

CARACTERIZACION ECOLOGICA DE LOS CENOTES DEL AREA DE MACABILERO DEL PARQUE NACIONAL SIERRA DEL LACANDON, LA LIBERTAD, PETEN

Claudio Méndez
Agosto de 2001

Introducción

En el Plan Maestro del Parque Nacional Sierra de Lacandón (1998) queda establecido que uno de los objetivos del Programa de Investigación y Monitoreo es “ampliar el conocimiento de los procesos ecológicos y sociales y del uso de los recursos naturales y culturales que afectan al Parque, así como monitorear los cambios que ocurren debido al manejo y uso humano del Parque”. El plan operativo anual 2000-2001 ya aprobado por el CONAP establece como meta la “Caracterización Ecológica de los Cenotes del área de Macabilero”, por ser considerada que en ellos se presentan condiciones particulares que dan origen a “contener características, procesos ecológicos y/o especies singulares”. Todo esto basado en la clasificación ecológica del Parque (Castañeda et al. 2000) ejecutada con el apoyo de The Nature Conservancy. El estudio de Castañeda también recomienda ampliar el conocimiento de esta región.

En otras palabras los documentos sobre el PNSL, Plan Maestro, Plan Operativo Anual y Clasificación Ecológica sugieren la hipótesis que la región de Macabilero, donde se localizan los cenotes presenta condiciones tales que originan particularidades tales como: especies endémicas o restringidas.

Por otro lado este tipo de información (entre otras) se espera que oriente la planificación del manejo de todo el Parque.

La idea de “Caracterización Ecológica” que se maneja en este estudio es el diseño de un experimento descriptivo y exploratorio y no para someter a prueba la hipótesis antes enunciada. Aunque en este punto debe aclararse o redefinir la hipótesis: la presencia de los cenotes de la región de Macabilero, afectan la distribución de especies como peces, herpetofauna y vegetación debido a factores físicos: luz, humedad y circulación del agua, los cuales cambian con relación a su entorno.

La hipótesis sugerida por los documentos antes mencionados sobre el PNSL, que propone que la distribución de la biota en relación con un fenómeno tan particular como un cenote genera endemismo o restricción en la distribución de las especies ya ha sido o está siendo analizada en anteriores estudios en la península de Yucatán, México.

Entonces, este estudio explora el posible efecto de varios factores como, la distribución espacial de los cenotes en el área de Macabilero, el diámetro y la profundidad, si es que estos pueden afectar la cantidad de luz y humedad. Finalmente y considerando que la colonización de los cenotes por peces y herpetofauna podría estar asociada con una fuente cercana, se analizará la distancia entre los cenotes y el río principal, el Usumacinta. El efecto esperado se da sobre el número de especies (presencia – ausencia) en cada grupo taxonómico considerado en este estudio.

REFERENTE TEORICO

Los cenotes han sido descritos y mapeados en el lado mexicano de la península de Yucatán, no así en el lado de Guatemala. Se mencionan como rasgos característicos de las planicies yucatecas (Suárez-Morales y Rivera-Arriaga 1998). Son formaciones generadas a partir de los procesos de dilución de las rocas de carbonato de calcio por la acción pluvial del ácido carbónico y por el paso de aguas subterráneas. El desgaste de la roca va formando bóvedas inundadas de distintos tamaños y conformaciones; llega un momento en el que el techo de estas bóvedas se adelgaza tanto que se desploma y la parte inundada queda expuesta total o parcialmente. Sin embargo existen variaciones amplias de la conformación de los cenotes lo que está relacionado con la geología de la península y con la distancia de los cenotes a la costa.

Considerando la antigüedad de la emersión de la Península de Yucatán, en la cual la parte más reciente se da en el Pleistoceno, y solo al final de este último quedan emergidos el extremo Norte de la Península, cuando se originan la mayoría de cuevas y cenotes (Schmitter-Soto et al. Inf. no publ. Los Cenotes de la Península de Yucatán).

Sin embargo el inicio de la emersión o la región más antigua data del principio del Terciario en el Eoceno al Mioceno (hace unos 55 millones de años) (Suarez-Morales y Rivera-Arriaga 1998).

La influencia de la cercanía con el mar se ve reflejada en el sistema hídrico de los cenotes. La composición del agua en cuanto su salinidad y fluctuaciones entre dulce y salada por influjo de las mareas, lo que tiene su efecto en la biota. Por ejemplo los cenotes muy cercanos a la costa en Yucatán son invadidos inclusive por poblaciones del mangle (*Rhizophora mangle*); otros más alejados pueden estar bordeados por *Conocarpus erecta*, *Cladium jamaicense* y *Phragmites australis*, así también son frecuentes en ellos, *Typha domingensis*, *Acrostichum danefolium*, *Nymphaea ampla*, *Sagittaria lancifolia*, *Cabomba palaeformis* entre otras. Los cenotes más alejados de la costa suelen presentar *Ficus cotinifolia*.

La fauna también se origina por influjo de sus relaciones con otros cuerpos de agua y el mar. No obstante un efecto de aislamiento relativo solo se ha hecho manifiesto en estudios de fauna acuática y principalmente con los microcrustáceos y macrocrustáceos. Hay poca información sobre invertebrados de cenotes. Sin embargo estudios sobre grupos como rotíferos muestran datos interesantes: de los 300 especies mexicanas, 150 se localizan en la Península de Yucatán. Schmitter y colaboradores mencionan que la composición de las especies de rotíferos varía de cenote a cenote, en relación fundamentalmente con la variación de las características fisicoquímicas del agua así como con la contaminación.

Una de las implicaciones de los estudios de los crustáceos es su contribución en la biogeografía de la Península, en lo cual se ha encontrado relaciones de esta biota con las Antillas mayores y el denominado origen tethiano o sea la separación de la Pangea en el post-Jurásico.

Algunos vertebrados invaden por oportunidad los cenotes . Se reportan : *Crocodylus moreleti*, *Ctenosaura similis*, *Chrysemys scripta*, *Dermatemys mawii*, varias especies de *Kinosternon* y anuros como *Leptodactylus labialis* y *Bufo marinus*. Solamente en la ictiofauna se reflejan el posible efecto del aislamiento de estos cuerpos de agua, en particular los cenotes más alejados de la costa, donde se reportan poblaciones de especies relativamente diferenciadas. Aunque el estatus taxonómico de la mayoría aun es objeto de discusión. Destaca entre otras especies *Rhamdia guatemalensis* de la cual se reportan varias subespecies en diferentes cenotes interiores.

Los cenotes de la región de Macabillero son del tipo interior y más antiguo y un estudio de su fauna de crustáceos podría ayudar a comprender la biogeografía de la Península y el efecto del aislamiento relativo. Sin embargo este estudio no se enfocará en este aspecto y solamente busca documentar el posible efecto de la ocurrencia de cenotes en grupos de poco valor en el análisis biogeográfico, tales como, reptiles y anfibios. Para este tipo de consideraciones será de mayor importancia el estudio de la ictiofauna. La vegetación asociada tampoco surge como un buen indicador.

Es por todo esto que el presente estudio busca mas la descripción de la distribución en función de variables físicas (y químicas del agua) y que podrían generar patrones tales como, número de especies de cada grupo. Y solamente en el caso de los peces cabría la posibilidad de encontrar especies que contribuyan en un análisis biogeográfico y usar esta información como punto de valoración de los sitios por su endemismo. Otra aplicación es la relación de la biota con el río Usumacinta lo cual puede dar un criterio de manejo mas allá de los cenotes mismos.

DEFINICIÓN DEL PROBLEMA Y PREGUNTAS CENTRALES

Considerando que la biota de los cenotes de la región de Macabillero son de tipo interior y más antiguo se plantea la pregunta principal: como se origina? o que factores determinan la presencia de las especies actualmente, es decir un análisis ecológico y no biogeográfico de los grupos taxonómicos: vegetación, herpetofauna e ictiofauna.

Considerando la conformación de los cenotes de Macabillero y considerándolos como un conjunto básicamente representados como cilindros con diámetros superior e inferior similares o desiguales, altura variable. Las preguntas derivadas de estos componentes de los cenotes tratados como variables son: como afectan cada una de ellas independientemente o combinadas, la distribución de las especies.

DISEÑO EXPERIMENTAL

VARIABLES INDEPENDIENTES

Tratadas como variables dentro de cada cenote:

1. profundidad
2. diámetro 1
3. diámetro 2
4. cavernas extra dentro del cenote u otra característica geométrica
5. con agua o sin y calidad de la misma (algunos parámetros físicos y químicos)

VARIABLES ENTRE CENOTES:

1. distancia al río Usumacinta u otro cuerpo de agua (no cenote)
2. distancia entre cenotes
3. altitud sobre el nivel del mar
4. área de influencia (sabana o sibal u otros)

De la hipótesis general: la presencia de los cenotes afecta la distribución de las especies, se fundamenta en el supuesto que si les afecta es por un efecto positivo, el cual varía según las variables dentro del cenote. Negativo, las especies evitan los cenotes; o neutro, es decir no hay un efecto evidente. Sin embargo la relación de los resultados discutidos en este documento con las variables detectadas en la mayoría sigue siendo hipotética, pues no se tienen los datos adecuados para probar estas relaciones.

Cuando la relación es positiva o negativa, también se analiza en función de las variables entre cenotes.

VARIABLE DE RESPUESTA

Presencia o ausencia de las especies y número de especies de cada grupo taxonómico.

TRATAMIENTOS

Todas las combinaciones de las variables dentro y entre cenotes . Con la excepción de los peces, en los demás grupos se toman muestras en el perímetro superior y en el inferior con una variación en el ancho de la banda de terreno alrededor de cada cenote, dependiendo de cada taxón. La combinación de estas variables con las otras en su proceso de análisis se hará con la finalidad de encontrar posibles patrones y es la forma de probar la hipótesis general sobre el efecto de los cenotes en la distribución de los taxa analizados.

Por falta de tiempo para la etapa de muestreo, se tomó muestras únicamente en 8 cenotes de los 19 que conforman el conjunto de este estudio (Macabillero). Esta condición redujo la posibilidad de controlar las variables.

Cuadro No 1. Características de los cenotes.

No.	Nombre del Cenote	Coordenadas		Altitud Snm	Area del espejo de agua (Has.)
		Latitud	Longitud		
1	El lagarto	17.061	-91.187	140	0.386
2	El Esfuerzo	17.065	-91.186	120	0.522
3	El Gigante	17.062	-91.162	80	8.265
4	El Gemelo Macho	17.052	-91.166	160	0.917
5	Laguneta Lacandón	17.067	-91.172	80	111.98
6	El Cibalito	17.051	91.153	100	2.665
7	El Escondido	17.054	91.152	100	1.986
8	El Peje	17.053	-91.203	80	4.297

DETALLES DE METODOS

Todos los grupos taxonómicos estudiados tratan de responder las mismas preguntas usando el mismo diseño experimental de base. Sin embargo para la obtención de la muestra se aplicaron métodos específicos por cada taxón.

VEGETACIÓN

Julio E. Morales C y Miguel Flores

De los tres pisos propuestos para la evaluación de la hipótesis general, solamente se muestrearon dos, los cuales son:

1. La orilla del cenote
2. El fondo del cenote

La pared del cenote no fue muestreada debido a la inaccesibilidad por la pendiente de las mismas. Con esto no pudo evaluarse de manera satisfactoria la hipótesis general, solamente puede decirse si la composición en el fondo de los cenotes es diferente a la vegetación externa de sus inmediaciones.

La unidad muestral fue la parcela, en cada unidad experimental (cenote), se levantó el número de parcelas que fue necesario para cubrir la vegetación en la orilla del espejo de agua de los cenotes (piso 1). En el perímetro externo del mismo (piso 2) se levantaron 6 parcelas. Las parcelas tuvieron un área de 0.1 hectárea (Aymard y Cuello 1995, Stohlgren Et al. 1995), con una extensión de 125 metros de largo por ocho de ancho (Morales 2001, Rodas 1998, Barrientos 1997). Estas parcelas se colocaron linealmente una tras otra. En las parcelas del piso 1 se muestreó dos metros de la orilla del agua hacia adentro y 6 metros desde la orilla hacía afuera, para poder muestrear las plantas estrictamente acuáticas.

Dentro de cada parcela se identificaron los individuos de los estratos: epifito, arbóreo, arbustivo, herbáceo, emergente, flotante y sumergido. Así como también, las plantas de hábitos escandentes.

Las muestras se colectaron de febrero a mayo de 2001. Algunos árboles fueron identificados por Miguel Flores y algunas plantas de la familia orchidaceae, fueron identificadas por Sergio Cruz, el resto de las plantas fueron determinadas por Julio Morales, bajo la supervisión de Mario Véliz. Los especímenes quedaron depositados en el herbario BIGUA, de la Escuela de Biología de la Universidad de San Carlos de Guatemala.

EVALUACION DE ALGUNOS PARÁMETROS FÍSICO- QUÍMICOS DEL AGUA DE LOS CENOTES

Luis Mejía

Por si sola esta caracterización del agua de los cenotes es considerada otra variable independiente para explicar la variación de los otros taxa (variables dependientes o de respuesta).

De los 21 cuerpos de agua que se encuentran en la parte Sur-Este del Parque Nacional Sierra del Lacandon, se hicieron un muestreo solamente de doce: ocho cenotes, una laguna, dos lagunetas contiguas conectadas a la laguna el Lacandon y un nacimiento de agua, los muestreos se realizaron en mayo y junio. En el anexo 1, se encuentra el mapa de localización de los cenotes y el número que los identifica, además la secuencia de muestreo. En el cuadro siguiente se aparea el nombre con el número correspondiente en el mapa y la secuencia de muestreo es de arriba para abajo.

Número de Localización en el Mapa. Ver mapa anexo	Nombre del Cenote
9	Cibalito
11	Media Luna
20	Escondido
6	Gigante
7	Gemelo Macho
21	Laguna Lacandon
4	Laguneta conecta a Lag. Lacandon
5	Laguneta conecta a Lag. Lacandon
3	Esfuerzo
2	Lagarto
1	Peje
En el campamento	Nac. Iguanas

Se realizaron tres muestreo en cada cenote, y siete en el complejo de lagunetas, los puntos de muestreo fueron los puntos cardinales del cuerpo de agua, en la zona litoral, en la parte superficial a 25 cm de profundidad, en cada uno se determinó los mismos parámetros físicos, químicos, perfiles de profundidad y de entrada de luz.

Parámetros Geológicos.

Perfil de Profundidad del Agua: Se determinó el perfil de los ejes de cada uno de los cenotes, con un batímetro Marca Apelco, FishFinderXCD 250.

Parámetros Físicos:

Perfil de Entrada de Luz: Se determinó el perfil de profundidad de entrada de luz, con un plato de Secchi, de 20 cm de diámetro, construido y calibrado en el laboratorio de fisicoquímica, Fac. de Ciencias Químicas y Farmacia de la USAC.

Temperatura: se determinó la temperatura con un potenciómetro, conductímetro y un sensor de oxígeno disuelto, que contiene cada uno un termómetro incorporado que da la lectura en °C, estos sensores pertenecen a un meter marca Corning.

Oxígeno Disuelto: se determinó con sensor que cuantifica el oxígeno disuelto en ppm y/o el porcentaje de Oxígeno disuelto sensor es de marca Corning.

Conductividad: se determinó la conductividad en mS/cm o micros/cm, con un sensor de conductividad marca Corning, este sensor también da lecturas de salinidad y sólidos totales disueltos.

pH: Se cuantifico el potencial de hidrógeno, en unidades logarítmicas, con un potenciómetro marca Corning, este mismo puede dar valores del potencial en milivoltios.

Parámetros Químicos: Los métodos químicos empleados son recomendados por standar methods (5)

Nitrógeno de amoníaco (Niveles bajos). Con el método del Salicilato. Este método se aplica a Bajas concentraciones de amonio en aguas dulces y saladas.

Rango: 0.00 – 1.0 ppm de Nitrógeno de amonio

Método: El amonio y el salicilato reaccionan a un pH alto en presencia de un donador de cloro y un catalizador de hierro para formar el colorante azul de indofenol, la concentración el cual es proporcional a la concentración de amonio en la muestra. En el anexo 2 se encuentra todos los pasos necesarios para la determinación.

Manejo y Preservación de la Muestra: La solución de amonio tienden a ser inestables y deben ser analizados tan pronto como sea posible. Las muestras pueden ser estabilizadas ajustando el pH a menor que 2 con HCl. La solución puede después ser neutralizada con NaOH antes del análisis.

Interferencias: Hay pocas interferencias en la mayoría de las aguas naturales. La alta concentración de agentes reductores, tal como la hidrazina, reacciona con un donador de cloro y puede restar una interferencia negativa. El color y la turbidez también puede interferir.

Equipo de Muestreo: Smart colorimeter marca la Motte.

Hierro: Método del Bipyridilo

Aplicación: Aguas potables, superficiales y salinas, de desechos industriales y domésticos.

Rango: 0.0-5.0 ppm de hierro.

Método: El ion ferrico es reducido a ion ferroso y subsecuentemente a complejos coloreados con bipyridilo para una medida cuantitativa de hierro total.

Manejo de Muestra y Preservación: El contenedor de la muestra debe ser limpiado con ácido y enjuagado con agua desionizado. La adición de ácido a la muestra para ajustar a un pH de 2 a 3 previene la deposición de hierro en las paredes del recipiente. Las muestras deben ser analizadas lo mas pronto posible.

Interferentes: Los agentes oxidantes fuertes interfieren, así como, el cobre y cobalto excediendo los 5 ppm.

Equipo de Muestreo: Smart colorimeter marca la Motte.

Nitrato:Método de Reducción de Cadmio.

Aplicación: Este método determina niveles de nitratos en aguas potables, superficiales, salinas y de desechos domésticos e industriales.

Rango:0.00 - 3.00 ppm de nitrógeno de nitrato (el rango puede ampliarse por dilución).

Método:El cadmio pulverizado es usado para reducir el nitrato a nitrito. El nitrito que esta presente originalmente además del reducido es determinado por diazotización de sulfinalimida y nitrito seguido por el acoplamiento con N-(1-naftil)-etilendiamina diclorhidrato a la forma altamente coloreada del colorante el cual es medido colorimetricamente.

Manejo de la Muestra y preservación. El análisis se debe realizar tan rápido como sea posible. Sí el análisis no se realiza dentro las 24 horas, la muestra debe preservarse en refrigeración a 4°C. Cuando las muestras son guardadas por mas de 24 horas, se pueden preservar agregando 2 ml de ácido sulfúrico concentrado por litro de muestra. Para mejores resultados, los análisis de nitratos deben realizarse a temperaturas entre 20 a 25°C.

Interferentes: Los interferentes de los nitritos se dan a todos los niveles. Usar la siguiente ecuación para compensar los efectos de los interferentes:

Resultado de análisis (ppm) – (nitritos-N(ppm) x 5.5) = lectura de nitratos.

Los agentes oxidantes y reductores fuertes son interferentes. Los resultados bajos que se obtienen de las muestras contienen altas concentraciones de hierro y cobre.

Equipo de Muestreo: Smart colorimeter marca la Motte.

Fosfatos: (Bajos Niveles).Método reducción del ácido ascorbico

Aplicación: Aguas potable, de superficie, salinas; además de aguas de desechos industriales y domesticas (método basado sobre la reacción que es especifica para el ortofosfato).

Rango:De 0.00-3.00 ppm de ortoposfato (rango que puede ser extendido por dilución).

Método:El molibdato de amonio y el tartrato de antimonio y potasio reaccionan en un medio ácido con una solución diluida de PO_4^{3-} formando un complejo de antimonio-fosfomolibdato. Este complejo es reducido a otro complejo de un color azul intenso por el ácido ascorbico. El color es proporcional a la cantidad de fosfato presente. (solo la forma de ortofosfato de color azul es analizada). Los polifosfatos (y algunos compuestos fosfóricos orgánicos) pueden ser convertidos a la forma de los ortofosfatos por digestión de ácido sulfúrico.

Manejo de la Muestra y preservación: Sí los depósitos benticos existen en el área de muestreo, se debe tener gran cuidado para no incluir estos depósitos. Sí los análisis no pueden ser realizados el mismo día de la recolección, la muestra puede ser preservada agregando 2 ml de ácido sulfúrico concentrado o 40 mg de cloruro de mercurio por litro y refrigerarlo a 4°C.

Interferentes:No hay interferencia del cobre, hierro o silicato a concentraciones mucho más que la concentración del agua del mar. Sin embargo, las concentraciones altas de hierro pueden causar precipitación del fósforo y subsecuentemente la disminución. El error debido al contenido de las sales, por muestras que van de 5% a 20% de contenido, es menor que 1%.El cloruro de mercurio, cuando es usado como preservante, interfiere con los niveles de cloruros cuando son bajos (menos de 50 ppm).

Equipo de Muestreo: Smart colorimeter marca la Motte.

Sulfuros: Método del Azul de Metileno

Aplicación: Aguas potable, de superficie, salinas; además de aguas de desechos industriales y domesticas.

Rango: De 0.00-3.00 ppm de sulfuros.

Método: Bajo condiciones convenientes el ion sulfuro reacciona con p-aminodimetilanilina y cloruro férrico para producir el azul de metileno proporcional a la concentración de sulfuros. Se agrega fosfato de amonio para eliminar el color debido al ion férrico.

Manejo de la Muestra y preservación: Las muestras deben ser tomadas con un mínimo de aireación porque el sulfuro se volatiliza por aireación y cualquier cantidad de oxígeno destruye la acción química de los sulfuros. Las muestras son usadas para la concentración de sulfuros totales y pueden ser preservadas agregando 2 ml de una solución de acetato de zinc 2M a un litro de muestra. Este reactivo precipita los sulfuros como sulfuros de zinc inertes. La determinación de sulfuros disueltos en muestras no preservadas deben de ser analizadas a los tres minutos de muestreo.

Interferentes: Los agentes reductores fuertes tales como los sulfatos, tiosulfato, e hidrosulfato, prevén la formación del color o disminuyen su intensidad. La alta concentración de sulfuros inhiben la reacción, por lo que la dilución de la muestra elimina este problema.

Equipo de Muestreo: Smart colorimeter marca la Motte.

Demanda Química de Oxígeno: Método de Digestión del Mercurio Libre

Aplicación: Desechos industriales y domesticas.

Rango: De 20- 900 ppm de sulfuros

Método: El dicromato en presencia de sales de plata, a altas temperaturas, en un sistema cerrado, oxida la mayoría de los compuestos orgánicos del 95 – 100% de la cantidad teórica. Este proceso es llamado. El dicromato como agente de los compuestos orgánicos, es un complejo verde. La concentración del complejo verde es medida colorimetricamente a 605 nm y es directamente proporcional a la demanda química de oxígeno de la muestra.

Manejo de la Muestra y preservación: La colección de muestras en embaces deben ser rápido y dejarlos reposar tan rápido como sea posible. Si las muestras deben ser guardadas, preservadas y competente adicionando ácido sulfúrico concentrado hasta un pH menor que 2. Las muestras con sólidos suspendidos deben homogenizarse en una licuadora.

Interferentes: Los compuestos orgánicos volátiles no son oxidados por estar arriba en los vapores de la solución de digestión. Sin embargo, ellos no pueden contribuir a la lectura de la demanda química de oxígeno. La concentración de cloro por arriba del 10% es interferente con el DQO. Los nitritos dan una interferencia positiva de 1.1 ppm de O₂ por ppm de NO₂-N, el cual es insignificante cuando la concentración de nitritos es mínima. Otros compuestos orgánicos reducidos son estequiometricamente, causando una interferencia positiva. La corrección puede ser hecha por estos compuestos basadas sobre sus esquiometria y concentraciones.

Equipo de Muestreo: Smart colorimeter marca la Motte.

Dureza Total. Método tritimétrico, con ácido etilendiamintetraácetico disódico.

Aplicación: Para aguas suaves, se puede extender por dilución.

Rango: 0 a 100 ppm.

Equipo de Muestreo: Kit de Aqua Merck.

Todas las muestras de agua se obtuvieron del cuerpo de agua con un muestreador de policarbonato, Marca Student; y se muestreo en el litoral del cuerpo de agua, a una profundidad de un pie.

HERPETOFAUNA

Rony A. García Anleu

Se obtuvo muestras de 7 cenotes seleccionados . Estos cenotes varían desde las 0.386 hasta las 111.98 hectáreas de espejo de agua. La elección de los cenotes estuvo en función de la localización y la accesibilidad al espejo de agua. El tiempo invertido para la búsqueda de los especímenes estuvo en función del tamaño del cuerpo de agua. El estudio tuvo lugar durante la época seca.

LISTADO DE LOS CENOTES ESTUDIADOS

Cenote No.	Nombre del Cenote	Coordenadas		Altitud snm	Area del espejo de agua (Has.)
		Latitud	Longitud		
1	El Lagarto	17.061	91.187	140	0.386
2	El Esfuerzo	17.065	91.186	120	0.522
3	El Gigante	17.062	91.162	80	8.265
4	El Gemelo Macho	17.051	91.169	160	0.917
5	Laguneta Lacandón	17.067	91.172	80	111.98
6	El Sibalito	17.055	91.158	130	3.055
7	El Escondido	17.052	91.159	149	3.055

Para la detección de los especímenes se utilizó la metodología estandar de Registros de Encuentros Visuales. En cada uno se realizó una búsqueda matutina y una nocturna. Para la búsqueda tanto matutina como nocturna se utilizaron 02 horas entre las 09:00 y las 12:00 y entre las 20:00 y 24:00 horas. Se utilizó una lancha inflable para realizar los recorridos en la orilla del espejo de agua de los cenotes. Los especímenes colectados fueron etiquetados y preservados en solución de Formaldehído al 10% y luego depositados en las Colecciones de Referencia del Museo de Historia Natural de la Universidad de San Carlos de Guatemala.

Se combina dos métodos de detección basados en los utilizados por Heyer y colaboradores (1994): registros visuales en trayectos y evaluación de parcelas en la hojarasca.

El primero es empleado para el perímetro acuático: 3 personas recorren lentamente en lancha la orilla del interior del cenote . Durante el recorrido se registran los organismos que son observados, incluyendo estadíos inmaduros. Solamente se registran aquellos individuos que se encuentren a 3 metros a cada lado de la orilla y a una altura no mayor de 2 metros. Por supuesto se reportan cualquier registro no sistemáticos. El estudio es cualitativo y trata de obtener la mayor cantidad de datos de presencia de todas las especies, esto incluye registros auditivos.

ICTIOFAUNA

Pablo Herman Adolfo Kihn Pineda

PROCEDIMIENTO DE MUESTREO:

El universo de estudio consistió en el conjunto de asociaciones de peces registradas en todas las estaciones de muestreo elegidas, dentro del área de estudio y su zona de influencia.

Las muestras consistieron en todas las especies e individuos de cada especie, registradas en cada localidad de muestreo, durante 24 hr continuas, y como se definirá mas adelante, con los diferentes técnicas de registro que se tuvo la oportunidad de utilizar.

LOCALIDADES DE MUESTREO:

1. Se eligieron ocho dolinas (cenotes) y una laguna localizadas sobre las crestas, laderas y al pie de los anticlinales de la Sierra del Lacandón, al Este del campamento, establecido al Sur del Sitio Arqueológico “Piedras Negras” y en las cercanías del Arroyo Macabilero (fig. 1).
2. La escogencia de estas estaciones se hizo en base a la posibilidad de trasladar el equipo, relativamente rápido, alcanzar el espejo de agua con seguridad y contar con la posibilidad de usar las técnicas de registro o del equipo obtenido, en la estación de muestreo.
 - a) Dolinas y Laguneta:

Se identificaron las nueve estaciones de la siguiente manera:

- Dolina # 1: “Peje Lagarto”
- Dolina # 2: “El Lagarto”
- Dolina # 3: “El Esfuerzo”
- Dolina # 6: “El Gigante”
- Dolina # 7: “El Gemelo Macho”
- Dolina # 9: “El Cibalito”
- Dolina # 11: “Media Luna”
- Dolina # 20: “El Escondido”
- Laguneta “El Lacandón”

3. Dos estaciones en afluentes del Río Usumacinta:
 - a) Confluencia del Arroyo Macabilero con el Río Usumacinta.
 - b) Arroyo Yaxchilán, a 80 m al Este de su confluencia con el Río Usumacinta.
4. Una última en el margen del Río Usumacinta, frente al campamento.

USO DEL EQUIPO:

1. En el transcurso de 27 días, se obtuvieron muestras de los peces que habitan en las estaciones descritas, como se describe a continuación:
 - a) 199 hr de pesca con un trasmallo tipo “trammel” de 5cm de luz de malla, 50m de largo x 1.8m de ancho y una luz de malla externa de 15cm, en seis dolinas, la laguna y en el Río Usumacinta.
 - b) 48 hr con un trasmallo común de 10cm de luz de malla, de 25 m de largo x 1.6 m de ancho, en dos de las dolinas muestreadas, al inicio del muestreo.
 - c) Cuatro hr con una atarraya de cuatro (4) m de diámetro, con malla de 25 mm por lado, en dos dolinas, cuyas características físicas permitieron su uso.
2. Uso de Equipo Adicional:
 - a) En todas las dolinas, se hicieron registros visuales con equipo de buceo somero (careta y snorkel), y/o desde una pequeña embarcación inflable, en trechos alternos de 10 metros con 20m de distancia entre estos trechos.
 - b) Se utilizaron líneas con plomada y anzuelo, durante 30 horas para obtener ejemplares que no pudieron ser capturados con las redes, tanto en dolinas, como en las estaciones de la laguneta y en el Río Usumacinta.
 - c) Otros métodos adicionales para obtener peces en diferentes cuerpos de agua, fueron, pesca nocturna con machete (6 hr), pesca diurna con trampas rústicas(4 hr) y balandras (12 hr).

IDENTIFICACION DE LAS ESPECIES:

Un pequeño número de algunas de las especies capturadas fueron preservadas para confirmar su identidad en el laboratorio. Los ejemplares se mataron y fijaron en una solución del 10% de formaldehído del 38% y luego, para su eventual embodegamiento y manipuleo, se trasladaron a depósitos individuales, por colección y especie, a una solución al 70% de alcohol etílico del 98%.

Para el logro de la correcta identificación de las especies de peces registradas por captura, se utilizaron las últimas revisiones de especies de cada familia, grupos de especies o genero (i. e., Wiley, 1976; Taylor, 1977; Rivas, 1986; Chernoff, 1986.; Dekert & Greenfield, 1987; etc.).

No se utilizó el nuevo nombre genérico de *Vieja* (Familia CICHLIDAE), para tres especies de cuerpo ancho, incluidas entre el Grupo *Theraps* de Regan (1907) y propuesto por Allgayer (Bussing, 1998) - - *T. synspilum*, *T. heterospilum* y *T. argenteum*. La razón para tomar esta decisión es que Bussing (1998) aseguró que tanto él como el Dr. R. R. Miller (del Museo de Zoología de la Universidad de Michigan) juzgan prematuro el cambio de nomenclatura, antes del logro de una determinación clara de las relaciones filogenéticas de parentesco entre las especies de este gran grupo parafilético de especies.

Se dio crédito a la indicación de Bussing (1998) que la especie *Parapetenia-Nandopsis friedrichsthali* es una especie "hermana" de *Petenia splendida* y *P. kraussi*, basado en su revisión de la tesis doctoral del Dr. F. P. Cichocki (Universidad de Michigan); por lo que en este informe se incluyó, como *Petenia friedrichsthali*.

Se utilizó el nombre genérico "*Cichlasoma*" para las especies *Parapetenia-Nandopsis salvini* y *urophthalmus* porque no se logró obtener, hasta el momento de terminar este informe, una copia de la tesis del Dr. Cichocki. Los nombres *Asthateros salvini* y *A. urophthalmus*, que se incluyeron en Glaser et al. (1996) no se utilizó porque estos autores no especificaron el origen de dicho nombre.

La identificación de las formas registradas se hizo hasta especie, en la totalidad de ejemplares preservados, y mas tarde se utilizaron las descripciones de las subespecies que C. L. Hubbs incluyó en sus diferentes trabajos, sobre los peces de Petén y el Estado de Yucatán, en Mexico (Hubbs; 1935, 1936 y 1938), para tratar de determinar la posibilidad que alguna de las poblaciones muestreadas fuera lo suficientemente distinta, como para considerarla endémica.

TRATAMIENTO DE LOS DATOS:

Debido a que la efectividad de los métodos y técnicas de registro y de abundancia elegidos fue mermada por factores imprevistos, que se detallan adelante, y la imposibilidad de repetir los muestreos por limitaciones de tiempo, seguridad de los investigadores y la logística posible, se decidió, conservadoramente, analizar los datos obtenidos en forma cualitativa, únicamente.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

De la hipótesis general: la presencia de los cenotes afecta la distribución de las especies, se fundamenta en el supuesto que si les afecta es por un efecto positivo, el cual varía según las variables dentro del cenote. Negativo, las especies evitan los cenotes; o neutro, es decir no hay un efecto evidente. Sin embargo la relación de los resultados discutidos en este documento con las variables detectadas en la mayoría sigue siendo hipotética, pues no se tienen los datos adecuados para probar estas relaciones.

De la pregunta original de si los cenotes afectan la distribución de los grupos taxonómicos considerados en este estudio lleva implícito la comparación de registros previamente realizados tanto en cenotes como en la región con los nuevos productos de los muestreos. Es decir efecto positivo se interpreta como, siendo las especies ampliamente distribuidas en la región, la ocurrencia de algunas de ellas se ve incrementado dentro de los cenotes por factores físicos que modifiquen el microclima. Sin embargo los datos de carácter cualitativo generan una respuesta limitada ya que, como es sabido los cambios en microclima o de otro tipo también se reflejan en la heterogeneidad del ensamble de las especies de diferentes taxa, pero este análisis necesita datos cualitativos que no están disponibles en este estudio.

La respuesta a esta pregunta primaria debe también sin embargo considerar cierta grado de incertidumbre que se produce cuando no fueron estudiados todos los cenotes del área de Macabilero. La fracción considerada en este estudio (7-8 cenotes) no presentó especies restringidas o que no hayan sido previamente reportadas en la literatura para la región llamada por Miranda (1978) Selva Alta Perennifolia de ninguno de los taxa estudiados. De lo cual se puede afirmar que no hay evidencia para aceptar la hipótesis.

SOBRE LA ECOLOGÍA

Los informes individuales de los diferentes investigadores muestran muchos de los detalles y hallazgos particulares de su respectivo grupo taxonómico, sin embargo la presente integración de los resultados de este estudio exploratorio busca la síntesis de los posibles patrones de distribución de los taxa en relación a las variables ya descritas.

RELACION ESPECIES /AREA

La selección de 7-8 cenotes de los 21 disponibles en la región de Macabilero y otros cuerpos de agua para explorar posibles patrones de distribución de las especies en relación a las variables, reduce las posibilidades del análisis. Sin embargo dos variables parecen estar relativamente bien representadas: la altitud sobre el nivel del mar y el área del espejo de agua. Los datos podrían agruparse en dos rangos de cada variable: de 60 a 100 metros, 3 cuerpos de agua; de 120 a 160 metros, 5 cuerpos de agua. La laguneta Lacandón debería ser tratada por separado en relación a estas variables. La distribución de las otras variables, incluyendo las de calidad del agua no permiten el agrupamiento con la altitud y el área.

Los datos de la ictiofauna sugieren un patrón de la riqueza de las especies en relación con la altura sobre el nivel del mar, el cual parece independiente del área del cenote: el mayor número de especies (12) fue registrado por Kihn en el cenote El Peje a 60 metros, el cual a pesar de ser el más cercano al río Usumacinta de los 8, y tener un área de más de 4 ha., es apenas diferente de el número registrado para el cenote Media Luna (11), con un área de solo 0.82 ha. y la mayor distancia al río Usumacinta.

Por otro lado el menor número de especies de peces registrado fue en los cenotes El Lagarto (0), El Esfuerzo (1), El escondido (1), y el Gemelo Macho (1), todos en alturas entre 120 a 160 metros.

El Dr. Kihn señala en su informe que todos los elementos de la ictiofauna registrada pertenecen a la provincia Usumacinta de la unidad ictiogeográfica Mesoamérica de los peces de aguas interiores y que además sus especies se derivaron totalmente de la ictiofauna del río Usumacinta y sus afluentes cercanos. Si además como él señala, esta fauna se encuentra en un proceso de invasión temprana, es posible proponer como hipótesis que la altura sobre el nivel del mar actúa como barrera, lo que explicaría una distribución diferencial, y no las otras condiciones consideradas, aun, los parámetros físico-químicos estudiados en este trabajo.

Sin embargo esta hipótesis necesitaría para su prueba de más datos de los otros cenotes y cuerpos de agua aledaños.

También es posible hipotetizar que la Laguna Lacandón sea parte de la fuente secundaria de los peces de los otros cenotes, ya que presenta la mayor riqueza después del propio río Usumacinta.

El otro grupo considerado en este estudio que podría tener relación con condiciones del ambiente acuático, son los anfibios, sin embargo los datos no presentan ningún patrón en relación a las variables consideradas y las diferencias encontradas bien podrían ser casuales ya que se presentan en especies que se encuentran ampliamente distribuidas como *Bufo marinus*, *Smilisca baudinii*, y *Rana berlandieri*.

La región de los cenotes estudiados corresponde en su vegetación a la descrita por Miranda (1978) como Selva Alta Perennifolia, la cual se produce en parte de la sierra de Lacandón asociada a una precipitación anual de 2000 mm. y una temporada seca corta. Por otro lado Miranda al igual que Schulze & Whitacre (1999) enfatizan en el efecto del relieve y de las condiciones del suelo y drenaje y su efecto en la distribución de las especies. Wendt (1987) discute la relación de las áreas de alta precipitación en México y Centroamérica, las cuales conforman arcos húmedos los cuales presentan alta riqueza de especies y en algunos taxa, endemismos. Sierra de Lacandón es en parte influenciada por el llamado arco de Izabal (Wendt 1987). En todo caso estos arcos húmedos parecen estar más relacionados con patrones de amplia distribución de especies de clima cálido y lluvioso y no a la restricción de distribución. Esto se ha visto en los patrones de distribución de mariposas Heliconinae que se distribuyen ampliamente en el Neotrópico y que en Guatemala siguen este patrón de humedad y temperatura.

Los resultados del estudio de la vegetación no muestran registros de especies restringidas a los cenotes estudiados.

La vegetación tampoco presentó patrones en su distribución que pudieran relacionarse con alguna de las variables consideradas. Sin embargo los datos de la vegetación acuática de los grupos considerados por Morales sugieren la posibilidad de una relación con el área del cuerpo de agua y la riqueza de estas especies. Pero nuevamente esta hipótesis puede probarse incluyendo datos de otros cenotes de la región del Macabillero, de tal manera de poder replicar y controlar las condiciones definidas como variables.

Desde una perspectiva mas amplia resulta interesante observar que los 21 cenotes citados aquí se localizan entre los dos grandes plegamientos de la sierra de Lacandón y que apuntan hacia el Noroeste. Estos plegamientos muestran seguramente diferencias en microclima. Sin embargo no existen datos que permitan analizar tal hipótesis. Si las variaciones en relieve que ha su vez generan cambios en los suelos calizos de la región por efecto del clima también han generado efectos en la distribución de la biota estudiada aquí y de otros grupos, es un asunto que talvez sería de mayor relevancia para el manejo del Parque.

Un mapa anexo muestra la localización del conjunto de dolinas o cenotes del área de Macabillero dentro de un valle conformado por una colina al Suroeste dominada por alturas superiores a los 200 metros. La otra colina al Noreste presenta las mayores alturas (arriba de 600 metros). Después de esta última colina se cae abruptamente a la cuenca del río San Pedro y al Parque Nacional Laguna del Tigre. Según estudios no publicados sobre mariposas diurnas, parece ser que este también es el límite del arco húmedo que limita la distribución de grupos vinculados con este “refugio”. Lo que no se conoce es si internamente se dan disyunciones por la conformación de las colinas y de los valles que se desarrollan.

RECOMENDACIONES

En términos de manejo, la información de los cenotes o dolinas karsticas están localizadas en zona núcleo, lo que desde ya restringe su utilización para usos que no sean de conservación estricta. Sin embargo debe ponerse atención adicional al hecho que son fenómenos excepcionales de la evolución de los sistemas kársticos y que su propia estructura, los hace frágiles. Actividades de turismo ecológico deben limitar su utilización deportiva como: descensos y ascensos por las paredes, buceo y exploración de las cavernas, pues todas estas podrían dañar las estructuras.

Por otro lado se recomienda realizar un análisis de amenazas basado en un reanálisis de la información ya existente sobre la cobertura y de la diversidad biológica en general, sin embargo el análisis de distribución de algunos taxa podría ser mas valioso que otros. Ya que no hay muchos recursos para el levantamiento de nueva información, se recomienda hacer un taller con expertos para determinar cuales podrían ser estas regiones críticas del PNSL. Este tipo de información puede ser mas útil para el manejo de todo el Parque que los estudios particulares realizados en este sistema de dolinas karsticas.

LITERATURA CITADA

Documentos generales

Castañeda, C. Ed. 1998. Clasificación Ecológica del Parque Nacional Sierra del Lacandón. The Nature Conservancy, Petén. Informe técnico no publicado.

Suárez-Morales, E. Y E. Rivera-Arriaga. 1998. Hidrología y Fauna Acuática de los Cenotes de la Península de Yucatán. Rev. Soc. Mex. Hist. Nat., 48: 37-47.

Schmitter-Soto, J. E. Escobar-Briones, J. Alcocer, E. Suarez-Morales, M. Elías-Gutiérrez y L. Marín. 1998. Los Cenotes de la Península de Yucatán. No. Publicado.

Wendt, T. 1989. Las Selvas de Uxpanapa, Veracruz-Oaxaca, México: Evidencia de Refugios Florísticos Cenozoicos. Anales Inst. Biol.. UNAM, 58 (1987), Ser. Bot. (Núm. Único): 29-54 20-I.

Miranda, F. 1978. Vegetación de la Península Yucateca. Colegio de Postgrado SARH, Chapingo. México 271 pp.

Schulze, M. & D. Whitacre. 1999. A Classification and Ordination Of The Tree Community of Tikal National Park, Petén, Guatemala. Bulletin of the Florida Museum of Natural History. 41:3. 169-297.