recuperación térmica. Igualmente, existe una correlación entre el decrecimiento del producto $\mu\tau$ para el electrón y el incremento de la fracción de enlaces de hidrógeno en la superficie interna, sugiriendo cambios estructurales durante el proceso de degradación. La disminución del funcionamiento del dispositivo (J_{sc} , FF, η) está determinada por la formación de defectos en la capa-i,

mientras la disminución en el V_{oc} parece ser más dependiente del campo eléctrico en la interfaz p/i (Vieira & colaboradores, 1996).

Las primeras células solares de a-Si:H elaboradas con estructura *pin* las hizo Carlson en 1977. Sobre un sustrato de vidrio recubierto por un electrodo transparente, típicamente SnO_2 , se crecía una capa *p* de unos pocos centenares de angstroms de a-Si:H,B, una intrínseca de a-Si:H de aproximadamente $1\mu m$ y se acababa con una capa *n* a-Si:H,P de algunos centenares de angstroms. Los rendimientos no eran muy altos (5,5%) y tampoco eran demasiado buenos los valores correspondientes al voltaje de circuito abierto V_{oc} y el factor de forma FF (0,5 y 0,4, respectivamente) (Takashi & Konagi, 1983).

Método de análisis de las células solares de película delgada.

Circuito Equivalente para una célula solar

La curva característica $I(V)$ de una célula solar puede ser descrita mediante el circuito equivalente de la figura 2 (líneas continuas) (Johnston, 1980; Takashi & Konagi, 1983; Möller, 1993). La fotocorriente I_{ph} se representa por una fuente de corriente conectada en paralelo a un diodo y a una resistencia R_p . En serie, se tiene otra resistencia R_s por la que circula la corriente total. La ecuación del circuito total se puede escribir como:

$$I(V) = -I_{ph} + I_o \left(\exp\left(\frac{V - IR_s}{nk_B T / e}\right) - 1 \right) + \frac{V - IR_s}{R_p} \quad (11)$$

Donde k_B es la constante de Boltzmann, T la temperatura absoluta de la célula y e la carga del electrón. El último término de la ecuación 11 representa la pérdida de corriente sobre la resistencia paralelo R_p (I_{fug}) y el segundo, la corriente de pérdida interna del diodo (I_{dio}). El diodo es tratado como un diodo ideal con una corriente de saturación I_o y un factor de idealidad n . Para un diodo ideal *pin* de silicio cristalino, el factor n es igual a uno. Se aproxima a dos cuando las corrientes de recombinación dominan (Möller, 1993).

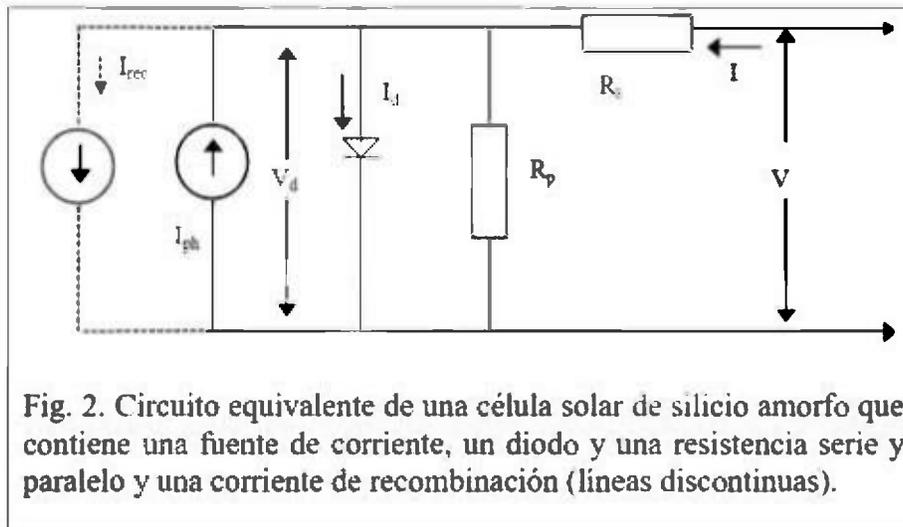


Fig. 2. Circuito equivalente de una célula solar de silicio amorfo que contiene una fuente de corriente, un diodo y una resistencia serie y paralelo y una corriente de recombinación (líneas discontinuas).

Notemos que en modo fotovoltaico la corriente I es negativa de manera que el voltaje que cae sobre la unión $V - IR_s$ es mayor que el voltaje V que se obtiene entre sus terminales. Se supone que la fotocorriente generada I_{ph} depende linealmente del número de fotones absorbidos. Así como en las células cristalinas (colectan por difusión) puede considerarse que la fotocorriente no depende de la tensión aplicada, en las amorfas (colectan por arrastre) debe haber dependencia con el campo eléctrico y, por tanto, con la tensión.

Como mencionamos anteriormente, los parámetros característicos de una célula solar V_{oc} , FF , R_{oc} y R_{sc} se obtienen a partir de los valores ideales de la curva $I(V)$. Pero la existencia de algunos factores de pérdida (corrientes de recombinación), tales como corrientes de fuga laterales a lo largo de la capa-n, los "pinholes" y la suposición de que la corriente fotogenerada es independiente del voltaje, hace que los resultados experimentales no concuerden del todo con los que se obtienen de la curva $I(V)$ para una célula solar. La principal diferencia de aplicar este modelo a las células de silicio amorfo es suponer que la fotocorriente I_{ph} colectada en la célula es independiente del voltaje aplicado. Como la longitud de difusión es pequeña en el silicio amorfo, los portadores son colectados por un campo eléctrico. Cuando

el campo eléctrico es débil, los portadores tienen pérdidas por recombinación. Así la fotogeneración de corriente viene a ser dependiente del campo y el ajuste de las curvas I(V) de células solares de silicio amorfo no concuerdan del todo con los resultados experimentales tal como el valor del factor de forma y la resistencia de corto circuito.

Al incluir el término de corrientes de pérdida (Merten, 1996) en la ecuación de corriente-voltaje, representado por el elemento conectado por líneas discontinuas de la figura 2, se obtiene una mejor concordancia con los resultados experimentales de la variación de la radiación de la curva I(V) para las células de silicio amorfo. Por todo lo mencionado anteriormente, podemos establecer intuitivamente que esta corriente de pérdida es proporcional a una fracción de I_{ph} de manera que una fracción X de la corriente fotogenerada no puede extraerse del dispositivo. Así pues,

$$\begin{aligned}
 I &= -I_{ph} + I_{dco} + I_{fug} + I_{rec}, \\
 I &= -I_{ph} + I_{dco} + I_{fug} + XI_{ph}, \\
 I &= -(1 - X)I_{ph} + I_{dco} + I_{fug}
 \end{aligned}
 \tag{12}$$

En cuanto al parámetro X, éste puede estimarse en función del grosor de la zona intrínseca d y de una longitud de arrastre promedio L_{eff} representativa de electrones y huecos. La fracción que recombina será tanto mayor cuanto menor sea la relación entre la longitud de arrastre y el grosor de la zona intrínseca. Tengamos en cuenta que L_{eff} representa el camino que puede recorrer un portador arrastrado por el campo eléctrico antes de recombinar. Así pues, para $L_{eff} \geq d$ tendremos

$$X \approx \frac{d}{L_{eff}}.
 \tag{13}$$

Pero, por definición, L_{eff} es proporcional al campo eléctrico E a través de una constante C, (que es proporcional a $\mu\tau$) de manera que

$$L_{eff} = C \cdot E = \frac{C[V_{bi} - (V - IR_s)]}{d},
 \tag{14}$$

por lo que

$$X = \frac{1}{C} \cdot \frac{d^2}{[V_{bi} - (V - IR_s)]}; \quad (15)$$

o si se quiere

$$X = \frac{1}{A - B(V - IR_s)}, \quad \text{con } A = \frac{d^2}{CV_{bi}} \text{ y } B = \frac{d^2}{C}; \quad (16)$$

ahora, si escribimos nuevamente la ecuación 11 utilizando la ecuación 12, podremos expresar una relación más general para las células solares, donde se consideran los efectos debido a las corrientes de pérdida por recombinación:

$$I(V) = -I_{ph} + I_0 \left(e^{\frac{V - IR_s}{nk_s T}} - 1 \right) + \frac{V - IR_s}{R_p} + I_{ph} \frac{1}{A - B(V - IR_s)}; \quad (17)$$

Es necesario recordar que los parámetros A y B están relacionados con la movilidad μ , tiempo de captura τ de electrones y huecos, voltaje de construcción y con el grosor de la capa-i (Merten, 1996; Merten & colaboradores, 1998).

Si utilizamos la condición de la ecuación 1 en la ecuación 17, zona no afectada por la resistencia serie y paralelo, podremos obtener el voltaje de circuito abierto V_{oc} :

$$I(V_{oc}) = -I_{ph} + I_0 \left[e^{\left(\frac{eV_{oc}}{nk_s T} \right)} - 1 \right] + I_{ph} \frac{1}{A - BV_{oc}} = 0 \quad (18)$$

$$0 = I_{ph} \left(-1 + \frac{1}{A - BV_{oc}} \right) + I_0 \left[e^{\left(\frac{eV_{oc}}{nk_s T} \right)} - 1 \right]; \quad (19)$$

En condiciones de corto circuito, tenemos que

$$I_{sc} = I_{ph} \left(-1 + \frac{1}{A} \right); \quad (20)$$

Restando la ecuación 20 a la 19, nos queda que

$$I_{sc} = I_0 \left[e^{\left(\frac{eV_{oc}}{nk_B T} \right)} - 1 \right] + I_{ph} \cdot \frac{BV_{oc}}{(A - BV_{oc}) \cdot A}; \quad (21)$$

El segundo término del miembro derecho de la ecuación 21 se puede despreciar para células con poca recombinación y aproximando el primero podemos escribir

$$\ln(I_{sc}) = \ln(I_0) + \frac{eV_{oc}}{nk_B T}; \quad (22)$$

resolviendo para V_{oc} , obtenemos,

$$V_{oc} = \frac{nk_B T}{e} \ln \left(\frac{I_{sc}}{I_0} \right) \quad (23)$$

La ecuación 23 nos muestra una dependencia logarítmica de V_{oc} con la corriente de corto circuito I_{sc} , y la pendiente del comportamiento de $V_{oc}(I_{sc})$ puede ser usada para determinar el factor de calidad n y la corriente de saturación I_0 . Para niveles de iluminación bajos, el efecto de la resistencia paralelo no es despreciable y lleva a una reducción muy importante del voltaje de circuito abierto. A una irradiancia alta, el V_{oc} tiende a no ser afectada por R_p .

Si nuevamente tomamos la ecuación 17 y aplicamos las condiciones de las ecuaciones 6 y 7 se obtendrá las resistencias de corto circuito y circuito abierto. La resistencia $(\partial V/\partial I)$ de la célula solar (fig.2.) consiste en una resistencia serie con una conexión paralelo de: la resistencia paralelo R_p , la resistencia del diodo ideal $(\partial V/\partial I)_{diodo}$, la resistencia de la fuente de corriente $(\partial V/\partial I)_{ph}$ y la resistencia de la

corriente de recombinación $(\partial V/\partial I)_{rec}$. La resistencia de la corriente se considera una dependencia de la fotocorriente con la tensión. De esta manera, la resistencia para la célula solar es (Merten, 1996):

$$\left(\frac{\partial V}{\partial I}\right) = R_s + \frac{1}{\frac{1}{R_p} + \frac{I_o}{nkT/e} \exp\left(\frac{V - IR_s}{nkT/e}\right) + \frac{\partial I_{ph}}{\partial V} + \frac{\partial I_{rec}}{\partial V}} \quad (24)$$

En condiciones de circuito abierto, con la corriente fotogenerada que no depende del voltaje ($I_{ph}(V) = \text{constante}$), la resistencia de la fuente de corriente es infinita, la corriente de recombinación pequeña y la corriente es cero, la resistencia R_{oc} es:

$$R_{oc} = \left(\frac{\partial V}{\partial I}\right)_{oc} = R_s + \frac{1}{\frac{1}{R_p} + \frac{I_o}{nkT/e} \exp\left(\frac{eV_{oc}}{nKT}\right)} \quad (25)$$

En el límite de una irradiancia baja, la resistencia paralelo viene a ser dominante y obtenemos con $R_p \ll nkT/eI_o$:

$$\lim_{V_{oc} \rightarrow 0} R_{oc} = \lim_{V_{oc} \rightarrow 0} \left(\frac{\partial V}{\partial I}\right)_{oc} = R_s + \frac{1}{\frac{1}{R_p} + \frac{I_o}{nkT/e}} \approx R_p \quad (26)$$

Para valores de irradiancia altos, la resistencia del diodo viene a ser importante y puede ser que $R_p \gg (nkT/eI_o) e^{(V_{oc}/nkT/e)}$.

$$R_{oc} = \left(\frac{\partial V}{\partial I}\right)_{oc} = R_s + \frac{nk_B T}{eI_o} \exp\left(\frac{-V_{oc}}{nk_B T/e}\right) \quad (27)$$

En el límite de una irradiancia muy alta, la expresión de R_{oc} en la ecuación (27), finalmente se aproxima a la resistencia serie R_s de la célula:

$$\lim_{V_{oc} \rightarrow \infty} R_{oc} = R_s \quad (28)$$

Para determinar la resistencia serie R_s tenemos que incrementar la irradiancia hasta poder determinar el valor asintótico de R_{oc} (asintota horizontal).

En condiciones de corto circuito de la ecuación 17 tenemos,

$$\frac{\partial V}{\partial I} = R_s + \frac{1}{\frac{1}{R_p} + \frac{I_0}{nkT/e} \exp\left(\frac{V - IR_s}{nkT/e}\right) + \frac{\alpha_{ph}}{\partial V} + \frac{\alpha_{rec}}{\partial V}} \quad (29)$$

a una alta iluminación el término del diodo es determinante y la recombinación es despreciable, por lo que

$$\lim_{I \rightarrow \infty} \left(\frac{\partial V}{\partial I} \right)_{sc} = \lim_{I \rightarrow \infty} R_s = R_s \quad (30)$$

a baja iluminación la resistencia paralelo es determinante y podemos escribir la ecuación 29 como,

$$R_{sc} = \left(\frac{\partial V}{\partial I} \right)_{sc} = R_s + R_p \approx R_p \quad (31)$$

La aproximación usada es válida para un amplio intervalo de irradiancias y produce un valor constante para R_{sc} . En la región donde no afecta la resistencia paralelo y serie (región media de iluminación) la recombinación no se puede despreciar y la resistencia de corto circuito se escribe,

$$R_{sc} = \frac{A^2}{B} \cdot \frac{1}{I_{ph}} \quad (32)$$

El resultado que se obtiene de la ecuación 32 nos ofrece una forma de medir los cambios que pueden sufrir un dispositivo debido a las recombinaciones en la capa-i del dispositivo (Merten, 1996; Merten & colaboradores, 1998; Hubin & Shah, 1995).

Interpretación Física del Circuito Equivalente

De los resultados obtenidos se establece un método que permite determinar los parámetros de una célula solar. Primeramente se deben medir curvas de $I(V)$ para varios niveles de iluminación. (figura 3). Variando los niveles de iluminación se obtiene más información acerca de la célula y se distinguen fácilmente los efectos de la resistencia externa paralelo y serie y los efectos de la unión *pin*.

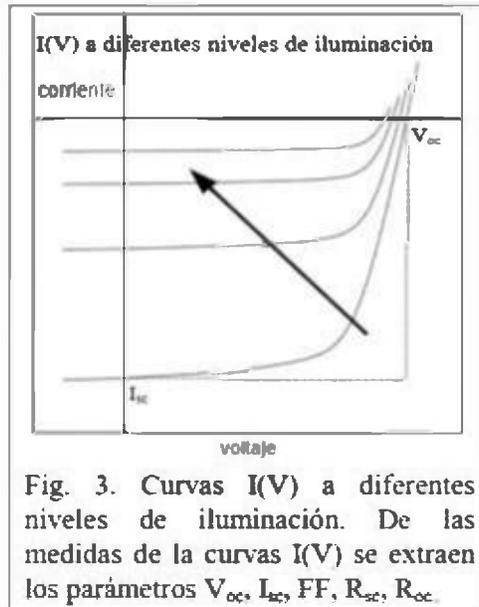


Fig. 3. Curvas $I(V)$ a diferentes niveles de iluminación. De las medidas de la curvas $I(V)$ se extraen los parámetros V_{oc} , I_{sc} , FF , R_{sc} , R_{oc} .

Este método de caracterización, propuesto por (Merten, 1996) es conocido por sus siglas en inglés como VIM (Variable Illumination Measurement). Es un método simple que permite dar información

sobre la tecnología de elaboración y física del dispositivo estudiado. Niveles bajos de iluminación, permiten una buena determinación de la resistencia paralelo R_p .

Una irradiancia alta es necesaria para determinar la resistencia serie R_s . De las medidas de las curvas $I(V)$, se extraen los parámetros característicos, V_{oc} , I_{sc} , FF , η , incluyendo los valores de R_{oc} y R_{sc} .

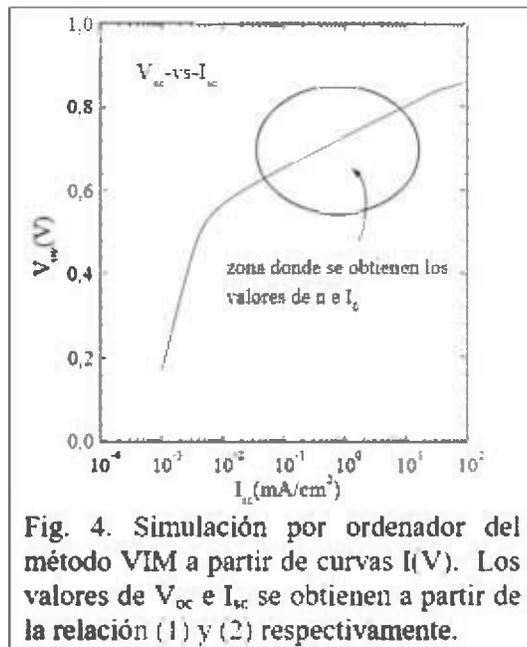
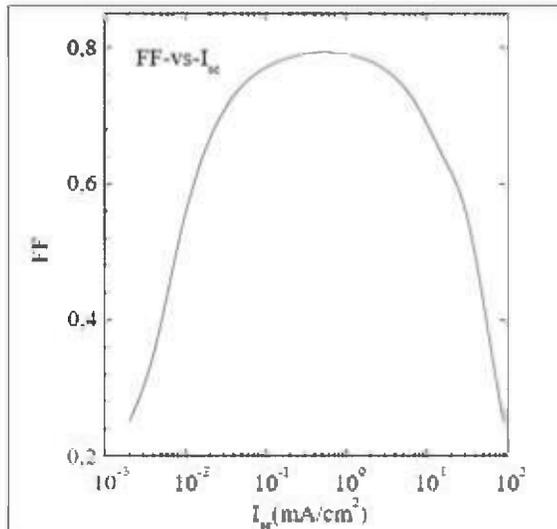


Fig. 4. Simulación por ordenador del método VIM a partir de curvas $I(V)$. Los valores de V_{oc} e I_{sc} se obtienen a partir de la relación (1) y (2) respectivamente.

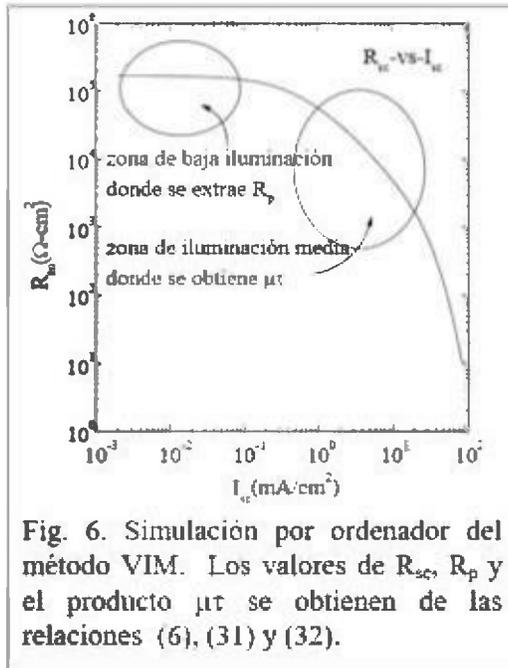
Así los valores del V_{oc} , (figura 4) proporcionan una idea de la recombinación en la superficie; una disminución del V_{oc} está relacionada con el campo eléctrico en la interfaz p/i. El factor de calidad n y la corriente de saturación I_0 , ecuación 23, nos indican sobre los estados de recombinación de los pares electrones-huecos a través de los centros de impurezas en el volumen o de los defectos extendidos; un aumento del factor de calidad n , muestra el aumento de defectos; un aumento de I_0 disminuye el voltaje de circuito abierto V_{oc} .

La obtención del factor de forma FF se hace a partir de la ecuación 3. La disminución de FF está determinada por la formación de defectos en la capa-i. El factor de forma (*fill factor*) FF mostrado en la figura 5



está limitado por la resistencia paralelo R_p en el limite de una irradiancia baja. Lo mismo pasa en el limite de alta irradiancia donde la resistencia serie R_s limita el factor de forma. Por consiguiente, el factor de forma de una célula solar representada como una función de la irradiancia tiene un valor máximo. La eficiencia de una célula es proporcional al producto ($V_{oc} I_{sc} FF$) (Johnston, 1980; Takashi &

Konagi, 1983; Möller, 1993). En el intervalo de I_{sc} en que domina la ecuación del diodo (intervalo medio), I_{sc} es proporcional a la iluminación, V_{oc} aumenta logarítmicamente con I_{sc} ; por tanto el rendimiento aumenta. Este incremento del rendimiento, al aumentar la iluminación, se mantiene hasta que el efecto de la resistencia serie o de una recombinación incrementada, produce la disminución del factor de forma, (ver figura 5). El estudio del comportamiento del factor de forma a alta iluminación es especialmente importante para las células que se incorporan a los concentradores solares. Estas células presentan

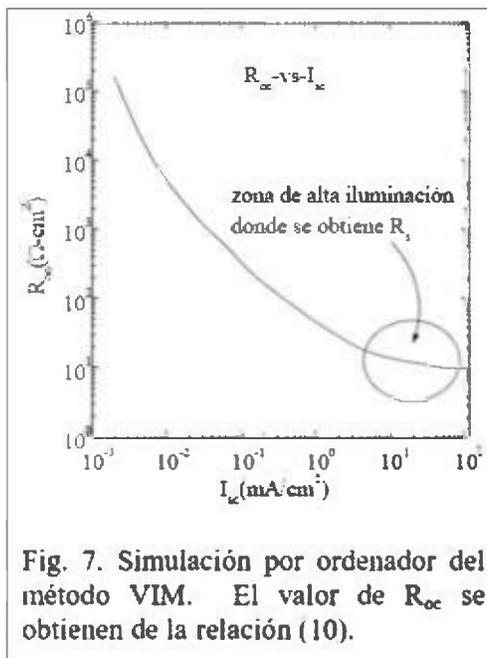


precipitados grandes, por ejemplo) en la región de vaciado o corrientes de fuga alrededor de los bordes de la célula, los cortocircuitos en la metalización de los contactos alrededor de la unión. El valor del producto $\mu\tau$ obtenido de R_{sc} (figura 6) nos da un entendimiento de los portadores a través de la capa-i y el transporte de portadores a través de la interfaz p/i.

El R_{oc} (figura 7), nos permite calcular el valor de la resistencia serie, R_s a alta iluminación el cual guarda relación con la resistencia de los contactos (contacto óhmico e interconexiones) y la resistencia del volumen del semiconductor.

mejor rendimiento que las células solares sin concentración si se evita el efecto de disminución del FF a alta iluminación y el efecto de calentamiento de la célula.

El R_{sc} nos permite obtener el valor de la resistencia paralelo, R_p a bajos niveles de iluminación (figura 6); éste guarda relación con la formación de "pinholes" o "microcracks" (en la formación de la unión de la capa), defectos extendidos de la red (dislocaciones, frontera de grano,



CONCLUSIONES

El modelo propuesto, usando el método VIM, permite diferenciar las características que presentan las células solares *pin* a través de sus parámetros característicos, así como las limitaciones que presenta el dispositivo. La utilización de esta técnica es una manera rápida y fácil de estudiar el comportamiento de las células solares.

Necesitamos hacer algunas observaciones con la inclusión de las corrientes de recombinación (pérdida) en la capa-i en la ecuación 17:

- * El valor de R_{oc} calculado con el modelo modificado no muestra un cambio con el término introducido.
- * El término adicional no es efectivo a niveles de iluminación bajos y el valor de R_{sc} viene dado por la resistencia paralelo R_p .
- * Por otra parte es importante que para la efectividad del modelo, las curvas de $I(V)$ deben ser medidas en varios niveles de iluminación. El límite de iluminación menor conduce a las corrientes de cortocircuito I_{sc} . Esto es importante para una buena determinación de la resistencia paralelo R_p . El límite superior está determinado por las restricciones experimentales, ya que se necesita una irradiancia alta para determinar la resistencia serie R_s . (Merten, 1996).

ABSTRACT

This article deals primarily with solar cells, their features and manufacturing criteria, the most utilized type of structure for solar cells made out of amorphous silicon (a-Si:H), as well as the reasons for their utilization. Likewise, we indicate the characteristic parameters defined in a cell, such as: short-circuit current I_{sc} , open-circuit voltage V_{oc} , fill factor FF, efficiency η and open-circuit resistance R_{oc} , as well as short-circuit resistance R_{sc} . The behavior of a solar cell by an equivalent circuit is explained. In this circuit an element is included that represents the losses by recombination in the cell. As of the equivalent circuit, it carries out a physical interpretation of the characteristic parameters, as well as the constant that intervene in the cell's operation. Of the basic of the results, the VIM (Variable Illumination Measurement) method is propose, a method that allows for an easy and quick measurement and analysis of a solar cell.

REFERENCIAS

Hubin, J. & A.V. Shah. 1995. Effect of recombination function on the collection in a p-i-n solar cell, *Philos. Mag. B*;72(2) 589-599.

Johnston, W.D. 1980. *Solar Voltaic Cells*, Marcel Dekker INC.334 pp.
Tecnociencia, Vol. 5, N°1

Merten, J. 1996. Photovoltaics with Amorphous Silicon: Technological, Physical and Technical Aspects. *Tesis Doctoral, Universidad de Barcelona, España.*

Merten, J., J.M. Asensi, C. Voz, A. Shah, R. Platz & J. Andreu. 1998. Improved Equivalent Circuit and Analytical Model for Amorphous Silicon Solar Cells and Modules. *IEEE Transactions on Electron Devices*, 45(2) 423-429.

Möller, H. J. 1993. *Semiconductors for Solar Cell*, The Artech House. 587 pp.

Shah, A.V., R. Platz & H. Keppner. 1995. Thin-Film silico solar cells; A review and select trends. *Solar Energy Materials and Solar Cells* 38 501-520.

Staebler D.L. & C.R. Wronsky. 1977. Reversible conductivity changes in discharge-produced amorphous silicon. *Appl. Phys. Lett.* 31 292-294.

Sze, S. M. 1995. *Semiconductor devices, physics and technology.* Wiley & Sons. 486 pp.

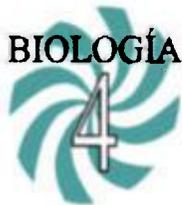
Takahashi, K. & M. Konagi. 1983. *Amorphous Silicon Solar Cells*, North Oxford Academic. 478 pp.

Vieira, M., E. Fortunato, G. Lavareda, C. N. Carvalho & Martins, R. 1996, Light and temperature effect on pin a-Si:H device performance. *Vacuum*, 45 (10/11) 1147-1149.

Wronski, C. R. 1996. Amorphous silicon technology: Coming of age. *Solar Energy Materials and Solar Cells*, 41/42 427-439.

Yang, L., L. Chen & Catalano, A. 1991., Intensiva and temperature dependence of photodegradation of amorphous silicon solar cells under intense illumination., *Appl. Phys. Lett.*, 59 840-842.

Recibido noviembre del 2001, aceptado septiembre del 2002.



INSECTOS ACUÁTICOS ASOCIADOS AL RÍO TRÍBIQUE, EN EL DISTRITO DE SONÁ, PROVINCIA DE VERAGUAS

Viterbo E. Rodríguez y Hugo León

Universidad de Panamá, Centro Regional Universitario de Veraguas

e-mail: viterbor@yahoo.com

RESUMEN

En el presente trabajo se determinó la comunidad de insectos acuáticos existentes en el Río Tribique, Distrito de Soná, Provincia de Veraguas; se ubicaron siete estaciones a lo largo del río entre Enero y Junio de 2001. El tiempo designado para la colecta, fue de una hora para cada estación y la misma se realizó en horas de la mañana. Los métodos de captura variaron de acuerdo al sustrato: red acuática tipo D-Net, para barridos en el fondo y en la vegetación marginal sumergida y pinzas entomológicas para desalojar los insectos de sus refugios en las rocas. En total, se colectaron 98 géneros de insectos acuáticos, distribuidos en 48 familias y 11 órdenes.

PALABRAS CLAVES

Insectos acuáticos, Río Tribique.

INTRODUCCIÓN

De los 30 órdenes descritos en la clase insecta, 11 contienen especies acuáticas y semiacuáticas (Pennack 1978). De ellos, Ephemeroptera, Odonata, Plecoptera, Neuroptera y Trichoptera poseen una o más formas inmaduras que se desarrollan en el agua; en tanto que Coleoptera, Diptera, Hemiptera, Ortoptera, Lepidoptera e Himenoptera son semi-acuáticos (Daly 1988).

Los insectos acuáticos son útiles para detectar grados de contaminación que generalmente pueden sufrir los ríos por las malas

acciones antropogénicas: tala de árboles, que causa alta degradación y altera las variables físicas, como la temperatura y turbidez, muy importantes como factores limitantes en dichos sistemas acuáticos (Wallace & Webster 1996). Adicionalmente, las industrias y proyectos, en sus etapas de construcción, producen cambios significativos en la dinámica poblacional, la estructura de las comunidades y la integridad genética de las especies nativas, particularmente cuando se introducen especies exóticas de peces e invertebrados para mitigar los efectos negativos producidos por las mismas (Power *et al.*, 1988).

Los ecosistemas acuáticos se encuentran entre los de mayor diversidad biológica en formas y estructuras; de aquí emana la importancia de los estudios de dichos ecosistemas (Warren 1971), ya que, entre otras cosas, brindan información sobre las condiciones biológicas de los recursos hídricos (Rodríguez & Bonilla 1999; Rodríguez & Sánchez 2001 y Rodríguez *et al.* en prensa).

El objetivo del presente trabajo es el determinar las familias y géneros representativos de los insectos acuáticos existentes en el Río Tribique, Distrito de Soná, Provincia de Veraguas, República de Panamá.

MATERIALES Y MÉTODOS

Área de Estudio

El área de estudio se encuentra localizada en el Río Tribique, Distrito de Soná, Provincia de Veraguas, en la vertiente del Pacífico. El Río Tribique atraviesa en su recorrido las localidades de Bella Vista, Finca La Estancia, Finca La Anguillal, El Rayan y Calidonia, en las cuales se establecieron siete estaciones de muestreo de la siguiente manera: estación No. 1 en la Comunidad de Bella Vista, la No. 2 y No. 3 en la Finca la Estancia, la No. 4 y No. 5 en la Finca La Anguillal, la No. 6 en El Rayan y la No. 7 en Calidonia.

Colecta y Procesamiento de las Muestras

La colecta de insectos se realizó dos veces al mes en cada una de las estaciones de muestreo, durante los meses de enero a junio de 2001, completándose 12 giras para cada estación. Para efectuar la colecta de los insectos se utilizó una red acuática tipo D-Net, para realizar los barridos en las márgenes del río, capturando los insectos adheridos a

tallos, hojas y raíces de plantas sumergidas y del fondo. También se capturaron manualmente, con la ayuda de pinzas entomológicas, los insectos adheridos a las piedras, troncos sumergidos y hojarasca. El tiempo designado, para la colecta, en cada estación fue de una hora y la misma se realizó en horas de la mañana.

Concluida la captura de insectos, los ejemplares se depositaron en recipientes de vidrio con alcohol al 70% y se le añadió de tres a cuatro gotas de glicerina para mantener blandas y flexibles las estructuras de los organismos (Roldán, 1988). Posteriormente, las muestras se trasladaron al Centro Regional Universitario de Veraguas donde se determinaron las familias y géneros con la ayuda de las claves de Roldán (1988); Novelo-Gutiérrez (1997a), (1997b); Westfall (1988); Edmunds (1988); Wiggins (1988); White *et al.* (1988); Lange (1988); Polhemus (1988); Evans & Neuazig (1988) y Donnelly (1992).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En este estudio se lograron capturar en el Río Tribique 98 géneros de insectos acuáticos, incluidos en 48 familias y 11 órdenes, en donde los órdenes mejor representados fueron: Hemiptera con 23 géneros y 11 familias, Odonata con 22 géneros y 8 familias, Coleoptera con 13 géneros y 7 familias, Trichoptera con 12 géneros y 7 familias, Ephemeroptera con 11 géneros y 6 familias y Diptera con 9 géneros y 5 familias; mientras que Lepidoptera, Plecoptera y Neuroptera estuvieron representados por un género y una familia cada uno; no se logró identificar familias y géneros de Collembola (Cuadro No.1).

Del orden Hemiptera se capturaron 23 géneros, distribuidos en 11 familias; algunas se encontraban patinando sobre la película de agua, como Gerridae y Veliidae; otros se encontraron entre la hojarasca en fondos rocosos con aguas rápidas, como Hebridae, Mesoveliidae y Belostomatidae; especímenes de Gelastocoridae fueron capturados en arenas húmedas adyacentes a los ambientes acuáticos; los Corixidae se encontraron en aguas claras y corrientes, y en ocasiones en aguas lentas y poco profundas; los Naucoridae se capturaron sobre piedras, entre las hojarasca del fondo de aguas quietas hasta corrientes poco profundas; algunos otros chinches pueden ser nadadores muy activos.

como los Notonectidae que se capturaron en aguas claras y quietas, algunas veces con vegetación sumergida como en el caso del género *Buenaia*; los Hydrometridae y Nepidae fueron encontrados en las márgenes del río, entre hojas y raíces de aguas con algo de corriente.

Estudios realizados por Rodríguez & Bonilla (1999), en Los Corrales, reportaron 11 géneros pertenecientes a 8 familias, la mayoría de ellos coincidió con nuestros resultados, al igual que los de Quiroz & Villar (1999), quienes reportaron, para el Río Sábalo, las mismas familias. Según Rodríguez *et al.* (en prensa), los Hemiptera fueron los más abundantes, en la quebrada El Salto, en Las Palmas, con 18 géneros distribuidos en siete familias, destacándose Gerridae, Naucoridae y Veliidae como los mejor representados.

Los Odonata se encontraron representados por Zygoptera, con 10 géneros pertenecientes a 5 familias y Anisoptera, por 12 géneros y tres familias. Las ninfas de Odonata fueron capturadas a todo lo largo del río, con variaciones en el hábitat; los Zygoptera, sobre y entre las rocas, en aguas claras, rápidas o lentas, siendo los géneros *Argia* y *Palaemnema* los más representados; los géneros *Palaemnema*, *Heteragrion*, *Hetaerina*, *Argia*, *Acanthagrion* y *Telebasis* fueron capturados sobre rocas en aguas lentas o rápidas, y los géneros *Amphiagrion*, *Nehalennia*, *Neoneura* y *Protoneura* sólo se encontraron en aguas rápidas, aparentemente bien oxigenadas. Los Anisoptera fueron encontrados en fondos rocosos con abundante vegetación sumergida y escasa corriente; algunos fueron encontrados entre la vegetación emergente, con cierto grado de corriente.

Rodríguez *et al.* (en prensa), en la quebrada El Salto, encontraron tres familias de Anisoptera y cuatro familias de Zygoptera, coincidentes con nuestro estudio. Rodríguez & Bonilla (1999) reportaron para Los Corrales cuatro familias y 13 géneros de Odonata; en donde Los Zygoptera tuvieron una representación similar a la encontrada en nuestro estudio.

Del orden Coleoptera se capturaron 13 géneros pertenecientes a siete familias, siendo *Psephenops* el género más representativo; éste se encontró adherido a piedras en aguas tanto lentas como rápidas. La mayoría de los Coleoptera fueron capturados tanto en ambientes lóticos como lénticos; en los ambientes lóticos se capturaron

representantes de las familias Elmidae, Dryopidae y Ptilodactylidae entre la hojarasca sumergida y emergente, sobre piedras, con aguas claras, limpias y bien oxigenadas; en los ambientes lénticos se capturaron especímenes de las familias Hydrophilidae y Dytiscidae, que poseen patas largas y delgadas, con cerdas natatorias y fueron capturados nadando libremente en aguas claras con escasa vegetación sumergida. Los Staphilinidae fueron capturados sobre rocas, ocasionalmente patinando sobre aguas tranquilas.

Wittgren & Villanero (1998), en el Río La Villa, reportaron dos géneros, pertenecientes a dos familias, de las cuales una se encontró en nuestro estudio, sin embargo, reportaron el género *Cybister* para la familia Dytiscidae, que habita aguas someras, limpias y con altas concentraciones de oxígeno. Rodríguez & Bonilla (1999), en Los Corrales, reportaron cinco géneros y cuatro familias de Coleoptera, en donde el género *Psephenops* fue el más común. Quiroz & Villar (1999) en el Río Sábalo encuentran cinco familias de Coleoptera, que coinciden con nuestro estudio, así como también en la distribución por hábitat. En la quebrada El Salto, Rodríguez *et al.* (en prensa) encontraron que la familia Psephenidae fue la segunda más abundante, siendo *Psephenops* el género comúnmente encontrado en todas las estaciones.

En cuanto a los Ephemeroptera, se capturaron 11 géneros distribuidos en seis familias; algunos Baetidae, Heptageniidae y Leptophlebiidae se capturaron sobre las piedras en aguas rápidas, limpias y bien oxigenadas; en cambio, especímenes de Tricorythidae, Euthyplociidae y Caenidae, fueron encontrados entre hojarascas en sitios con aguas claras y bien oxigenadas y otras veces sobre rocas con sedimento. Rodríguez & Bonilla (1999) reportaron cinco de las familias encontradas en nuestro estudio, todas capturadas en substratos rocosos; Quiroz & Villar (1999) reportaron tres familias: Baetidae, Leptophlebiidae y Tricorythidae, encontradas en ambientes lóticos, con aguas limpias y bien oxigenadas, adheridos a hojas, rocas y entre la vegetación sumergida o en fondos arenosos; estos también fueron encontrados en aguas limpias y bien oxigenadas en el Río La Villa por Wittgren & Villanero (1999).

Se capturaron 12 géneros y siete familias de Trichoptera encontrados entre hojarascas, sobre rocas, con aguas rápidas, claras y bien oxigenadas; los géneros más comunes fueron *Smicridea*, *Leptonema* y *Helicopsyche*. Rodríguez & Bonilla (1999), reportaron estos géneros indicando que *Leptonema* fue el más común, y capturado entre hojarascas en fondos fangosos y arenoso, otras veces adheridos a piedras con aguas rápidas. Quiroz & Villar (1999) reportaron la familia Hydropsychidae, sin especificar el género. Rodríguez *et al.* (en prensa) reportaron para la quebrada El Salto de Las Palmas seis familias Trichoptera, sobresaliendo Hydropsychidae, Philopotamidae y Polycentropodidae, que fueron comunes en todas las estaciones.

Del orden Diptera se capturaron nueve géneros y cinco familias, encontrados en fondos rocosos con material vegetal, aguas claras y bien oxigenadas; los Tipulidae, Stratiomyidae, Simuliidae y Chironomidae se encontraron en el detritos depositado sobre fondos rocosos en aguas someras, en tanto que la familia Culicidae fue capturada en la superficie de aguas, claras y bastante lentas. En Los Corrales, Rodríguez & Bonilla (1999) reportaron dos familias, de las cuales Chironomidae también fue encontrada en nuestro trabajo; ésta fue capturada en fondos arenosos entre hojarascas y material en descomposición. En el Ciruelito, Quiroz & Villar (1999) reportaron dos familias coincidentes con nuestro estudio, Culicidae y Chironomidae que se recolectaron en las orillas, debajo de piedras, en aguas lentas o rápidas, en fondos arenosos o fangosos, y con abundante materia orgánica en descomposición. Rodríguez *et al.* (en prensa) reportaron las familias Culicidae, Chironomidae, Simuliidae, Stratiomyidae y Tipulidae y su distribución por hábitat coincide con nuestros resultados. En el Río La Villa, Wittgreen & Villanero (1998) reportaron el género *Chironomus*, que fue capturado en fondo arenoso o rocoso con poca hojarasca y aguas rápidas.

Los órdenes menos representados fueron Lepidóptera, Plecoptera y Neuróptera. En cuanto a Lepidoptera, sólo se capturó el género *Petrophila* perteneciente a la familia Pyralidae, la cual se encontró en aguas corrientes, limpias, bien oxigenadas en todas las estaciones; las larvas construyen casas de material sedoso en la cual se pueden mover libremente y le sirven para capturar alimento. Esta familia fue reportada en el trabajo realizado por Rodríguez *et al.* (en prensa).

De Plecoptera, se capturó el género *Anacroneuria* muy común sobre rocas y entre hojarascas en aguas limpias, claras y bien oxigenadas; y que se considera indicador de buena calidad biológica de agua. El género *Anacroneuria* fue reportado en la quebrada El Salto por Rodríguez *et al.* (en prensa); en Los Corrales, por Rodríguez & Bonilla (1999), y en Los Ciruelitos de Atalaya, por Quiroz & Villar (1999), todos fueron encontrados en fondos rocosos con aguas limpias y bien oxigenadas. Según Roldán (1988), el género *Anacroneuria* vive en aguas rápidas, bien oxigenadas en los fondos rocosos debido a su hábito alimenticio, es allí donde se acumulan detritos y algas, las cuales constituyen su principal fuente alimenticia.

De Neuroptera, se capturó el género *Corydalus* que, al igual que *Petrophila* y *Anacroneuria*, fueron encontrados en todas las estaciones debajo de piedras y entre hojarascas con aguas claras y corrientes. Este grupo fue reportado por Wittgren & Villanero (1998), Rodríguez & Bonilla (1999), Quiroz & Villar (1999), Rodríguez & Sánchez (2001) y por Rodríguez *et al.* (en prensa), todos encontrados en fondos rocosos con aguas corrientes.

Los Collembola constituyen un grupo muy particular que, aunque no son enteramente acuáticos, se encuentran asociados a dichos ambientes; es un grupo primitivo y debido a su tamaño son difíciles de capturar; sin embargo, algunos especímenes fueron capturados en las estaciones No.1 y No. 2, en los márgenes de las rocas con aguas más o menos lentas, claras y bajo sombra.

CONCLUSIONES

En el Río Tribique, se determinaron 98 géneros de insectos acuáticos, distribuidos en 48 familias y 11 órdenes.

Los órdenes de insectos más comunes en nuestro estudio en cuanto al número de familias y géneros fueron: los Hemiptera con 11 familias y 22 géneros; los Odonata con ocho familias y 22 géneros; los Coleoptera con siete familias y 15 géneros; los Trichoptera con siete familias y 13 géneros y los Ephemeroptera con seis familias y 12 géneros.

Los ordenes Lepidoptera, Neuroptera, Plecóptera y Collembola presentaron una familia y un género cada uno.

ABSTRACT

In order to determine the families and genera of aquatic insects that live in Tribique river, District of Sona, Province of Veraguas, Republic of Panama; a collecting program was conducted since January till June, 2001. We collected 11 insects orders assorted in 48 families and 98 genera. The insects were collected using a D-net with a mesh of 1 mm., also we use forceps in rocky substrate lodge. The most representative orders according to the number of families and genera were: The Hemiptera with 11 families and 22 genera; Odonata with eight families and 22 genera; Coleopteran with seven families and 15 genera; Trichoptera with seven families and 13 genera, and Ephemeroptera with six families and 12 genera. Diptera only was represented by five families and nine genera while, Lepidoptera, Neuropteran, and Plecoptera by only one family and one genera for each one.

KEY WORDS

Aquatic insects, Tribique river.

REFERENCIAS

Daly, H. V. 1988. General Classification and Key Orders of Aquatic and Semiaquatic Insects. In An Introduction to the Aquatic Insects of North America. Second Edition. Eds: Merritt R. W. & Cummins, K. W. Debuque, Iowa: Kendall Hunt Publishing Company, pp 76-81.

Donnelly, T.W. 1992. The Odonata of Central Panama and their position in the neotropical Odonate fauna, with a checklist, and descriptions of new species. In Insects of Panama and Mesoamerica selects studies. Eds: Quintero, D. & Aiello, A. University Press, pp 52-90.

Edmunds, G. F. 1988. Ephemeroptera. In An Introduction to the Aquatic Insects of North America. Second Edition. Eds: Merritt R. W. & Cummins, K. W. Debuque, Iowa: Kendall Hunt Publishing Company, pp 94-125.

Evans, E. D. & H. H. Neuazig. 1988. Megaloptera and Aquatic Neuroptera. In An Introduction to the Aquatic Insects of North America. Second Edition. Eds: Merritt R. W. & Cummins,

K. W. Debuque, Iowa: Kendall Hunt Publishing Company, pp 261-270.

Lange, W. H. 1988. Aquatic and Semiaquatic Lepidoptera. In *An Introduction to the Aquatic Insects of North America*. Second Edition. Eds: Merritt R. W. & Cummins, K. W. Debuque, Iowa: Kendall Hunt Publishing Company, pp 348-360.

Novelo-Gutiérrez, R. 1997 a. Clave para la determinación de familias y géneros de náyades de Odonata de México Parte II. *Anisoptera. Dugesiana*, 4(2): 31-40.

Novelo-Gutiérrez, R. 1997 b. Clave para la separación de familias y géneros de náyades de Odonata de México Parte I. *Zigoptera. Dugesiana*, 4(1): 1-10.

Pennack, R. W. 1978. *Fresh Water Invertebrates of the United States*. John Wiley & Sons. New York. pág. 464-803.

Polhemus, J. T. 1988. Aquatic and Semiaquatic Hemiptera. In *An Introduction to the Aquatic Insects of North America*. Second Edition. Eds: Merritt R. W. & Cummins, K. W. Debuque, Iowa: Kendall Hunt Publishing Company, pp 231-260.

Power, M. E., R. J. Stout, C. E. Cushing, P. P. Harper, F. R. Hauer, W. J. Matthews, P. B. Moyle, B. Statzner & I. R. De Babgen. 1988. Biotic and Abiotic Control in River and Stream Communities. *J. N. Am. Benthol. Soc.*, 7(4):456-479.

Quirós T., L. M. & E. L. Villar. 1999. Estudio Taxonómico de Insectos Acuáticos del Ciruelito del Distrito de Atalaya, Provincia de Veraguas, República de Panamá. Facultad de Ciencias Naturales y Exactas, Escuela de Biología, Tesis, Universidad de Panamá. 77 pp.

Rodríguez, V. & E. Bonilla. 1999. Estudio Taxonómico de la Comunidad de Insectos Acuáticos en Los Corrales, Distrito Cabecera de San Francisco, Provincia de Veraguas, República de Panamá. *Scientia*. Vol. 14(2): 65-77.

Rodríguez, V. & N. Sánchez. 2001. Entomofauna Acuática asociada al Río Santa Clara en Veraguas, República de Panamá. *Tecnociencia* Vol. 3(2): 73- 87

Rodríguez, V., M. L. Barrera & Y. A. Delgado (en prensa). Insectos acuáticos de la Quebrada El Salto, en Las Palmas de Veraguas, Panamá. *Scientia*. Vol. 15(1).

Roldán, G.1988. Guía para el estudio de los macro invertebrados acuáticos. Dep. de Antioquia, Fondo para la Protección del Medio ambiente. Bogotá, Colombia. 220 pp.

Wallace, J. B. & R. J. Webster. 1996. The Role of Macroinvertebrates in Stream Ecosystem Function. *Annu. Rev. Entomol.*, 41:115-139.

Warren, C. H. E.1971. Biology and water pollution control. W. B. Saunders Co., Philadelphia. 434 pp.

Westfall Jr., M. J. (1988). Odonata. In *An Introduction to the Aquatic Insects of North America*. Second Edition. Eds: Merritt R. W. & Cummins, K. W. Debuque, Iowa: Kendall Hunt Publishing Company, pp 126-176.

White, D.S., W. N. Brigham & J. T. Doyen.1988. In *An Introduction to the Aquatic Insects of North America*. Second Edition. Eds: Merritt R. W. And Cummins, K. W. Debuque, Iowa: Kendall Hunt Publishing Company. pp 361-437.

Wiggins, G.B. 1988. Trichoptera. In *An Introduction to the Aquatic Insects of North America*. Second Edition. Eds: Merritt R. W. & Cummins, K. W. Debuque, Iowa: Kendall Hunt Publishing Company. pp 270-311.

Wittgren, Z. & S.Villanero, 1998. Inventario de Macroinvertebrados en el Río La Villa, Península de Azuero. Tesis de Licenciatura. Universidad de Panamá. 89 pp.

AGRADECIMIENTOS

Los autores expresan sus más sinceros agradecimientos a los profesores Omar Batista, Angel J. Vega y Nádila Sanjur, por sus

comentarios. De manera muy especial, consignamos nuestra gratitud a los revisores anónimos y a todas aquellas personas que hicieron posible la culminación del presente trabajo, muy especialmente a Nélida Gómez por su apoyo con materiales.

Recibido agosto del 2002, aceptado septiembre del 2002.

ANEXOS

Cuadro N° 1. Insectos acuáticos colectados en el Río Tribique, Distrito de Soná, Provincia de Veraguas, República de Panamá.

ORDEN	SUB ORDEN	FAMILIA	GÉNERO
Hemiptera		Gerridae	<i>Eurygerris</i> <i>Limnogonus</i> <i>Brachymetra</i> <i>Trepobates</i>
		Hydrometridae	<i>Hydrometra</i>
		Nepidae	<i>Curicta</i> <i>Ranatra</i>
		Corixidae	<i>Tenegobia.</i> <i>sin determinar</i>
		Belostomatidae	<i>Belostoma</i>
		Veliidae	<i>Rhagovelia</i>
		Gelastocoridae	<i>Gelastocoris</i>
		Naucoridae	<i>Ambrysus</i> <i>Cryphocricos</i> <i>Limnocoris</i> <i>Pelocoris</i>
		Mesoveliidae	<i>Mesoveloidea</i> <i>Mesovelia</i>
		Hebridae	<i>Hebrus</i> <i>Megarrata</i> <i>Hipogomphus</i>
		Notonectidae	<i>Buena</i> <i>Martarega</i>
Odonata	Zygoptera	Coenagrionidae	<i>Argia</i> <i>Telebasis</i> <i>Acanthagrion</i> <i>Amphiagrion</i> <i>Nehalennia</i>
		Platistictidae	<i>Palaemnena</i>
		Megapodagrionidae	<i>Heteragrion</i>
		Calopterygidae	<i>Hetaerina</i>
		Protoneuridae	<i>Protoneura</i> <i>Neoneura</i>

Continuación Cuadro N° 1.

ORDEN	SUB ORDEN	FAMILIA	GÉNERO
Odonata	Anisoptera	Corduliidae	<i>Neocordulia</i>
		Gomphidae	<i>Phylogomphoides</i> <i>Progomphus</i> <i>Agriogomphus</i> <i>Erpetogomphus</i> <i>Archaeogomphus</i> <i>Phylocyclus</i>
		Libellulidae	<i>Libellula</i> <i>Dythemis</i> <i>Tauriphila</i> <i>Perithemis</i> <i>Pantala</i>
Coleoptera		Psephenidae	<i>Psephenops</i>
		Elmidae	<i>Narpus</i> <i>Macrelmis</i> <i>Stenelmis</i>
		Dryopidae	<i>Pelonomus</i> <i>Helichus</i> <i>Dryops</i>
		Ptilodactylidae	<i>Anchitarsus</i> <i>sin determinar</i>
		Staphylinidae	<i>Stenus</i>
		Hydrophilidae	<i>Tropisternus</i> <i>Deralus</i>
		Dytiscidae	<i>Laccophilus</i> <i>Dysticus</i> <i>sin determinar</i>
Ephemeroptera		Baetidae	<i>Baetis</i> <i>Moribaetis</i> <i>Baetodes</i> <i>Dactylobaetis</i>
		Leptophlebiidae	<i>Traverella</i> <i>Thraulodes</i> <i>Terpides</i>

Continuación Cuadro N° 1.

ORDEN	SUB ORDEN	FAMILIA	GÉNERO
Ephemeroptera		Tricorythidae	<i>Tricorithodes</i> <i>Leptolyphes</i>
		Euthyplociidae	<i>Euthyplocia</i>
		Caenidae	<i>Caenis</i>
		Heptageniidae	<i>sin determinar</i>
Trichoptera		Hydropsychidae	<i>Smicridae</i> <i>Leptonema</i>
		Helicopsychidae	<i>Helicopsyche</i>
		Policentropodidae	<i>Policentropus</i>
		Philopotamidae	<i>Chimarra</i>
		Glossosomatidae	<i>Protoptila</i>
		Leptoceridae	<i>Triplectides</i> <i>Atanatolica</i> <i>Oecetis</i> <i>sin determinar</i>
		Hydroptilidae	<i>Zumatrichia</i> <i>Ochrotrichia</i> <i>Palaeagapetus</i>
Diptera	Nematocera	Tipulidae	<i>Hexatoma</i>
			<i>Limonia</i>
			<i>Molophilus</i>
		Simuliidae	<i>Simulium</i>
		Culicidae	<i>Culex</i>
			<i>Anopheles</i> <i>Aedes</i>
	Brachycera	Chironomidae	<i>Chironomus</i>
		Stratiomyidae	<i>Odontomyia</i>
Lepidoptera		Pyralidae	<i>Petrophylla</i>
Plecoptera		Perlidae	<i>Anacroneturia</i>
Neuroptera		Corydalidae	<i>Corydalus</i>
Collembola		<i>sin determinar</i>	<i>sin determinar</i>



PECES ASOCIADOS A ARRECIFES Y MANGLARES EN EL PARQUE NACIONAL COIBA

ANGEL J. VEGA¹ Y NELVA VILLARREAL²

¹Universidad de Panamá, Centro Regional Universitario de Veraguas, Escuela de Biología. Tel. 958 7623. Fax. 958 7622.

email: angeljv@cwpa.net.pa

²ANAM, Santiago de Veraguas

RESUMEN

De enero de 1998 hasta enero de 1999 se realizaron siete muestreos de la fauna ictiológica en el sector noreste del Parque Nacional Coiba, Provincia de Veraguas. El propósito fue realizar un inventario de las principales especies de peces asociadas a arrecifes y manglares en dicho Parque. Para el inventario se utilizaron diferentes técnicas de muestreo, tales como: trasmallos, redes de mano, bolsas plásticas, trampas, arpón, censos visuales y se realizaron dos arrastres con barco camaronero frente al islote de Granito de Oro. Se recolectaron un total de 10 especies, agrupadas en 7 familias para los peces cartilaginosos, mientras que para los peces óseos se recolectaron 156 especies agrupadas en 57 familias.

PALABRAS CLAVES

Peces marinos, Parque Nacional Coiba, arrecifes, manglares, inventario.

INTRODUCCIÓN

El Pacífico de Veraguas, por ser una zona de interés pesquero, se ha convertido en un área importante para la descripción de la biodiversidad; sin embargo, son pocos los trabajos que se preocupan por la evaluación de los recursos ya explotados. Con relación a los peces, existe el trabajo de Beleño & Adames (1992), en el cual se

comunican 28 especies de interés comercial, pertenecientes a cinco familias: Sciaenidae, Lutjanidae, Mugilidae, Scombridae y Serranidae. Vega (1994) recolectó en el área de Perdomo e Isla Verde, Golfo de Montijo, 334 ejemplares pertenecientes a 55 especies.

Dentro del Pacífico veraguense, el Parque Nacional Coiba es un área donde se encuentra una gran diversidad y riqueza de especies marinas, ya que existen diferentes tipos de hábitats, entre los cuales tenemos zonas rocosas, áreas de manglar y arrecifes de coral. A pesar de esto, es poco lo que se conoce con relación a los recursos pesqueros, y se reconoce que se desarrollan diversas actividades, tales como pesca submarina, artesanal y comercial, sobre todo con ejemplares de gran tamaño, como el mero, pargo y jurel. Este tipo de actividad en la que se pueden utilizar métodos sencillos de pesca o barcos camaroneros, ha contribuido paulatinamente a la disminución de la composición ictiofaunística del Parque (Glynn & Maté 1996; CPPS/PNUMA, 1997). Dentro de los ecosistemas costeros, los arrecifes ya sea de coral o rocoso y los manglares juegan un importante papel como zona de cría, refugio o alimentación para muchas de las especies de peces, por tal motivo nos propusimos como objetivo realizar un inventario de la ictiofauna asociada a estos ecosistemas en el Parque Nacional Coiba.

PARTE EXPERIMENTAL

El Parque Nacional Coiba se localiza al sudoeste de la República de Panamá, en la vertiente del Pacífico, en el borde suboriental del Golfo de Chiriquí. Se sitúa entre las coordenadas geográficas 7° 10' 4" y 7° 53' 27" N y 81° 32' 35" y 81° 56' 15" O. Ocupa una superficie de 270 125 Ha (2 701.25 Km²), de las cuales 53 528 corresponden a territorio insular y el resto, 216 543 hectáreas, es área marina, lo que lo convierte en uno de los Parques Nacionales con mayor superficie marina protegida del mundo (Cardiel, *et al.* 1997) (Fig. 1).

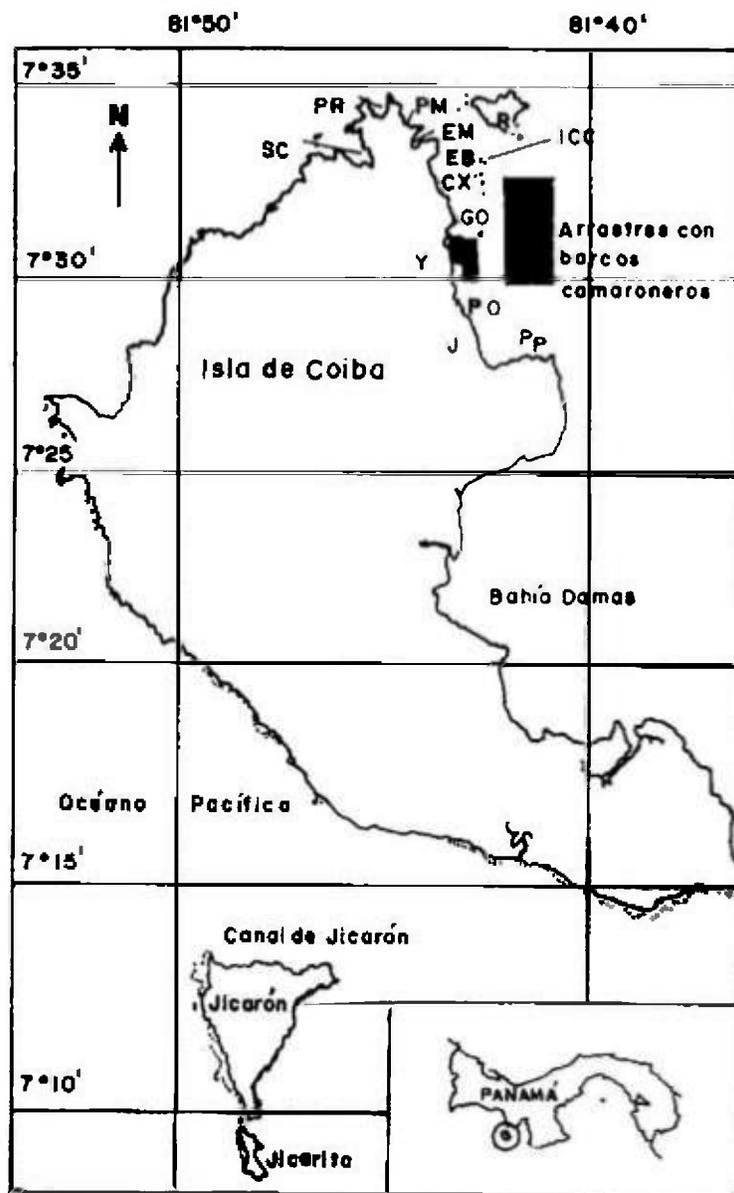


Fig.1. Sitios de muestreo, Parque Nacional Coiba, Pacífico Panameño.

Muestreos

El periodo de muestreo abarcó desde enero de 1998 hasta enero de 1999. Las visitas al área de estudio se realizaron cada dos (2) meses,

con una duración de 10 a 15 días. Para los muestreos, se seleccionaron áreas de formaciones coralinas, fondos rocosos intermareales con parches de arrecifes de coral y fondos arenosos, además de ecosistemas de manglar, y se utilizaron los siguientes aparejos de pesca: redes playeras o chinchorros (30 x 1.5 m x 0.64 cm de malla); trasmallos de 7.53, 8.75 y 10 cm de luz de malla, con un esfuerzo de muestreo de 4 horas y dos lances por estación; atarrayas (2.5 m de diámetro con malla de 2 cm), líneas con anzuelos, trampas (redes transparentes o negras montadas en un aro de 50 ó 100 cm. de diámetro provistas con una cuerda para halarla hacia arriba; las mismas se colocan en el fondo y dentro se coloca el cebo y Nasas). También se utilizaron arpones, así como reconocimientos visuales por buceo.

Los ejemplares capturados fueron identificados según: Bussing & López (1993), Allen & Robertson (1994) y FAO (1995). Los ejemplares que no pudieron identificarse en el campo, fueron fijados con formol al 10 % y luego conservados en alcohol etílico al 70 % en el Laboratorio de Zoología del Centro Regional Universitario de Veraguas, para su posterior identificación taxonómica. El ordenamiento taxonómico sigue los criterios de Allen & Robertson (1994).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Se identificaron un total de 166 especies de peces, las cuales están divididas en dos grupos: cartilaginosos (tiburones y rayas) y óseos. Los peces cartilaginosos estuvieron representados por 10 especies y siete familias y los óseos por 156 especies, incluidas en 107 géneros y 58 familias (Cuadro 1).

Al comparar nuestros resultados con trabajos realizados en ambientes similares obtenemos que para el Atolón de Clipperton (Pacífico Oriental Tropical), Allen & Robertson (1997) comunican 115 especies, 89 géneros en 43 familias. Por otro lado, Garrison *et al.* (1998) comunican un total de 59 especies incluidas en 23 familias para el Parque Nacional Islas Vírgenes (Atlántico americano) y para el Indopacífico se comunican 373 especies en 41 familias en Bolinao (Mc Manus *et al.* 1992).

Estudios realizados en áreas más cercanas fueron hechos por Phillips & Perez - Cruet (1984), en el Parque Nacional Cahuita (Caribe) y el Parque Manuel Antonio (Pacífico) en Costa Rica; estos demostraron la presencia en el Parque Cahuita de 49 especies agrupadas en 21 familias y en el Parque Nacional Manuel Antonio de 39 especies y 21 familias. Rojas *et al.* (1994) determinaron la diversidad y abundancia de la fauna ictiológica asociada a zonas de manglar en el Golfo de Nicoya, donde recolectaron 74 especies (44 géneros, 25 familias). Martínez *et al.* (1994) comunican para el Pacífico panameño un total de 113 especies agrupadas en 62 familias en recolectas realizadas en diferentes zonas, como áreas de manglar, arrecifes de coral y zonas rocosas, localizadas en la entrada Pacífica del Canal de Panamá. Vega (1994) comunicó 55 especies en un inventario preliminar en el Golfo de Montijo.

Como se puede observar, a excepción de la región Indopacífica, los restantes estudios indican una riqueza de especies inferior a la encontrada en nuestro trabajo, lo que pone de manifiesto la importancia del área de estudio en función de albergar una alta diversidad específica.

Análisis del inventario por ecosistemas y por familias

Las técnicas de muestreo permitió recolectar información de diferentes ecosistemas. De las estaciones seleccionadas, Santa Cruz representa una formación estuarina con amplias extensiones de manglar. Cerro equis (x) y Yucal son pequeñas formaciones de manglar que quedan muy cerca de ambientes arrecifales (Estación Biológica, Cocos, Ranchería y Granito de Oro). Los arrastres con camaroneros se realizaron sobre fondos arenosos, a 50 m de profundidad, aproximadamente, muy cerca a zonas de arrecifes.

El análisis del Cuadro 1 permite decir que del total de especies capturadas, 18 sólo se encontraron en manglares, 92 en arrecifes, ya sea de coral o rocosos, y 39 son comunes a ambos ecosistemas. La existencia de manglares cerca de los arrecifes permite el movimiento de algunas especies entre estos ecosistemas, por lo que la ictiofauna se convierte en un importante grupo de organismos que permite el intercambio de materia y energía entre estos ecosistemas. A pesar de que los arrastres con barcos camaroneros no necesariamente reflejan

un ecosistema, se incluyen los resultados obtenidos por este método, ya que 17 especies sólo se lograron capturar de dicha forma.

El análisis por familias nos indica que las familias Carangidae y Haemulidae dominan en cuanto a cantidad de especies con 13 y 12, respectivamente. También se reconocen a las familias Lutjanidae, Muraenidae, Pomacentridae y Serranidae como familias dominantes con ocho especies, seguidas de las familias Labridae y Tetraodontidae, con seis especies cada una.

Siguiendo el criterio de FAO (1995), del total de especies capturadas, al menos 27 son de interés comercial, destacando las familias Carangidae con siete, Lutjanidae con siete y Haemulidae con 6 especies.

La relación de familias y especies resulta interesante, ya que refleja la condición actual de la ictiofauna del área en estudio, y cualquier cambio en el futuro en función del tipo de actividad que se quiera realizar en el Parque, por ejemplo pesquera o turística, puede impactar la condición del recurso, lo que se reflejaría en la relación de especies encontrada.

CONCLUSIONES

El Parque Nacional Coiba representa una de nuestras principales áreas protegidas, sobre todo por su estado de conservación y por ser uno de los pocos parques marinos. La determinación de 166 especies de peces asociados a manglares y arrecifes, en una pequeña extensión del parque, permite decir que dicho parque alberga una alta diversidad específica. Sin duda la información obtenida a través de esta investigación repercutirá de manera positiva en la gestión de manejo del parque, pues el conocimiento de lo que se quiere manejar es sin duda alguna una premisa importante dentro de los planes de manejo de áreas protegidas.

ABSTRACT

From January 1998 to January 1999, were taken seven samples from the ichthyofauna at Coiba National Park on its northeast side; located in the Veraguas province. Our purpose was to get an inventory of main species associated to reefs and mangrove areas. To do this inventory we used different techniques of taking samples, such as

trammel and nets, plastic bags, traps, harpoon and visual census. There was done two drayage with a shrimp boat in front of "Granito de Oro". It were collected a total of ten (10) species grouped in seven (7) families relating the cartilaginous fish and fifty seven (57) families of osseus fishes includend in one hundred and seven (107) generes and one hundred and fifty six (156) species.

KEYWORDS

Marine Fishes, Coiba National Park, Reef, Mangrove, Checklist.

REFERENCIAS

Allen, G. R. & D. R. Robertson. 1994. Fishes of the Tropical Eastern Pacific. University of Hawaii press. Honolulu. Hawaii. 332 pp.

Allen, G. R. & D. R. Robertson. 1997. An annotated checklist of the fishes of Clipperton Atoll, Tropical Eastern Pacific. Rev. Biol.Trop., 45(2): 813-843.

Beleño, F. & P. Adames. 1992. Estudio de la abundancia y determinación taxonómica de las especies de peces comerciales del Pacífico veraguense. Tesis de licenciatura, Universidad de Panamá. 96 pág.

Bussing, W.A. & S. M. Y. López. 1993. Peces demersales y pelágico costeros del Pacífico centroamericano meridional. Publicación especial de la Rev. Biol. Trop. Guía ilustrada, 163 pp.

Cardiel, J.M., S. Castroviejo & M. Velayos. 1997. El Parque Nacional de Coiba: El Medio Físico. En: Flora y Fauna del Parque Nacional de Coiba (Panamá): Inventario Preliminar. Ed. Científico: S. Castroviejo. Impreso en España: 11- 30.

CPPS/PNUMA. 1997. Diversidad biológica costera y marina del Parque Nacional Coiba, Panamá: Una propuesta al plan de manejo. CPPS/PNUMA/PSE/IE (97) 4.

FAO. 1995. Guía FAO para la identificación de especies para los fines de la pesca. Pacífico Centro Oriental. Vol. I, II y III. Organización de las Naciones Unidas Para la Agricultura y la Alimentación, Roma.

Glynn, P. W. & J. L. Mate. 1996. Field Guide to the Pacific Coral Reef of Panama. 8th International Coral Reef Symposium. 34 pp.

Garrison, V. H., C. S. Rogers & J. Beets. 1998. Of reef fishes, overfishing and in situ observations of fish traps in St. Jhonn U. S. Virgin Islands. *Rev. Biol. Trop.*, 46 suppl. 5:41-59, 1998.

Martinez, V.V., J.A. Martinez & J. Villalaz G. 1994. Los peces y los macroinvertebrados. En: El inventario biológico del canal. I El estudio Marino. Eds. L. D' Croz, V. Martinez. V & G. Arosemena. *Scientia*. 8:(2) 127-144.

Mc Manus, J. W., C. L. Nañola, R. B. Reyes & K. N. Kensner. 1992. Resorce ecology of the Bolinao coral reef system. *ICLARM Stud. Rev.* 22, 117 p.

Phillips J. C. & M. Perez – Cruet. 1984. A Comparative Survey of Reef Fishes in Caribbean and Pacific Costa Rica. *Rev. Biol. Trop.*; 32(1): 95-102.

Rojas M., J.R., J.F. Pizarro & M. Castro 1994. Diversidad y abundancia íctica en tres áreas de manglar en el Golfo de Nicoya, Costa Rica. *Rev. Biol. Trop.*, 42 (3): 663-672.

Vega, A.J. 1994. Peces del Golfo de Montijo. Provincia de Veraguas. Rep. de Panamá: Inventario Preliminar. *Scientia*: 9(2): 33-38.

Recibido julio del 2002, aceptado septiembre del 2002.

ANEXOS

Cuadro N°1. Peces recolectados u observados para el Parque Nacional Coiba por sitio de muestreo (enero 1998 - enero 1999). CX: Manglar frente a Cerro equis, YU: Yucal, SC: Santa Cruz, EB: Estación Biológica, GO: Granito de Oro, IC. Isla Cocos, PM: Playa Machete, PR: Playa Rosario, PO: Playa Orquidea, RA: Ranchería, AC: Barco Camaronero.

FAMILIA	ESPECIE	Manglares		Arrecifes de coral o rocosos								
		CX	YU	SC	EB	GO	IC	PM	PR	PO	RA	AC
CHONDRICHTHYES												
SELACHIMORPHA												
Carcharinidae	<i>Carcharimus leucas</i>	X	X	X	X							
	<i>C. limbatus</i>		X		X							
Haemigalidae	<i>Triaenodon obesus</i>				X							
Ginglymostomatidae	<i>Ginglymostoma cirratum</i>		X			X						
BATOIDIMORPHA												
Dasyatidae	<i>Dasyatis longus</i>											X
Narcinidae	<i>Diplobates ommata</i>											X
	<i>Narcine entemedor</i>											X
Rhinobatidae	<i>Rhinobatos productus</i>											X
Urolophidae	<i>Urobatis halleri</i>					X						
	<i>Urotrigon chilensis</i>											X
OSTEICHTHYES												
Acanthuridae	<i>Acanthurus xanthopterus</i>	X			X	X						
	<i>A. nigricans</i>					X	X					
	<i>A. triostegus</i>					X	X					
	<i>Prionurus laticlavus</i>					X	X					
Achiridae	<i>Achirus mazatlanus</i>											X
Antennariidae	<i>Antennarius sanguineus</i>								X			
	<i>Antennatus strigatus</i>								X			
Apogonidae	<i>Apogon dovii</i>				X	X			X			
Aridae	<i>Selenaspis dowii</i>	X	X	X								
Atherinidae	<i>Membras gilberti</i>				X							
Aulostomidae	<i>Aulostomus chinensis</i>				X							
Balistidae	<i>Balistes polydipis</i>								X			X
	<i>Pseudobalistes naufragium</i>					X	X		X			
	<i>Sufflamen verres</i>						X					
	Especie n						X					
Batrachoididae	<i>Daector reticulata</i>											X
Belontiidae	<i>Tylosurus crocodrilus</i>					X						
	<i>Ablennes hians</i>					X						
Blenniidae	<i>Plagiotremus azaleus</i>					X	X		X			
	<i>Ophioblennius steindachneri</i>					X						
Carangidae	<i>Alectis ciliaris</i>	X	X		X							
	<i>Caranx caballus</i>	X	X		X							
	<i>C. caninus</i>	X	X	X	X							
	<i>C. melampygus</i>	X	X		X	X						
	<i>C. otrynter</i>											X
	<i>C. sexfasciatus</i>	X	X	X	X	X						
	<i>C. speciosus</i>	X		X	X							X
	<i>Decapterus macarellus</i>					X						

Continuación Cuadro N° 1.

FAMILIA	ESPECIE	Manglares			Arrecifes de coral o rocosos								
		CX	YU	SC	EB	GO	IC	PM	PR	PO	R	AC	
Carangidae	<i>Oligoplites altus</i>			X									
	<i>Elagatis bipinnulata</i>	X			X								
	<i>Selene brevoortii</i>		X										
	<i>Trachinotus rhodopus</i>	X	X		X								
	<i>Uraspis helvola</i>				X								
Carapidae	<i>Echeliophis dubius</i>							X					
Chanidae	<i>Chanos chanos</i>	X	X		X								
Centropomidae	<i>Centropomus medius</i>	X	X	X									
	<i>C. nigrescens</i>	X	X	X									
Chaenopsidae	<i>Chaenopsis alepidota</i>							X					
Chaetodontidae	<i>Chaetodon humeralis</i>					X	X	X					
	<i>Johnrandallia nigrirostris</i>					X	X						
Cirrhitidae	<i>Cirrhitichthys oxycephalus</i>					X			X				
	<i>Cirrhitus rivulatus</i>					X		X	X				
	<i>Opisthonema bulleri</i>					X							
Clupeidae	<i>O. medistrastre</i>					X							
	<i>Diodon histrix</i>					X	X						
Diodontidae	<i>D. holacanthus</i>					X			X			X	
	<i>Chilomicterus reticulatus</i>					X							
	<i>Elops affinis</i>	X	X		X								
Exocoetidae	<i>Cypselurus callopterus</i>			X	X	X	X	X			X		
Fistulariidae	<i>Fistularia Commersonii</i>					X						X	
	<i>E. gracilis</i>					X						X	
	<i>Eugerres brevimanus</i>	X											
	<i>Gerres cinereus</i>	X	X	X	X								
	<i>Gobiesox adustus</i>				X					X			
Gobiesocidae	<i>Bathygobius andrei</i>					X							
Gobidae	<i>Coryphopterus urospilus</i>					X							
	<i>Microgobius emblematicus</i>					X				X		X	
	<i>Pseudogramma thaumasium</i>					X							
Grammistidae	<i>Rypticus nigripinnis</i>					X						X	
	<i>Anisotremus caesius</i>			X									
Haemulidae	<i>A. dovii</i>					X							
	<i>A. interruptus</i>	X	X	X	X								
	<i>A. taeniamus</i>					X							
	<i>Haemulon maculicauda</i>	X			X	X		X					
	<i>H. sexfasciatum</i>	X			X								
	<i>H. scudderi</i>	X	X	X	X								
	<i>H. steindachneri</i>				X								
	<i>Fomadasys elongatus</i>											X	
	<i>P. leuciscus</i>	X	X									X	
	<i>P. macracanthus</i>			X									
Holocentridae	<i>Microlepidotus brevipinnis</i>			X									
	<i>Sargocentron suborbitalis</i>					X							
	<i>Myripristis leiognathus</i>					X							
	<i>M. berndti</i>					X							
	<i>M. berndti</i>					X							

Continuación Cuadro N° 1.

FAMILIA	ESPECIE	Manglares			Arrecifes de coral o rocosos								
		CX	YU	SC	EB	GO	IC	PM	PR	PO	RA	AC	
Kyphosidae	<i>Kyphosus analogus</i>	X	X		X	X							
	<i>K. elegans</i>	X	X		X	X							
	<i>Sectator ocyurus</i>	X	X	X	X								
Labridae	<i>Bodianus diplotenia</i>				X	X							
	<i>Halichoeres discolor</i>					X							
	<i>H. notospilus</i>				X	X							
	<i>Navaculichthys taeniourus</i>						X						
	<i>Thalassoma lucasanum</i>				X	X		X					
	<i>Xyrichtys pavo</i>					X							
	<i>Myripristis muriei</i>					X							
Labrisomidae	<i>Malacoctenus margaritae</i>	X				X			X				
	<i>Mniierpes macrocephalus</i>									X			
Lutjanidae	<i>Hoplopagrus guntheri</i>	X	X	X	X							X	
	<i>Lutjanus aratus</i>	X	X	X	X								
	<i>L. argentiventris</i>	X	X	X	X	X							
	<i>L. colorado</i>	X	X	X									X
	<i>L. guttatus</i>	X			X	X							X
	<i>L. novemfasciatus</i>	X	X	X	X								
	<i>L. peru</i>					X							X
	<i>L. viridis</i>						X					X	
Malacanthidae	<i>Malacanthus brevirostris</i>					X							
Mugilidae	<i>Mugil curema</i>	X	X	X	X								
Mullidae	<i>Mulloidichthys dentatus</i>	X			X	X							
	<i>Pseudopeneus grandisquamis</i>												X
Muraenidae	<i>Gymnothorax castaneus</i>					X	X						
	<i>G. undulatus</i>					X	X		X				
	<i>G. dovii</i>					X							
	<i>G. sp</i>						X						
	<i>G. equatorialis</i>												X
	<i>Gymnomuraena zebra</i>						X						
	<i>Echidna nebulosa</i>								X				
	<i>Echidna nocturna</i>									X			
Nematistidae	<i>Nematistius pectoralis</i>	X											
Ophichthidae	<i>Myrichthys maculosus</i>					X							
Paralichthyidae	<i>Citarichthys gilberti</i>												X
	<i>Cycloptera panamensis</i>												X
Poeciliidae	<i>Poecilopsis nurrubarensis</i>			X									
Polynemidae	<i>Polydactylus approximans</i>					X							
Pomacanthidae	<i>Holacanthus passer</i>					X	X		X				
	<i>Pomacanthus zonipectus</i>					X							
Pomacentridae	<i>Abudefduf concolor</i>	X				X	X		X			X	X
	<i>A. troschelii</i>					X	X		X				
	<i>Chromis atrilobata</i>					X	X		X				
	<i>Microspathodon bairdii</i>					X	X		X			X	

Continuación Cuadro N° 1.

FAMILIA	ESPECIE	Manglares			Arrecifes de coral o rocosos							
		CX	YU	SC	EB	GO	IC	PM	PR	PO	RA	AC
Pomacentridae	<i>M. dorsalis</i>				X	X					X	
	<i>Stegastes</i>				X	X						
	<i>acapulcoensis</i>				X	X						
	<i>S. flavilatus</i>				X	X		X			X	
	<i>S. rectifraenum</i>							X				
Priacanthidae	<i>Pistigenys serrula</i>				X							X
Scaridae	<i>Scarus ghobban</i>	X	X		X	X				X	X	
	<i>S. rubroviolaceus</i>					X						
Scarpaenidae	<i>Scorpaena</i> sp.							X				
	<i>S. plumiere mystes</i>				X							
Sciaenidae	<i>Umbrina xanti</i>	X	X	X	X							
	<i>U. analis</i>	X			X							
Scombridae	<i>Scoberomorus sierra</i>		X		X							
	<i>Euthynnus linneatus</i>				X							
Serranidae	<i>Alphistes</i>											X
	<i>multigitatus</i>											X
	<i>Diplectrum</i>											X
	<i>pacificum</i>											X
	<i>Epinephelus</i>				X	X						
	<i>labriformis</i>				X	X						
	<i>E. analagus</i>							X		X		X
	<i>E. itajara</i>				X	X		X				X
	<i>E. acanthistius</i>				X	X		X				X
	<i>E. panamensis</i>				X	X						
	<i>Serranus psittacinus</i>					X						
Sparidae	<i>Calamus</i>									X		
	<i>brachysomus</i>											
Sphyraenidae	<i>Sphyraena ensis</i>			X		X					X	
Syngnathidae	<i>Syngnathus nuliscus</i>							X				
	<i>Doryrhamphus</i>							X				
	<i>excisus</i>							X				
Synodontidae	<i>Synodus locertinus</i>							X				
	<i>S. sechurae</i>							X				
	<i>S. evermanni</i>											X
	<i>S. scituliceps</i>				X	X						
Tetraodontidae	<i>Arothron meleagris</i>				X	X		X				
	<i>A. hispidus</i>			X	X	X		X				X
	<i>Canthigaster</i>				X	X						
	<i>punctatissima</i>				X	X						
	<i>Sphoeroides</i> sp.			X								
	<i>S. annulatus</i>			X								
	<i>S. lobatus</i>			X		X						X
Triglidae	<i>Prionotus albirostris</i>				X							X
Zanclidae	<i>Zanclus cornutus</i>	X			X	X			X	X		

x = Presencia



CRECIMIENTO DEL CAMBUTE, *STROMBUS GALEATUS* (GASTROPODA: STROMBIDAE) EN EL PARQUE NACIONAL COIBA, PACÍFICO PANAMEÑO

Angel Javier Vega¹ y Francis Pérez²

¹Universidad de Panamá, Centro Regional Universitario de Veraguas, Escuela de Biología. e-mail: angeljv@cwpa.net.pa

²Universidad de Panamá, Centro Regional Universitario de Bocas del Toro

RESUMEN

En el Parque Nacional Coiba, Pacífico panameño, se realizaron, mediante buceo autónomo, observaciones sobre la biología del cambute (*Strombus galeatus*). El objetivo de la investigación fue establecer la tasa de crecimiento y realizar observaciones sobre la conducta y reproducción del cambute. Para los estudios se marcaron 88 individuos en abril de 1999, los cuales se mantuvieron en observación hasta enero de 2000, con recapturas mensuales, adicionalmente se realizaron recorridos desde la zona somera hasta los 20 m de profundidad buscando cambutes en proceso de cópula. De los resultados obtenidos se puede concluir que el cambute presenta un crecimiento promedio de 4.58 mm/mes, para tallas entre 100 y 200 mm. Para tallas cercanas a los 100 mm la tasa de crecimiento es de 8.21 mm/mes y para tallas cercanas a los 200 mm la tasa de crecimiento es de 1.73 mm/mes. El comportamiento de la especie muestra una estratificación por tallas en función de la profundidad y un patrón agregacional a profundidades superiores a los cinco metros durante la época reproductiva. Hembras desovando fueron observadas en julio - agosto y enero. La extracción ilegal por parte de los pescadores artesanales contribuye de manera importante al deterioro del recurso, pues capturan individuos juveniles y subadultos mermando el tamaño y la capacidad reproductiva de las poblaciones.

PALABRAS CLAVES

Strombus galeatus, cambute, Parque Nacional Coiba Gasteropoda, Crecimiento del cambute.

INTRODUCCIÓN

El cambute (*Strombus galeatus*) es un gasterópodo de la familia Strombidae, ampliamente distribuida en el Pacífico americano (Keen, 1971). Para el Parque Nacional Coiba, además de dicha especie, se han comunicado otras tres incluidas en dicha familia: *S. peruvianus*, *S. gracilior*, *S. granulatus* (Vega & González 2002). Debido al tamaño que alcanza, el cambute es reconocido como una especie de interés para la pesca y como tal es perseguido por los pescadores artesanales como una alternativa económica, por lo que las poblaciones de dicha especie han disminuido considerablemente (Fischer *et al.* 1995).

Varios son los estudios realizados para determinar algunos aspectos biológicos, ecológicos y reproductivos de especies de la familia Strombidae. Los resultados indican periodos de desoves estacionales asociados con factores físico-químicos; así como, patrones migratorios y agregacionales de las poblaciones en función de la actividad reproductiva (Stoner *et al.* 1996, Lagos *et al.* 1999 & Ospina *et al.* 1999). Para *S. galeatus*, se ha comunicado que habita fondos arenosos y rocosos; por lo general, se le encuentra a profundidades menores a los 15 m, presenta un comportamiento reproductivo agregacional, con sexos separados, dimorfismo sexual y proporción de sexos 1:1 (Arroyo 1998, Arroyo & Mena 1998).

Debido al poco conocimiento que se tiene sobre la biología de *S. galeatus* y a su importancia económica, el objetivo del presente trabajo fue realizar observaciones relacionadas con su crecimiento y reproducción en el Parque Nacional Coiba, Pacífico panameño.

MATERIAL Y MÉTODOS

El Parque Nacional Coiba está situado en aguas del Pacífico Oriental, próximo al Golfo de Montijo, en el borde sub-oriental del Golfo de Chiriquí, entre las coordenadas geográficas 7° 10' 44" y 7° 53' 27" N; y 81° 32' 35" y 81°56' 15" W (Fig. 1). Ocupa una superficie de 270 125 hectáreas (2701.25 km²), dentro de las cuales 53, 582 ha es territorio insular y el resto 216,543 ha, es área marina; lo cual la convierte en unos de los parques nacionales con mayor superficie marina protegida del mundo (Cardiel *et al.* 1997).

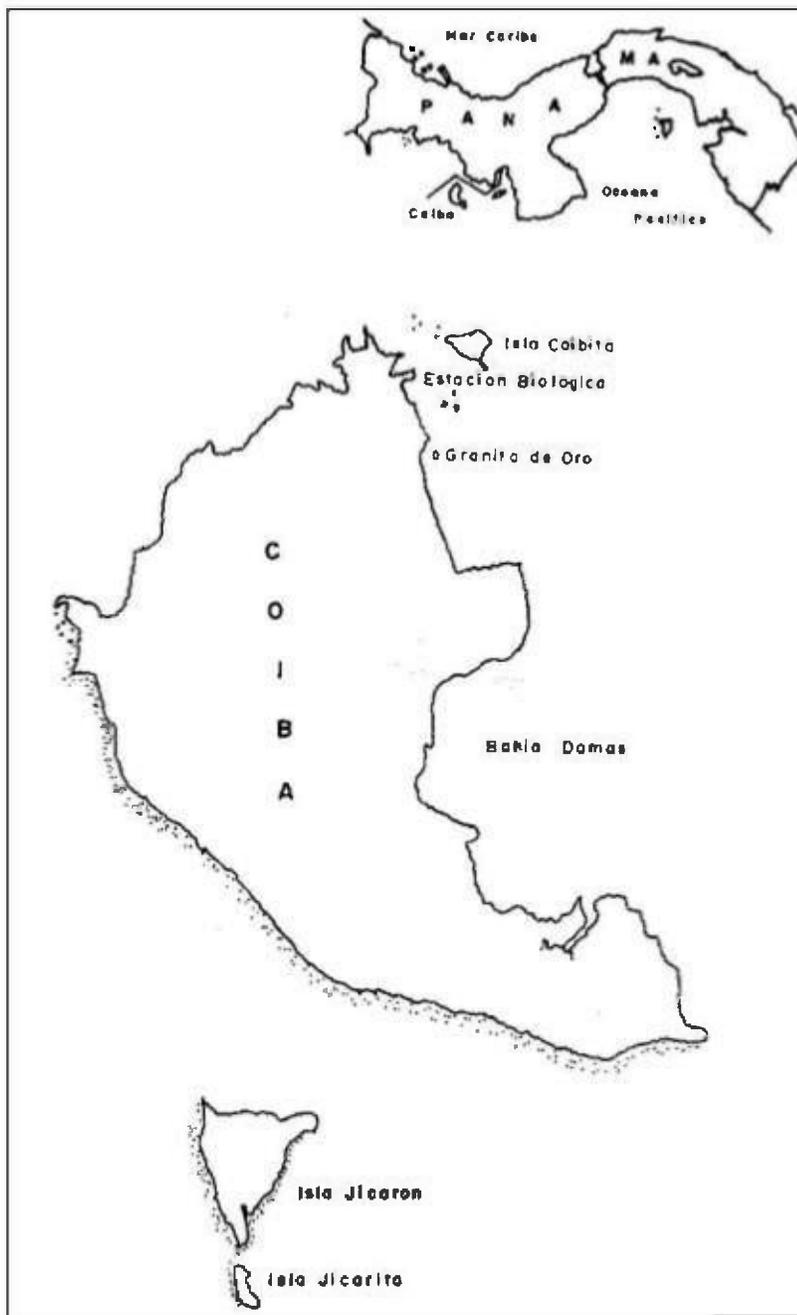


Fig.1. Islote Granito de Oro, Parque Nacional Coiba.

Dentro del área del parque, muy cerca de la estación biológica, se encuentra un islote (Granito de Oro) con un pequeño arrecife de coral dominado por el género *Pocillopora*, donde se localiza una población de *S. galeatus*. Dicha población fue considerada para realizar los estudios de crecimiento y reproducción, asumiendo que por la cercanía a la estación biológica estaba exenta de explotación por los pescadores artesanales. Los estudios se iniciaron en abril de 1999 y culminaron en enero de 2000. Se marcaron 88 individuos entre las tallas de 100 y 200 mm de longitud. Para las marcas se utilizaron etiquetas plásticas, las cuales se unieron a la parte superior del labio externo mediante un agujero con un segmento de nylon. Mensualmente y mediante buceo autónomo se recuperaban los caracoles marcados así como los no marcados. Una vez fuera del agua, en la zona de la playa, los caracoles fueron medidos con un vernier (± 0.01 mm) por su eje más largo. Después de medidos se determinó el sexo por reconocimiento del canal ovigero en las hembras o el pene en el macho. Después de la manipulación, los caracoles fueron devueltos al agua en el área donde fueron recogidos. Adicionalmente, se realizaron observaciones sobre agregaciones de caracoles, hembras desovando y sobre la distribución de tallas en función de la profundidad. También se realizaron determinaciones de salinidad y temperatura con un salinómetro YSI.

RESULTADOS

Temperatura y salinidad

El mayor valor de salinidad se determinó en mayo de 1999 y valores más bajos, tanto para la temperatura como para la salinidad se midieron en septiembre, coincidiendo con la época lluviosa. De manera general, la temperatura se mantuvo por encima de los 28 °C y la salinidad por encima de 30 ‰ durante todo el estudio (Fig. 2).

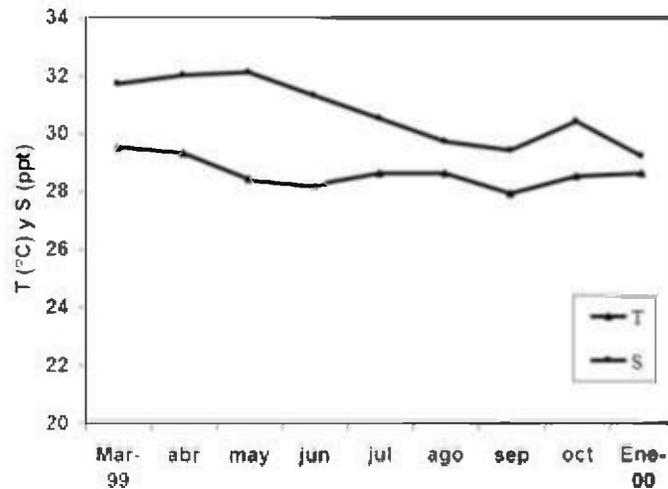


Fig. 2. Comportamiento de la temperatura y la salinidad en Granito de Oro, Parque Nacional Coiba.

Hábitat y distribución

Se encontraron especímenes de *S. galeatus* sobre el arrecife de coral y en la zona arenosa con pequeños parches de algas entre los 0.5 y 15 m de profundidad. El cambute se puede encontrar, sobre todo los de tallas menores, parcialmente enterrado en la arena, escondido entre el coral y sobre el fondo arenoso o de algas. Las algas encontradas pertenecen a los géneros *Padina*, *Dictyota*, *Rosenvingeeae*, *Hydroclathurus*, *Laurencia*, *Derbesia*, *Valonia*, *Monostroma*, *Chaetomorpha*, *Pocockiella*, *Amphyroa*, *Graciliaria*, *Hypnea*, *Digenia* y las especies *Caulerpa sertularioides* y *C. racemosa*. El coral dominante es *Pocillopora* sp, en buen estado de conservación. Es común encontrar a los individuos de menor talla y de labio delgado a poca profundidad o sobre el coral. Las tallas mayores, con labio grueso, se localizan a mayor profundidad, por debajo de los seis metros.

Crecimiento

El cambute, en el Parque Nacional Coiba, presentó un crecimiento promedio mensual de 4.51 mm ($s = 4.51$, $n = 200$), para tallas entre los 110 y 200 mm. A medida que aumentan las tallas, disminuye la tasa de crecimiento del cambute; de tal forma que los individuos ubicados entre 110 y 120 mm presentan un crecimiento promedio de 8.21 mm/mes ($s = 1.09$, $n = 4$) y organismos con tallas entre 190 y 200 mm crecen, en promedio, 1.73 mm/mes ($s = 1.19$, $n = 4$) (Fig. 3). Durante la investigación se logró marcar un individuo cuya talla fue de 91 mm y se logró recuperar de manera continua por un periodo de 6 meses, al cabo de los cuales alcanzó una talla de 144.15 mm, lo que equivale a un crecimiento promedio mensual de 8.69 mm. Individuos con tallas iniciales entre 110 y 140 mm alcanzaron al cabo de 9 meses tallas entre los 167 mm y 187 mm, respectivamente (Fig. 4).

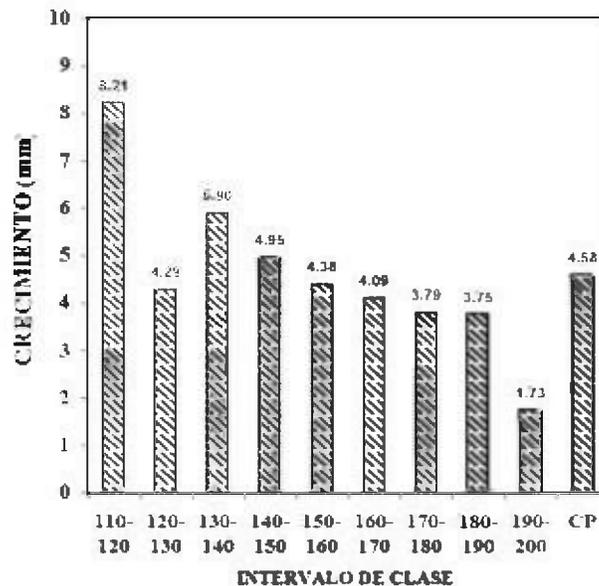


Fig. 3. Crecimiento promedio por intervalo de clase en el cambute, *Strombus galeatus* en el Parque Nacional Coiba, Pacífico panameño. CP: Crecimiento promedio.

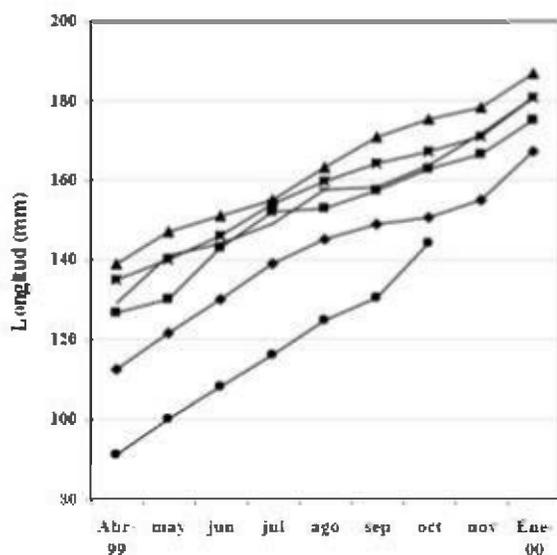


Fig. 4. Crecimiento del cambute, *Strombus galeatus*, para diferentes tallas en el Parque Nacional Coiba, Pacífico panameño.

Estructura de tallas

En la figura 5 se puede apreciar una secuencia de histogramas que corresponden con las tallas mensuales medidas del cambute. El inicio del estudio corresponde con la mayor cantidad de individuos entre las tallas 132-139 mm, clase de tallas que se desplaza en cada muestreo hasta quedar en la clase 181-188 mm al cabo de 8 meses. En junio aparecen nuevos individuos, los cuales son reclutados a la población de juveniles, situación similar ocurre en noviembre y enero.

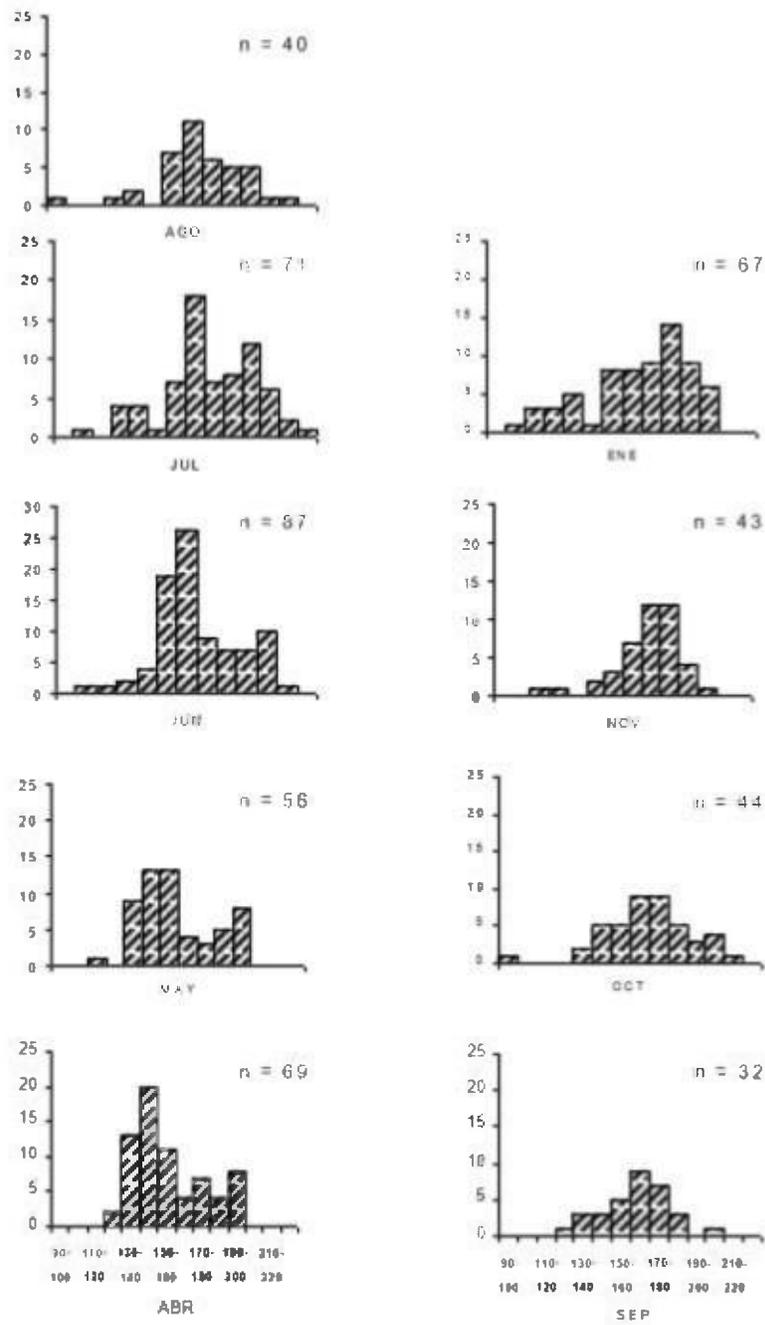


Fig. 5. Estructura de tallas de *Strombus galeatus* (gastropoda: Strombidae) en el Parque Nacional Coiba, Pacífico panameño.

Comportamiento y reproducción

En cada muestreo que se realizó, siempre se encontraron cambutes identificados como juveniles sobre el arrecife de coral, hasta unos cuatro metros de profundidad. Generalmente eran individuos con tallas por debajo de los 150 mm y con labio muy delgado y concha cubierta por algas en densidades bajas. Los adultos con tallas por encima de los 160 - 170 mm, labio grueso y concha muy epifitada se encontraron por debajo de los cuatro metros sobre la arena o parches de algas. Casi siempre los individuos se encontraron aislados, alimentándose o ejecutando lentos desplazamientos. En los meses en que se observaron agregaciones de individuos (junio y agosto de 1999, enero de 2000 y agosto de 2000, esta última observación fuera del periodo de estudio), coincidió con hembras desovando. La masa de huevos se encontró debajo de la hembra, la cual deposita sus huevos unidos a granos de arena y restos de conchas y corales que le sirven como lastre y camuflaje en una pequeña concavidad en la arena (Fig. 6). Dentro de la agregación observada en julio, se encontraron dos parejas en posición de cópula, el macho ligeramente encaramado por detrás de la hembra.

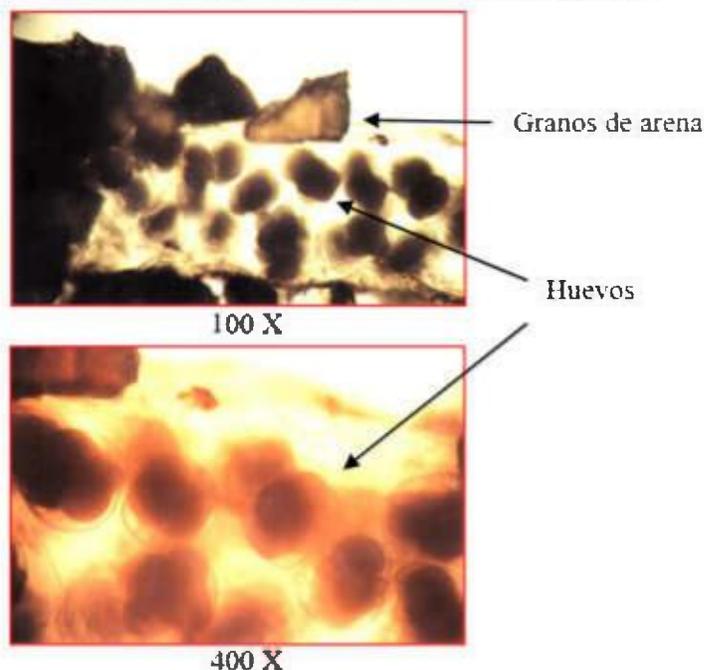


Fig. 6. Microfotografía de huevos de cambute (*Strombus galeatus*) recolectados en el Parque Nacional Coiba, Pacífico panameño.

DISCUSIÓN

La mayor talla observada para *S. galeatus* fue de 216 mm y la mínima de 91 mm, con la mayor cantidad de individuos ubicados entre las tallas de 120 a 180 mm dependiendo del mes. Las máximas tallas observadas para el cambute en el Parque Nacional Coiba son inferiores a las encontradas por Arroyo & Mena (1998) para esta misma especie en Cabo Blanco, Costa Rica. Sin embargo, coinciden nuestros resultados con el predominio de individuos subadultos y adultos en la población, lo cual puede estar relacionado con lo difícil de obtener individuos con tallas inferiores a los 100 mm, debido a su comportamiento de permanecer enterrados y a la distribución de los organismos de mayor talla hacia zonas más profundas. El patrón de distribución observado está en función de su conducta migratorio. Los individuos a medida que aumentan en talla y edad se van desplazando hacia aguas más profundas. Este comportamiento ha sido descrito para *S. galeatus* en Costa Rica (Arroyo & Mena 1998) y para su congénere del Caribe (*S. gigas*) (Lagos *et al.* 1996).

La información obtenida sobre crecimiento nos permite decir que al alcanzar el cambute los 100 mm de longitud, invierte aproximadamente un año para llegar hasta los 180 mm, con una tasa de crecimiento mayor en las tallas menores, por lo que los primeros 100 mm de longitud los puede alcanzar en el primer año posterior al asentamiento larvario, y en un segundo año alcanzar la talla reproductiva. Según Lagos *et al.* (1996), *S. gigas* crece entre 30 y 90 mm al año, en función de la edad y las condiciones ambientales, lo que equivale a un crecimiento mensual entre 2.5 y 7.5 mm. Estos valores son muy similares a los comunicados por nosotros para el cambute en el Parque Nacional Coiba.

Este estudio representa el primer esfuerzo por conocer algunos aspectos importantes sobre la biología del cambute en el Parque Nacional Coiba. Lamentablemente y a pesar de la cercanía con la estación biológica, algunos de los caracoles marcados fueron blanco de los pescadores artesanales (según comunicaciones personales de los mismos y de los guarda parques). Adicionalmente, se encontraron caracoles quebrados en la playa con restos de las marcas que se les habían colocado. Estos percances demuestran que, a pesar de estar prohibida la extracción del cambute, la misma se ejecuta sin ningún

control, sobre todo por la falta de recursos de los guarda parques y la poca conciencia de los pescadores con relación al daño que se le causa a la especie. Según información de los guarda parques, se han efectuado decomisos de hasta 800 cambutes a pescadores artesanales en áreas del Parque.

Otro factor que contribuye al deterioro del recurso es el comportamiento del cambute, ya que al estar las tallas menores en zonas someras están más accesibles a los buceadores, por lo que individuos que no se han reproducidos son extraídos, mermando la capacidad reproductiva de la población. Sin duda alguna, hace falta realizar un inventario dentro de todo el parque para estimar el tamaño de las poblaciones e identificar los sitios donde existen poblaciones importantes del recurso. Adicionalmente, hay que determinar el patrón reproductivo de la especie, así como la talla de inicio del proceso y el momento de los picos reproductivos. Es importante, también, difundir a través de los programas de educación ambiental implementados para la zona de amortiguamiento del Parque, estos resultados para que los pescadores artesanales comprendan el daño que le hacen al cambute debido a la pesca furtiva.

CONCLUSIONES

El cambute, *S. galeatus*, ha estado sometido a una intensa explotación por parte de pescadores artesanales y buceadores. Sin duda alguna, la disminución en las densidades poblaciones de esta especie y la desaparición de la misma de algunas zonas costeras del área de amortiguamiento del Parque Nacional Coiba, se debe a esta situación. La tasa de crecimiento estimada para esta especie permite decir que la misma puede alcanzar la talla reproductiva en al menos dos años. El patrón de distribución de esta especie la convierte en un organismo susceptible a desaparecer, pues es más fácil capturar individuos juveniles y subadultos, sin haberse reproducido, mermando así su población.

ABSTRACT

At the Pacific Panamanian, Coiba National Park, it was fulfilled, through autonomous diving, observations about *Strombus galeatus*. The objective of this reserch was to stablish the growth rate and fulfill on *Strombus galeatus* behavior

and reproduction. For this research it was marked 88 units in april 1999. They were kept in observation until january 2000, doing monthly recapture, additionally went over and over from the superficial zone until 20 m deep searching *Strombus galeatus* in copula process. From the results obtained we can say that *Strombus galeatus* presents an average growth of 4.58 mm/month for sizes between 100 and 200 mm. For sizes close to 100 mm growth rate is 8.21 mm/month and for sizes close to 200 mm growth rate is 1.73 mm/month. The specie behavior shows a stratification for sizes in relation with depth and a agregational pattern to superior depth of 5 meters during reproduction season. Females spawning checked on July – August and January. The illegal extraction of artesanal fisherman help lot on resources deterioration, because they capture juvenile and subadult stages decreasing the populations reproduction capacity.

KEYWORDS

Strombus galeatus, cambute, Coiba National Park, Gasteropoda, Growth of *Strombus galeatus*.

REFERENCIAS

Arroyo, M. D. 1998. Crecimiento y reproducción de *Strombus galeatus* (Gasteropoda: Strombidae) en el Pacífico de Costa Rica. Rev. Biol. Trop. 46 Supl. 6: 27 - 36.

Arroyo, M. D. & L. Mena. 1998. Estructura de la población del cambute *Strombus galeatus* (Gasteropoda: Strombidae) en Cabo Blanco, Costa Rica. Rev. Biol. Trop. 46. Supl. 6: 37 – 46.

Cardiel, J., M. C. Castroviejo, S. & M. Velayos. 1997. El Parque Nacional Coiba: El medio físico, p. 11-30. In S. Castroviejo (ed.). Flora y Fauna del Parque Nacional Coiba (Inventario Preliminar).

Fischer, W., F. Krupp, W. Schneider, C. Sommer, K. E. Carpenter, & V. H. Niem. 1995. Guía FAO para la identificación de especies para los fines de la pesca. Pacífico centro-oriental. Volumen 1. Plantas e invertebrados. Roma. P 281.

Keen, M. 1971. Sea Shells of Tropical West America. Stanford University. Stanford, California. 1064 p.

Lagos, B., A. L. Hernández, S., R. H. Gómez, & P. V. Daza. 1996. Algunos aspectos bioecológicos y reproductivos del caracol pala,

Strombus gigas Linnaeus, 1758 en el archipiélago de San Andrés, Providencia y Santa Catalina (Caribe colombiano). Boletín Científico INPA No 4: 22 p.

Ospina, J.F., E. Chiquillo, & J. Gallo 1996. Evaluación de la captura y esfuerzo del caracol pala *Strombus gigas* (Linnaeus, 1758) en el Departamento Archipiélago de San Andrés, Providencia y Santa Catalina (Caribe Colombiano). Boletín Científico INPA No 4: 8 p.

Stoner, A. W., P.A. Pitts, & R.A. Armstrons. 1996. Interaction of physical factors in the large - scale distributions of juvenile queen conch in seagrass meadows. Bull. Mar. Sci. 58(1): 217-223.

Vega, A. J. & A. González. 2002. Moluscos del Pacífico veraguense. Parte II Gasteropoda. Tecnociencia: 4 (1): 23-48.

AGRADECIMIENTOS

Esta investigación se logró realizar gracias al financiamiento otorgado por la Secretaría Nacional de Ciencia y Tecnología (SENACYT) para el al proyecto "Estudio biométrico y reproductivo de *Anadara tuberculosa* en el Parque Nacional Coiba", y al apoyo de la Dirección del Parque Nacional Coiba, que nos facilitó las instalaciones de la estación biológica, las lanchas y los equipos de buceo. Se agradece a la Licenciada Anaika Arcia y al Dr. Carlos Seixas por la identificación de las algas.

Recibido julio del 2002, aceptado septiembre del 2002.



MODIFICATION OF AMBERLITE IRA 400 (CL) BY INCORPORATING ALIZARIN S AND SODIUM MORPHOLYLDITHIOCARBAMATE (MORDTC) RESPECTIVELY

M. Guerra¹, C. Díaz¹, N. Martínez¹, M. Autlé², R. Pomes², E. Bello¹, E. Niubó², J. Rodríguez³, R. Cao⁴ and K. Melchor¹

¹Department of Analytical Chemistry, Faculty of Chemistry, University of La Habana, Havana 10400, Cuba

²National Center for Scientific Research, P.O. Box 6880, Havana, Cuba

³Research Center for Mining and Metallurgy (CIPIIMM), Carretera Varona km 1^{1,2} Capdevila, Boyeros, Havana, Cuba

⁴Laboratory of Bioorganic Chemistry, Faculty of Chemistry, University of La Habana, Havana 10400, Cuba

ABSTRACT

A chelating sorbent was obtained by incorporating Alizarin S and Sodium Morpholyldithiocarbamate (MorDTC) respectively in Amberlite IRA 400 (Cl⁻). Structural characteristics were studied by X-Ray Powder Diffraction (XRD), Optical Microscopy (OM), Differential Scanning Calorimetry (DSC) and Adsorption Techniques. The pH of optimal retention pH of MorDTC in Amberlite IRA 400 (Cl⁻) was obtained (pH 8-9). For Alizarin S an optimal retention is achieved even at pH 1-2. The sorption capacity of the resin without modification is 0.575 mmol g⁻¹.

KEYWORDS

Amberlite IRA-400 (Cl⁻), Alizarin S, Sodium Morpholyldithiocarbamate (MorDTC), physico chemical characterization.

INTRODUCTION

The importance of chelating sorbents in analytical chemistry has risen substantially in recent years. Sorption methods are characterized by the

simplicity of their implementation. They are convenient for the concentration of metals from any, including large volumes of solution, and are easily combined with different methods of element determination. Owing to these advantages, the methods of concentration by sorption are successfully used in analytical chemistry (Zolotov, Yu.A. et al).

Concentration and separation with the help of chelating sorbents is characterized by high selectivity and effectiveness which assure an increase in sensitivity and reliability of the subsequent determinations of elements by different chemical, physicochemical and physical methods (Myasoedova, G.V. et al).

An extensive literature on ion-exchange resins and non-polar sorbents modified with chelating ligands (Myasoedova, G.V. et al) has been reported. The main advantage they offer is the possibility to control their capacity and selectivity of sorption by the appropriate choice of loading ligand. For this purpose, XAD copolymer (Yang, X.G. et al., Yang, X.G. et al., Yang, X.G. et al), activated carbon (Dogan, M. et al.), ion exchange resins (Abe, M.M. et al., Sengupta, B. et al., Chwastowska, J. et al., Chwastowska, J. et al.) chelating resins (King, J.N. et al.) and various polymers (Hoshi, S. et al.) have been used.

Extensive studies on different supports by incorporating diethyldithiocarbamate (DTC) group have been reported (Myasoedova, G.V. et al., Miyazaki, A. et al., Van Berckel, W.W. et al., Yamagami, E. et al., Murthy, R.S. et al., Van Berckel, W.W., et al.). These studies are based on the formation of very stable neutral complexes of DTC with all transition metal ions and many representative metal ions also. Such complexes show high hydrophobic characteristic and therefore very low water solubility (Cao et al.).

MorDTC is a dithiocarbamate with properties similar to DTC. Its synthesis and characterization were done by Cao et al (Cao et al). MorDTC coordinates with divalent metals producing too very stable neutral complexes. Stability of their complexes is the same as NaDTC (Sastri, V.S. et al).

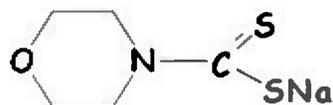


Fig. 1. Structure of MorDTC

Two reagent were used in the present report: MorDTC and Alizarin S. This latter compound forms very stable complexes in strongly acidic solution with zirconyl ions (Pareissakis,G et al), Al(III) (Seth,R.L et al) Cu(II) (Sangal,S.P), Ni(II) (Brajter, K), etc. To our knowledge this is the first report on the use of MorDTC or Alizarin S as chelating agents immobilized in Amberlite IRA 400 (Cl). The goal of this report is to study the modification that take place in Amberlite IRA 400 (Cl) by MorDTC and Alizarin S.

EXPERIMENTAL PART

Apparatus

- Measurements of pH were made with a Pracitronic pH meter MV 88 with a combined glass electrode.
- UV-Visible spectra of the reagent (Alizarin S or MorDTC) were recorded on a Ultrospic III (Pharmacia- LKB) spectrophotometer.
- X Ray Powder Diffraction Pattern of each resin were registered on a Phillips PW-1710 X Ray Diffractometer with filtered Cu radiation with Ni ($\lambda=1,54178 \text{ \AA}$). Diffractonal field researched between $0.056 <\sin \theta/\lambda>0.566 \text{ \AA}^{-1}$. This is related with the range between 5 to 60 degree(2ϕ).
- Mettler Differential Scanning Calorimeter with a scanner velocity of $10 \text{ }^\circ\text{C min}^{-1}$ at temperature between 50-250 $^\circ\text{C}$ range was used for thermal study of the resin.
- External morphology studies were carried out with a Leika Wild M10 Stereo Microscope joined with a Sony CCD/RGB Video Chamber connecting to a PC and with a target for prosecuting of EYE GRABBER.
- Adsorption Isotherms were recorded with a classical instrument which consist in a vacuum microburete with liquid adsorbate (Guerasimov, I).

Chemical Reagents

All solutions were prepared from analytical reagent grade chemicals using ultrapure water with resistivity 18 MΩcm, which was obtained by means of a Milli-Q water purification system (Millipore, Bedford, USA). Most metal salts were purchased from Merck.

- Amberlite IRA-400 (Cl⁻), styrene-DVB (benzene divinyl) copolymer, (Fluka reagent) density (wet) apparent 0.70 g/ml, true 1.11 g/ml. Effective size 0.40-0.50 mm. Moisture contents 42-48 %, pH range 0-14. Maximum operating temperature: 60 °C (OH⁻), 77 °C (Cl⁻). Total exchange capacity a) meq/g (dry) 3.8, meq/ml (wet) 1.4 (Cátalogo Chemika-Biochemika).
- Alizarin S (Merck p.a.). The work solution was prepared dissolving the appropriate mass of reagent in ultrapure water.
- MorDTC was supplied by Laboratory of Bioinorganic Chemistry, Faculty of Chemistry, Havana University, Cuba. The work solution was prepared dissolving the appropriate mass of the reagent in ultrapure water.

Preparation of chelating sorbent

Amberlite IRA 400 (Cl⁻) was immersed in ultrapure water during several days. Alternative treatment with 0,1 mol/L NaOH and 0,1mol/L HCl was performed. After the filtration, the resin was washed with water until pH 7 and was dried on filter paper at room temperature. The resulting material was then ground and sieved to a particle size of 0.4-0.5 mm (Bello E). The resin was then treated with the chelating agents in the following way.

- a) 50 mg of Amberlite IRA 400 (Cl⁻) were added to 5 mL 1.10⁻³ mol/L solution of Alizarin S in water using continuous stirring during 30 min. Afterwards it was filtered off, washed with ultrapure water and dried at 110 °C for 30 min.
- b) 500 mg of Amberlite IRA 400 (Cl⁻) were added to 25 mL 1.10⁻⁴ mol/L solution of MorDTC in water with pH 8-9, using continuous stirring during 30 min. Afterwards it was filtered off, washed with ultra pure water and dried at room temperature on filter paper.

Influence of the pH on the reagent retention

- 1) Amberlite IRA 400 (Cl⁻) loaded with Alizarin S.
50 mg of Amberlite IRA 400 (Cl⁻) were added to 5 mL 1.10⁻³ mol/L Alizarine solutions in a pH range from 1 to 10 using continuous

stirring during 30 minutes. Afterwards the solutions were filtered off, the resins washed with ultrapure water and the final volume made up to 50 mL with ultrapure water.

2) Amberlite IRA 400 (Cl) loaded with MorDTC.

Was employed the same procedure described in the case of Alizarin S. The differences were: mass resin 500 mg and pH range 6-8.

Influence of the resin mass on the sorption of the reagents

For both reagents the resin mass used was between 0.2 and 1.0 g. The procedure followed was the same one described in previous paragraphs.

Study of external morphology by optical microscopy

This study was done employing Amberlite loaded with Alizarin S or MorDTC and without modification. The experiments were carried out with stirring time of 30 and 45 min. Diameter and area of particles was measured employing IMAGELL software. This system was used by digital prosecution and for morphologic analysis of images.

X Ray diffraction study

These experiments were carried out employing Amberlite IRA 400 (Cl) without modification and with this reagent loaded with MorDTC and Alizarin S.

In the case of Alizarin S the concentration of the solution was 1.10^{-3} mol/L and the samples were prepared with and without stirring.

In the case of MorDTC the concentration of the solution was varied from $0.25.10^{-4}$ to 1.10^{-4} mol/L with a stirring time of 30 min.

The samples were ground in an agate mortar and the loose powder was pressed into a diffractometer sample holder. The X ray diffraction pattern was collected using Ni filter $\text{CuK}\alpha$ radiation ($\lambda= 1.54178 \text{ \AA}$) on Philips PW 1710 diffractometer operated at 40 Kv and 30 mA. The alignment of the diffractometer was checked by using a silicon external standard from National Institute of Standards and Tecnology NIST-SRM- 6406 with cell parameter $a=5.430940 (35) \text{ \AA}$ at $25 \text{ }^\circ\text{C}$ (Pomés, R). The powder pattern was recorded at 25°C from 5 to $60^\circ (2\theta)$

using an angular step 0.02° and counting time of 5 s and processed by XPAS program (Singh, B et al).

The reported peak heights and positions were extracted by fitting Pearson VII type functions to the diffraction maxima. The position of the first peaks were input in the program for least square unit cell refinement LSCCLT (Garvey, R.).

Study by Differential Scanning Calorimetry

Experiments were carried out employing the resin without modification and resin loaded with Alizarin (1.10^{-3} mol/L) or MorDTC (1.10^{-4} mol/L) at a stirring time of 30 min.

RESULTS AND DISCUSSION

Influence of the pH on the reagent retention

The percentages of retention were calculated in all cases and the results obtained are shown in fig. 2.

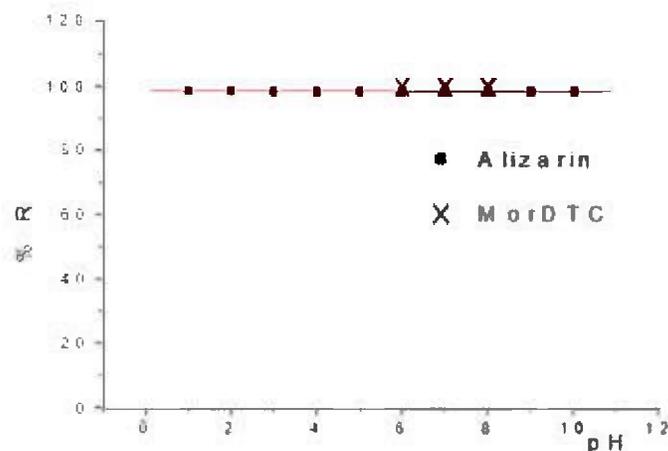


Fig. 2. Study of the retention pH of Alizarin and MorDTC.

In the case of Alizarin S retention is independent of pH in the investigated range. However in the case of MorDTC reagent retention is possible at pH more than 6 because of decomposition of this reagent at acid pH values. In fig. 3 and 4 is shown that characteristic bands of the reagent disappeared and additionally a strong band of CS_2 is

observed around 210 nm. The selected pH values were: 2 for Alizarin S (this is the resulting pH of Alizarin S aqueous solutions) and 8 for MorDTC.

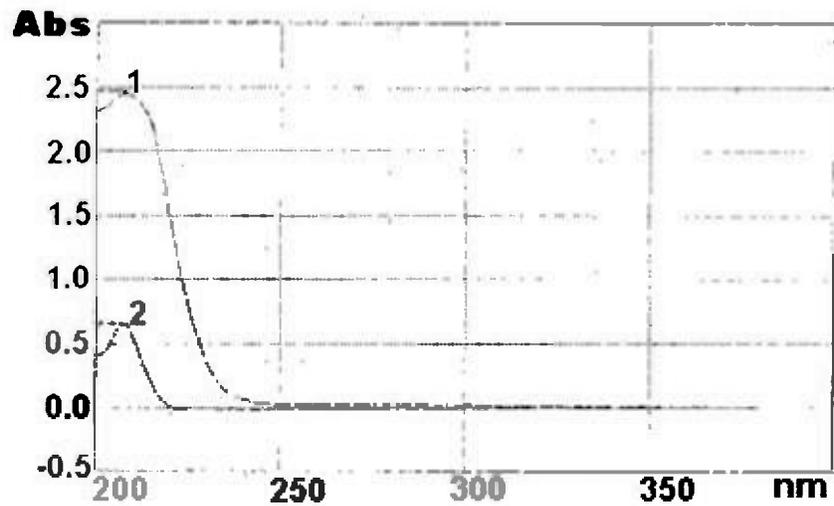


Fig. 3. UV spectra of MorDTC solutions pH=5.

1. Solution of MorDTC ($1 \cdot 10^{-4}$ mol/L).
2. Solution of MorDTC ($1 \cdot 10^{-4}$ mol/L) after contact with Amberlite.

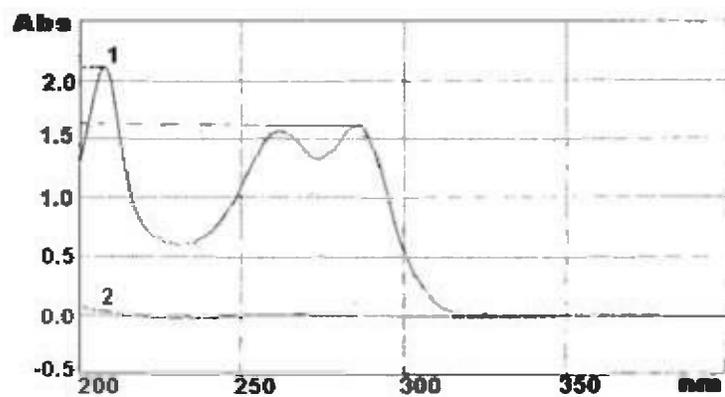


Fig. 4. UV spectra of MorDTC solutions pH=8.

1. Solution of MorDTC ($1 \cdot 10^{-4}$ mol/L).
2. Solution of MorDTC ($1 \cdot 10^{-4}$ mol/L) after of contact with Amberlite.

Influence of the resin mass on the sorption of the reagents

As can be seen in fig. 5 there is a maximum retention of both reagents from 0,2 to 1,0 g of the resin.

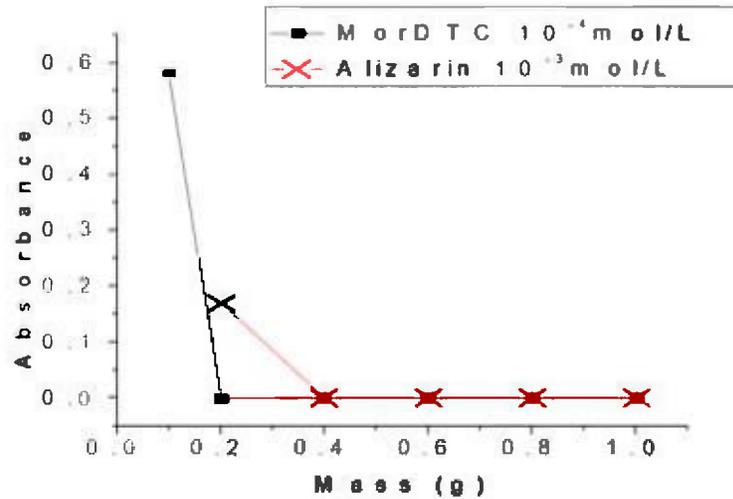


Fig 5. Influence of resin mass in the sorption of the reagents.

Optical Microscopy

The results of the external morphological studies are shown in table 1.

Table 1. Variation of the resin particle size (mm). Microscope LEIKA (n=50 $\alpha=0.05$).

	$\bar{x} \pm t_{\alpha} S/n^{1/2}$	S	$S_r(\%)$	t_{exp}
Amberlite without modifier	0,534 ± 0.013	0.047	8.8	-
Amberlite + MorDCT Stirring time (45 min)	0,494 ± 0,013	0.045	9.1	4.37
Amberlite + Alizarin Stirring time (15 min)	0,494 ± 0,010	0.034	6.8	4.49

$$t_{tab} (0,05;98)=1,98$$

As can be observed both reagents have produced a decrease of around 7% in the particle diameter, probably because of the introduction of the reagents in the pores of the resin.

Study by X Ray Diffraction

Amberlite IRA 400 (Cl⁻) is completely amorphous. As it react with Alizarin S the amorphism is diminished and characteristic peaks, superposed with bands of the Amberlite, appear in the X-ray diffraction pattern (fig. 5). These maxima are found at 4.42, 3.40 and 3.37 Å^o respectively. These peaks and the crystallinity does not depend on weather Allizarin S is incorporated with or without agitation.

When the resin is modified with MorDTC, the agitation time is very important in the appearance of diffraction maxima of the crystalline phase. The highest diffraction maxima were found for 30 and 45 min of stirring during the preparation of the resin. The amorphism decreased in 40% for 40-45 min stirring.

These maxima appeared at 2.72 and 2.07 Å^o as can be observed in fig. 6. These results were obtained for 10⁻⁴ mol/L solutions of MorDTC. For more diluted solutions the observed effect is less intense.

The differences observed between MorDTC and Alizarin S indicate that the latter in faster incorporated to Amberlite.

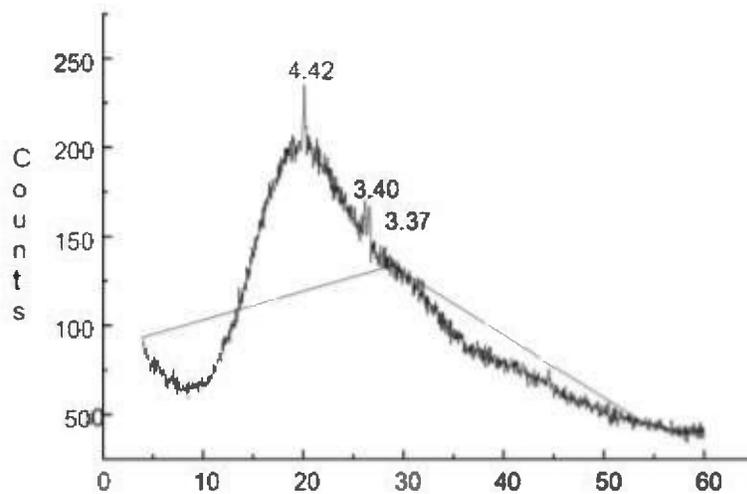


Fig. 6. X Ray diffraction pattern of Amberlite IRA-400 (Cl⁻) with Alizarin S.

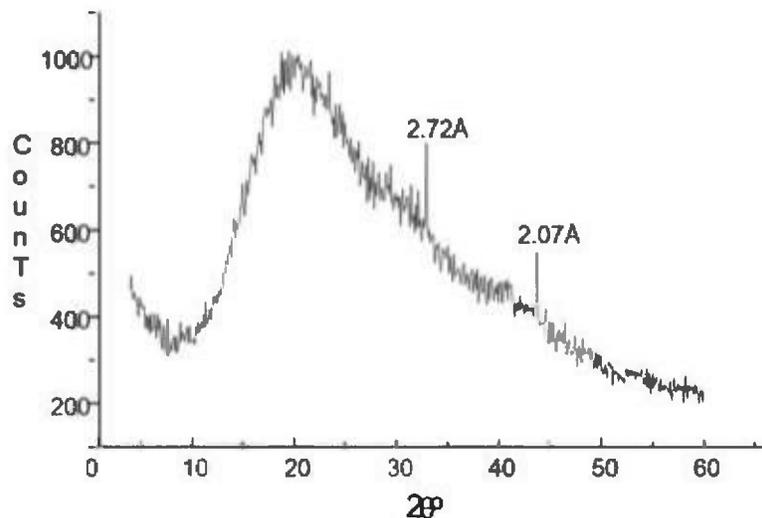


Fig. 7. X Ray Powder Pattern of Amberlite with MorDTC.

Study by Differential Scanning Calorimetry

The DSC determinations gave the possibility to study how the chelating agents could affect the water release from the resin. A strong release was observed at 125° C for the untreated resin. This effect was attenuated when Alizarin S was incorporated without agitation. When Alizarin S and MorDTC were incorporated with agitation no defined release of water was observed at 125° C. This behavior might be explained due to the large porous volume of the original resin as was shown previously by Optical Microscopy. This results were confirmed in the study of water adsorption shown in fig. 8.

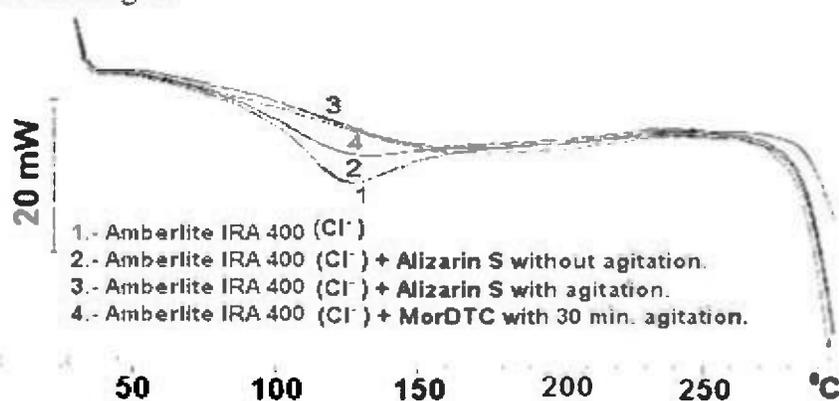


Fig. 8. DSC studies for water absorption in the Amberlite with and without modification.

Water adsorption study

The samples were activated at 300 °K and 0,13 Pa during 15 hours. The volume-filling model of Dubinin (Bering, B.P et al) was applied to the experimental isotherm. The obtained results have shown linear range. Maximum adsorption (N_a), characteristic energy (E_c) as well as micropore volume were obtained from the intercepts and the slopes of the linear range of graphics (see fig. 9, 10, 11).

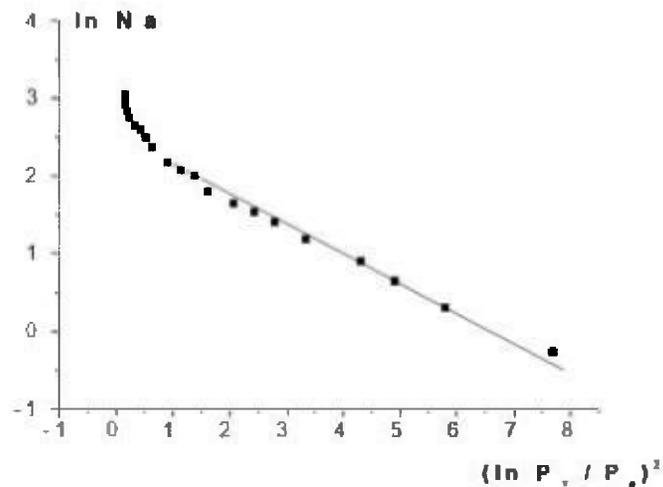


Fig. 9 Adsorption isotherm of water in Amberlite IRA 400 (Cl) in Dubinin Coordinates. (M_1). P_e : equilibrium pressure. P_v : vapor pressure.

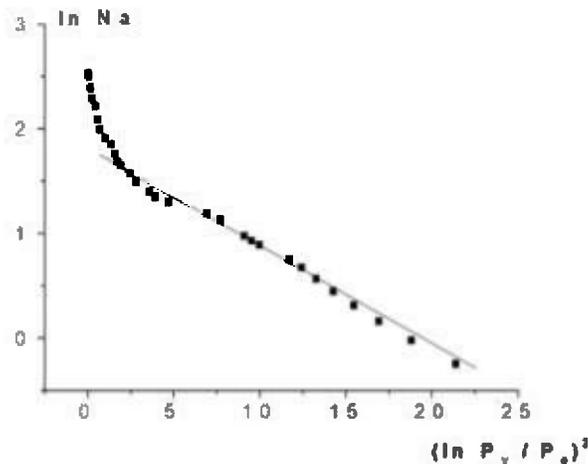


Fig. 10 Adsorption isotherm of water in Amberlite IRA 400 (Cl)+ MorDTC (stirring).

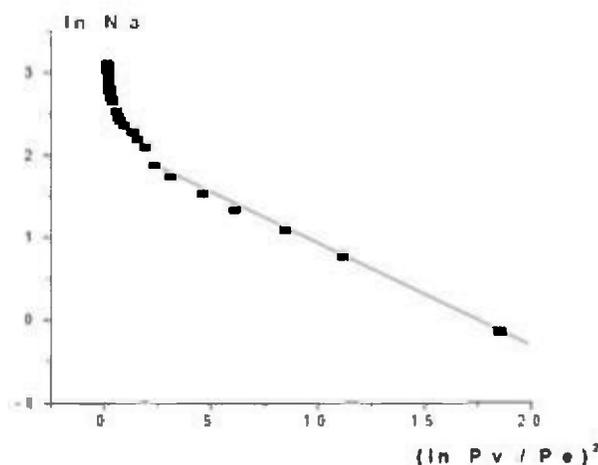


Fig.11. Adsorption isotherm of water in Amberlite IRA 400 (Cl⁻)+ Alizarin (stirring time 15min) in Dubinin coordinates. (M₃)

Maximum adsorption and micropore volumes are arranged in the following order $M_1 > M_3 > M_2$ (Table 2). These results indicate that the introduction of the reagents in the resin diminishes the pore volume, probably due to that part of the resin pores are blocked by the reagents. There is good agreement between this behavior and those obtained by Optical Microscopy (see tab 1). By the other hand according to Dubinin (Dubinin, M.M., et al) ($E_c \sim 1/r$), this relation indicate that the reduction of pore radius in the case of modified resins, is probably determined for deposition of reagent in the pore walls.

Table 2. Maximum adsorption values (N_{max}), characteristic energy (E_c) and micropore volume (V_{mp}) of the different resin samples obtained from the adsorption isotherms applying Dubinin model.

Samples	N_a (mmol/g)	E_c (J/mol)	V_{mp} (cm ³ /g)
M ₁	12.9	3928	0.23
M ₂	6.34	8007	0.11
M ₃	8.35	7131	0.15

CONCLUSIONS

Amberlita IRA 400 (Cl⁻) coated with Alizarin S and Sodium Morpholyldithiocarbamate (MorDTC) respectively was characterized employing different techniques, like X-Ray Powder Diffraction (XRD), Optical Microscopy (OM), Differential Scanning Calorimetry (DSC) and Adsorption Techniques.

The combination of XRD, OM, DSC and Adsorption Techniques indicated that the modification process of Amberlite IRA 400 (Cl⁻) resin with Alizarin S or MorDTC reagents could take place by inclusion of them in this resin by a chemical-sorption mechanism. The introduction of these reagents in Amberlite IRA 400 (Cl⁻) resin have produced a volumetric contraction and consequent diminution of the pore size. This sorbent can be applied to the analysis of natural samples considering that in the case Alizarin, retention is independent of pH in the investigated range, however for MorDTC reagent the retention only is possible at pH more than 6.

RESUMEN

Se reporta la obtención de un sorbente quelatante mediante la incorporación de Alizarina S y del Morfolilditiocarbamato de sodio (MorDTC) a la Amberlita IRA 400 (forma cloruro). Se reportan las características estructurales del sorbente que se estudiaron mediante Difracción de Rayos X de polvos (DRX), Microscopía Óptica (MO), Calorimetría Diferencial de Barrido (DSC) y Técnicas de Adsorción. Se determinó que para el MorDTC, el pH óptimo de retención en la Amberlita IRA 400 (forma cloruro) estaba entre 8 y 9. En el caso de la Alizarina S, la retención es óptima a pH tan bajos como 1-2. La capacidad de sorción de la resina sin modificación es de $0.575 \text{ mmol g}^{-1}$.

PALABRAS CLAVES

Amberlita IRA 400 (Cl⁻), Alizarina S, Morfolilditiocarbamato de Sodio (MorDTC), caracterización físico química.

REFERENCES

Abe, M.M., P. Wang, R., Chitrakar & M. Tsuji. 1989. *Analyst*, 114, 435-438.

Brajter, K. 1974. *Journal of Chromatography*, 102, 385-390.

- Bello, E. 1999. Tesis de Diploma "Caracterización de la resina quelatante Amberlita IRA- 400(Cl) modificada con Morfoilditiocarbamato de sodio". Universidad de la Habana, Cuba.
- Bering, B.P., M.M. Dubinin & V.V. Serpinski. 1966. *J. Col. Int. Sc.* (28), 378-393.
- Cao, R., A. Fragozo & R. Villalonga. 1996. *Monatshefte für Chemi.* 127, 775-782.
- Cátalogo Chemika-Biochemika Fluka. 1996. 70-71.
- Chwastowska, J. & E. Kosiarka. 1988. *Talanta*, 35, 6:439-442.
- Chwastowska, J. & E. Mozer. 1985. *Talanta*, 32, 7: 574-576.
- Dogan, M. & L. Elci. 1984. *Spectrochim. Acta*, 39, B:1189.
- Dubinin, M.M. & N.C. Poliakov. 1980. *Izv. Ak. Nauk SSSR Ser. Jim.* 9, 943-1950.
- Garvey, R. 1986. "Lsuci PC unit Cell Refinement with indexing for the personal computer", *Powder Diffraction* (1), 114-116.
- Guerasimov, I. 1971. *Curso de Química Física*. Editorial MIR. Moscú. Cap. XVI.
- Hoshi, S., Y. Tanaka, S. Inove & M. Matsubara. 1989. *Anal Sci*, 5:471.
- King, J.N., J.S. Frits. 1985. *Anal. Chem*, 57:1016-1020.
- Myasoedova, G.V. & S.B. Savin. 1984. *Chelating sorbents*, Nauka, Moscow, (in Russian).
- Myasoedova, G.V. & S.B. Savin. 1988. *Crit Rev. Anal. Chem*, 17,1.
- Miyazaki, A. & R.M. Barnes. 1981. *Anal. Chem*, vol.53.
- Murthy, R.S., Z. Horvath & R.M. Barnes. 1986. *J. Anal. At. Spectrom.* vol.1.

- Pareissakis, G., Kantogandalos, 1963. J., Anal.Chim. Acta, 29,220.
- Pomés, R. 1997. "Análisis de fases cuantitativo usando Difracción de RX". Editorial Quetzatco al, México. p140.
- Singh, B. & R. Gilkes. 1992. Powder Diffraction, 7, 6-10.
- Sengupta, B., Das 1989. Anal. Chim. Acta, 219:339-343.
- Sastri,V.S., K.I. Aspila & C.L. Chakrabarti. 1969. Can. J.Chem, 47, 2320-2323.
- Seth, R.L. & A.A. Dey. 1963. J. Prakt. Chem, 19,229.
- Sangal, S.P. 1965. J.Prakt. Chem, 30 314.
- Van Berckel,W.W., F.J.M. Maessen. 1988. Spectrochim. Acta,vol. 43B.
- Van Berckel,W.W., F.J.M. Maessen. 1990. Anal. Chim. Acta, vol. 235.
- Yang, X.G., E. Jackwerth & Z. Fresenius. 1989. Anal. Chem, 335:712-720.
- Yang, X.G., E. Jackwerth & Z. Fresenius. 1989. Anal. Chem, 335:483-488.
- Yang, X.G., E. Jackwerth & Z. Fresenius. 1990. Anal. Chem, 336:588-593.
- Yamagami, E., S. Tateishi & A. Hashimoto. 1980. Analyst, vol.105.
- Zolotov, Yu.A., & Kuzmin. 1982. Preconcentration of microelements, Khimia Moscow, (in Russian).

Acknowledgement.

The authors acknowledge to the "Alma Mater" grant for the financial support of this research.

Recibido julio del 2002, aceptado septiembre del 2002.



¿CUÁL ES EL ORIGEN DE NUESTRO CAMPO MAGNÉTICO?

Adriano Ibarra – Durán

Servicios de Laboratorio. SERLAB S.A.
email: adrian_ibarra@hotmail.com

RESUMEN

Datos colectados en los siglos XIX y XX indican una disminución en la intensidad del Campo Magnético de la Tierra (CMT). Esto está ligado al origen de dicho campo. Desde 1600 hasta hoy, se han presentado varios modelos para explicar el origen del CMT. Sin embargo, ninguno es capaz de derivar satisfactoriamente sus características. En este trabajo, presentamos dos modelos representativos: El "*Modelo del Dinamo Autoinducido*", y sus variantes plantean que el flujo de partículas cargadas del núcleo externo de la Tierra da origen y refuerza el CMT. El movimiento de este flujo es complejo y caótico. Por tanto, de cuando en cuando, la polaridad del CMT se invierte (reversiones). Durante una reversión, la intensidad de nuestro campo decrece por largo tiempo luego cambia su dirección y aumenta otra vez. El "*Modelo del Decaimiento*" ha tenido un nuevo impulso recientemente. Según éste, las corrientes en el núcleo externo de la Tierra, que originaron nuestro primer campo magnético, han estado decayendo desde entonces, a una tasa exponencial. Ninguno de los modelos presentados está libre de dificultades, por lo que la controversia continúa y nos lleva a la búsqueda de nuevos modelos.

PALABRAS CLAVES

Campo Magnético, Geomagnetismo, Tierra, Reversiones.

INTRODUCCIÓN

La Tierra posee un campo magnético que permite orientarnos sobre su superficie, al tiempo que nos protege de los rayos cósmicos. Sin embargo, existe un debate sobre el origen de este campo.

Recientemente, se ha iniciado la búsqueda de nuevos modelos, que expliquen satisfactoriamente las características del CMT.

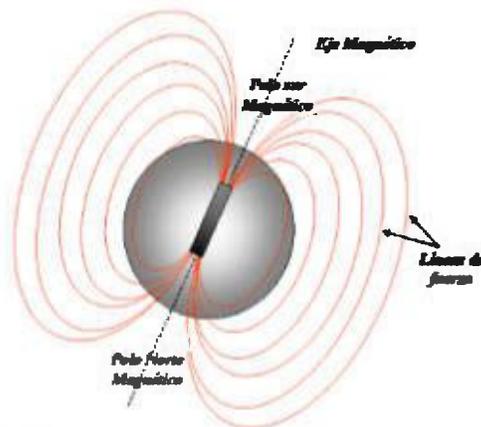


Fig. 1. El modelo de W. Gilbert del campo magnético terrestre.

El primer intento por explicar el CMT se debe a W. Gilbert (1600). Gilbert supuso que en el centro de la Tierra existe un imán gigantesco, que origina el campo detectado por las brújulas (Fig. No.1). Este modelo, aunque ilustrativo de las Líneas de Fuerza del CMT, no es realista.

Mediciones indirectas nos han permitido saber que nuestro planeta consta de un núcleo interno esférico, supuestamente sólido. Por encima de éste se encuentra el núcleo externo líquido, constituido, en su mayoría, de hierro y níquel, donde, se supone, se origina el CMT.

Las temperaturas en el núcleo (unos 4 000 °C), no permiten la existencia de cuerpos magnéticos, ya que superan la temperatura de Curie¹ de los materiales conocidos. Esto descarta el modelo de Gilbert.

El campo magnético generado por la Tierra, o *Campo Dipolar*, aporta el 90% del campo magnético medido en la superficie, y no es constante en magnitud ni en dirección². En el cuadro No.1 presentamos las mediciones realizadas entre 1885 y 1965, que indican una disminución en la intensidad del Momento Magnético de la Tierra³. Éstos resultados son promedios globales, medidos y calculados por la ESSA de Estados Unidos (1967). Otras mediciones, hechas por el satélite Magsat (1980), han confirmado esta tendencia.

¹ Temperatura a la cual, un material pierde sus propiedades magnéticas.

² El 10% restante se debe anomalías magnéticas asociadas con depósitos ferromagnéticos, corrientes telúricas, etc.

³ El Momento Magnético es un vector que indica la dirección e intensidad de las líneas de campo magnético.

Cuadro N°1. Mediciones del Momento Magnético de la Tierra, entre 1835 y 1965⁴.

Año de medición	Momento magnético (10 ²² A m ²)	Año de medición	Momento magnético (10 ²² A m ²)
1835	8,558	1945	8,010
1845	8,488	1945	8,066
1889	8,363	1945	8,090
1880	8,336	1955	8,035
1885	8,347	1955	8,067
1885	8,375	1958,5	8,038
1905	8,291	1959	8,086
1915	8,225	1960	8,053
1922	8,165	1960	8,037
1925	8,149	1960	8,025
1935	8,088	1965	8,013
1942,5	8,009	1965	8,017
1945	8,065		

Las variaciones en magnitud (y dirección) del CMT, llamadas *variaciones seculares*, no tienen una explicación sencilla, sin embargo, todos concuerdan en que están asociadas con el origen de este campo. En este trabajo, centraremos nuestro interés en lo concerniente a la magnitud del CMT.

MODELO DEL DÍNAMO AUTOINDUCIDO

En el siglo XIX, H. Oersted encontró que las corrientes eléctricas generan campos magnéticos, mientras que M. Faraday descubrió que campos variables inducen corrientes eléctricas, en espiras conductoras (Inducción de Faraday). Con estos resultados, J. Larmor (1919) postula la existencia de un Dinamo Autoinducido en el núcleo exterior de la Tierra, que origina el CMT.

Para entender mejor este modelo, vea la figura No.2. En esta figura, la corriente (i), que circula en el circuito, genera un campo magnético (B). El campo magnético inducido decrece con el tiempo, al igual que la corriente, debido a la resistencia del conductor.

⁴ "Origen y Destino del Campo Magnético de la Tierra" de T. Barnes. Pag 55. *Tecnociencia, Vol. 5, N°1*

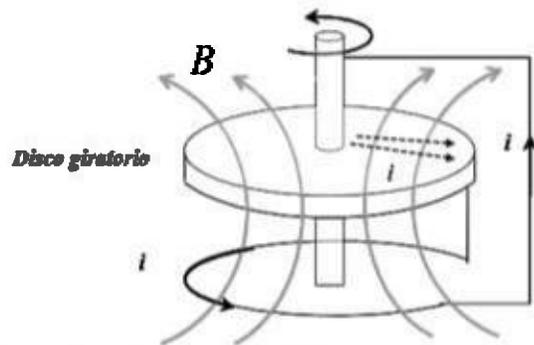


Fig. 2. Modelo simplificado del dinamo autoinducido.

Sin embargo, el campo magnético variable que atraviesa el disco giratorio, induce una corriente en éste, y la corriente inducida reforzará el campo inicial. Este proceso se repite en un ciclo interminable.

En el caso de la Tierra, el modelo es más complejo, pero el principio básico es el mismo: la rotación de la Tierra crea un flujo de partículas cargadas en el núcleo exterior del planeta; estas cargas en movimiento constituyen corrientes eléctricas, que originan un campo magnético. El campo magnético producido interactúa con el núcleo en movimiento e induce corrientes que refuerzan el campo inicial.

Por razones importantes, W. Elsasser (1939), E. Bullard & H. Gellmann (1954) modifican el modelo de Larmor, introduciendo movimientos más complejos que la rotación. El modelo de Elsasser-Bullard-Gellmann admite movimientos semejantes a "turbulencias ciclónicas" y "tornados convectivos" en el núcleo exterior de la Tierra.

Los complejos movimientos que requiere el Dinamo deben incluir periodos en que el flujo se detenga (G. Backus & A. Herzenber, 1958) y que, de cuando en cuando, ocasionen la inversión en la polaridad del CMT (reversiones).

La hipótesis de las reversiones fue presentada a inicios de los años sesenta, por L. Morley, D. Matthews & F. Vine. De esta forma, explicaban la magnetización de ciertas rocas y lavas enfriadas del fondo marino, las cuales presentaban una polaridad contraria al actual campo magnético. Al principio, esta hipótesis fue rechazada pero, posteriormente, quizás influenciada por los datos de la ESSA, fue admitida.

El magnetismo de las rocas del fondo marino y lavas enfriadas indica que las reversiones se han dado de forma espontánea, al azar, y con varias duraciones (miles o millones de años). Ya que las reversiones

toman muchos años en completarse, esto explicaría por qué el momento magnético está decreciendo. Esperamos que nuestro campo decrezca durante muchos años, luego, cambiará de dirección y aumentará, otra vez.

En enero del 2000, investigadores del Centro de Investigaciones de Karlsruhe (Alemania), probaron que un líquido conductor (sodio), en rotación y con los movimientos hipotéticos del núcleo, puede crear su propio campo magnético.

Críticas al Modelo

T. Cowling (1934) mostró que un campo magnético axialmente simétrico (como el caso de la Tierra), no puede ser generado por movimientos axialmente simétricos de un fluido conductor. Es decir, la rotación del núcleo terrestre no puede generar un campo como el nuestro. De allí que el modelo de Larmor fuera reemplazado por el de Elsasser, Bullard & Gellmann. Sin embargo, la fuente adicional de energía que permita movimientos tan complejos, no se ha determinado. De igual manera, el origen real de las reversiones no puede explicarse satisfactoriamente.

Por otro lado, no todas las magnetizaciones inversas se deben a reversiones. Existen procesos físicos, químicos o mecánicos (estratos sometidos a esfuerzos) que podrían modificar las características magnéticas de las rocas. Se pueden mencionar eventos geológicos que alteran la temperatura y el medio químico de las muestras; además que la magnetización de una roca puede ser modificada por la caída de rayos. En todo caso, los métodos actuales no pueden discernir entre las verdaderas reversiones y las producidas por los eventos señalados. En este sentido, se están desarrollando nuevos y mejores métodos, tal como la propuesta de J. Tarduno (2001). Más aún, aquellas reversiones confirmadas son cuestionadas, por evidencia experimental que indica que las reversiones fueron de corta duración; quizás semanas o meses. R. Coe & M. Prevot (1989 y 1995) reportan cambios en la dirección del campo a razón de 3° por día, es decir, una completa reversión en sólo dos meses.

Una falla importante del modelo la componen las predicciones que se hacen sobre los campos magnéticos de otros planetas. En Mercurio, por

ejemplo, no se esperaba encontrar un campo magnético, ya que posee un núcleo sólido. En 1974, el Mariner 10 comprobó la existencia de un campo magnético similar al nuestro. Su origen es desconocido.

Urano y Neptuno poseen núcleos rocosos, por tanto, no deberían poseer campos magnéticos. En 1986 y 1989, el Voyager 2 mostró la existencia de campos magnéticos en ambos planetas. Para Urano, se pensó en un dínamo formado por corrientes de partículas en un océano de agua helada, entre el núcleo y su atmósfera. Los reportes de la NASA descartan esta posibilidad. Para Neptuno, se desconoce el origen del campo detectado.

MODELO DEL DECAIMIENTO

Las bases teóricas del Modelo de Decaimiento se deben a H. Lamb (1883), quien desarrolló modelos para describir el comportamiento de corrientes eléctricas en conductores esféricos. Según Lamb, las corrientes que circulan en una esfera conductora, decaerían exponencialmente debido al efecto combinado de la resistencia interna y la inducción de Faraday. En la figura N° 3 se presenta un esquema simplificado.

En la figura N° 3a vemos como la corrientes que circulan en una bobina, conectada a una batería, generan un campo magnético en torno a la bobina. Si se extrae la batería del circuito (Fig. N° 3b), la corriente inicial comienza a decrecer por efecto de la resistencia de los cables; lo mismo ocurre con el campo magnético.

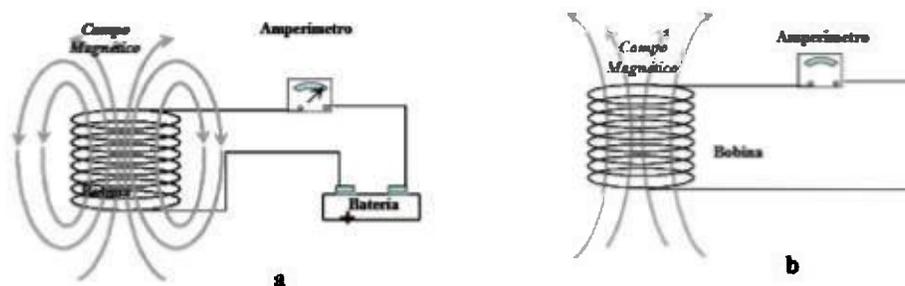


Fig. 3. Modelo simplificado del decaimiento de corrientes

El campo magnético variable que atraviesa la bobina inducirá corrientes que refuerzan el campo inicial, dilatando el tiempo que

tardan dichas corrientes en desaparecer. Un gráfico que represente la corriente (o campo) en función del tiempo será similar a la figura No.4.

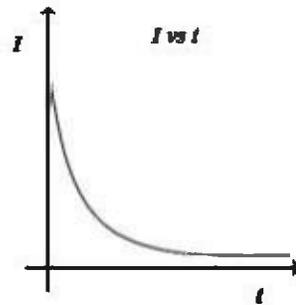


Fig. 4. Gráfico corriente (I) vs tiempo (t) en un sistema resistivo-inductivo.

En 1895, J. Hopkinson postuló que el CMT era el remanente del campo generado al inicio de la vida de la Tierra. Quizás utilizando un modelo como el de Lamb, Hopkinson calculó que el tiempo de decaimiento de las corrientes en el núcleo, era del orden de millones de años.

En la década de 1980, T.G. Barnes dio un nuevo impulso al modelo del decaimiento. Para Barnes, la fuente inicial del campo magnético fueron las corrientes eléctricas que circulaban en el núcleo del planeta durante su formación. Desde entonces, estas corrientes han estado decayendo exponencialmente (“*Decaimiento libre*”).

Al trazar los valores del cuadro N° 1 en un papel semilogaritmico, se obtiene una recta que permite calcular el tiempo de vida media⁵ del Momento Magnético terrestre.

Como se desprende del modelo de decaimiento libre, no hay lugar para las reversiones. El modelo explica la magnetización de las rocas, como efectos de caída de rayos, esfuerzos causados por movimientos sísmicos y otros procesos físico-químicos.

Hacia finales de los ochenta, R. Humphreys considera que existen evidencias suficientes sobre las reversiones, por lo que el modelo de Barnes debe ser modificado.

⁵ Tiempo que tarda una magnitud, que decae exponencialmente, en caer a la mitad de su valor inicial.

En lugar de un decaimiento exponencial como el de la figura N° 4, Humphreys supone una historia diferente para el CMT. En la figura No. 5, se muestra la evolución del campo magnético según el “*Decaimiento Dinámico*”. Este diagrama no está a escala ni incluye todas las reversiones, pero ilustra el comportamiento general del campo.

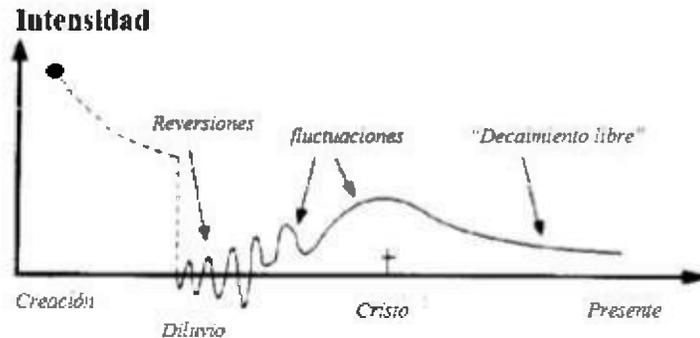


Fig. 5. Evolución del campo magnético según el modelo de Russel Humphreys.

Cuando se constituye el planeta, las corrientes internas del núcleo generan el primitivo CMT. Luego, debido a los efectos inductivo y resistivo del núcleo, éstas corrientes (y el campo magnético) decaen exponencialmente.

Las reversiones mostradas en la figura N° 5, se atribuyen a cataclismos globales que afectan el núcleo terrestre. Según Humphreys, se trata de las causas que originaron el “diluvio universal”. Durante este periodo, se producen reversiones caóticas y al azar en el campo dipolar, con duraciones de unas pocas semanas. Después, habrían fluctuaciones debido al movimiento residual. Pero las reversiones y fluctuaciones no cambian el patrón de decaimiento. Así, desde los tiempos de Cristo, el CMT continuaría decayendo.

En 1984, Humphreys publica un artículo en que hace predicciones sobre los campos magnéticos de Neptuno y Urano. Utilizando relaciones propias del modelo y parámetros de éstos planetas, Humphreys predijo un Momento magnético del orden de $10^{25} A m^2$ para Neptuno y Urano. En 1986 y 1989, el Voyager-2 encontró

momentos de $3,85 \times 10^{24} \text{ A m}^2$ y $2,16 \times 10^{24} \text{ A m}^2$, para Urano y Neptuno, respectivamente.

Críticas al modelo

En primer lugar, las explicaciones de las reversiones asociadas al “diluvio universal” no convencen a todos los científicos, y menos la posición de Barnes de rechazar estos fenómenos. Además, frente a la tasa de decaimiento exponencial postulada para el campo magnético, otros prefieren asignar una variación lineal.

Elsasser (1947) calculó que el tiempo de decaimiento era mucho más pequeño que la presumible edad de la Tierra. Considerando que el CMT “nació” con el planeta, el modelo de decaimiento de Barnes & Humphreys nos señala una edad no mayor de 20 000 años. En este sentido, se argumenta que muchas de las dataciones se basan en métodos radioactivos (C-14 y otros), pero éstas deben revisarse. Las dataciones con C-14 suponen que la tasa de interacciones entre la atmósfera y los rayos cósmicos ha sido constante, pero debido al decaimiento del campo magnético estas interacciones han aumentando.

CONCLUSIONES

El origen del CMT es y seguirá siendo un misterio, mientras las evidencias experimentales no permitan definir un modelo teórico único para explicarlo.

En este punto, no debemos subestimar o sobreestimar un modelo frente a otro. Tal vez el modelo que nos parece absurdo, será la respuesta al enigma, y aquel considerado “más plausible”, puede estar totalmente equivocado. Esto ha ocurrido antes.

El trabajo continúa y nos está llevando a explorar nuevas posibilidades, lo que es beneficioso para la Ciencia.

ABSTRACT

Data collected during XIX and XX centuries indicate a decrease in the strength of Earth's Magnetic Field (EMF). This phenomenon are bound to the origin of the Magnetic Field. From 1600 until today, several models have been presented trying to determine the origin of EMF. At this time, none is able to explain their

characteristics. Here we present two of these models: The Self-Sustaining Dynamo Model, explains that the flow of charged particles in Earth's outer core originates and reinforces the EMF. The movement of this flow is quite complex and chaotic. That's why, from time to time, the polarity of EMF shifts (reversals). During a Reversal, the strength of the Field will decrease for long time then, it will shift its polarity, and it will increase again. The Decay Model has had a recently new impulse. According to this model, the electric currents in Earth's outer core originated our first magnetic field, wich one have been decaying from then on, to an exponential rate. None of the presented models is free of difficulties, and the controversy among different models continuous, and it takes us to explore new possibilities.

REFERENCIAS

Anónimo. 1980. Magsat Down: Magnetic Field Declining. Science News. 117 : 407.

Barnes, T. G. 1981. Depletion of the Earth's Magnetic Field. Impact # 100. ICR.

Barnes, T.G. 1981. Origen y Destino del Campo Magnético de la Tierra. CLIE. España.

Barnes, T.G. 1983. Earth's Magnetic Age: The Achilles Heel of Evolution. Impact # 122. ICR.

Brown, R.H. 1989. Reversal of Earth's magnetic Field. Origins 16 (2): 81-94.

Humphreys, R. 1984. The Creation of Planetary Magnetic Field. CRSQ Vol. 21, Nº 3.

Humphreys, R. 1983. The Mystery of Earth's Magnetic Field. Impact # 188. ICR.

Humphreys, R. 1993. Earth's Magnetic Field is Young. Impact # 242, ICR.

Hurtado de Mendoza, D. 1996. El Enigma del Campo Magnético Terrestre. Ciencia Hoy. Vol. 6. No 33.

KHAN, M.A. 1980. Geología Global. Paraninfo S.A. Madrid, España.

Logachev A. & V. Zajarov. 1978. Exploración Magnética. Reverte. España.

Longwell, CH. & R. Flint. 1991. Geología Física. Limusa. México.

NASA.1995. Fact Sheet: Uranus Science Summary. (http://vraptor.jpl.nasa.gov/voyager/vgrur_fs.html).

NASA.1995. Fact Sheet: Voyager Neptune Science Summary. (http://vraptor.jpl.nasa.gov/voyager/vgrnep_fs.html).

Parkinson, W. D. American Geophysical Union. Geomagnetism: Theories of Since 1900. (<http://www.agu.org/history/mf/articles/Geomag20.html>).

Russell, C.T. 1991. Planetary Magnetospheres. Science Progress, 75, 93-105.

Simons, E. 1990. Geología Física Básica. Limusa. México.

Stern, D. 2000. Magnetic Reversals and Moving Continents. <http://istp.gsfc.nasa.gov/earthmag/reversal.htm>.

Telford, V., L. Geldart & R. Sheriff. 1990. Applied Geophysics. Cambridge University. USA.

Udias, A. & Mézcua, J. 1986. Fundamentos de Geofísica. Edit Alambra. España.

Udias, A. 1981. Física de la Tierra. Proyecto MT62, Alambra. España.

Recibido septiembre del 2002, aceptado octubre del 2002.



**DESCRIPCIÓN DE LA HEMBRA Y LARVA DE IV INSTAR DE
VILLEGASIA POSTUNCINATA (HALL, 1933) (DIPTERA :
SARCOPHAGIDAE) CON ÉNFASIS EN LA HEMBRA DE LA
ESPECIE Y NOTAS SOBRE SU REPRODUCCIÓN Y
HÁBITATS EN MANGLARES DE PANAMÁ**

Julio Méndez L.

Universidad de Panamá, Facultad de Ciencias Naturales, Exactas y Tecnología,
Departamento de Zoología

RESUMEN

El trabajo que se presenta contiene una descripción morfológica de los adultos y del tercer estadio larvario de la especie de díptero *Villegasia postuncinata* (Hall, 1933), basada en material recolectado y criado en manglares de Panamá. Se brinda información sobre los hábitos reproductivos y los hábitats ocupados por la especie en manglares panameños.

PALABRAS CLAVE

Sarcofágido, manglar, morfología, larva.

INTRODUCCIÓN

La especie de díptero *Villegasia postuncinata* (Hall, 1933) fue descrita por David G. Hall en 1933, quién la ubicó en el género *Sarcophaga Meigen*. El holotipo macho recolectado por C. H. Curran en 1929, en "Patilla Point, Canal Zone, Panama", el 15 de enero de 1929, fue encontrado por H. Rodney Dodge en la Colección Hall del United States National Museum (Dodge, 1966). Fue Dodge quien reubicó el taxón en un nuevo género y designó como especie tipo a *Villegasia difficilis* Dodge 1966, originaria de Venezuela. Según T. Pape (Pape, 1996), *V. difficilis* Dodge es sinónimo de *V. postuncinata* (Hall), cuya

distribución es desde Costa Rica hasta Venezuela y Perú. El apelativo "Patilla Point" puede ser equivocado y quizá debió escribirse "Paitilla Point", que en aquella época era un área de manglares bajo jurisdicción de los Estados Unidos de América. Después de la Segunda Guerra Mundial, que terminó en 1945, el área revirtió a la jurisdicción panameña y empezó un proceso de urbanización que conllevó a la desaparición de la especie allí.

Es un objetivo del presente trabajo facilitar la identificación de la especie y que pueda ser reconocida fácilmente durante las pesquisas biológicas.

MATERIALES Y MÉTODOS

Áreas de estudio

El estudio se llevó a cabo con especímenes criados provenientes de los manglares del Área Protegida de San Lorenzo, Provincia de Colón (79° 58' longitud W, 9° 23' latitud N), Isla Galeta, Provincia de Colón (79° 5' longitud W, 9° 3' 0" latitud N) y Cenegón del Mangle, Parita, Provincia de Herrera (80° 30' longitud W, 8° 10' latitud N).

Procedimientos

Se estudiaron 243 ejemplares de adultos, machos y hembras, 37 puparios y 4 larvas de tercer estadio. 73 ejemplares provenían del Cenegón del mangle, 114 del Área Protegida de San Lorenzo y 59 de Isla Galeta. Se utilizaron trampas cebadas con cuerpos de cangrejo (*Cardisoma crassum* Smith, 1870). Los cebos se colocaron en recipientes plásticos protegidos por trampas Bishop-Laake y se exponían por 24 horas, al término de las cuales se recobraba el material y se colocaba en cajas de cría para observar la emigración de las larvas, formación de pupas y emergencia de adultos. Algunos ejemplares fueron enviados al Dr. Thomas Pape, Museo de Historia Natural, Estocolmo, Suecia, para identificación. Los adultos que emergían se colocaban en bolsas de plástico y se guardaban en un congelador hasta que pudiera estudiarse su morfología. Las larvas se sacrificaban con agua caliente y se guardaban en etanol, lo mismo que los puparios. Dos larvas de tercer estadio se trataron con hidróxido de potasio caliente por 24 horas para aclarar el esqueleto cefalofaríngeo y se guardaron en aceite de clavo. Las observaciones morfológicas y las mediciones se hicieron con un estereomicroscopio Ward y un

micrómetro graduado a 40 divisiones por milímetro. Especímenes se depositaron en el Museo de Invertebrados G. B. Fairchild de la Universidad de Panamá, el Museo de Historia Natural de Estocolmo, Suecia, y en la colección personal del autor. En las mediciones corporales se utilizaron las normas establecidas por Sabrosky et al (1989), la terminología empleada es la de McAlpine et al (1981).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Morfología de machos adultos (Fig. 1a-1b)

Longitud corporal 4 - 8 mm; frente 0.16 del ancho de la cabeza; ancho de la frente 0.3 - 0.8 mm; ancho de la cabeza 2 - 2.8 mm; ancho ocular 0.3 - 0.8 mm; ancho parafacial 0.15 - 0.35 mm; intervalo vibrisal 0.4 - 0.7 mm; largo del ojo 1.15 - 1.60 mm; altura de la gena 0.35 - 0.58 mm. En la cabeza hay 9 - 10 setas frontales, siguiendo el margen de la frente, sin diverger abruptamente. Setas parafaciales en fila simple paralela al margen interno de los ojos. Micropubescencia de la placa frontoorbital y de la gena amarilla. Gena con pelos oscuros antes de la sutura metacefálica, pelos amarillos por debajo de ella. Proboscis y antenas oscuras. Triángulo ocelar bien marcado, con dos setas ocelares largas. Una seta frontoorbital reclinada a cada lado, una seta vertical interna a cada lado. Región posterior de la cabeza con foramen occipital circular y dos penachos de pelos supracervicales amarillos, cortos. Pelos occipitales amarillos. Una fila de setas postoculares oscuras. Tórax, a cada lado, con una seta acrostical postsutural, siete setas dorsocentrales (tres presuturales, cuatro postsuturales), cinco setas supraalares (dos presuturales, tres postsuturales), tres setas en la callosidad humeral, dos setas en la callosidad postalar. Cuatro setas notopleurales. Anepisternum con 5 - 6 setas posteriores y una anterior (seta epiracular), katepisternum con tres setas (existe mucha variación en el número y disposición de las setas en este esclerito). Proepisternum con tres setas, proepimeron con una seta, meron con 10 - 12 setas. Primer par de patas con área oscura y ovoide en la superficie anterior cerca de la coxa; segundo par de patas con peine sexual formado por 5 - 9 dientes negros y curvos en el margen posteroventral, cerca de la articulación con la tibia (fig. 2). Terguitos abdominales II a IV con una seta marginal lateral a cada lado; terguito abdominal IV con una seta marginal medial y dos setas marginales laterales, a cada lado. Terguito abdominal V con fila de

12 setas marginales primarias, número variable de setas marginales secundarias. Sintergoestemito, 7 + 8 con tres setas a cada lado. Epandrium globoso con muchos pelos delgados oscuros dispuestos irregularmente. Cercos oscuros, bordes casi paralelos, numerosos pelos en la cara externa y margen posterior; surstilus grande, en forma de hemiciclo, borde posterior casi recto, numerosos pelos en cara externa; parameros oscuros en forma de gancho; gonopodios curvos con seis setas cerca del margen ventral. Aedeagus simple, con basifalo cilíndrico, aplanado, distifalo en forma de L, con pequeños comículos oscuros en la cara anterior; falotrema del distifalo en forma acorazonada con varios dientecillos esclerosados en la superficie dorsal, borde ventral cubierto por fina pubescencia amarilla, borde posterior con siete espinas a cada lado, algunas bifurcadas. Yuxta caliciforme con extremo libre aserrado. Un sólo gonoporo. Esternito dividido, con borde interno cubierto por fina pubescencia amarilla y pelos finos espaciados regularmente, superficie ventral con pelos largos hacía el ápice.

Morfología de hembras adultas (Fig. 3a - b)

Las hembras adultas no eran conocidas hasta el presente estudio. La morfología de éstas es similar a la de los machos excepto por diferencias debidas al dimorfismo sexual, el cual se nota en la cabeza y en los segmentos terminales del abdomen. El ordenamiento de las setas en las extremidades también muestra diferencias.

Las proporciones de la cabeza son: ancho de la frente 0.3 - 0.4 mm, ancho de la cabeza 1.8 - 2.25 mm, ancho ocular 0.18 - 0.25 mm, ancho parafacial 0.2 - 0.25 mm, intervalo vibrisal 0.4 - 0.5 mm, largo del ojo 1.25 - 1.70 mm, altura de la gena 0.2 - 0.5 mm, frente 0.27 del ancho de la cabeza. Cabeza con dos pares de setas proinclinadas fronloorbitales, las inferiores más largas y gruesas; un par de setas retroinclinadas fronloorbitales; un par de setas verticales externas, un par de setas verticales internas y un par de postverticales pequeñas. El ordenamiento de las setas en las extremidades difiere del de los machos como sigue: primer par con tres setas anteriores en la tibia, tibia del segundo par con tres setas anteriores; tercer par con tres setas anteriores en el fémur y cuatro posteriores, tibia con tres setas anteriores y tres setas posteriores.

Morfología de la larva de tercer estadio (Fig. 4a - d)

V. postuncinata es larvípara. Los dos primeros estadios larvarios son de efímera duración y muy difíciles de recolectar, por tanto se describe el tercer estadio. La larva es algo diferente de la típica larva sarcófagida en que tiene forma de punta de lanza, algo aplanada en sentido dorsoventral y posee tubérculos laterales muy prominentes. La longitud promedio de las cuatro larvas estudiadas es de 7 mm. El penúltimo segmento muestra (en vista dorsal) una fila de doce tubérculos, seis de cada lado, el par externo apuntando en dirección laterodorsal. En vista ventral este segmento muestra ocho tubérculos, el par lateral siendo mucho más prominente. El segmento terminal contiene la cavidad espiracular, que es profunda y de forma ovalada, con los espiráculos posteriores.

Los bordes de la cavidad están rodeados por tubérculos, cuatro dorsales (dos de cada lado) y seis ventrales (tres de cada lado). Hay también un par de tubérculos muy prominentes que apuntan lateralmente. El esqueleto cefalofaríngeo aparece dibujado en la figura 4d.

Reproducción y hábitat

V. postuncinata habita las zonas costeras de Panamá. Reeves et al (2000) mencionan haber hecho observaciones sobre la especie en zonas costeras de Costa Rica; ellos aseguran que han obtenido adultos machos utilizando cebo de cangrejo. El autor ha podido realizar observaciones utilizando diversos cebos que parecen demostrar la preferencia de las hembras en larvipositar en sustrato de cangrejo descompuesto y se ha recolectado en zonas de manglares, lo cual indica que ese es su medio reproductivo. Una vez la hembra larviposita, toma seis días para que la larva madura de tercer estadio emigre del sustrato, un día para empupar y cinco días para que el adulto emerja del pupario.

CONCLUSIONES

Se ha llevado a cabo una descripción morfológica de los adultos de la especie *V. Postuncinata*, dando a conocer, tanto la hembra como la larva de tercer estadio, hasta ahora desconocidas. El estudio confirma que el hábitat de la especie es la comunidad de manglares costeros e indica algunas áreas donde habita en Panamá así como las posibles causas de su distribución en esas regiones.

ABSTRACT

The work herein presented contains a morphological description of the dipteran species *Villegasia postuncianta* (Hall, 1933) so far known from male specimens only. The author provides a fair account of the morphology of the third instar larva, indicates where the species is distributed, identifies reproductive habitats, and larviposition substrate.

KEYWORDS

Sarcophagid, mangrove, morphology, larva.

REFERENCIAS

- Dodge, H. R. 1966. Some New or Little-known Neotropical Sarcophagidae (Diptera), with a Review of the Genus *Oxysarcodexia*, *Ann. Ent. Soc. Am.*, 59(4):674-701.
- Hall, D. G. 1933. The Sarcophaginae of Panama (Diptera: Calliphoridae), *Bull. Am. Mus. Nat. His.*, LXVI(2):251-285.
- McAlpine, J. F., B. V. Peterson, G. E. Shewell, H. J. Teskey, J. R. Vockeroth & D. M. Wood. 1981. *Manual of Nearctic Diptera*, Research Branch Agriculture Canada, Monograph No. 27, 1:9-88.
- Pape, T. 1966. *Catalogue of the Sarcophagidae of the World (Insecta: Diptera)*. *Memoirs on entomology International*, 8:558 pág.
- Reeves, W. K., T. Pape & P. H. Adler. 2000. Biological notes on New World Sarcophagidae (Diptera), *Studia Dipt.*, 7:2, 497-500.
- Sabrosky, C. W., G. F. Bennet & T. L. Withworth. 1989. *Bird Blowflies (Protocalliphoridae) in North America (Diptera: Calliphoridae)*, with notes on the Palearctic Species, Smithsonian Institution Press, Washington, D. C., 312 pág.

Recibido julio del 2002, aceptado noviembre del 2002.



a



b

Fig. 1. a-b. Estructura de la cabeza del macho de *Villegasia postuncinata* (Hall, 1933).

a- Vista frontal

b- Vista lateral



Fig. 2. Vista del peine sexual en el fémur de la segunda pata (borde dorso ventral).



a



b

Fig. 3. a-b. Estructura de la cabeza de la hembra de *Villegasia postuncinata* (Hall, 1933).

a- Vista frontal

b- Vista lateral



c



d

Fig. 3. c-d. Estructura del aedeagus
c- Phallus, parameros y gonopolio (vista lateral derecha)
d- Falotrena y yuxta. (vista frontal).

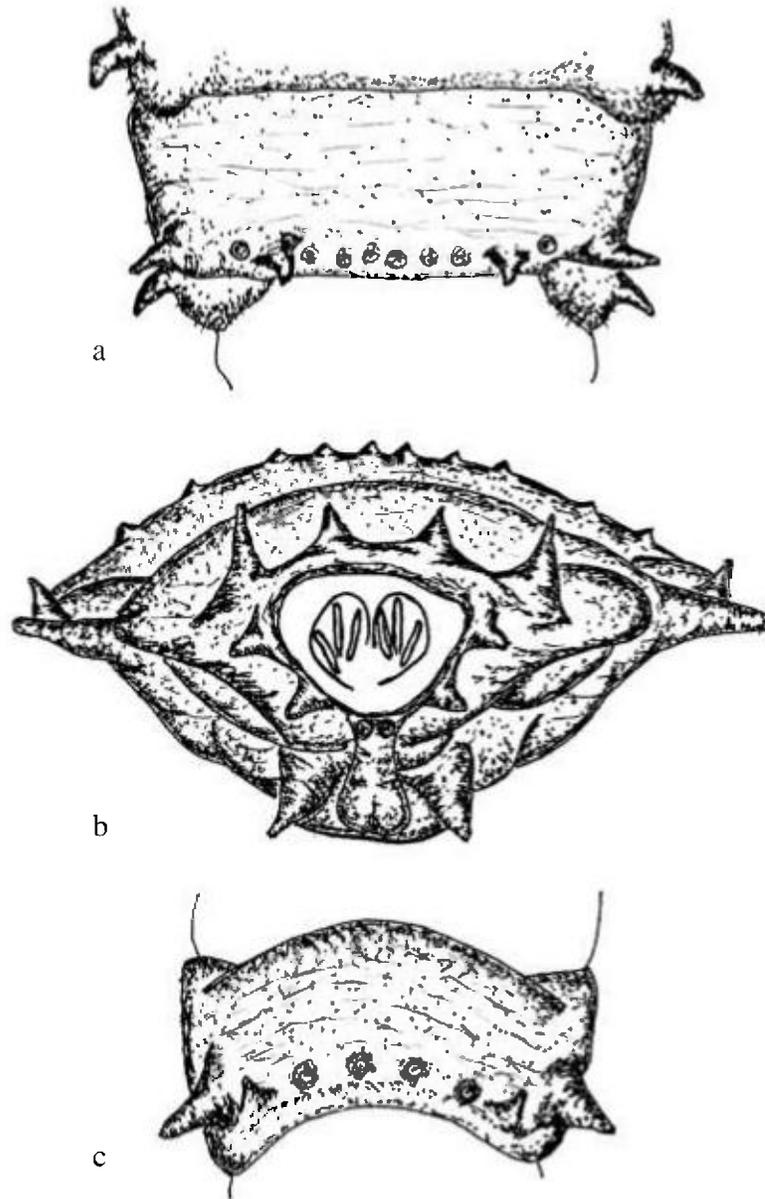


Fig. 4. a-c. Estructura larvaria, segmentos terminales
a- Penúltimo segmento (vista dorsal)
b- Segmento terminal (vista posterior)
c- Penúltimo segmento (vista ventral)



Fig. 4d. Esqueleto cefalofaríngeo.

CARACTERÍSTICAS DE CUARZOS

Fernández B., Fernández A. y Rodríguez M.

Universidad de Panamá, Centro de Investigaciones con Técnicas Nucleares

RESUMEN

La datación de cerámicas arqueológicas por la técnica de grano fino, utiliza el cuarzo con ese propósito. Las cerámicas panameñas contienen cuarzo continental de origen geológico reciente, ya que nuestra región estaba inmersa en el mar hasta el final de la era secundaria (final del cretáceo, 65 millones de años) y surgió con la caída del meteorito sobre la península de Yucatán, con un alto volcanismo. Sin embargo, la técnica de datación por grano fino se puso a punto con cerámicas de cuarzo de épocas geológicas anteriores. Con propósitos de caracterización, se programó un estudio sistemático de cuarzos recientes versus cuarzos geológicamente viejos. Dentro de ese programa se seleccionaron, por exoscopia, dos tipos extremos representativos de la gama de cuarzos. Uno de edad geológica avanzada, de baja cristalización y bastante meteorizado, llamado europeo por el lugar de colecta. El otro de edad geológica reciente, bien cristalizado, con poca meteorización, llamado panameño. En este trabajo se reportan los resultados de esta primera caracterización. Por MEB, los granos del cuarzo europeo manifiestan mayor desgaste de los bordes e irregularidades en la superficie típico de la edad avanzada. Por ATD, se encuentra la transición característica de la estructura alfa a la estructura beta y constató la mayor cristalinidad en el panameño que en el europeo. ATD y MET indican un cuarzo europeo muy fragmentado en su interior. Además, MET mostró muchas dislocaciones, hendiduras, una gran cantidad de burbujas de agua y las señas típicas (maclas) del sometimiento a grandes presiones en el cuarzo europeo, las cuales están ligadas a la presencia de H_2O_4 . El cuarzo panameño solo desplegó, y en un número muy reducido, las burbujas de agua al ser calentado a $700\text{ }^\circ\text{C}$ y no mostró las maclas de las presiones de la caída del meteorito sobre Yucatán. El cuarzo europeo muestra bandas asociadas a los sitios AlO_4 y GeO_4 . Es posible que en el panameño la cantidad de estos sitios sea inferior al límite detectable por el aparato.

PALABRAS CLAVES

cuarzo, datación, infrarrojo, microscopia electrónica, termoluminiscencia, análisis térmico diferencial.

INTRODUCCIÓN

En el proceso de datación de cerámicas arqueológicas del Cerro Juan Díaz, con la técnica de grano fino, se procedió a la intercomparación de los resultados de calibración obtenidos en nuestro laboratorio con los del Instituto de Estudios Atómicos de Viena. Se encontraron diferencias significativas en la sensibilidad a la radiación entre los tiestos de la legión romana-austriaca con los de la Provincia de Herrera. Esto condujo a la elaboración de un programa para el estudio sistemático del origen de las diferencias encontradas, mediante la comparación de las respuestas termoluminiscentes a la radiación en cuarzos que presentan alta meteorización, como la identificada en los tiestos europeos en cuestión y los de origen geológico reciente, con poca meteorización, como la detectada en las arcillas chitreanas [Project PAN/2/005-01, Fernández & Beitia, 1992]. La primera parte del programa consistió en la caracterización de los cuarzos para establecer una correlación entre los sitios identificados y las respuestas termoluminiscentes. En este primer trabajo procedemos a dicha caracterización.

El cuarzo es uno de los materiales, contenido en las arcillas, más sensible a la radiación y, además, son esas propiedades en la que se basa la datación de las cerámicas antiguas [McKeever, 1988, 1991]. Estas consisten de una matriz de arcilla calentada que contiene inclusiones pequeñas, generalmente de cuarzo y feldespatos. Estas inclusiones son mucho más sensibles que el material de la matriz, desde el punto de vista de su respuesta termoluminiscente. El cuarzo es la inclusión más común y contiene, en general, aproximadamente 1 ppb de Th, U y ^{40}K (Hochman et al, 1987). La dosis total absorbida por el cuarzo se debe a las radiaciones alfa, beta y gama provenientes de esos elementos radiactivos que se encuentran en el tiesto y sus alrededores, sumadas a una pequeña contribución de la radiación cósmica. Según estudios realizados por Bell (1990) [2], la atenuación de la radiación alfa para granos de cuarzo comprendidos entre uno y ocho micrómetros es, en promedio, aproximadamente 5%. Las partículas beta penetran aproximadamente quinientos micrómetros y las gamas, alrededor de treinta centímetros. Esto está a la base del desarrollo de dos métodos para datar cerámicas: la técnica de grano fino y la técnica de inclusión de cuarzo.

Los objetivos específicos de este primer trabajo son:

- Realizar una caracterización sistemática de dos tipos de cuarzos extremos en su comportamiento, utilizando técnicas como Microscopía Electrónica de Barrido (MEB), Análisis Térmico Diferencial (ATD), Absorción Atómica (AA), Espectroscopia Infrarroja (EI), Técnica de Conteo de Radiación Alfa, Microscopía Electrónica de Transmisión (MET) y Termoluminiscencia (TL).

- Detectar diferencias estructurales, entre las muestras analizadas, para establecer el origen de la diferencia en la respuesta termoluminiscente del material.

- Correlacionar la respuesta termoluminiscente con los defectos y trampas que pueda poseer la muestra de cuarzo.

MATERIALES Y MÉTODOS

CUARZO METEORIZADO, CUARZO CRISTALINO Y CUARZO PATRÓN.

Para nuestro estudio, seleccionamos cuarzos que pudiesen presentar diferencias notables en las propiedades termoluminiscentes.

Por un lado, se escogió un cuarzo de litoral, de zona intertidal. Los suelos en estas zonas están sometidos a inmersiones y emersiones alternadas y están compuestos de una mezcla, en proporciones variables, de piedras y granos provenientes de la meseta continental, las ante playas, las altas playas y las dunas litorales. En las zonas intertidales, las rocas adquieren uno o más de los micro caracteres siguientes [Ribaut, 1984]:

- Disolución durante las inmersiones en agua de mar (sub-saturada en sílice disuelta). De acuerdo al tiempo que han estado en las playas, se pueden observar todo tipo de figuras sobre las piedras o granos: desde el simple decapado hasta las de disolución geométricas (estas disoluciones son mayores mientras más elevada sea la energía del medio y las figuras son más numerosas y mejor formadas sobre los vértices y sobre las caras planas).

- Depósitos de silicio específicamente **localizados** en las depresiones de la superficie.

- Las muestras fueron recolectadas en la Punta de Grouin, playas de Bretaña (costas de Francia). Se escogió esa región porque suministra un cuarzo intertidal altamente meteorizado y con muchas impurezas, de apariencia poco cristalina, de una edad geológica avanzada, ya que es de un área que está dentro del maciso armoricano (herciano), pero en un basamento precámbrico (más de 600 millones de años), al borde de un mar con una plataforma pentevriana. Esa región particular no fue afectada por la orogénesis del herciano, pero sí del cadomiano (con intensos metamorfismos y deformaciones por la dinámica de placas). Además, es una región que sufrió fuertes flujos térmicos, tiene tectonismo histórico medio y bajo tectonismo actual. Las características visibles que evidencian un cuarzo poco cristalino y meteorizado son las siguientes: bordes de las caras del material pulidos y redondeados, su aspecto es de color blanco lechoso, con coloraciones que pueden provenir de impurezas y defectos, posee una apariencia de aglomerado y tiene depósitos de polvo muy fino de color blanco lechoso y crema (posiblemente sílice o sílica disuelta) específicamente localizados en las depresiones de las superficies. Los granos molidos de este cuarzo son muy similares, al ser observados en el microscopio óptico, a los granos separados de las cerámicas de Viena.

En el otro extremo, se escogió un cuarzo continental de origen geológico reciente por el lugar de colecta, que es la Universidad de Panamá, región que estaba inmersa hasta el final de la era secundaria (final del cretáceo, 65 millones de años) y que posterior a ésta presentó un activo volcanismo. Fue extraído de algunos centímetros de profundidad y por exoscopia presenta poca alteración, posee bordes bien definidos y poco erosionados, de aspecto macrocristalino, transparente e incoloro. Está sobre un soporte de color morado, posiblemente amatista. Los granos molidos de este cuarzo son muy similares, al ser observados en el microscopio óptico, a los granos separados de las arcillas de Chitré [Castillo et al., 1991].

Finalmente, como muestra patrón se utilizó un cuarzo brasileño, del Estado de Minas Gerais, región precámbrica constituida en gran parte por cuarcita. La muestra ha sido calificada por la Ward's como monomineral de alta pureza, útil como estándar de Difracción de Rayos X y de microsondas, altamente cristalino y bien caracterizado.

PREPARACIÓN DE LAS MUESTRAS Y DESCRIPCIÓN DEL EQUIPO UTILIZADO.

Microscopía Electrónica de Barrido (MEB)

Se trituraron y seleccionaron granos de cuarzo entre 1 y 8 μm . En las primeras observaciones aparecieron aglomeraciones de los granos. Se procedió al lavado con el objetivo de tratar de eliminar los iones de intercambio de la superficie de la muestra y cualquier posible material adherido. Este se hizo con ácido acético al 5%, luego con agua desionizada. La muestra se mezcló con acetona grado analítico y fue colocada en un limpiador de ultrasonido. Finalmente esta solución fue distribuida en 6 tubos de ensayo. Estos tubos se colocaron en la centrifugadora por 240 segundos para eliminar la acetona. Este procedimiento fue repetido cinco veces. Para la observación por MEB, la muestra fue mezclada con etanol analítico. Utilizando una pipeta de 50,0 microlitros, se depositó sobre un portamuestra cilíndrico de acero o sobre un disco de aluminio, cuya superficie había sido recubierta previamente con una capa conductora de cemento de carbón marca Neubauer chemikalien. Se dejó secar por 24 horas. Finalmente fue colocada en una cámara de vacío para recubrirla con una delgada capa de oro por el método de "sputtering" (Hummer VI-A, Anatech-LTD). Las observaciones fueron realizadas en un microscopio marca Jeol, modelo JSM 5 300 LV.

Análisis Térmico Diferencial (ATD)

Se calibró con oro y aluminio. El material inerte que utilizamos fue alúmina en polvo con cristales de tamaños mayores de 8 μm . Se escogieron muestras entre 14,0 y 15,0 mg de cuarzo entero, de cuarzo molido con tamaño de grano entre 1 y 8 μm y de grano superior a 8 μm . Se colocó un poco de alúmina, luego cuarzo y se agregó nuevamente alúmina para que los dos portamuestras tuviesen material hasta la misma altura. Se trabajó en atmósfera de nitrógeno.

Se utilizó un ATD 7 "Differential Thermal Analyzer" de la "Perkin-Elmer". Está compuesto de un horno, un controlador, una PC y se le puede incorporar gas de purga para la atmósfera de la reacción.

Absorción Atómica (AA)

Las muestras de cuarzo en polvo fueron disueltas en una solución de HCl (36,5-38,0 %) y HF (49,2%), en proporción 1:1, digeridas cinco veces en un recipiente de teflón durante 2 minutos cada vez. Para

realizar los estudios por absorción atómica utilizamos un espectrofotómetro modelo 569 de la Perkin-Elmer.

Espectroscopia Infrarroja (EI).

El rango de medición fue de $4\ 000\ \text{cm}^{-1}$ a $400\ \text{cm}^{-1}$, catalogado mediano. Las muestras de cuarzo fueron mezcladas con KBr grado espectroscopia infrarroja (Prolabo) y posteriormente fueron empastilladas. El porcentaje de muestra que se mezcló con el KBr no fue controlado, por lo cual nuestros espectros sólo nos permitieron realizar un análisis cualitativo. Se utilizó un espectrofotómetro infrarrojo Shimadzu IR 470 U con una resolución de $4\ \text{cm}^{-1}$.

Conteo alfa por el método de pares.

Se colocaron 2,000 0 g (cantidad previamente estudiada como óptima) de la muestra en polvo en forma de una capa delgada y homogénea sobre una pantalla de sulfuro de zinc. Este conjunto va dentro de un portamuestras sellado para evitar el escape del radón. La muestra se puso en la parte superior del tubo fotomultiplicador. Se fijó el voltaje óptimo, según estudios previamente hechos para el fotomultiplicador, y se inició el proceso de conteo. Cuando la partícula alfa alcanza la pantalla se producen centelleos, mientras que la pantalla es prácticamente insensible a las partículas beta y gama. Se utilizó un contador alfa modelo DAYBREAK 582 y el método de pares de Huntley and Wintley.

Microscopía Electrónica de Trasmisión (MET) (con microsonda y difracción de RX Integrados)

Inicialmente el cuarzo es cortado, con las cortadoras apropiadas (tronzadora o sierra automática), en forma de una pequeña laminilla de 5,0 mm de diámetro y unas 300 μm de espesor. Esta última se coloca en una cortadora ultrasónica para obtener discos de 3,0 mm de diámetro externo. Como se debe obtener un espesor ultrafino de la muestra entre 10 y 15 μm , se utiliza un sistema de lijado. Este consiste en un doble cilindro de acero inoxidable, uno dentro del otro, que desliza bien ajustado. El cilindro interno tiene asociado un tornillo micrométrico para llevar el control del espesor de la muestra. Ésta se pega con un polímero sobre la superficie del cilindro interno y se determina su espesor con el tornillo micrométrico. Con la muestra adherida al juego de los dos cilindros, se lija sobre un papel lija de borón. Una vez alcanzado la mitad del espesor, se invierte el disco de

cuarzo para lijar la otra cara. Cuando se obtiene alrededor de 15 μm , se quita la muestra y se verifica el espesor con ayuda de un microscopio óptico. Se enfoca primeramente la superficie superior de la muestra, luego se enfoca la superficie inferior de ésta y se mide el desplazamiento del lente objetivo entre estas dos posiciones de enfoque; este desplazamiento representa el espesor de la muestra. Conocer el espesor inicial permite calcular el tiempo que debe ponerse la muestra en el aparato de bombardeo con flujo iónico para adelgazarla hasta espesores inferiores a 1,0 μm . Si no se obtiene el espesor deseado de cerca de 15 μm , la muestra debe ser cuidadosamente lijada de nuevo con el abrasivo hasta lograr obtenerlo.

A partir de espesores de 100 μm , la muestra no debe ser manipulada directamente con pinzas, pues es muy frágil. Esto se hace utilizando una hipodérmica, a la cual se le adhiere un tubo de caucho. Para transportar la muestra, se hace una ligera succión sobre la delgada laminilla finalmente obtenida, de tal manera que ésta se pegue a la jeringuilla. Esto permite trasladar la muestra y pegarla con un polímero sobre un anillo de cobre de diámetro externo de 3,0 mm e interno de 1,0 mm. El pegamento se deja secar por dos horas a la temperatura del plato caliente que está aproximadamente entre 280 y 380 °C.

Posteriormente, la muestra se coloca en un sistema de bombardeo iónico (en nuestro caso fue de iones de argón), hasta obtener una cuña de 15,0 ° sobre el diámetro central de 1,0 mm de la muestra. En general, para muestras de cuarzo, se necesita bombardear cerca de una hora por cada micra de espesor que se deba adelgazar. Luego se cubre la muestra con una capa conductora de carbón. Después de esta etapa, está lista para ser observada por MET. En esta técnica, se hace incidir un haz homogéneo y continuo de un máximo de 0,50 μm de radio sobre el material en estudio. El microscopio utilizado permitió obtener haces de hasta 300 keV y la longitud de cámara del aparato era de 0,864 cm. Los electrones del haz incidente que logran atravesar la muestra (esto es los electrones transmitidos y difractados), permiten obtener información sobre la estructura interna del material. Si se trata de un sólido cristalino, los electrones se difractarán, por lo cual el microscopio puede ser operado de tal manera que se produzca bien un patrón de difracción o bien una imagen del área iluminada por los materiales. Adicionalmente, los rayos X característicos, debido a las

transiciones de los electrones que han sido excitados por el haz primario, permiten realizar un análisis químico elemental por fluorescencia de rayos X. Este se hizo a 40 keV. El detector de fluorescencia utilizado en este caso es un semiconductor de baja temperatura. Las observaciones se efectuaron en un microscopio TEM Phillips CM-30 de 300 keV.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

1- Microscopía Electrónica de Barrido

Las observaciones por microscopía electrónica de barrido permiten verificar y mejorar las apreciaciones de la exoscopia para la caracterización, muestran un cuarzo europeo con superficies de grano muy irregulares y un cuarzo panameño y brasileño con superficies más lisas y caras planas mucho mejor definidas. Inicialmente, el cuarzo europeo mostró una superficie llena de irregularidades tipo copo de nieve, que desaparecieron con el lavado múltiple con agua desionizada. Esto permite suponer que se trataba de cloruro de sodio sobre la superficie, debido a que es un cuarzo de litoral, zona intertidal, sometido a inmersiones y emersiones alternadas con agua de mar. Los cuarzos brasileño y panameño presentan pequeños cristalitas adheridos a la superficie, principalmente por los enlaces rotos debido al molido. Pero en el cuarzo panameño se observa una mayor cantidad de éstos, indicando más defectos en los cortes.

2- Análisis Térmico Diferencial

La identificación del DTA confirma características del cuarzo diferente de otras formas de óxidos de silicio. Para el análisis por DTA, se tomaron entre 14 y 15 mg de cada muestra. El protocolo de calentamiento que se utiliza es llevar la muestra desde la temperatura ambiente (25 °C) hasta 650 °C a una tasa de 10 °C/min. Se escogió esta tasa pues se estudiaron diversas alternativas y de entre ellas, 10 °C/min presentó el pico más profundo en los termogramas con muestras de grano entero. Todas las muestras marcan claramente la transición del cuarzo de estructura alfa a estructura beta. La única diferencia entre las muestras es el tamaño del grano. Podemos observar una clara dependencia, con el tamaño del grano, tanto de la forma del pico como de las temperaturas de inicio de la reacción denominada onset y del máximo de la transición. Primero, salta a la vista, la diferencia, en profundidad, que hay entre los picos de los

termogramas. Esto parece indicar que hay un problema de transferencia de calor cuando el tamaño de grano de la muestra es comparable con el tamaño de grano del material inerte utilizado (alúmina). Esto lo revela la significativa disminución en la profundidad del pico para la muestra con tamaño de grano mayor de 8 μm . Sin embargo, cuando el tamaño del grano de la muestra es mucho mayor (grano entero) o mucho menor (entre 1 y 8 μm) que el grano de la alúmina, la transición está mejor definida. La muestra con grano entero presenta el mayor onset. Esto es comprensible si suponemos que la reacción se inicia por la parte más desordenada que, en principio, es la superficie de la muestra. En nuestro caso, la muestra de grano entero es la que presenta una superficie menor, luego menos desorden, por lo que será la última en iniciar la reacción. Las muestras pulverizadas presentarán una superficie mayor y más desordenada, ya que hay enlaces rotos y posiblemente algunas contaminaciones.

Tamaño del grano	muestra de cuarzo	T ₁ (°C)	T ₂ (°C)
entre 1 y 8 μm	Brasileño	570,2	569,0
	Panameño	569,7	567,3
	Europeo	573,9	568,1
mayor de 8 μm	Brasileño	571,6	568,8
	Panameño	573,1	569,6
	Europeo	573,5	569,2
Entero	Brasileño	577,0	573,3
	Panameño	573,4	568,9
	Europeo	574,7	570,3

Los picos para las muestras con tamaño de grano entre 1 y 8 μm y grano entero son más agudos.

Para el cuarzo europeo, la diferencia en onset tampoco es significativa, aunque sigue el comportamiento del cuarzo brasileño y el panameño. Ahora bien, la diferencia de la posición del máximo de la muestra con granos entre 1 y 8 μm no es tan diferente a las otras dos. Tiene muchas dislocaciones, lo que es consistente, como se verá más adelante, con los resultados obtenidos por microscopía electrónica de transmisión.

En el termograma con la muestra de grano entero se puede ver una pequeña depresión, como si marcara el inicio de una reacción que no es la principal. Esto se puede explicar observando, por microscopía electrónica de barrido, que los granos presentaban pequeñas adherencias en la superficie y la observación directa del grano que mostraba un polvo de silicio o de sílica amorfa, muy específicamente localizado en las depresiones de la superficie. Esto significa desorden. Por tanto, el onset real tiende a ser menor aunque no se asocia al pico principal, ya que la cantidad de este material adherido es pequeña. En los otros cuarzos, también se encontró adherencias pero en cantidades mucho menores que en el cuarzo europeo. Los detalles de los termogramas muestran ciertas depresiones en la curva mucho antes de la reacción principal, más pronunciado en el cuarzo panameño que en el brasileño y más importante en el europeo que en el panameño.

Podemos comparar los termogramas para los cuarzos sin variar el tamaño del grano. Notamos que el cuarzo brasileño presenta menos desorden que los otros, ya que el onset de éste es el mayor, el ancho a media altura es el menor y la respuesta en sensibilidad es la mayor. Se ve que los picos del cuarzo panameño, comparado con el europeo, son más angostos por lo que decimos que la reacción es más rápida en el cuarzo panameño. En el cuarzo europeo la reacción es más lenta lo que indica mayor desorden en la estructura cristalina. Esto corrobora la mayor cristalinidad del cuarzo panameño con respecto al europeo. Para las muestras con granos mayores que 8 μm , los termogramas muestran mejor transmisión de calor en el cuarzo brasileño que en los otros dos cuarzos.

3- Absorción Atómica

El análisis por AA permite confirmar la existencia de sitios específicos por la presencia de las impurezas medibles. Los contenidos en los elementos principales en los cuarzos, como impurezas, se indican en la siguiente tabla.

Muestra	Na	K	Fe	Ca	Mg	Zn
Cuarzo europeo	16.8 %	0.24 %	0.8 %	0.08%	0.16%	0.04%
Cuarzo panameño	0.28%	*	*	0.08%	0.08%	*
Cuarzo brasileño	4.16%	*	*	0.08%	0.04%	*

*Este símbolo indica que la concentración estaba por debajo de los límites detectables.

A partir de estos resultados obtenemos un contenido de Na en el cuarzo europeo 60 veces mayor que el encontrado para el cuarzo panameño. En cuanto al potasio, el contenido en el cuarzo europeo estudiado es de 0,24 % ($2,6 \times 10^{-5}$ % de K-40), mientras que en el cuarzo panameño este contenido estaba por debajo de los límites de detección del aparato. Se puede notar que a pesar de que la base del cuarzo panameño parece amatista, no se detectó hierro. El análisis de litio y germanio, muy importante en nuestro estudio, se dificultó.

La presencia de los iones alcalinos Na, K y Li, está relacionada con la existencia de sitios (AlO_4M) donde M representa los iones alcalinos. Por efecto de la irradiación, pueden formarse a partir de estos sitios los centros $(AlO_4)^{\circ}$, que son determinantes en las propiedades termoluminiscentes del pico de 110 °C. El hecho de que el cuarzo europeo presente mayor cantidad de iones Na y K, es consistente con los resultados obtenidos por TL que indican, en la región estudiada, una mayor sensibilidad a la radiación beta para el pico de 110 °C del cuarzo europeo cuando se compara con el cuarzo panameño.

4- Espectroscopia Infrarroja

Comparando los espectros, nos percatamos de que los cuarzos panameño y europeo no presentan diferencias globales significativas, excepto en la región comprendida entre 450 y 800 cm^{-1} . En el cuarzo europeo se observa una banda ancha centrada aproximadamente en 622 cm^{-1} , mientras que en la región correspondiente al cuarzo panameño se puede observar una banda en 639 cm^{-1} que tal vez puede estar asociado al "stretching" simétrico de Si-O-Si reportado en 647 cm^{-1} . Se distingue, además, una banda menos pronunciada en 670 cm^{-1} que posiblemente esté asociado a la banda de 668 cm^{-1} reportado para un stretching Si-O-Si. El cuarzo europeo y brasileño presentan una banda en 459 cm^{-1} , que en el panameño se observa en 456 cm^{-1} . Estos picos pueden ser atribuidos a enlaces $(SiO_3)-O$, que generalmente muestran una banda por 460 cm^{-1} . El brasileño presenta una banda en 511 cm^{-1} que tal vez puede asociarse al bending Si-O-Si que se manifiesta por una banda en 503 cm^{-1} . El cuarzo panameño y el cuarzo europeo presentan un doblete cerca de 793 cm^{-1} y 794 cm^{-1} respectivamente, estos pueden corresponder a un "bending" Al-OH-Al, que es generalmente reportado a 800 cm^{-1} . En los cuarzos panameño y brasileño se observó una banda en 3 430 y 3 435 cm^{-1} , que pueden asociarse a una de las bandas relacionada a los defectos de

crecimiento OH⁻ reportada en $3\,437\text{ cm}^{-1}$. Adicionalmente, en el cuarzo europeo se distingue una banda a $3\,510\text{ cm}^{-1}$ originada por la presencia de defectos (GeO_4). La forma de la región comprendida entre 450 cm^{-1} y 800 cm^{-1} es muy parecida a la región correspondiente para el cuarzo europeo y para el cuarzo panameño calentado a $700\text{ }^\circ\text{C}$. A groso modo, existe mayor similitud entre los espectros de cuarzo brasileño, cuarzo europeo y cuarzo panameño calentado a $700\text{ }^\circ\text{C}$, que con respecto al cuarzo panameño sin calentar. El espectro del cuarzo panameño al ser calentado a $700\text{ }^\circ\text{C}$, evolucionó, de tal manera que la forma de la región comprendida entre 450 cm^{-1} y 800 cm^{-1} es muy parecida a la del cuarzo europeo y a la del cuarzo brasileño. Los estudios por MET sugieren que el cuarzo europeo fue sometido a algún proceso de calentamiento por encima de $500\text{ }^\circ\text{C}$. Las similitudes encontradas entre el cuarzo europeo, el cuarzo panameño calentado a $700\text{ }^\circ\text{C}$ y el cuarzo brasileño nos llevan a pensar que el cuarzo brasileño pudo estar sometido, también, a algún proceso de calentamiento.

El centro (GeO_4) ha sido identificado como la trampa de electrones responsable de la termoluminiscencia para el pico de $110\text{ }^\circ\text{C}$ en el cuarzo. En el cuarzo europeo se detectó la presencia de la banda asociada a este centro. En el cuarzo panameño no se detectó esta banda, pero esto no es suficiente para descartar la existencia de estos centros en este material. Lo más probable es que la cantidad de centros (GeO_4)⁻¹ esté por debajo de los límites de detección del aparato utilizado para hacer nuestras mediciones. La mayor cantidad de defectos (GeO_4) en el cuarzo europeo puede ser parcialmente responsable de que el mismo presente una más alta sensibilidad a la radiación beta comparado con el cuarzo panameño en el área cercana a $110\text{ }^\circ\text{C}$.

5- Conteo Alfa

Se calibró el aparato con una muestra patrón de 200 ppm de ^{232}Th . La figura de las cuentas totales que se obtiene se muestra a continuación. Utilizamos el método de Huntley & Wintle para determinar la concentración de ^{232}Th . Resultó que el contenido de [^{232}Th] es igual a (195 ± 6) ppm.

Este resultado señala que el tiempo de conteo de 512 ks es el indicado para realizar el estudio de las muestras de cuarzo.

Nuestras mediciones las resumimos en la siguiente tabla de valores:

muestra	tiempo de conteo (ks)	Cuentas totales (N ₁)	pares lentos (N ₂)	pares rápidos	[²³² Th] ppm ± 3%	[U] ppm ± 3%
radiación de fondo	512	22	1	0	0,00	0,00
cuarzo panameño	527	24	1	0	0,00	0,00
cuarzo europeo	514	22	1	0	0,00	0,00
cuarzo brasileño	571	27	1	0	0,00	0,00

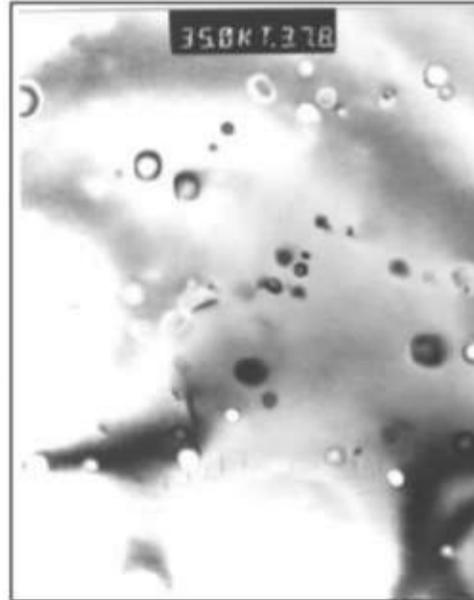
Estos resultados muestran que el cuarzo no contiene emisores radiactivos naturales como contaminantes, al menos en los límites detectables por el contador alfa utilizado. De aquí que la termoluminiscencia medida provenga solamente del proceso de irradiación controlada que hacemos. Las cuentas detectadas corresponden únicamente a la radiación de fondo, la cual fue contada colocando el portamuestra con el centelleador.

6- Microscopía Electrónica de Transmisión

La imagen de cuarzo brasileño sin calentar es muy parecida a la imagen del cuarzo panameño sin calentar, pero con menor nivel de amorfización, quizás debido a la mejor calidad de la cristalización. La línea sombreada de la parte inferior puede ser un límite de grano.

La muestra de cuarzo panameño crudo en el que no se observan prácticamente defectos, dislocaciones o burbujas; pero se observaron en pequeño número en la muestra de cuarzo panameño calentado a 1 000 °C. (foto adjunta). El patrón de amorfización es producto del haz intenso de electrones durante un tiempo que, aunque corto, fue suficiente debido al pequeño espesor de la muestra.

Fig.1.: 1 cm: 0,29 μm . Muestra de cuarzo panameño calentada a 1 000 °C. Se ven pequeñas burbujas de agua que no se observaron en las muestras crudas.



Las regiones del cuarzo europeo crudo muestran algunas picaduras, con depresiones, hendiduras y pequeñas zanjas sobre la superficie. En otras regiones de la superficie del cuarzo europeo crudo se observó un conjunto de dislocaciones no orientadas.

En las muestras de cuarzo europeo sin calentar se observan una alta densidad de pequeñas burbujas, unas transparentes y otras oscuras, con distintas tonalidades, incluso con centros oscuros (cuyo color oscuro proviene básicamente de los fenómenos de interferencia), a las cuales se les realizó un análisis in situ por fluorescencia de rayos X. En este análisis no se detectó la presencia de impurezas, lo que hace suponer que se trata de bolsas de agua.

Se nota un agrupamiento de las bolsas alrededor de defectos como dislocaciones. Se enfocó una región en la que se observa un apilamiento de dislocaciones en forma de Vs, que están orientadas aproximadamente paralelas, unas con respecto a otras. Este tipo de dislocaciones (maclas) han sido identificadas en cuarzos que han sido sometidos a los efectos de altas presiones.

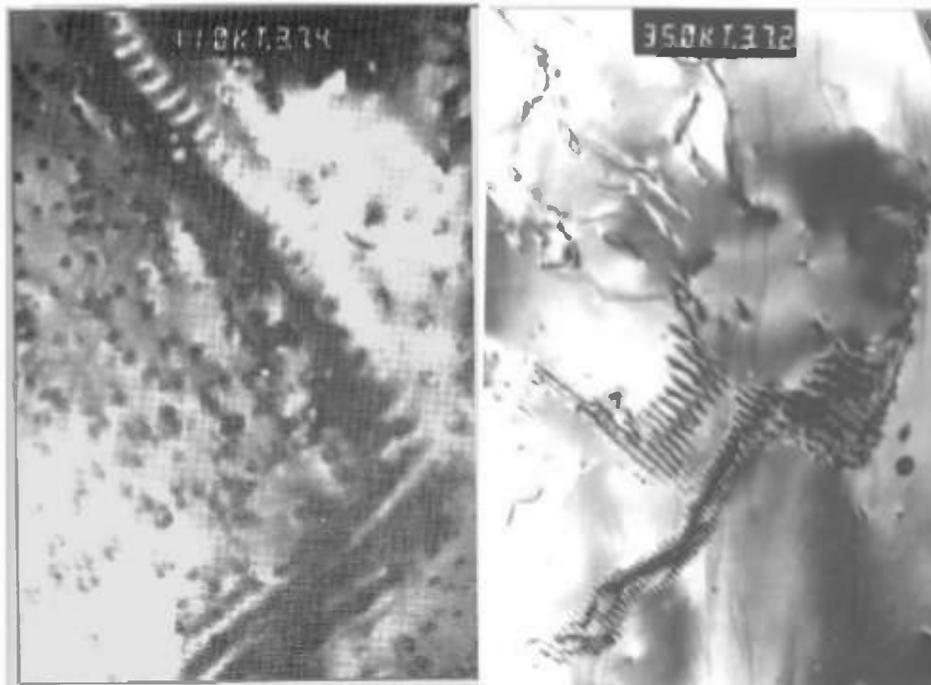


Fig. 2. Cuarzo europeo: 1 cm: 0,29 μm

Las pequeñas burbujas que se observan en las fotografías del cuarzo europeo crudo y del cuarzo panameño calentado a 1 000 °C, indican la existencia de defectos $(4\text{H})_{\text{Si}}$. En el cuarzo panameño sin calentar estas burbujas no fueron observadas. Al comparar la cantidad de burbujas observadas en la fotografía del cuarzo europeo crudo con las observadas en el cuarzo panameño calentado a 1 000 °C, se ve una mayor cantidad de éstas en la muestra de cuarzo europeo. Esto puede indicar la existencia de un mayor número de defectos sustitucionales $(4\text{H})_{\text{Si}}$ en el cuarzo europeo % (MaLaren et al, 1983).

Los sitios (H_4O_4) son determinantes en las propiedades termoluminiscentes del cuarzo, específicamente para la región de 110 °C. Por irradiación, estos sitios pueden transformarse en los centros $(\text{H}_3\text{O}_4)^0$, que constituyen un centro de recombinación para electrones (Bahadur, 1985). El que se haya observado mayor cantidad de burbujas en la muestra de cuarzo europeo, es consistente con los resultados obtenidos por termoluminiscencia. Se observa una alta sensibilidad a la radiación beta para 110 °C en la muestra de cuarzo europeo crudo, con respecto a la muestra de cuarzo panameño crudo.

Por otro lado, se ha propuesto que los defectos (H_4O_4) pueden crearse por la introducción de una molécula de agua en la estructura del cuarzo. La presencia de dislocaciones y defectos en la estructura cristalina, así como también el crecimiento del cristal en medios húmedos favorece la inserción de las moléculas de agua.

El cuarzo europeo muestra muchas dislocaciones y defectos, lo que puede ser una de las razones por las cuales presenta una gran cantidad de burbujas de agua en su estructura.

Las burbujas en la muestra de cuarzo europeo crudo, sugieren que éste fue sometido a algún tratamiento térmico por encima de los 550 °C, que es la temperatura a partir de la cual se ha observado que los defectos $(4H)_{Si}$ empiezan a difundirse para formar burbujas.

CONCLUSIONES

En este trabajo se reportan los resultados de la caracterización por varias técnicas que dan información que puede ser puesta en correlación con las propiedades termoluminiscentes del cuarzo para datación. Por MEB, los granos del cuarzo europeo manifiestan mayor desgaste de los bordes e irregularidades en la superficie típico de la edad avanzada. Por ATD, se encuentra la transición característica de la estructura alfa a la estructura beta y se constató la mayor cristalinidad en el panameño que en el europeo. ATD y MET indican un cuarzo europeo muy fragmentado en su interior. Además, MET mostró muchas dislocaciones, hendiduras, una gran cantidad de burbujas de agua y las señas típicas (maclas) del sometimiento a grandes presiones, en el cuarzo europeo las cuales están ligadas a la presencia de H_4O_4 .

El cuarzo panameño sólo desplegó, y en un número muy reducido, las burbujas de agua al ser calentado a 700 °C y no mostró las maclas de las presiones de la caída del meteorito sobre Yucatán. El cuarzo europeo muestra bandas asociadas a los sitios AlO_4 y GeO_4 . Es posible que en el panameño la cantidad de estos sitios sea inferior al límite detectable por el aparato.

La difracción de rayos X mostró que al nivel atómico el cuarzo panameño y brasileño tienen un índice superior de cristalización que el europeo.

ABSTRACT

Dating of panamanian archaeological ceramics, by the fine grain technic, exhibited significant differences vis a vis the european ones, as to sensitivity radiation. A sistematic program was initiated with the objective of determining the source of such differences. As part of this program, the first task undertaken was designed to characterize quartz as the main thermo-luminescent item among ceramics. Two extreme representavive were chosen. One of them of advance geological age, of low cristalization and quite affected by atmospheric impact and other one of recent geological age, well cristalized, of little exposure to atmospheric impact. The results of EMS in the case of european quartz grains, exhibited more wear at the edges and unevenness in the surface. All the samples when DTA is applied show the characteristic transition from structure alpha to beta. Also DTA indicates more cristalinity in the panamenian quartz than in the european quartz. DTA and EMT show an european quartz very fragmented in its interior. Furthermore, EMT indicated lots of dislocations, fissures, macles and quite a number of water bubbles in the european quartz, which are related to the presence of H_2O_2 thermoluminescent sites. The panamanian quartz only exhibited the water bubbles, and in a vary small number, when heated to 700°C.

KEYWORDS

quartz; dating, infrared, electronic microscopy, thermal differential analysis.

REFERENCIAS

Bahadur, H. 1995. Hydroxyl defects in germanium-doped quartz: defects dynamics and radiation effects. Phys. Rev. B 52, No. 10, 7065-7075.

Castillo, D. & A. Robles. 1991. Tesis de licenciatura. Universidad de Panamá.

Installation and calibration of a thermoluminescence dating system. 1991. Project PAN/2/005-01. International Atomic Energy Agency.

Mckeever, S.W.S. 1988. Thermoluminescence of solids. Great Britain: Press syndicate of the University of Cambridge.

McLaren, A.C., R.F. Cook, & R.C. Tobin. 1983. The mechanism of the formation and growth of water bubbles and associated dislocation loops in synthetic quartz. *Phys Chem Minerals*. 9, 79-94.

Ribault, I.I. 1984. L' étude des quartz détritiques au microscope électronique à balayage. *Pact* 10, 277-292.

Recibido mayo del 2002, aceptado diciembre del 2002.



EVALUACIÓN PRELIMINAR DE LA APLICACIÓN DEL PROYECTO ESQUEMAS DE APRENDIZAJE CIENTÍFICO Y TECNOLÓGICO (PEACYT), EN ALGUNAS CLASES DE FÍSICA PARA ESTUDIANTES DEL NIVEL MEDIO SUPERIOR

Eduardo Sáenz, Eduardo Chung y José E. Moreno
Universidad de Panamá, Departamento de Física

RESUMEN

Los problemas de rendimiento en física de los estudiantes de secundaria son cada vez mayores. El proyecto Esquemas de Aprendizaje Científico y Tecnológico (PEACYT) de la Secretaría Nacional de Ciencias, Tecnología e Innovación busca una mejor manera de enseñar las ciencias, la matemática y la tecnología, de tal forma que los estudiantes logren construir su propio conocimiento y el aprendizaje sea verdaderamente significativo. La presente investigación tuvo como objetivo evaluar de manera preliminar la aplicación del proyecto en un colegio secundario, específicamente en las clases de Física, en estudiantes a los que se les han aplicado las herramientas del proyecto durante los tres años del nivel medio superior de educación secundaria. Se elaboró, se validó y se aplicó una prueba tipo conceptual de física, con los contenidos que se deben abarcar en este nivel, según el Ministerio de Educación; a una muestra constituida por tres grupos de estudiantes a los que se les aplicaron lecciones elaboradas en el marco del PEACYT, durante los tres últimos años de educación secundaria, y a estudiantes de grupos control conformados por estudiantes del mismo nivel que recibieron sus clases de manera tradicional. Después de evaluar los resultados y aplicarles las pruebas estadísticas de análisis de variancia y el test de Student, se pudo concluir que sí hay diferencias significativas entre las medias de ambos grupos y entre las dispersiones observadas dentro de los grupos y entre los grupos. De la manera en que se seleccionaron los grupos y se aplicaron las pruebas estadísticas se pudo concluir que los estudiantes cuyas clases fueron diseñadas siguiendo las líneas y utilizando las herramientas del PEACYT, tienen un mejor rendimiento en física que aquellos estudiantes que recibieron sus clases de manera tradicional, lo que nos permite recomendar la utilización de la metodología propuesta por el PEACYT en las clases de Física y en las demás asignaturas del área científica, matemática y tecnología.

PALABRAS CLAVES

PEACYT, aprendizaje, prueba tipo conceptual de física, rendimiento.

INTRODUCCIÓN

Las nuevas tendencias metodológicas en la enseñanza de las ciencias, la matemática y la tecnología apuntan hacia un proceso en el que el estudiante pasa de ser un mero receptor de conocimientos hacia uno más participativo, de modo que construya sus propios conocimientos. Esto indica que el profesor debe pasar de ser un transmisor de conocimientos a un orientador, para lograr en los estudiantes un mejor aprendizaje. En esta línea, la Secretaría Nacional de Ciencia, Tecnología e Innovación (SENACYT) está aplicando el proyecto piloto "Esquemas de Aprendizaje Científico y Tecnológico (PEACYT)", en algunos colegios de educación básica general, de premedia y de media. En el mismo se utilizan algunas de las herramientas del Proyecto 2061 de la Asociación Americana para el Avance de las Ciencias (AAAS), con el objetivo de mejorar la enseñanza y el aprendizaje de las ciencias, la matemática y la tecnología.

La elaboración y aplicación de lecciones en las que el estudiante aprenda conceptos, es uno de los aspectos más relevantes del mencionado proyecto, y la física, como disciplina científica en la que la mayoría de los estudiantes tienen problemas de rendimiento académico, se presta para este tipo de enseñanza.

Con la elaboración y aplicación de una prueba tipo conceptual, pudimos determinar si los conceptos adquiridos por los estudiantes durante tres años de aplicación del proyecto PEACYT son significativos, y al realizarles las pruebas estadísticas de análisis de variancia y *t* de Student, pudimos determinar si las diferencias entre los grupos son significativas.

Este trabajo busca evaluar de manera preliminar la aplicación del Proyecto PEACYT, en las clases de física, a estudiantes del nivel medio en donde se ha venido aplicando el proyecto desde 1999, para ver si se ha logrado un aprendizaje significativo, y por ende más duradero, de algunos conceptos físicos. Nuestra hipótesis de investigación fue: "Los estudiantes que utilizan las lecciones de aprendizaje que se elaboraron siguiendo la metodología del proyecto

PEACYT, logran una mayor comprensión de los conceptos físicos tratados desde IV hasta VI año, que aquellos estudiantes que recibieron clases de manera tradicional.”

MÉTODO EXPERIMENTAL

Para el desarrollo del proyecto PEACYT, se elaboraron y aplicaron actividades (lecciones) sobre los temas que el programa oficial de física propone para estudiantes de enseñanza media superior. Se hizo una reducción de los contenidos del programa siguiendo la filosofía del Proyecto 2061 de que “menos es mejor”, es decir, menos contenido pero más actividades por lección.

Las Lecciones

Las lecciones fueron elaboradas utilizando las dos herramientas básicas de la AAAS: CCT (Ciencia Conocimiento Para Todos), en el que se encuentra lo básico de ciencias, matemáticas y tecnología que el alumno debe conocer y el libro Avances (Avances en el Conocimiento Científico), el cual nos brinda algunas ideas sobre las actividades que se puedan realizar para que el conocimiento llegue al estudiante.

En general, estas lecciones fueron diseñadas tomando en consideración los conocimientos previos de los estudiantes, según investigaciones ya realizadas y nuestra experiencia como docentes y cuentan con una guía para el estudiante y una guía para el profesor.

Guías para el estudiante

Las guías para el estudiante incluyen las siguientes secciones:

Pregunta clave:

Entre los propósitos de esta sección están captar la atención del estudiante, conocer sus ideas previas sobre el concepto a estudiar y motivarlo para que realice la experiencia.

Piensa explica y comparte:

En esta sección se busca extraer las ideas previas del estudiante, que piense y trabaje en grupo.

Hazlo, anota y comparte:

El propósito es que confronte sus ideas previas con el fenómeno y llegue a sus propias conclusiones.

Conexiones:

El propósito es que el estudiante pueda aplicar lo aprendido a otras situaciones y algunas veces a otras asignaturas.

Guías para el profesor:

Las guías para el profesor cuentan con las mismas partes que las del estudiante, pero con las posibles respuestas de los alumnos. El propósito es que el profesor que va a aplicar la lección sepa guiar la discusión para que el estudiante descubra por sí solo la respuesta correcta, nunca debe dársela por adelantado.

Después de cada lección, hubo discusiones plenarias. En éstas los estudiantes sustentan sus respuestas, comparan con la de sus compañeros, rectifican o reafirman y sacan sus propias conclusiones.

Las muestras:

Estas lecciones, después de haber sido elaboradas, revisadas y validadas, fueron aplicadas por un docente, capacitado por expertos del Proyecto 2061 en Washington y en Panamá. La muestra fue de 70 estudiantes, correspondientes a tres grupos del bachillerato en ciencias del VI año del Instituto Fermín Naudeau, lo que representa un 21% de la población total estudiantil de los VI años en este colegio.

Grupos control (A):

Se escogieron a tres grupos control de VI año, que recibieron sus clases desde IV año de manera tradicional y que cubrieron el mismo programa, es decir, los mismos contenidos. Estos grupos representan aproximadamente el 21% del universo estudiantil de sexto año.

Grupos experimentales (B):

Estuvo constituida por los tres grupos a los que se les aplicaron las lecciones del proyecto (21% del total). Los mismos fueron atendidos por el mismo docente desde IV hasta VI año, es decir, se dio un seguimiento desde el año de 1999 hasta el año 2001 con estos estudiantes.

La prueba escrita:

Para aprobar o descartar nuestra hipótesis de investigación se elaboró, se validó y se aplicó una prueba tipo conceptual con los contenidos de Física que el estudiante debe aprender en el nivel medio superior. Esta prueba escrita de selección múltiple se aplicó tanto a estudiantes de los grupos experimentales como a estudiantes de los grupos control, la misma constó de 20 preguntas, cada una de las cuales tenía un valor de 5 puntos. Para aprobar esta prueba, los estudiantes debían tener por lo menos el 60% de respuestas correctas, siguiendo los criterios de puntuación del Ministerio de Educación.

Las pruebas estadísticas:

A los resultados obtenidos en la prueba escrita en los estudiantes de la muestra experimental y del grupo control, se les aplicó el análisis de varianza y el test de Student para ver si había diferencia significativa entre los grupos.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los resultados de la prueba de rendimiento académico de ambos grupos se presentan a continuación en la tabla 1.

Tabla 1. Puntuación obtenida en la prueba de rendimiento académico, por los estudiantes del grupo control (A) y del grupo experimental (B).

A _i *1	B _i *	A _i *	B _i *	A _i *	B _i *	A _i *	B _i *
40	65	35	55	35	75	30	60
90	55	35	80	55	75	20	40
20	45	65	45	45	65	45	40
45	50	40	55	40	75	65	60
35	55	75	65	65	65	60	60
30	60	55	70	70	50	45	50
50	40	70	45	45	65	50	85
30	95	70	50	35	65	50	50
35	55	40	25	45	60	30	55
45	60	30	50	35	45	60	45
50	90	45	40	50	65	70	60
35	55	65	55	20	50		60
60	60	35	65	35	75		65
30	75	20	60	35	65		75
70	55	40	65	30	60		65
40	60	40	65	45	75		75
35	60	75	55	45	70		
50	75	55	70	15	55		
55	65	70	60	25	40		
55	75	40	60	50	65		

* Puntuación sobre 100.

La tabla 2 muestra el número de estudiantes y el porcentaje de estudiantes que aprobaron la prueba de rendimiento académico en el grupo experimental y en el grupo control.

Tabla 2. Porcentaje de estudiantes del grupo control(A) y del grupo experimental (B) que aprobaron y que no aprobaron la prueba de rendimiento académico.

Puntuación obtenida en la prueba.	Grupo Control (A)		Grupo Experimental (B)	
	Número de estudiantes	Porcentaje	Número de estudiantes	Porcentaje
0 - 55 (No aprobaron)	55	77%	29	38%
60 - 100 (Aprobaron)	16	23%	47	62%

En la tabla 2 se observa que el grupo experimental (B) en su mayoría (62%) logró aprobar la prueba de conceptos con un promedio de 60,4 puntos, mientras que sólo el 23% del grupo control (A) logró aprobar esta prueba con un promedio de 45,7.

Para ver si la diferencia entre las medias es significativa, se utiliza la razón *t* de Student, que convierte una diferencia de medias muestrales a unidades de error estándar de la diferencia, según Levin, Jack (1979):

$$t = \frac{\bar{X}_1 - \bar{X}_2}{\sigma_{DIF}}$$

en donde \bar{X}_1 y \bar{X}_2 son la medias de las muestras y σ_{DIF} es el error estándar de la diferencia que se obtiene de :

$$\sigma_{dif} = \sqrt{\sigma_1^2 + \sigma_2^2}$$

para grados de libertad de :

$$gl = N_1 + N_2 - 2$$

en donde N_1 y N_2 son el tamaño de las muestras.

Para el análisis de varianza se utiliza la razón o cociente *F* en la que se comparan la variación entre los grupos y la variación dentro de los grupos y se calcula como:

$$F \approx t^2 \text{ para sólo dos muestras.}$$

Para el rendimiento académico de la prueba escrita se obtiene que :

$$t_{\text{experimental}} = 6,288$$

Para aceptar o rechazar nuestra hipótesis de investigación, este valor debe ser mayor o menor que el calculado teóricamente. Este valor teórico, según el citado autor debe tener, para 145 grados de libertad y un nivel de confianza de 0,01, un valor de $t_{\text{teórico}} = 2,590$.

La razón F calculada es:

$$F_{\text{experimental}} = 40,089$$

Según Levin, 1979 $F_{\text{teórico}} = 6,75$ para 1 grado de libertad entre los grupos, 145 grados de libertad dentro de los grupos y un nivel de confianza de 0,01.

Como $t_{\text{experimental}} > t_{\text{teórica}}$, y $F_{\text{experimental}} > F_{\text{teórica}}$ podemos aceptar nuestra hipótesis de investigación.

Estos resultados de la razón t y F nos indican que hay diferencia significativa en la media de las puntuaciones de la prueba de rendimiento académico, obtenida por los estudiantes del grupo experimental, con la media obtenida por los del grupo control.

Cabe destacar que para realizar estos cálculos se utilizó el programa ORIGIN Versión 5.0.

CONCLUSIONES

De la manera en que fueron seleccionadas las muestras y realizadas las pruebas estadísticas podemos obtener las siguientes conclusiones:

- Los grupos que recibieron sus clases con la metodología del PEACYT obtuvieron un mejor rendimiento, en física, que aquellos que siguieron sus clases de manera tradicional.
- La metodología propuesta por la AAAS y el PEACYT, logra un mayor aprendizaje de los conceptos físicos.

Los resultados obtenidos nos permiten hacer las siguientes recomendaciones:

- Expandir el proyecto PEACYT a un mayor número de escuelas del país.
- Utilizar las herramientas del proyecto PEACYT en la enseñanza de las otras asignaturas científicas.
- Ensayar la utilización de estas herramientas en las asignaturas sociales y culturales, y estudiar sus resultados.
- Realizar una investigación sobre la influencia de la aplicación de las herramientas del PEACYT en las estructuras de pensamiento de los estudiantes de educación secundaria.

ABSTRACT

The problems in the achievement of physics in high school students are bigger every time. The National Secretary of Science, Technological and Innovation's El Proyecto Esquema de Aprendizaje Científico y Tecnológico (PEACYT) want to improve the science, math and technological education, in a way that the proper student could construct their own knowledge and learning should be significance. The objective of this investigation is to evaluate preliminary the Project's application in a high school, specifically in the physics classes, in students that have been applied the project's tools during the last three years of high school. A conceptual physic's test with the contain learned in those years, according to Education's Ministry have been made and applied; the sample consists of three group of students that has been applied the lesson according to Peacyt's methodology during the three years, and three controls group of the same level using traditional methodology. It can concluded that there are significance difference in the dispersions in the same group and between both groups after evaluate the results and applied the statistical test of variance analysis and Student's test. The way how the groups are selected and applied the statistical test we can concluded that students who received their classes using PEACYT's tools have a better achievement in physics than the students who received their classes in the traditional way, so we can recommend the PEACYT's methodology propose in the physics classes and in other scientific subjects math and technology.

KEYWORDS

PEACYT, learning, conceptual physic's test, achievement.

REFERENCIAS

Alvarenga, M. 1992. Fundamentos de Física, Editorial Mac Graw Hill, México.

Flores, E. & J. E. Moreno. 2002. Física, Filosofía de la Naturaleza, Imprenta Universitaria, Panamá.

Levin, J. 1979. Fundamentos estadísticos en la Investigación Social, Editorial Harla, México.

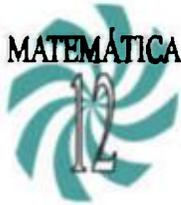
Proyecto 2061, 1985. American Association for Advancement of Science, Ciencia Conocimiento Para Todos.

Proyecto 2061, 1989. American Association for Advancement of Science, Avances en el Conocimiento Científico.

Searwey, R. 2000. Principios de Física, Editorial Mac Graw Hill, México.

Wilson, J. 1992. Física :Conceptos y Aplicaciones, Editorial Harla, México.

Recibido octubre del 2002, aceptado diciembre del 2002.



UNA GENERALIZACIÓN DE LA POTENCIACIÓN RETICULAR

JOSÉ DEL ROSARIO GARRIDO N.

Universidad de Panamá, Facultad de Ciencias Naturales, Exactas y Tecnología,
Departamento de Matemáticas, CENIO
email: cenio9@hotmail.com

RESUMEN

En este artículo, utilizando una técnica ideada por Thayse, se introduce una generalización del concepto de potenciación reticular y como subproducto se ofrece una presentación más uniforme de aspectos de la estructura reticular de las funciones discretas, incluyendo algunos resultados adicionales.

PALABRAS CLAVES

Funciones discretas, álgebra de De Morgan, potenciación reticular, cubos, anticubos, intervalo de retículo L, bloques, antibloques, bloque Muehldof.

INTRODUCCIÓN

Se hará referencia a relaciones de $S_1 \times S_2 \times \dots \times S_n$ en L, conocidas como funciones discretas, donde los S_i ($i = 1, 2, \dots, n$) y L son conjuntos finitos. La teoría de funciones discretas, desarrollada por Davio, Deschamps y Thayse, comprende un estudio formal, en términos de la estructura de retículo, de anillo o de cuerpo, considerada para los conjuntos S_i y L y numerosas aplicaciones a la teoría de circuitos de conmutación, especialmente en problemas de síntesis, la detección de riesgos (hazard) y de fallas de transmisión (fault). Un importante caso particular de estas funciones lo constituyen las funciones booleanas (switching functions). (Rudeanu 1974).

En este artículo, complementando una técnica de Thayse, se introduce una generalización de la noción de potenciación reticular que conduce a una presentación más uniforme de la estructura reticular de las funciones discretas y a ciertos resultados adicionales.

Un álgebra de De Morgan $(L, \vee, \wedge, \bar{}, 0, 1)$ es un retículo distributivo (L, \vee, \wedge) con menor elemento 0 y mayor elemento 1, provisto de un endomorfismo involutivo. Es claro que si L_1, L_2, \dots, L_n son álgebras de De Morgan, también lo es el producto cartesiano $L_1 \times L_2 \times \dots \times L_n$ con respecto a las operaciones definidas entre componentes. Si L es un álgebra de De Morgan y X un conjunto arbitrario, entonces $L^X = \{ f / f: X \rightarrow L \}$ es también un álgebra de De Morgan con respecto a las operaciones correspondientes.

En la teoría de funciones discretas, cualquier conjunto finito de cardinalidad r , representado en la forma $L = \{ 0, 1, \dots, r-1 \}$ puede ser provisto de la estructura de anillo de Z_r o bien de la estructura de álgebra de De Morgan $(L, \vee, \wedge, \bar{}, 0, r-1)$ donde

$$(1.1) \quad x \vee y = \max(x, y)$$

$$(1.2) \quad x \wedge y = \min(x, y)$$

$$(1.3) \quad \bar{x} = r - 1 - x$$

Los conjuntos S_i ($i = 1, 2, \dots, n$) y L , de cardinales m_i ($i = 1, 2, \dots, n$) y r respectivamente, el conjunto $S_1 \times S_2 \times \dots \times S_n$ y el conjunto

$$(2) \quad L^{S_1 \times S_2 \times \dots \times S_n}$$

de funciones discretas, constituyen casos de álgebras de De Morgan, como se ha indicado anteriormente, partiendo de las estructuras de los S_i ($i = 1, 2, \dots, n$) y L dadas por las operaciones (1.1; 1.2 y 1.3). En lo que sigue, todas estas estructuras y la notación serán consideradas tácitamente.

GENERALIZACIÓN DE LA POTENCIACIÓN RETICULAR Y ALGUNAS CONSECUENCIAS

Se incorpora en esta etapa la notación T, \perp introducida por Thayse: T es cualquiera de las operaciones \vee, \wedge y \perp es la operación dual de T .

Con e_T y e_{\perp} se denotan los elementos neutros para T , y \perp respectivamente. Así para cualquier $x \in L$.

$$(3) \quad x T e_T = x \perp e_{\perp} = x$$

Evidentemente $\{e_T, e_{\perp}\} = \{0, r-1\}$ y $e_{\perp} = r-1 - e_T$

Se sugiere ahora la siguiente definición: Para cualquier operación T , cualquier subconjunto A de L y cualquier elemento x de L , la T -potencia $x_T^{(A)}$ está dada por

$$(4) \quad x_T^{(A)} = \begin{cases} e_T & \text{si } x \in A \\ e_{\perp} & \text{si } x \notin A \end{cases}$$

En el caso $T = \wedge$, la definición anterior coincide con la de Thayse [Thayse 1978 pag. 92], pero la \vee -potenciación no ha sido aún considerada. Esta nueva definición permite expresar, de manera más compacta, los resultados clásicos de la teoría referente a la estructura de retículo, como se verá seguidamente, mediante algunos ejemplos.

Las siguientes reglas básicas de cálculo pueden verificarse fácilmente

$$(5) \quad x_T^{(A)} = |e_T - x_{\vee}^{(A)}| = |e_{\perp} - x_{\wedge}^{(A)}|,$$

(las barras se refieren al valor absoluto)

$$(6) \quad \overline{x_T^{(A)}} = x_T^{(\overline{A})} = x_{\perp}^{(A)},$$

$$(7.1) \quad x_T^{\bigcap_{j=1}^{\rho} A_j} = \prod_{j=1}^{\rho} x_T^{(A_j)},$$

$$(7.2) \quad x_T^{\bigcup_{j=1}^{\rho} A_j} = \bigwedge_{j=1}^{\rho} x_T^{(A_j)},$$

$$(7.3) \quad \mathbf{x}_{\nu}^{(\prod_{j=1}^n A_j)} = \prod_{j=1}^{\rho} \mathbf{x}_{\nu}^{(A_j)}, \forall \Pi \in \{\cup, \cap\}$$

$$(7.4) \quad \mathbf{x}_{\wedge}^{(\prod_{j=1}^n A_j)} = \prod_{j=1}^{\rho} \mathbf{x}_{\wedge}^{(A_j)}, \forall \Pi \in \{\cup, \cap\}$$

En (7.3) y (7.4) \prod y Π son las operaciones de teoría de conjuntos análogas a \top y \perp respectivamente. Es decir (\prod y Π) es (\cup, \cap) ó (\cap, \cup) de acuerdo como (\top y \perp) sea (\vee, \wedge) ó (\wedge, \vee) .

En el caso $\top = \wedge$, las expresiones (6), (7.1) y (7.2) corresponden respectivamente a las identidades clásicas siguientes [Thayse, 1978].

$$(6') \quad \overline{\mathbf{x}^{(A)}} = \mathbf{x}^{(\overline{A})}$$

$$(7.1') \quad \mathbf{x}^{(\prod_{j=1}^n A_j)} = \prod_{j=1}^{\rho} \mathbf{x}^{(A_j)}$$

$$(7.2') \quad \mathbf{x}^{(\cup_{j=1}^n A_j)} = \bigvee_{j=1}^{\rho} \mathbf{x}^{(A_j)}$$

Se define como T-cubo cualquier función de (2) que admite la forma representativa

$$(8.1) \quad \mathbf{1} \top \prod_{i=1}^n \mathbf{x}_{i \top}^{(A_i)}$$

donde $\mathbf{1} \in L$, $A_i \subseteq S_i$ ($i = 1, 2, \dots, n$) y x_1, x_2, \dots, x_n son variables de S_1, S_2, \dots, S_n respectivamente. Teniendo en cuenta (6) se puede ver que los T-cubos pueden también definirse por la forma

$$(8.2) \quad \mathbf{1} \top \prod_{i=1}^n \mathbf{x}_{i \top}^{(B_i)}$$

Se puede escribir (8.1) y (8.2) en la forma más general

$$(8.3) \quad 1 \text{ T } \prod_{i=1}^n x_i^{(\psi_i)}, \text{ donde } \psi_i \in \{\wedge, \vee\} \text{ (} i = 1, 2, \dots, n \text{)}$$

Haciendo $T = \wedge$ en (8.1) y $T = \vee$ en (8.2), se obtienen respectivamente las definiciones clásicas de cubos y anticubos los cuales, mediante la notación de T-cubos, reciben un tratamiento simultáneo en este artículo.

Si cada (A_i) en (8.1) es el conjunto unitario $\{a_i\}$, el T-cubo toma el valor de 1 si $x_i = a_i$ y 0 en el caso contrario. El T-cubo es \perp -irreducible cuando $1 = |e_{\perp} - 1|$ y en este caso se dirá que el cubo (8.1) es un T-átomo, puesto que es un átomo del retículo (2) con respecto al orden cuyo elemento nulo es e_T . Obsérvese que haciendo $T = \wedge$ y $T = \vee$ se recapturan los conceptos de átomo y su dual, respectivamente.

Las fórmulas (5), (7.1),..., (7.4) facilitan los cálculos con T-cubos. En particular, se busca obtener formas canónicas de funciones discretas. Como era de esperar, cualquier función.

$$f: S_1 \times S_2 \times \dots \times S_n \rightarrow L$$

puede escribirse en la forma:

$$(9) \quad f(\underline{x}) = \frac{1}{\underline{a} \in L^n} \left[f(\underline{a}) \text{ T } \prod_{i=1}^n x_i^{(a_i)} \right]$$

donde se ha utilizado la notación

$\underline{x} = (x_1, x_2, \dots, x_n) \in S_1 \times S_2 \times \dots \times S_n$, $\underline{a} = (a_1, \dots, a_n) \in L^n$ y $X_T^{(a)}$ en lugar de $X_T^{(a)}$

La prueba de la fórmula (9) es la misma del teorema clásico para $T = \wedge$ [Thayse 1978, pag. 101], o bien para el teorema dual [Thayse 1978, pag. 102]. Es fácil ver que los teoremas que se refieren a las formas canónicas conjuntivas y disyuntivas [Thayse 1978, pag. 105] pueden ser dados en una única formulación con este lenguaje.

Como se afirma en Thayse, 1978 es de gran utilidad el conjunto de la forma

$$(10) \quad [a, b] = \{a, a \oplus 1, a \oplus 2, \dots, a \oplus k = b\},$$

donde $a, b \in L$ y el símbolo \oplus se refiere a la suma módulo r ; se hace alusión a $[a, b,]$ como un intervalo de L .

La siguiente propiedad está implícitamente considerada en Thayse 1978, pag. 138.

El complemento del intervalo $[a, b] \neq L, a, b \in L$ es un intervalo de la forma

$$(11) \quad \overline{[a, b]} = [b \oplus 1, a - b]$$

Se llamará T-bloque a cualquier T-cubo de la forma

$$(12.1) \quad 1 \text{ T } \prod_{i=1}^n x_{i_r}^{[a_i, b_i]}$$

pero atendiendo a (6) y (11) este T-bloque puede también representarse en la forma

$$(12.2) \quad 1 \text{ T } \prod_{i=1}^n X_{i_r}^{[a_i, b_i]}$$

Además las expresiones (12.1) y (12.2) admiten la forma específica común

$$(12.3) \quad 1 \text{ T } \prod_{i=1}^n x_{i_{\psi_i}}^{[c_i, d_i]}, \text{ donde } \psi_i \in \{\wedge, \vee\}, i=1, 2, \dots, n$$

tomando en cuenta las fórmulas (7.1) y (7.2) y el hecho de que cualquier subconjunto A de L puede expresarse como una intersección o como una unión de intervalos [Thayse 1978, pag. 131, 135]. Se puede ver que cualquier expresión compuesta de operaciones entre T-cubos puede reemplazarse por otra expresión equivalente compuesta de operaciones entre T-bloques.

Se dirá que el T-bloque (12.1) es convexo si

$$(13.1) \quad a_i \leq b_i \quad (i = 1, 2, \dots, n)$$

utilizando (6) y (11), se aprecia que una formulación equivalente a esta definición requiere que

$$(13.2) \quad a'_i > b'_i \quad \text{ó} \quad a'_i = 0 \quad \text{ó} \quad b'_i = m_i - 1 \quad (i = 1, 2, \dots, n)$$

Tomando $T = \wedge$ en (12.1) y (13.1) y $T = \vee$ en (12.2) y (13.2) se obtiene las definiciones de bloque convexo, antibloque y antibloque convexo.

Además, se pueden recapturar diversos teoremas de expansión, de la teoría de retículos, dados en Thayse, 1978 y de hecho se enriquece la colección de fórmulas en cuyas estructuras intervienen la potenciación clásica $x_{\wedge}^{(A)}$ y la nueva $x_{\vee}^{(A)}$.

Se verá ahora el caso de las funciones lógicas. Es decir, funciones discretas para las que $S_i = L$ para $i = 1, 2, \dots, n$.

El conjunto de T-cubos, el conjunto de T-bloques y el conjunto de T-bloques convexos son cada uno subconjuntos T-generadores de L^{S^n} , mientras que el conjunto de los T-cubos y el conjunto de los T-bloques convexos son cada uno cerrado con respecto a la ley T. Esta es una formulación compacta de seis lemas de Thayse 1978, pags. 132 - 137 que implica inmediatamente que cualquier función discreta es la \perp -operación de todos sus T-cubos primos (T-bloques primos, T-bloques convexos primos), donde el significado del término "primo" está en concordancia con la teoría clásica de implicantes primos (Hammer, P. L. & Rudeanu, pag. 288).

La herramienta clave en la obtención de estos resultados está en la afirmación de que los T-cubos primos del T-cubo (8.1) son 1 y $x_{t_r}^{(A)}$ ($i = 1, 2, \dots, n$) o equivalentemente 1 y $x_{t_l}^{(B)}$ ($i = 1, 2, \dots, n$) si se hace referencia a la forma (8.2). También los T-bloques Muehldorf son aquellos T-bloques (12.1) tales que para cada $i = 1, 2, \dots, n$ se tiene que $a_i = 0$ ó $b_i = m_i - 1$. [Thayse 1978, pg. 139] se puede afirmar que cualquier T-bloque convexo admite su representación como una

T-operación de T-bloques Muehldorf, y cualquier función discreta puede expresarse en términos T-bloques Muehldorf. Esta afirmación contiene el teorema de los generadores unitarios de funciones discretas [Thayse 1978, pg. 140].

El origen de la obtención de estas nuevas variantes de fórmulas está en la manipulación de los T-cubos y T-bloques expresados en las formas generales (8.3), y (12.3), respectivamente, aplicando las reglas de transformación (5) – (7).

CONCLUSIÓN

Al ampliar el concepto de potenciación reticular introducido por Thayse, surgen nuevas posibilidades para formalizar conceptos duales y compactar las expresiones algebraicas. Otras técnicas introducidas como la señalada en (5) y el uso de los símbolos \square y Π aplicado en (7.3) y (7.4) así como la forma general de un T-cubo (8.3) fueron básicas para obtener las variantes de fórmulas de cubos y bloques incluidas en este trabajo.

ABSTRACT

In this note, using a technique due to Thayse, we introduce a generalization of the concept of lattice exponentiation and show that this yields a more uniform presentation of the lattice structure of discrete functions, including certain additional results.

REFERENCIAS

- Davio, M. & C. Bioul. 1970. "Representation of lattice functions" R137 M.B.L.E. Laboratoire de Recherches. Brussels.
- Davio, M., J.P. Deschamps & A. Thayse. 1978. "Discrete and switching functions". Mc Graw-Hill, New York.
- Deschamps, J.P. 1975. "Partially Symmetric logic functions". R299 M.B.L.E. Laboratoire de Recherches. Brussels.
- Deschamps, J.P. & A. Thayse. 1973. "On theory of discrete functions". Part I, R838. Philips Research. Reports 28.

Garrido, J. 1980. "Funcții discrete". Referat de doctorat N°1. Universitatea din București.

Garrido, J. 1980. "Aplicații ale funcțiilor discrete". Referat de doctorat N°2. Universitatea din București.

Garrido, J. 1982. "Método Algebraice în teoria circuitelor de comutație". Teza de Doctorat. Universitatea din București. Facultatea de Matematică.

Garrido, J. 1984. "Algebraical methods in the commutation circuits theory". Papadimitropoulos Athens-Greece 1984.

Hammer, P.L. & Rudeanu. 1968. "Boolean methods in operation research and related areas". Springer-Verlag, Berlin, Berlin, Heidelberg, New York.

Moisil, Gr. 1965. "Hazard and race phenomena in switching circuits". Circular letter N°13 An International Symposium to be held in Bucharest.

Moisil, Gr. 1973. "Many-valued logic and hazard phenomena in switching circuits. Lecture delivered at the Department of Combinatorics and Optimization. University of Waterloo.

Rudeanu. 1974. "Boolean functions and equations". North-Holland Publishing Company-Amsterdam London. American Elsevier Publishing Company-New York.

Thayse, A. 1970. "Transient analysis of logical networks applied to hazard detection" Report R135. M.B.L.E. Laboratoire de Recherches. Brussels.

Thayse, A. 1970. "Difference operators and extended truth vectors for discrete functions" M.B.L.E. Laboratoire de Recherches. Brussels.

Recibido noviembre del 2002, aceptado marzo del 2003.



RADIACIÓN ELECTROMAGNÉTICA EN EL COMPLEJO HIDROELÉCTRICO FORTUNA

B. Fernández¹ y G. Batista²

Universidad de Panamá, ¹Centro de Investigaciones con Técnicas Nucleares

²Escuela de Física

RESUMEN

La Empresa EGE Fortuna S.A. realizó una auditoria en el Complejo Hidroeléctrico del mismo nombre con la finalidad de elaborar un Plan de Adecuación y Manejo Ambiental. Esta incluyó, por primera vez en Panamá una auditoria de las radiaciones no ionizantes de baja frecuencia y alta intensidad, lo que constituye un hito en la historia regional en política ambiental. Para ello se tuvo que diseñar, aplicar y validar un método que permitiera dar recomendaciones para aplicar de manera racional el principio precautorio sobre los efectos estocásticos de dichas radiaciones. En este trabajo se reportan los elementos fundamentales del método utilizado.

PALABRAS CLAVES

Fortuna, auditoria, radiaciones no ionizantes, baja frecuencia, alta intensidad.

INTRODUCCIÓN

En recientes artículos (Zárate 2002 & Castillo 2002) se describió el Complejo Hidroeléctrico Fortuna, se presentaron algunos resultados de la auditoria ambiental realizada, se esbozaron lineamientos del Plan de Adecuación y Manejo Ambiental y se dio la voz de alarma acerca del peligro que representa el proyecto eólico promovido por la ANAM y otras empresas para la preservación del equilibrio del ecosistema. Sin embargo, dentro de la auditoria también se incluyó el estudio de las radiaciones no ionizantes de baja frecuencia y alta intensidad (RNIBFAI) (Fernández 2001). Por primera vez en Panamá una empresa, EGE Fortuna S.A., que aspira a colaborar con el Estado

panameño para lograr el objetivo nacional importante de mejorar la producción nacional respetando la protección del ecosistema, realiza la auditoría de este rubro importante con miras a dictar las normas que protejan al trabajador como parte importante de la empresa.

En este artículo presentamos el diseño del método utilizado para la medición, los resultados más relevantes de la auditoría (RNIBFAI) realizada en Fortuna y la intercomparación con la hidroeléctrica La Estrella (Batista 2002) para la validación de los resultados.

FUNDAMENTOS TEÓRICOS

Las radiaciones no ionizantes constituyen la parte del espectro electromagnético cuya energía como fotón es demasiado débil para romper los enlaces de los electrones de los tejidos por efecto fotoeléctrico o Compton. La Física Cuántica nos enseña que aunque sean de alta intensidad (un gran número de fotones), no pueden causar ionización directa.

Los efectos biológicos de estas radiaciones (Universidad de Atacama, 2001) se están tipificando y los múltiples estudios indican que estas radiaciones desde el umbral hasta las altas intensidades, en la mayoría de los materiales, producen vibraciones moleculares, generando calor (de ahí su empleo doméstico, en medicina, e industrial con el fin de calentamiento). Suponiendo el mismo efecto para baja intensidad en los materiales biológicos se prevé que puede producir quemaduras a partir de una determinada cantidad (acumulación) de energía absorbida, en un tiempo dado. Las radiaciones de frecuencias extremadamente bajas (como la producida en generadores de plantas de electricidad) se consideraban inocuas. Sin embargo, podemos señalar que analizando el modelo de membrana de una célula se ha notado que el potencial de polarización puede ser alterado con relativa facilidad, por una onda electromagnética de baja intensidad y baja frecuencia, en efecto, *“pueden producir cambios eléctricos en la membrana de todas las células del cuerpo, alterando los flujos celulares de algunos iones, sobre todo el calcio, lo que podría tener efectos biológicos importantes. Así, se han publicado varios estudios en las últimas dos décadas, buscando una posible relación de los campos electromagnéticos de baja frecuencia e intensidad con el origen de determinados cánceres, sobre todo leucemias. También se*

han intentado relacionar con alteraciones del aparato reproductor, neurológico y cardiovascular, y con malformaciones fetales”.

No existe literatura todavía convincente que muestre los efectos de los campos electromagnéticos de baja intensidad en el ser humano. Sin embargo, hay algunos estudios realizados con voluntarios, sometidos a varias horas a campos de baja frecuencias, y se expresa que *“luego de esta exposición... tras realizar diversas pruebas clínicas y fisiológicas de hematología, electrocardiograma, ritmo cardíaco, presión arterial o temperatura del cuerpo, no hubo efectos significativos a corto plazo”*. Pero el principio precautorio nos conduce a recomendar la menor exposición posible. Cuando hay situaciones competitivas para la toma de decisiones se debe entonces evaluar el riesgo.

RIESGO ELECTROMAGNÉTICO

El concepto de riesgo y de fuentes de riesgo ha sido estudiado en forma creciente durante los últimos años. El riesgo está íntimamente ligado con la combinación de la noción de pérdida y la de probabilidad. Al analizar el riesgo el concepto probabilístico es esencial, ya que si no tiene un carácter azaroso no se constituye en un riesgo, sino en una situación determinista conocida. La evaluación del riesgo conlleva conocimiento y éste, a su vez, permite la convivencia controlada con el riesgo. El desarrollo científico y tecnológico nos impone la convivencia diaria con situaciones de riesgo, lo que no es necesariamente nocivo, ya que el conocimiento de las posibilidades de su recurrencia y de los posibles efectos que produce nos permite convivir de manera controlada con la situación.

La parte probabilística del riesgo lo hace un poco más complejo de analizar de acuerdo a las características del fenómeno estudiado. Un ejemplo de esto es el análisis de los efectos de los bajos niveles de radiación ionizante o los efectos estocásticos de la corriente eléctrica, que nos llevan a realizar un análisis muy detallado de las variables que lo afectan y del fenómeno en sí.

El **“riesgo electromagnético”** está ligado a la posibilidad de circulación de la corriente eléctrica en el interior del cuerpo humano, sin contacto eléctrico directo, suponiendo que el cuerpo humano es un

conductor de electricidad. Los efectos de la corriente eléctrica en el ser humano pueden ser de dos tipos: deterministas y estocásticos.

La literatura sobre los efectos deterministas del contacto humano directo con la corriente eléctrica es abundante. Los factores que influyen y determinan los efectos del contacto de la corriente eléctrica en el cuerpo humano son: la intensidad de corriente, resistencia del cuerpo humano, tensión aplicada, frecuencia, duración del contacto eléctrico, recorrido de la corriente a través del cuerpo y capacidad de reacción de la persona. Primeramente, debemos considerar que el paso de la corriente en el cuerpo humano puede ser considerado como la suma de dos impedancias, una externa y otra interna. La primera está directamente relacionada con el área del cuerpo que entra en contacto y la segunda con la trayectoria que sigue la corriente en el cuerpo; es decir, la impedancia total es dependiente de la extensión superficial a través de la cual se produce el contacto externo (piel) y el tipo de órgano interno. La impedancia externa tiene componentes tanto resistivos como capacitivos; además, varía con la tensión aplicada, la frecuencia de la corriente eléctrica, la duración del tiempo de paso, el tipo de piel, la humedad de la misma, entre los factores más importantes. La interna es básicamente resistiva. Este tipo de efectos son bien conocidos y las empresas eléctricas lo manejan muy bien desde los inicios de la industria eléctrica.

EFFECTOS ESTOCÁSTICOS DE LA CORRIENTE ELÉCTRICA ALTERNA

Ya se ha iniciado un proceso para tomar en cuenta los efectos estocásticos de la radiación de altas y bajas frecuencias. Generalmente, 300 Hz es el valor de umbral para diferenciar las bajas de las altas frecuencias. A este nivel de frecuencia, tan bajo, las longitudes de onda son muy grandes (6 000 km a 50 Hz, y 5 000 km a 60 Hz). Los campos eléctricos y magnéticos se producen por la presencia de las corrientes en los equipos e instalaciones. Todo aparato conectado a la red de electricidad está sometido a un campo eléctrico que es más intenso cuanto más nos acerquemos al aparato. Los campos magnéticos se producen en la cercanía de sistemas en funcionamiento y es proporcional a las intensidades de corriente a las que se esté trabajando. Los campos magnéticos son capaces de atravesar las superficies externas de los aparatos y el cuerpo humano, y los variables inducen corrientes eléctricas en los sistemas conductores

(es decir, aquellos que poseen electrones cuasi-libres en el interior de la estructura).

A las frecuencias de 50/60 Hz los campos eléctricos y magnéticos naturales tienen intensidades muy bajas. La mayor exposición de las personas proviene de la utilización de la corriente eléctrica. La literatura ofrece artículos que comentan que los campos eléctricos y magnéticos bajo las líneas de transmisión eléctricas aéreas de los núcleos de las ciudades pueden llegar a 12 kV/m y 30 mT; en las plantas de distribución y generación, 16 kV/m y 270 mT; y en las viviendas 500 V/m y 150 mT. Mencionan también que para las áreas industriales de trabajo, como en el caso de los soldadores, se pueden generar hasta 130 mT.

Se han sugerido normas sobre la exposición máxima de las personas en campos magnéticos estáticos. En 1987, **la Organización Mundial de la Salud** recomendaba no estar sometidos a campos "*superiores a 2,0 T*" para periodos de corta exposición. Ese mismo año el **Laboratorio Nacional "Lawrence" de Livermore en Estados Unidos** coincidía con este criterio para periodos cortos y 60 mT máximo para el campo promedio ponderado en todo el cuerpo. El **Consejo Nacional de Protección Radiológica del Reino Unido** y la **Conferencia Americana de Higienistas Industriales Gubernamentales**, en 1993, no sugirieron valores significativamente diferentes. En 1994, la **Comisión Internacional de Protección contra la Radlación No Ionizante** señaló que, para el público en general, sometido a campos estáticos, los niveles deben ser menores de 40 mT y para la exposición laboral, de 200 mT. Se hace la anotación de que para las personas con marcapasos cardiacos la norma debe ser menor que 0,50 mT.

En las instalaciones de las plantas generadoras de electricidad los niveles de corriente eléctrica son altos, por consiguiente es interesante saber cómo afectan al medio circundante los campos electromagnéticos que se producen y al ser humano, en particular. Los equipos y personas que se encuentran en este medio, podrían ser sensibles a los efectos de estos campos. En el interior de las partes conductoras de los equipos y en los órganos de alta conductividad de

los humanos, estos campos pueden producir corrientes, y esto es un factor de riesgo.

Los efectos estocásticos de la radiación electromagnética no están claramente establecidos. Hasta ahora, se ha tratado con mucha atención estos efectos para radiaciones electromagnéticas de altas frecuencias; sin embargo, no debemos dejar a un lado los efectos que surjan de corrientes con bajas frecuencias. Los campos magnéticos generados por corrientes alternas con altos niveles de intensidad de corriente, pueden inducir, en áreas particularmente sensibles, campos magnéticos que alterarían funciones básicas del organismo, detectables a mediano y largo plazo.

Los campos magnéticos inducidos pueden atravesar regiones del cuerpo humano y afectar órganos sensibles a sus efectos, de acuerdo con las conductividades de los tejidos que los forman. Es por esto, que las normas que se han sugerido intentan mantener las corrientes eléctricas inducidas a niveles por debajo de los que se dan en el cuerpo humano de manera natural. Algunos autores adelantan que las corrientes inducidas por un flujo de corriente externo pueden crear en los vasos sanguíneos grandes efectos hemodinámicos o cardiovasculares.

La conductividad de los órganos del cuerpo es un parámetro de gran importancia al observar el posible efecto de las corrientes inducidas a que se vean sometidos. En junio de 1996, Camelia y Sami Gabriel del Departamento de Física del King's College de Londres, Inglaterra, publicaron un estudio titulado *"Compilation of the Dielectric Properties of Body Tissues at RF and Microwave Frequencies"* sobre las propiedades dieléctricas (conductividad y permitividad) de diferentes órganos del cuerpo humano.

El objetivo del trabajo fue agrupar las mediciones hechas en el tema durante las últimas cinco décadas, para ser utilizadas en la elaboración de un modelo de curva de conductividad y de permitividad en función de la frecuencia, para cada órgano, en diferentes animales; de forma tal que permitiera extrapolar a valores que no habían sido medidos. Se diseñaron experiencias para medir las conductividades y permitividades en órganos diferentes, a distintas frecuencias, por tres métodos diferentes y se compararon los resultados con las predicciones

de las curvas modelos. Todas estas mediciones se realizaron directamente sobre el tejido, algunas in situ y otras sobre tejidos de animales muertos recientemente, sin tomar en cuenta la impedancia de la piel. En la realización de las mediciones utilizaron tres sistemas de análisis de impedancias y los datos experimentales se obtuvieron colocando las muestras en un recipiente cónico de 5,0 cm de arista en la base y un número adecuado de mediciones que les permitiera el análisis estadístico. Los materiales utilizados fueron órganos humanos producto de autopsias hechas no más de 24 a 48 horas después de la muerte, piel humana en vivo y tejidos animales muy frescos (no más de dos horas después de la muerte). Los resultados del estudio muestran los datos experimentales de conductividades y permitividades (en tablas y gráficos para 45 órganos).

Entre sus resultados resaltan que el comportamiento la impedancia del tejido biológico (incluyendo el humano), para frecuencias menores de 100 Hz, es principalmente resistiva. Este resultado en el límite de la región coincide con otros que se habían recopilado dentro del mismo estudio. Por lo tanto, nuestra estimación de corrientes inducidas máximas en los tejidos analizados se basó en los valores de conductividades para frecuencias por debajo de 100 Hz. El órgano que menor resistividad presenta es el músculo. Por ello, sería útil el estudio de los efectos a largo plazo de corrientes inducidas por sistemas de altas y bajas corrientes, como las generadas en una planta de producción de electricidad para una población. El objetivo a corto plazo que debe perseguir el estudio del impacto a la salud sería el de los efectos neurológicos en los sistemas musculares para trabajadores expuestos.

En sus resultados Gabriel & Gabriel (1996) presentan una tabla de conductividades para diferentes partes del cuerpo (sin tomar en cuenta la piel). Le presentamos los resultados en las tablas N° 1 y 2.

Tabla N°1. Conductividad (S/m), de partes del cuerpo a tres frecuencias

<i>Frecuencia</i>	<i>Cuerpo Completo</i>	<i>Cabeza</i>	<i>Torso</i>	<i>Brazo</i>	<i>Pierna</i>	<i>Rodilla</i>
<i>50 Hz</i>	0,216	0,254	0,223	0,195	0,196	
<i>10 kHz</i>	0,276	0,285	0,256		0,238	0,222
<i>100 kHz</i>	0,288	0,30	0,332		0,239	0,243

Tabla N° 2. Valores estimados de la conductividad (S/m) de tejidos corporales a frecuencias menores de 100 hz a la temperatura corporal.

TEJIDO	DUCK 1990	GRABRIEL 1996	TEJIDO	DUCK 1990	GRABRIEL 1996
Vejiga		0,20	Lengua		0,30
Médula Osea		0,05	Cartilago		0,18
Fluido Espinal	1,81	2,00	Hueso cortical	0,020	0,020
Cerebelo		0,10	Mamas		0,060
Colon		0,10	Testiculos		0,40
Cornea	0,40		Grasa		0,040
Vesícula biliar	1,6	1,4	Materia Gris	0,30	0,10
Riñones	0,90	0,10	Higado	0,12	0,070
Pulmón Inflado	0,050	0,080	Pulmón Exhalado	0,10	0,20
Corazón	0,20	0,10	Cristalino		0,25
Sangre	0,68	0,70	Materia Blanca	0,10	0,060
Músculo	0,40	0,35	Piel mojada		0,10
Páncreas	0,13	0,22	Bazo		0,10
Tendón	0,30		Orina	3,3	
Nervio	0,40	0,030	Humor Vitreo		1,5
Intestino Delgado		0,50	Tiroides		0,50
Estómago		0,50			

CORRIENTES ELÉCTRICAS, CAMPOS MAGNÉTICOS Y CORRIENTES INDUCIDAS EN EL HUMANO

Si la corriente es alterna, el campo magnético es variable con el tiempo, y todo campo magnético en movimiento con respecto a un sistema de coordenadas induce una corriente eléctrica en un conductor eléctrico, en reposo en el sistema de coordenadas y situado en la vecindad del campo. Estos fenómenos anteriormente descritos, son la base del funcionamiento de los transformadores, de los motores y generadores eléctricos.

Las líneas de transmisión de alta tensión transmiten corrientes alternas de 60 Hz y generan campos electromagnéticos en su vecindad. Su

intensidad depende de la distancia, del voltaje y de la corriente que pasa por la línea. En una línea de corriente alterna monofásica, el campo magnético alterno es tan rápido que una brújula no tiene tiempo a cambiar de posición, por lo que permanece quieta, como si no hubiera un campo que la altere.

Hay que tener en cuenta que las líneas de alta tensión son siempre tres cables o múltiplos de tres, por ser trifásica la máquina que produce corriente eléctrica, y si las tres fases estuvieran con la misma intensidad (el mismo consumo) y muy juntas, la resultante del campo magnético alterno sería 0; pero esto no ocurre normalmente, y la diferencia de carga por fase como la distancia entre los cables hace que induzcan un campo magnético alterno hasta varios metros de distancia. La forma del campo magnético alterno inducido por la corriente eléctrica en los otros casos (transformadores, motores, cables domésticos, antenas de radiofrecuencia y telefonía móvil, radares, etc.) depende de la posición de los conductores y de los materiales que intervienen, si son magnéticos o paramagnéticos.

MÉTODO EXPERIMENTAL

Daremos sólo algunos elementos del método experimental. En otra publicación completa se darán los detalles del método y de los resultados experimentales. Para la medición de corrientes inducidas se utilizó el método propuesto por uno de los autores (BFG). Se calibraron tres bobinas, una por cada eje del espacio (norte-sur, este-oeste y vertical), sobre las cuales se induce un campo magnético a partir de una bobina idéntica tomada como primario de referencia. Se caracterizaron las bobinas a partir de los parámetros más relevantes: resistencia, impedancia, número de vueltas, geometría del embobinado, volumen del conductor. (Resistencia interna $66,7 \Omega$, impedancia 317Ω , 3 400 vueltas, volumen de $0,000 507 \text{ m}^3$). La impedancia de 317Ω es pertinente, pues la resistencia total más baja encontrada, medida incluyendo el efecto de la piel, es de 500Ω . Se calculó el campo que debe generar esa bobina en el punto central de su geometría en función de la corriente directa que circula y se comparó con el campo medido (en las tres direcciones del espacio), con un teslametro Didaline (Perron) MT 3921 con sonda a efecto Hall (dos escalas: 10 mT y 100 mT y perilla de ajuste a cero). El campo

magnético en la dirección de la orientación del eje de la bobina lleva a un ajuste de 0,80. Después se estudió la dispersión del campo debido a las distorsiones geométricas agregando hasta tres bobinas, espacialmente distribuidas sobre el eje de simetría de las bobinas y las correcciones alcanzan el decimal. Posteriormente se estudió la respuesta a una corriente variable a 60 Hz. Se hizo variar la distancia del secundario con respecto al primario para una corriente eficaz dada y se estableció que la variación es exponencial decreciente con la distancia en las tres direcciones del espacio. También se estableció, una dependencia lineal extremadamente buena entre la corriente en el primario y voltaje inducido en el secundario para diferentes distancias tal como lo predice la Teoría. Repetimos las experiencias con las mismas bobinas y, además, también calibramos una pareja de bobinas alineadas según el eje de simetría de resistencia interna total $3,73 \Omega$ e impedancia $7,43 \Omega$. Con estos valores nos acercamos a las resistencia más baja de los órganos $5 \Omega/m$. Además, hicimos una representación cartográfica del voltaje inducido en las tres direcciones, evitando distorsiones debida a objetos cercanos.

RESULTADOS Y CONCLUSIONES

Se hizo un monitoreo del campo magnético estático y de las corrientes inducidas en toda la casa de máquina, el pozo de cables y en el parque de transformadores contiguo a la casa control del complejo de Fortuna. Igualmente, se midió en la casa de máquinas, en los patios de transformadores de planta La Estrella. Además, se hicieron mapas de las regiones cercanas de cada uno de los transformadores. Se detectaron los puntos críticos para recomendar las medidas que se deberían tomar para aplicar el principio de la menor exposición posible. Se compararon los resultados entre Fortuna y la Estrella con la finalidad de establecer si los órdenes de magnitud de los resultados de una central de 300 MW comparada con una central de 27 MW eran proporcionales a sus respectivas potencias de producción, indicando la coherencia de los resultados. Los valores continuos más altos se encontraron cerca de los transformadores de las turbinas. Los valores picos más altos aparecen en los transformadores de alto voltaje para la transmisión. Los valores de campo magnético estático son relativamente bajos (dentro de las normas), pero las personas con marcapasos no deben acceder a los lugares inspeccionados. Las

normas aplicadas por la empresa de acceso restringido y el menor tiempo posible son apropiadas.

ABSTRACT

EGE Fortuna, S.A. made an environmental audit in Fortune complex to elaborate an adaptation plan and environmental handling procedures. For the first time in Panama this included a low frequency and high intensity non ionizing radiation audit, being an historical reference for the environmental politics in the region. The authors designed, applied and validated a method for these measurements for future recommendations to take into account in the plan and environmental handling procedures to avoid stochastic effects of the radiations in a rational way of the precaution principle.

KEYWORDS

Fortuna, audit., non ionizing radiation, low frequency, high intensity.

REFERENCIAS

Zárate P., M. F. 2002. El proyecto eólico de generación de energía eléctrica dentro del área protegida de Fortuna: un caso de energía limpia con serios problemas ambientales. *Revista Tecnociencia* Vol 4, N° 2.

Castillo, M. De Los A. 2002. Auditoría y Plan de Adecuación y Manejo Ambiental del Complejo Hidroeléctrico Fortuna y su Reserva Forestal. *Revista Tecnociencia*. Vol. 4, N° 1.

Fernández, B. 2001. "Estudio de la Radiación Electromagnética en la casa de máquinas de la Hidroeléctrica La Fortuna". Informe a la Empresa AES Panamá. Fac. de Ciencias. Universidad de Panamá.

Batista, G. 2002. "Estudio de la Radiación No Ionizante de baja frecuencia en la Hidroeléctrica La Estrella". Escuela de Física. Universidad de Panamá.

Gabriel, C. & Gabriel, S. 1996. "Compilation of the Dielectric Properties of Body Tissues at RF and Microwave Frequencies" Departamento de Física, King's College Londres. <http://www.brooks.af.mil/AFRL/HED/hedr/reports/>

Universidad de Atacama. 2001. "Contaminantes Físicos".
Departamento de Ingeniería de Minas.
<http://plata.uda.cl/minas/apuntes/Geologia/geolamb/>

Beninson, D. 1996. Riesgo Radiación a baja dosis. Revista Seguridad
Radiológica de la Asociación Radiológica Argentina.
<http://www.radioproteccion.org.ar/>

Tuotromedico.com 2002. Radiaciones Ionizantes y Radiaciones No
Ionizantes. http://www.tuotromedico.com/temas/radiaciones_ionizantes.htm

Recibido octubre del 2002, aceptado marzo del 2003.