

Identificación entre la Flora y Existencia de Tardígrados en Cenotes de Yucatán

J. V. Martínez González^{1*}, V. A. Martínez García¹

¹Ajedrez Consultores y Colegio de Posgraduados en Administración de la República Mexicana (COLPARMEX),
Adolfo López Mateos #46, Col. Santa Clara Coatitla, C.P. 55540, Estado de México, México

*ajedrezconsultores@gmail.com

Resumen

Las únicas fuentes de agua dulce en la Península de Yucatán son los cenotes, estos se consideran conectados vía subterránea, creando un ecosistema único conformado por lo que Schmitter [11] llama "fauna casi desconocida", anexo a ello Suárez y Rivera [13] mencionan que "Hay grupos propios de la microfauna de aguas continentales que permanecen totalmente desconocidos en Yucatán, como los tardígrados". En un estudio previo se identificaron tardígrados en un cenote pero, no en otro que se encontraba a 800 metros el cual carecía de flora, por lo que el objetivo de la investigación fue identificar la relación existente entre la presencia de flora y la de tardígrados. Es un estudio observacional descriptivo transversal; considerando 10 cenotes como unidades de muestreo. Los hallazgos permitieron identificar tardígrados en cenotes que presentaban flora y no en los carentes de ella, logrando con ello una aportación al cuerpo del conocimiento de la microfauna.

Palabras claves: Tardígrado, cenote, microfauna.

Abstract

The only sources of fresh water in the Yucatan Peninsula are cenotes, these are considered connected via underground, creating a unique ecosystem formed so Schmitter [11] calls "almost unknown fauna" annexed to this Suarez and Rivera [13] mention that "There own groups of inland water microfauna remain completely unknown in Yucatan, as tardigrades". In a previous study we identified tardigrades in a cenote but not another that was 800 meters which lacked flora, so the aim of the research was to identify the relationship between the presence of flora and of tardigrades. It is a descriptive cross-sectional observational study; Recital 10 cenotes as sampling units. The findings helped identify tardigrades in cenotes presenting flora and not the lack of it, thereby achieving a contribution to the knowledge of the microfauna body.

Keywords: Tardigrade, cenote, microfauna.

Recibido: 13 mayo 2016. Aceptado: 13 agosto 2016. Publicado: 31 agosto 2016.

1. Introducción

El presente trabajo de investigación tiene como objetivo contribuir a lo que Schmitter-Soto [11] llama "fauna casi desconocida" al Identificar la relación de la existencia de flora y la de tardígrados en cenotes ubicados en Yucatán. Es un estudio observacional descriptivo transversal; variables cualitativas; se realizó un muestreo de campo no probabilístico intencional o de conveniencia en los que se incluyeron 10 cenotes. Una de las principales limitaciones fue el acceso a los cenotes ya que al pertenecer a particulares no todos otorgan permiso para ingresar. La importancia del estudio radica en la contribución sobre el conocimiento de la microfauna en el estado y que se consideraba como inexistente.

1.1. Planteamiento del problema

Si bien Suarez y Rivera [13] mencionan que "Hay grupos propios de la microfauna de aguas continentales que permanecen totalmente desconocidos en Yucatán, como... los tardígrados...". En el trabajo previo del 2014 se logró identificar la presencia de tardígrados (también conocidos como ositos de agua) en uno de los cenotes seleccionados, sin embargo, al considerar que, como menciona Martín [7], existe el conocimiento de que los cenotes en Yucatán se encuentran conectados vía subterránea y que los tardígrados son capaces de sobrevivir a temperaturas que comprenden un rango que va por debajo de los -272.8° C y llegan a temperaturas superiores a los 150°C, que se les ha encontrado tanto en desiertos como en las cumbres de las montañas, en los abismos de las fosas Marianas y, sin

embargo, no fue posible identificarlos en el cenote que se encontraba a 800 metros de distancia y cuya diferencia es que carecía de flora, debido a ello, surge el problema de investigación:

¿Es factible identificar la relación existente entre la presencia de flora y la de tardígrados en los cenotes seleccionados en Yucatán?

1.2. Justificación

Alexander Fleming [2] mencionaba. *“Para el investigador no existe alegría comparable a la de un descubrimiento, por pequeño que sea”*. Es, en este orden de ideas, que el aportar al cuerpo del conocimiento de la micro fauna existente en Yucatán (en este caso, la existencia de tardígrados que investigaciones previas habían considerado como inexistentes) sirve para sumarse al esfuerzo de los científicos para coadyuvar en la comprensión y conocimiento del mundo que habitamos y, considerando las características de los tardígrados, posiblemente, a comprender como podríamos llegar a habitar mundos que por el momento nos parecen hostiles a la presencia humana.

Los hallazgos de la investigación benefician al estado del conocimiento de la microfauna, beneficia a los estudiosos de la materia y coadyuva en el conocimiento de la dinámica existente en los sistemas de cenotes, permite conocer ubicaciones para la localización de ositos de agua para la realización de estudios relativos a ellos. Anexo a ello, permite abrir líneas de investigación para identificar las especies existentes en Yucatán y naturalmente, para tener ejemplares que permitan estudios de los “tuns” los mecanismos de criptobiosis y aquellos mecanismos que hacen de los tardígrados seres con características de supervivencia superiores.

1.3. Objetivo

Identificar la relación existente entre la presencia de flora y la de tardígrados en cenotes seleccionados en Yucatán.

1.4. Hipótesis

H0 Sí es factible identificar la relación existente entre la presencia de flora y la de tardígrados en cenotes seleccionados en Yucatán.

H1 No es factible identificar la relación existente entre la presencia de flora y la de tardígrados en cenotes seleccionados en Yucatán.

2. Marco Teórico

Se considera a los microorganismos extremófilos como aquellos que requieren para su crecimiento óptimo valores extremos de factores físicos y/o químicos que son considerados desfavorables para la mayoría de los seres vivos que conocemos. Es decir, son microorganismos que se desarrollan en medios ambientes extremos, caracterizados por presentar condiciones hostiles para la vida de otros organismos. Sin embargo, existen también microorganismos que toleran condiciones límite pero no las requieren para su desarrollo óptimo; son los microorganismos extremotrofos, en este caso, los tardígrados (ositos de agua). Para sobrevivir a todas estas condiciones el osito de agua emplea mecanismos como la anabiosis (de las raíces griegas *ana*, hacia atrás y *biosis*, medios de subsistencia, lo cual se puede traducir como *vuelta a la actividad vital tras de un periodo de suspensión accidental de ella*) es el fenómeno en el cual un organismo disminuye su metabolismo para poder sobrevivir a condiciones ambientales y la criptobiosis, la cual, David Keilin zoólogo ruso en 1959 [9] conceptualizo como “estado de un organismo en el cual no muestra señales visibles de vida y cuando su actividad metabólica es difícil de medir o entra en un estado latente”.

Lindahl [5] menciona que los Tardígrados han sido revividos de este estado criptobiótico después de 120 años, mencionando que la criptobiosis en los tardígrados se puede dividir en cuatro diferentes “subestados”:

- a) Anhidrobiosis. Inicia con la desecación del animal que conlleva a una casi completa pérdida del agua en el cuerpo. La formación del “Tun”, un tipo de capa o cutícula, dura, protectora, es una parte esencial del proceso, debido a que protege al tardígrado de todo tipo de temperaturas, y exposiciones de radiación, ácidos y más.
- b) Cryobiosis. Inicia con la reducción en la temperatura e involucra el congelamiento del agua dentro de las células.
- c) Osmobiosis. Inicia por un aumento en la concentración salina del medio.

- d) Anoxybiosis. Una reducción de oxígeno, inicia un estado de suspensión en los tardígrados, esto no quiere decir que sea un estado de criptobiosis en el sentido estricto, pero sí existe una disminución en el metabolismo.

Cuando un Tardígrado se encuentra en un estado criptobiótico, este puede resistir ambientes que son letales para muchos otros organismos. Esto se debe a que los “tuns” que produce el cuerpo, son muy duros y resistentes a cualquier agente externo. En 1929, Rham observó que soportaban temperaturas de 150°C., y que los adultos tienen la capacidad de soportar temperaturas que bajan hasta los menos 272.8°C, en donde no hay ninguna vibración molecular y por ende ningún metabolismo puede existir. En cuanto a los rayos-X, pueden soportar hasta 570,000 roentgens (mientras que el humano muere a los 500). También a los vacíos, como el espacio, a algunas sustancias consideradas como tóxicas (inmersiones en alcohol puro y éter), logrando resistir presiones superiores a seis veces las que se podrían encontrar en la de la base del océano más profundo (seis mil atmósferas).

¿Cómo lo hacen?: Aún no se tiene respuesta a esta pregunta. El conocimiento sobre este fenómeno y sus derivados, es todavía algo inexplicable, se conoce apenas un pequeño fragmento de todo un rompecabezas.

Los tardígrados están integrados por más de 600 especies y son organismos semi-microscópicos, que oscilan aproximadamente entre los 0,05 y 1,7 mm, con una apariencia similar a la de un artrópodo. Son acuáticos y se les puede encontrar en ambientes de agua dulce, salobres y marinos. Se han reportado especies comensales en Isópodos. También se pueden encontrar en hábitats semiacuáticos como algunos charcos estacionales, o las películas de agua de los líquenes o algunos musgos. El cuerpo está segmentado en placas y poseen una cutícula no calcificada a base de lípidos, proteínas y quitina, la cual mudan al crecer, [8] menciona que presentan cuatro pares de patas y cada una de ellas termina con un set de garras, que oscila entre 3 y 6, también presentan un aparato buco-faríngeo que permite la identificación. Tienen, además un sistema nervioso metamérico con 2 cuerdas nerviosas ventrales, el sistema excretor es por medio de glándulas de Malpigio, sus sistemas muscular digestivo y reproductivo se encuentran bien desarrollados, pero carecen de un sistema circulatorio o respiratorio (La circulación se da por medio de cavidades pseudocelomadas llenas de mesodermo o por el hemocele. La respiración se da por medio de la cutícula). Son carnívoros, herbívoros, fungívoros lo que les facilita su dispersión.

Cenotes

- Lindahl [5] menciona que “Aunque los cenotes parecen simplemente una variedad peculiar de lago pequeño, generalmente cilíndrico y más profundo que amplio, en realidad son, en cuanto a la circulación de sus aguas, más parecidos a ríos que a lagos, pues tienen conexión a corrientes subterráneas.”

- Beddows [1] menciona que “el término cenote (del maya ts’ono’ot o d’zonot, “caverna con depósito de agua”) se refiere a cualquier espacio subterráneo con agua, con la única condición de que esté abierto al exterior en algún grado”. Agrega que el rasgo más importante de la topografía en la península son los cenotes. Su ubicación se concentra en la parte norte, a lo largo de una línea imaginaria situada entre Tulum, Quintana Roo y Campeche, siendo menor hacia el sur de la península.

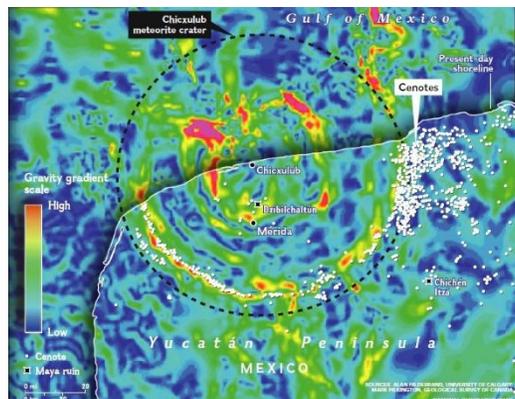


Figura 1. Anillo de los cenotes. (Fuente: Alan Hildebrand. University of Calgary. National Geographic Maps).

El suelo que en su mayoría es del tipo de roca kárstica se caracteriza por su alta permeabilidad y un gradiente hidráulico casi nulo; el agua de origen meteórico se infiltra y acumula en el subsuelo, esto forma una lente de agua

dulce delgada que flota sobre una masa de agua salina, más densa, cuyo origen es la intrusión marina natural. El contacto entre estas masas de agua, dulce y marina, conforma una zona de mezcla o haloclina que en conjunto conforman un componente geológico importante del acuífero. La lente de agua dulce constituye la única fuente de agua dulce en la península de Yucatán, desde tiempos prehistóricos, renovable solamente por la lluvia estacional.

Es importante mencionar que existe un anillo de cenotes que se distribuyen en derredor del centro ubicado en Chicxulub (Figura 1).

Los cenotes pueden ser clasificados en cuatro tipos considerando la información del gobierno de Yucatán:

- Semiabiertos, o en forma de cántaro, con una pequeña abertura superior y diámetro creciente hacia la superficie del agua y aún más abajo.
- Abiertos, de caída libre, con paredes sensiblemente verticales.
- "Antiguos cenotes", o aguadas, cuyas paredes se separan por encima del agua; muchos de este tipo están secos o conservan un poco de líquido de la estación pluviosa.
- Caverna con entrada por un lado.

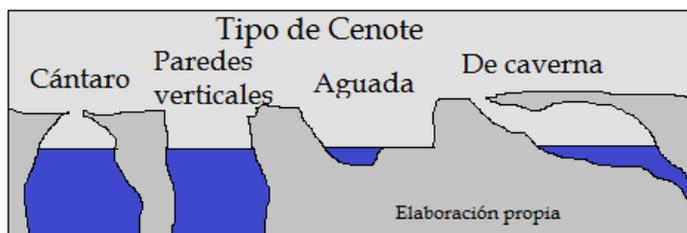


Figura 2. Tipo de cenote.

Una característica interesante de observar es que existe la posibilidad de que los cenotes se encuentren conectados por vías subterráneas.

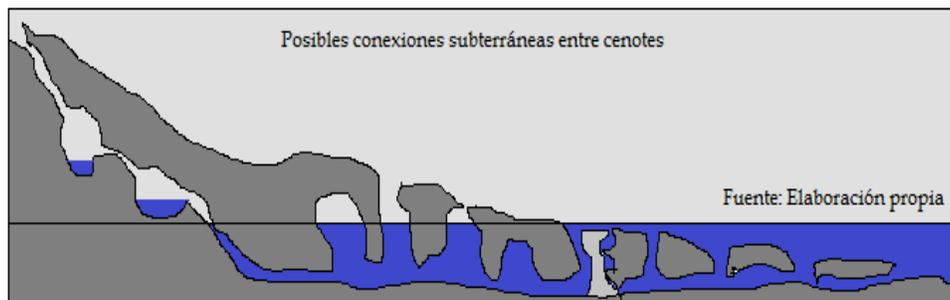


Figura 3. Posible conexión subterránea entre cenotes.

3. Diseño Metodológico

Tipo de investigación: Es un estudio observacional descriptivo transversal.

Variables:

- Variables de tipo cualitativas.
- Variable independiente: Presencia de flora.
- Variable dependiente: Tardígrados.

Muestra

Se realizó muestreo de campo, no probabilístico intencional o de conveniencia; considerando 10 cenotes ubicados en el norte de Yucatán, siendo estos del tipo paredes verticales, caverna y aguada. Se empleará el tipo de muestra simple o puntual.

Tabla 1: Ubicación de los cenotes. Coordenadas Universales Transversales de Mercator.

Cenote	UTM
Cenote y gruta. San Antonio Mulix	Zona 16Q Coordenada Este 211082.74 m E Coordenada norte 2288506.10 m N
X lacan, Dzibilchaltun	Zona 16Q Coordenada Este 230079.50 m E Coordenada norte 2334402.23 m N
Tza Ujun Kat.	Zona 16Q Coordenada Este 260815.29 m E Coordenada norte 2294959.10 m N
Grutas Homún	Zona 16Q Coordenada Este 261360.00 m E Coordenada norte 2295250.49 m N
Grutas Homún	Zona 16Q Coordenada Este 261556.62 m E Coordenada norte 2295123.29 m N
Grutas Homún	Zona 16Q Coordenada Este 264004.32 m E Coordenada norte 2295413.39 m N

(Fuente: Google earth. Elaboración propia).

Procedimiento

En los cenotes las muestras tomadas fueron de izquierda a derecha y de adelante hacia atrás.

Se siguieron los procedimientos de control y vigilancia del muestreo, así como la preservación y análisis, incluyendo:

1.- Etiquetas. Se pegaron a los tubos de ensayo en el momento de tomar la muestra, con tinta a prueba de agua, la siguiente información:

- Cenote de donde se obtuvo la muestra (C1, C2, etc);

- Número de muestra, todas se tomaron de izquierda a derecha y de adelante hacia atrás codificando cada zona como I para la orilla, B para el centro y R para las cercanas a la pared de roca al fondo de los cenotes quedando como I1... I5, B1,... B3, R1...R5, para cada cenote. Un ejemplo de la rotulación es I1B1. Al ser tomadas las muestras de agua y flora, de inmediato se tapaba con corcho los tubos de ensayo, se rotulaban y se guardaban en la hielera para su preservación.

2.- Libro de campo. Se registró toda la información pertinente a observaciones de campo y del muestreo incluyendo:

- a) Propósito del muestreo;
- b) Localización de las unidades de estudios seleccionada para el muestreo;
- c) Método de muestreo (Manual);
- d) Fecha y hora de recolección;
- e) Identificación del (los) recolector(es) de la muestra;
- f) Distribución y método de transporte de la muestra;
- g) Referencias tales como mapas o fotografías del sitio de muestreo;
- h) Observaciones y mediciones de campo;
- i) Firmas del personal responsable de las observaciones.

Preservación de la muestra: Las muestras se conservaron durante el tiempo del análisis y 72 horas después se vertieron en una maceta del jardín botánico del investigador considerando los procedimientos del nivel de bioseguridad 1.



Figura 4. Cenote (1) de paredes verticales.
(Fuente: Imagen propia).



Figura 5. Cenote (1) de paredes verticales. Recolección de muestras.
(Fuente: Imagen propia).



Figura 6. Cenote (2) tipo gruta.
(Fuente: Imagen propia).



Figura 7. Cenote (2) tipo gruta. Recolección de muestras.
(Fuente: Imagen propia).

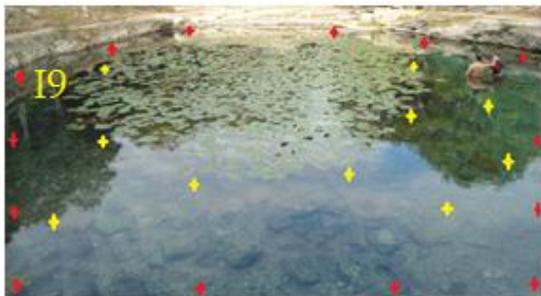


Figura 8. Cenote (3) tipo aguda.
(Fuente: Imagen propia).



Figura 9. Cenote (3) tipo aguda. Recolección de muestras.
(Fuente: Imagen propia).

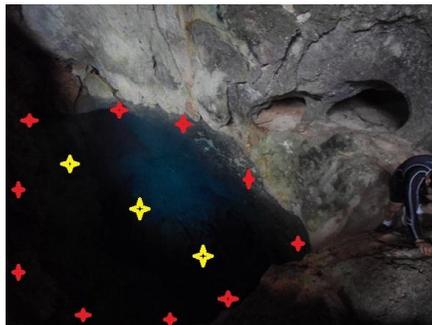


Figura 10. Cenote (4) tipo gruta.
(Fuente: Imagen propia).

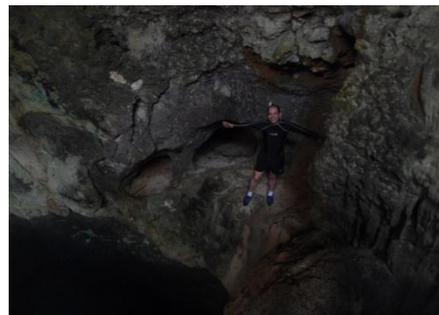


Figura 11. Cenote (4) tipo gruta. Recolección de muestras.
(Fuente: Imagen propia).



Figura 12. Cenote (5) tipo gruta.
(Fuente: Imagen propia).



Figura 13. Cenote (5) tipo gruta. Recolección de muestras.
(Fuente: Imagen propia).



Figura 14. Cenote (6) tipo gruta.
(Fuente: Imagen propia).



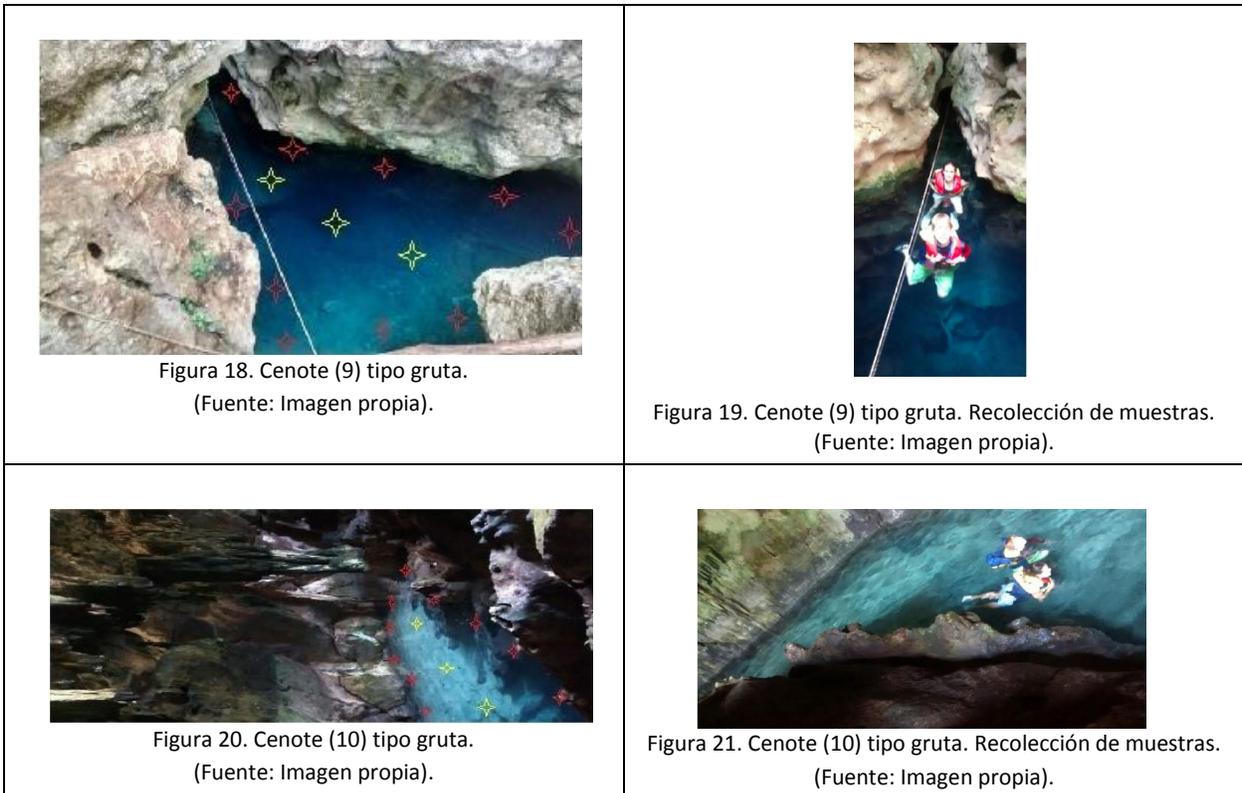
Figura 15. Cenote (7) tipo gruta.
(Fuente: Imagen propia).



Figura 16. Cenote (8) de paredes verticales.
(Fuente: Imagen propia).



Figura 17. Cenote (8) de paredes verticales. Recolección de muestras.
(Fuente: Imagen propia).



4. Resultados

Una vez realizadas las observaciones es posible compartir los siguientes hallazgos:

Además de identificar una gran cantidad de microfauna fue factible:

- a) Identificar la presencia de tardígrados en dos cenotes (1 y 3) (ambos con presencia de flora);
- b) No fue factible identificar tardígrados en 8 cenotes que carecían de presencia de flora.

Con ello es posible responder a la pregunta de investigación en el sentido de que: *Sí es factible identificar la relación existente entre la presencia de flora y la de tardígrados en cenotes seleccionados en Yucatán*

Es posible mencionar que se logró el objetivo de la investigación al identificar la relación existente entre la presencia de flora y la de tardígrados en cenotes seleccionados en Yucatán.

Aceptando la Hipótesis:

H0 Sí es factible identificar la relación existente entre la presencia de flora y la de tardígrados en cenotes seleccionados en Yucatán.

Cuadro 1: Observaciones.

Tipo de cenote	Nombre	Ubicación	Se observó presencia de			Toma de muestra marcada con:	
			Tardígrado	Flora	Fauna	Orillas rojo	Intermedia amarillo
1	Paredes verticales	X-Bantún	Si	Si	Si	10	3
	San Antonio	Mulix		Lirios, flora diversa	Peces, aves, insectos.		
2	Gruta	Dzombakal	No	No	No	10	3
	San Antonio	Mulix					

3	Aguada X-lacan Dzibilchaltun	Si	Si Lirios, flora diversa	Si Peces, caracoles, y aves.	14	10
4	Gruta Chelpak Homún	No	No	Si Golondrinas.	10	3
5	Gruta Gruta de la Candelaria (cenote a la entrada de la gruta) Homún	No	No	Si Peces, golondrinas, murciélagos, arañas.	10	3
6	Gruta Gruta de la Candelaria (cenote al final de la gruta) Homún	No	No	Si Peces, golondrinas, murciélagos.	10	3
7	Gruta Gruta de la Candelaria (acumulación de agua filtrada a la mitad de la gruta) Homún	No	No	No	10	3
8	Paredes verticales Tres Oches (uno) Homún	No	No (solo hojas caídas)	Si Peces, golondrinas, avispas.	10	3
9	Gruta Tres Oches (dos) Homún	No	No	Si Peces, golondrinas, avispas.	10	3
10	Gruta Tza Ujun Kal Homún	No	No	Si Peces, golondrinas, avispas.	10	3
Total de muestras					104	37
Total de observaciones : de cada muestra se realizaron 10 observaciones					1040	370

(Fuente: elaboración propia).

5. Conclusiones

Al identificar la presencia de tardígrados (ositos de agua) en las muestras de dos de los cenotes ha permitido hacer un aporte a las especies de microfauna existentes en Yucatán de la cual no se tenían reportes, siendo posible observar una relación directa entre la presencia de flora y de tardígrados en dichos cenotes.

6. Referencias

- [1] Beddows, P., Blanchon, P., Escobar, E., Torres-Talamant, O. (2007). Los cenotes de la península de Yucatán. *Arqueología Mexicana, enero-febrero XIV (83)*.



- [2] Callejo Ricardo. (2013) *Funcionalización de carbonil-β-lactamas mediante reacciones de adición y procesos multicomponente. aplicación a la síntesis de heterociclos de interés biológico*. Tesis doctoral. Universidad Complutense de Madrid. Madrid.
- [3] Casal, J., Mateu, E. (2003) Tipos de muestreo. *Revista de Epidemiología y Medicina Preventiva*, 1: 3-7
[http://www.mat.uson.mx/~ftapia/Lecturas%20Adicionales%20\(C%C3%B3mo%20dise%C3%B1ar%20una%20encuesta\)/TiposMuestreo1.pdf](http://www.mat.uson.mx/~ftapia/Lecturas%20Adicionales%20(C%C3%B3mo%20dise%C3%B1ar%20una%20encuesta)/TiposMuestreo1.pdf)
- [4] Garey, R. McInnes, S. y Brent, N. (2008) Global diversity of tardigrades (Tardigrada) in freshwater. *Hydrobiologia* 595:101–106.
- [5] Lindahl, K. Balsler, S. (1999). *Tardigrade facts. What Are They?* Wesleyan, Illinois. Disponible en:
http://www.iwu.edu/~tardisdtp/tardigrade_facts.html
- [6] Manterola, C. Otzen T. (2014) Estudios Observacionales. Los Diseños Utilizados con Mayor Frecuencia en Investigación Clínica. *International Journal of Morphology*. 32(2):634-645
- [7] Martín, C. (2015). *Los viajes del agua en el mayab: Pozos, ríos subterráneos y cenotes*. Recuperado en <http://documents.mx/documents/los-viajes-del-agua-en-el-mayab.html>
- [8] Miller, W. (1997). *Tardigrade Bears of the Moss*. The Kansas School Naturalist, United States Recuperado en <http://www.emporia.edu/ksn/v43n3-may1997/>
- [9] Palacios, G. (1996) *Organización y reorganización del ADN y cromatina macronuclear durante el proceso de enquistamiento en "Colpoda Inflata"*. Madrid.
- [10] Ramazzotti, (1962). *Phylum tardigrada* Disponible en: <http://www.tardigrades.de/taxa.htm>
- [11] Schmitter-Soto, J. (2001) *Los cenotes de la península de Yucatán*. Recuperado en <http://www.jornada.unam.mx/2001/07/30/eco-b.html>
- [12] Somme, L. (1996). Anhydrobiosis and cool tolerance in tardigrades. *European Journal on Entomology* 93: 149 – 57.
- [13] Suárez, E., Rivera, E. (1998) Hidrología y Fauna Acuática de los Cenotes de la Península de Yucatán *Revista de la Sociedad Mexicana de Historia Natural. México*. 48:37 - 47.
- [14] Tipos de cenotes. Gobierno del Estado. Yucatán. Recuperado en http://www.yucatan.gob.mx/menu/?id=tipos_cenotes
- [15] Universidad de Alcalá (2004) *Métodos de investigación en ecología*. Prácticas de Ecología. Licenciaturas de Biología y Ciencias Ambientales
<https://www.uco.es/servicios/informatica/windows/filemgr/download/ecolog/Cuaderno%20metodos%20investigacion.pdf>