



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA METROPOLITANA
UNIDAD XOCHIMILCO

DIVISIÓN DE CIENCIAS BIOLÓGICAS Y DE LA SALUD
DEPARTAMENTO EL HOMBRE Y SU AMBIENTE
LICENCIATURA EN BIOLOGÍA

INFORME FINAL DEL SERVICIO SOCIAL POR ACTIVIDADES
RELACIONADAS A LA PROFESIÓN

**“Apoyo al trabajo de investigación y divulgación científica del laboratorio de
Astrobiología, Instituto de Astronomía de la UNAM, Ensenada, B.C.”.**

PARA OBTENER EL GRADO DE LICENCIADO EN BIOLOGÍA

QUE PRESENTA EL ALUMNO:

Nieto Durán Carlos Eduardo
2192032832

ASESORES:

Dra. Carmen Monroy Dosta (Interno) UAM Xochimilco (28906)

Dr. Roberto Vázquez Meza (Externo) - Instituto de Astronomía, UNAM-E.

ÍNDICE

1. INTRODUCCIÓN	3
2. UBICACIÓN GEOGRÁFICA	4
3. MARCO INSTITUCIONAL	5
4 OBJETIVO DE LAS ACTIVIDADES REALIZADAS	6
4.1 Objetivo general	6
4.2 Objetivos particulares	6
5. DESCRIPCIÓN DE LAS ACTIVIDADES REALIZADAS	6
5.1 Procesar las submuestras de sedimentos marinos del Golfo de California...	6
5.2 Recolectar, extraer, identificar y manipular organismos del filo Tardigrada...	25
5.3 Cultivar microalgas y rotíferos con la finalidad de ser utilizados como alimento vivo para el cultivo de tardígrados.....	33
5.4 Apoyar en las prácticas del curso optativo de licenciatura <i>Introducción a la Astrobiología</i> de la Facultad de Ciencias de la Universidad Autónoma de Baja California.	37
5.5 Participar en el equipo de voluntarios del <i>XII Congreso Nacional de Astrobiología</i> , realizado del 11 al 13 de septiembre en Ensenada, B. C.....	39
5.6 Participar en el equipo de divulgación en los eventos <i>Noche de las Ciencias</i> y <i>Noche de las Estrellas</i>	41
5.7 Publicación de artículo de divulgación científica para la Gaceta UNAM de Ensenada.....	45
6. DESCRIPCIÓN DEL VÍNCULO DE LAS ACTIVIDADES Y CONCLUSIONES DEL SERVICIO SOCIAL.	46
7. BIBLIOGRAFÍA.	47
8. ANEXOS.	54

1. INTRODUCCIÓN

La Astrobiología es el conjunto de estudios científicos que se concentran en entender el origen, evolución, distribución y futuro de la vida en el universo, considerando a la Tierra como dentro del mismo. Comprende investigaciones sobre habitabilidad planetaria y de otros cuerpos celestes y la formación de éstos; vida en ambientes terrestres extremos y su potencial de adaptación; abordaje de diversas teorías; búsqueda de evidencias de la presencia de agua en los distintos cuerpos del Sistema Solar y el estudio de las atmósferas, entre otros, incluso ramas de la filosofía. La mayoría de éstos temas, están enmarcados tradicionalmente dentro de sus respectivos campos como Astronomía, Biología, Química, Geología, Física los cuales forman parte de un esfuerzo multidisciplinario para entender el fenómeno de la vida (Chyba y Hand, 2005, Ramírez y Terrazas, 2006, ASBIO, 2023, SOMA, 2023).

En 1998 la NASA inauguró su Instituto de Astrobiología (NAI), lo que detonó también que en México se buscarán articular esfuerzos para generar un quehacer científico en la astrobiología (Robles, 2015, NASA, 2022). El actor nacional que colabora en su expansión y difusión es la Sociedad Mexicana de Astrobiología (SOMA), reconocida por diversas instituciones internacionales y afiliada a la NASA (Robles, 2015, SOMA, 2023).

En México, diversas instituciones estudian y difunden más sobre esta ciencia. Tal es el caso de los organismos en ecosistemas extremos y poco conocidos, quienes no sólo soportan condiciones atmosféricas radicales, sino que también dependen estrechamente de dichas condiciones. Haciendo de sistemas hidrotermales submarinos un cómodo hogar, como los presentes en el estado de Baja California. Es así como la astrobiología ha logrado ser formalizada como un área de importancia actual para México (Canet y Prol-Ledesma, 2006, Peña-Salinas, 2017, Valencia-Meza y Ortiz-Alegría, 2022).

El laboratorio de Astrobiología, ubicado en el Instituto de Astronomía de la UNAM, unidad Ensenada, de forma general tiene enfoques de investigación científica y divulgación de la ciencia. Estos objetivos se pueden identificar en los proyectos realizados por el laboratorio como lo es la observación, recolección, preparación, procesamiento y diversos manejos en campo y laboratorio de muestras biológicas como lo son organismos extremófilos, Productores primarios de diversos ecosistemas y diversos organismos conocidos por participar en sucesiones primarias y secundarias. Todo esto corresponde a una línea de

investigación la cual tiene como objetivo dar respuesta y conocimiento acerca del origen y evolución de la vida dentro y fuera del planeta tierra.

Así mismo tiene un enfoque de divulgación y educación el cual es puesto a disposición de la sociedad, así como diversas charlas, Participación en eventos de ciencias y conferencias impartidas por los diferentes miembros del laboratorio.

2. UBICACIÓN GEOGRÁFICA

El servicio social se llevará a cabo en el laboratorio de Astrobiología, el cual forma parte del Instituto de Astronomía unidad Ensenada (IAUNAM-E), con ubicación en el kilómetro 103 Carretera Tijuana-Ensenada, Ensenada, Baja California, México. Código postal 22860 (Figura 1).

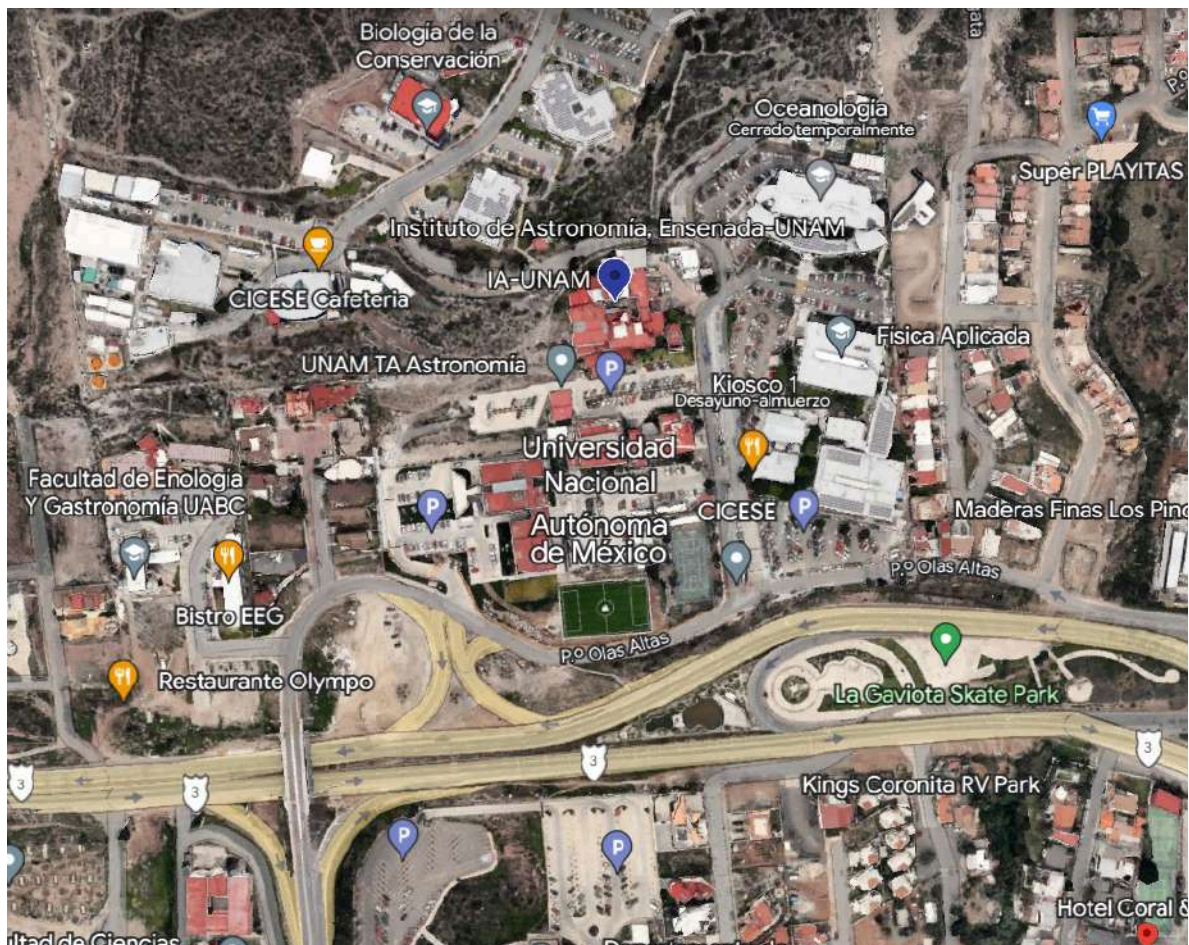


Imagen 1. Instituto de Astronomía unidad Ensenada.

3. MARCO INSTITUCIONAL

La Universidad Nacional Autónoma de México es la institución universitaria más antigua del país, fundada el 21 de septiembre de 1551 con el nombre de la Real y Pontificia Universidad de México. Es la más grande e importante universidad de México e Iberoamérica. Tiene como propósito primordial estar al servicio del país y de la humanidad, formar profesionistas útiles a la sociedad, organizar y realizar investigaciones, principalmente acerca de las condiciones y problemas nacionales, y extender con la mayor amplitud posible, los beneficios de la cultura (UNAM, 2024).

Por su parte el Instituto de Astronomía, Ensenada IAUNAM-E, es una de las sedes del Instituto de Astronomía de la UNAM. Se estableció en 1974 con el propósito de apoyar las actividades del Observatorio Astronómico Nacional de San Pedro Mártir B.C. Desde entonces, la sede se ha venido fortaleciendo académicamente. Sus funciones principales son: el desarrollo de Investigación Astronómica, el desarrollo Tecnológico e Instrumental, la Docencia y la Comunicación de la Ciencia (IAUNAM-E, 2023).

En el caso del grupo de investigación de Astrobiología, en el año 2011, después de siete años de impartir docencia a nivel licenciatura, inició un proyecto sobre Litopanspermia, evaluando la posibilidad de que material biológico terrestre llegase a otros planetas. A pesar de algunas dificultades debido a la falta de un espacio fijo destinado a la investigación, el grupo de Astrobiología dirigió dos tesis de maestría sobre estos temas a dos estudiantes del posgrado en Astrofísica de la UNAM.

A raíz de esto, el Instituto de Astronomía de la UNAM en Ensenada, Baja California brindó un espacio adecuado para establecer un laboratorio de investigación dedicado a la Astrobiología (ASBIO), que puede dar cabida a proyectos propios, así como a los de otras dependencias o incluso a instituciones externas, tanto de investigación como docencia. Por otra parte, se obtuvo apoyo mediante el proyecto docente UNAM-DGAPA-PAPIME (PE109915) y por el Fondo Sectorial de Investigación, Desarrollo Tecnológico e Innovación en Actividades Espaciales CONACYT-AEM (proyecto 275311) para el equipamiento e instauración del "Laboratorio de Astrobiología del Noroeste", y de esta forma, continuar con líneas de investigación y docencia relacionadas con la Astrobiología (ASBIO, 2023).

4 OBJETIVO DE LAS ACTIVIDADES REALIZADAS

4.1 Objetivo general

Apoyo a la investigación, divulgación y la docencia de diversos temas enfocados en la Astrobiología cuya finalidad es generar conocimiento sobre el origen, evolución, distribución y futuro de la vida en el Universo.

4.2 Objetivos particulares

Objetivos relacionados a las investigaciones llevadas a cabo en el laboratorio.

4.2.1 Procesar las submuestras de sedimentos marinos del Golfo de California.

4.2.2 Recolectar, extraer, identificar y manipular organismos del filo Tardigrada.

4.2.3 Cultivar microalgas y rotíferos con la finalidad de ser utilizados como alimento vivo para el cultivo de tardígrados.

4.2.4 Apoyar en las prácticas del curso optativo de licenciatura *Introducción a la Astrobiología* impartido por los Drs. Patricia G. Núñez y Roberto Vázquez, profesores en la Facultad de Ciencias de la Universidad Autónoma de Baja California. Este curso también se tomó como oyente reforzando los conocimientos en el área.

4.2.5 Participar en el equipo de voluntarios del *XII Congreso Nacional de Astrobiología*, realizado del 11 al 13 de septiembre en Ensenada, B. C.

4.2.6 Participar en el equipo de divulgación en los eventos *Noche de las Ciencias* y *Noche de las Estrellas*.

4.2.7 Publicación de artículo de divulgación científica para la Gaceta UNAM de Ensenada.

5. DESCRIPCIÓN DE LAS ACTIVIDADES REALIZADAS

5.1 Procesar las submuestras de sedimentos marinos del Golfo de California.

Dentro de las actividades desarrolladas la principal fue el procesamiento de muestras de sedimentos de suelo marinos de la Cuenca Pescadero y la Cuenca de Guaymas ubicadas en el golfo de Baja California.

CONTEXTO GENERAL DE LOS SEDIMENTOS EXTRAÍDOS DE LAS CUENCAS EN EL GOLFO DE BAJA CALIFORNIA, MÉXICO.

El Golfo de California, también llamado "Mar de Cortés" es un largo y angosto mar interior subtropical con características que lo diferencian y lo vuelven uno de los lugares más representativos de la diversidad biológica en el mundo. Esto se debe a su extensión de

más de 1,200 km de longitud, una anchura entre 80 y 200 km con una superficie aproximada de 160,000 km². De forma general el golfo de California posee atributos durante la mayor parte del año como una temperatura estable, presentando condiciones tropicales durante el verano y manteniendo condiciones cálidas en el invierno debido a la protección natural que proporciona la península. La parte sur del golfo presenta relieves submarinos abruptos con fosas abisales de más de 3 km de profundidad, mientras que su parte septentrional es somera, lo que ocasiona una oscilación de mareas que llegan a superar los 9 m. El golfo incluye casi 1,000 islas entre las que destacan las dos islas más grandes de México: Ángel de la Guarda y Tiburón. Por su alta productividad biológica, sus aguas profundas, arrecifes rocosos y playas arenosas, generan una gran cantidad de características lo que provoca la inmensa diversidad de organismos observados en dicho lugar, todo esto fue el motivo por el cual Jacques-Yves Cousteau llamó al Golfo de California “el acuario del mundo” (Brusca, 2010; Calmus, *et al.* 2017; Osante, *et al.*, 2020).



imagen 2. Mapa de ubicación del Mar de Cortés. Obtenido en: <https://cronicasdefauna.blogspot.com/2023/03/el-acuario-del-mundo-la-fauna-marina.html>

La península de Baja California forma parte de la placa Pacífico, la cual se desplaza hacia el noroeste con respecto a la placa Norteamericana (Legg *et al.* 1991). Esta zona es una microplaca flanqueada por fallas dextrales que rota en el sentido opuesto a las manecillas del reloj, y que ocupa área marina y continental. La parte marina del área es conocida con el nombre de Borde Continental Californiano debido a que se considera como una extensión de la Sierra Peninsular ya que sus características sísmicas son similares (Cruz-Castillo, 2002).

En el fondo marino se pueden identificar estructuras denominadas como ventilas o respiraderos hidrotermales, estos se ubican específicamente en los límites de las placas tectónicas presentes alrededor de todo el mundo, la figura general de su estructura puede verse en la imagen 3. Las primeras investigaciones sobre el tema fueron hechas en la

década de los setenta con el descubrimiento de los respiraderos hidrotermales del Pacífico oriental, desde entonces se han confirmado más de 250 campos de respiraderos con actividad (Ding *et al.*, 2012; Copley 2016; Zhang *et al.*, 2022),

Debido a la alta actividad geológica presente existe un alto flujo de elementos y energía que se transfiere desde el manto hasta el límite de las placas divergentes de todos los océanos. Esto es el factor detonante de la creación de estructuras de sulfuros y otros elementos típicas de las ventilas hidrotermales denominadas chimeneas volcánicas en escalas espaciales y temporales cortas mediante la precipitación de los fluidos hidrotermales que se mezclan con el agua fría del océano y la oxigenación presente en esta. Estos desequilibrios termodinámicos y de características redox proporcionan condiciones óptimas para el desarrollo propicio de una gran variedad de organismos quimioautótrofos. Dichos organismos son los principales productores de biomasa de este tipo de ecosistemas y permiten el proceso de producción primaria para así dar paso a una amplia diversidad de organismos presentes en estas regiones (Baker y German, 2004; Sievert y Vetriani, 2012; Olins *et al.*, 2013)

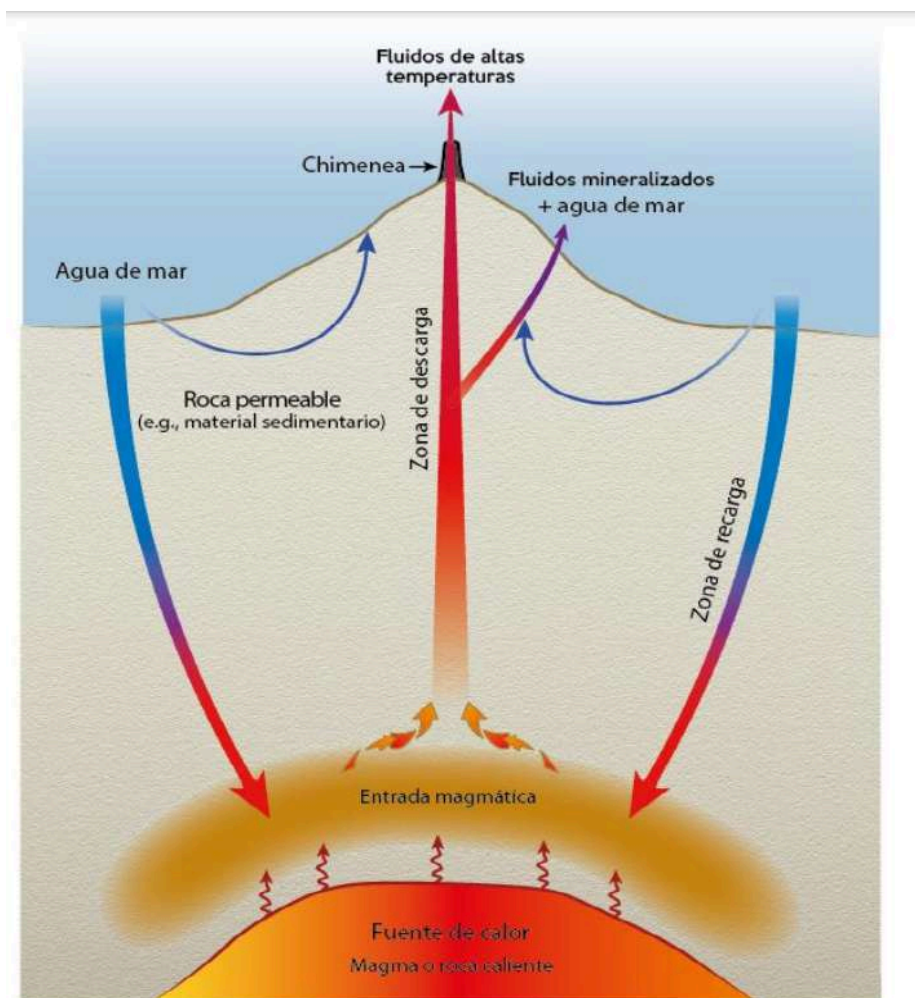


imagen 3. Esquema simplificado que muestra un sistema hidrotermal (Macias-Iñiguez, 2022).

Estos ecosistemas pueden llegar a ser de los más productivos biológicamente a nivel mundial pese a recibir poca o nula materia orgánica derivada de la fotosíntesis. A pesar de esto se caracterizan por ser hábitats completos y dinámicos con un importante gradiente dentro de sus parámetros fisicoquímicos en los que destaca la variabilidad importante en la temperatura en zonas próximas, incluso en pocos metros de distancia. Las chimeneas que generan estas pronunciadas crestas tienen diferentes componentes permeables que se mezclan con los fluidos derivados de los respiraderos y proporcionan las condiciones favorables para que los organismos quimioatótrofos transfieran la energía geotérmica a los siguientes niveles tróficos a través de vías microbianas importantes como la oxidación del azufre, la nitrificación, entre otras (Sievert y Vetriani, 2012; Rutherford, 2014; Ding, *et al.*, 2017).

El descubrimiento y las primeras investigaciones sobre las primeras ventilas hidrotermales datan de finales de la década de 1970, a partir de entonces ha sido posible confirmar más de 250 respiraderos activos y se han logrado identificar más de 400 especies nuevas animales presentes en estos lugares así como la amplia variedad de microorganismos que habitan ahí entre los que destacan arqueas y bacterias quimiosintéticas (Copley *et al.*, 2016; Ding *et al.*, 2017; Zhang *et al.*, 2022). Los ecosistemas de respiraderos reciben calor y especies químicas provenientes de la litósfera oceánica, a partir de los cuales los microorganismos quimioautótrofos transfieren la energía al resto de los niveles tróficos (Ding *et al.*, 2017). También se han observado comúnmente diversos y abundantes macroorganismos como camarones, mejillones, cangrejos y gasterópodos alrededor de estructuras hidrotermales (Copley, *et al.* 2016; Zhou, *et al.*, 2018; Zhang 2022).

SISTEMA DE CUENCAS DEL GOLFO DE BAJA CALIFORNIA ESTUDIADAS

CUENCA DE GUAYMAS

La cuenca de Guaymas, ubicada en el Golfo de Baja California (imagen 4) ha sido una de las más importantes y estudiadas a nivel mundial. Es una cuenca relativamente joven formada por la intensa actividad de la zona. Las cuencas de rift se caracterizan por ser depresiones alargadas bordeadas por fallas directas, con dimensiones del orden de las decenas a centenas de kilómetros de ancho y de cientos a miles de kilómetros de largo (Schlische y Anders, 1996; Morley, 1999; Gawthorpe y Leeder, 2000; D'Elia, 2010) siendo Guaymas una cuenca con esta clasificación (Price y Giovanelli, 2017; Beaulieu y Szafranski, 2020). Se caracteriza por una expansión activa del fondo marino junto a una constante deposición de sedimentos ricos en materia orgánica de aguas subyacentes. Componentes como el metano, hidrocarburos, compuestos de nitrógeno como el amoníaco, entre otros son el resultado de deposiciones ricas en nutrientes que son utilizados para la síntesis de más materia orgánica de los organismos (Lonsdale y Becker, 1985; Von Damm *et al.*, 1985).

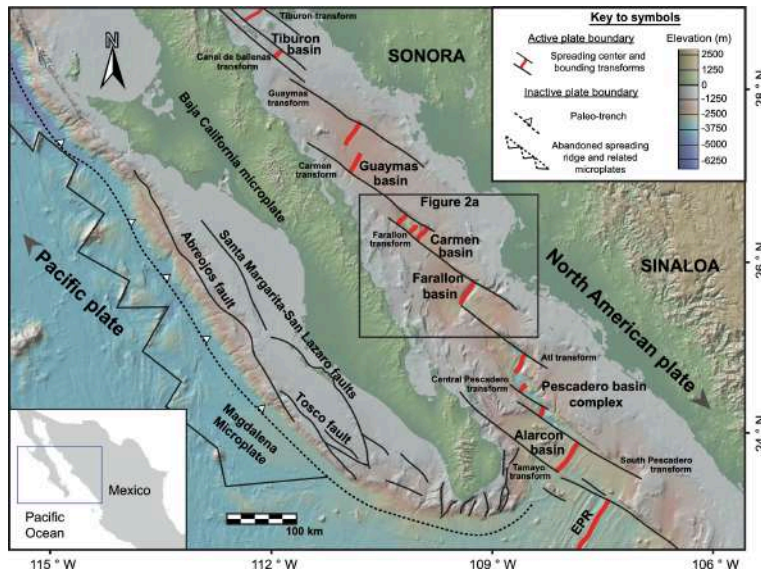


imagen 4. Ubicación de la Cuenca de Guaymas en un mapa tectónico regional del sur del Golfo de California que muestra el movimiento de las placas (flechas negras), el sistema de fallas transformantes (líneas negras), las cuencas de separación y los centros de expansión (líneas rojas). La cuenca del Carmen está indicada por el recuadro negro. Obtenido en: Springer Nature <https://link.springer.com/article/10.1007/s00531-024-02426-6/figures/1>

Las comunidades microbianas de Guaymas presentan una importante actividad biológica que funge el papel de oxidar el azufre emanado en las ventilas, dichos compuestos se mezclan con metano e hidrocarburos, lo que genera un importante intercambio de materia al ser dispersados por el océano y subir hasta la superficie donde son aprovechados por otros organismos incluyendo los fotosintéticos (Teske *et al.*, 2002, Biddle *et al.*, 2012; Wegener *et al.*, 2015 ; Dowell *et al.*, 2016 ; Laso-Pérez *et al.*, 2016 ; Wang *et al.*, 2019).

Toda esta comunidad microbiana es anaeróbica y está perfectamente adaptada a las condiciones dadas en estos lugares, incluyendo a arqueas termófilas que oxidan metano y alcanos, así como bacterias oxidantes de hidrocarburos. Una amplia diversidad de organismos origina nichos ecológicos con especificaciones y adaptaciones bien definidas que crean la amplia gama de compuestos orgánicos y propician las condiciones para otros organismos. (McKay *et al.*, 2016; Teske *et al.*, 2016; Teske, *et al.*; 2021).

Parte de los sedimentos localizados en la cuenca de Guaymas tienen una fuerte influencia de los procesos hidrotermales que se caracterizan por gradientes térmicos pronunciados que logran alcanzar los límites térmicos de la vida en tan solo unos pocos centímetros de profundidad (Sogin, *et al.*, 1989; Moon-van der Staay *et al.*, 2001). La deposición de sedimentos y materia orgánica hace posible la existencia de tapetes microbianos adheridos a la superficie marina, diversos organismos procariontes, eucariontes e invertebrados generan complejas conexiones simbióticas en el tapete. Estos sedimentos cumplen la característica de ser anaeróbicos y cálidos, abundantes en sulfuros e hidrocarburos que se acumulan de 1 a 2 mm por año debido a la importante productividad biológica, este proceso es complementado debido al aporte de materia derivada de las costas de Baja California y el continente mexicano (Calvert, 1966). Esta capa de sedimentos llega a tener un espesor de entre 100 y 500 mm, los cuales pueden liberar

compuestos de hidrocarburos como el petróleo, ácidos grasos de cadena corta y amoníaco mediante pirólisis de sustratos orgánicos complejos. Los fluidos emanados tienen una química inusual debido a un alto contenido de carbonatos y un pH neutro que a su vez libera una gran cantidad de metano(Welhan, 1988, Edgcomb, 2002).

En cuanto a la química de los sedimentos, se han identificado más de 5000 compuestos de hidrocarburos que muestran tendencias sistemáticas dependientes de la temperatura y patrones de distribución espacial afectados directamente por factores geológicos (Dalzell *et al.*, 2021). Aunado a esto los sedimentos fríos filtrados de la Cuenca de Guaymas son utilizados para determinar la degradación anaeróbica de hidrocarburos en donde se identificaron poblaciones reductoras de sulfatos que oxidan alcanos entre otros compuestos lo cual puede tener implicaciones en biotecnología empleada para la degradación de contaminantes (Shin *et al.*, 2019; Edgcomb, 2022).

CUENCA PESCADERO

El descubrimiento de los campos de fuentes hidrotermales de la Cuenca Pescadero son relativamente recientes en cuanto a su descubrimiento, los primeros datos obtenidos de ellos datan de expediciones realizadas en 2012 y 2015 (Roriguez, 2019). Esta cuenca se encuentra ubicada en la porción sur de la Cuenca de Guaymas como puede observarse en la imagen 5, y forma parte de un sistema de cuencas clasificadas como “pull-apart” las cuales se caracterizan por formarse cuando dos fallas de rumbo actúan juntas, creando un área de hundimiento en el centro. Este hundimiento genera espacio de hundimiento, formando así una cuenca (Griem, 2020). Estas son estructurales y se caracterizan por la extensión de la corteza terrestre bajo tensión, lo que causa su hundimiento. Por lo general, tienen una forma rómbica o sigmoidea y están delimitadas dimensionalmente por la distancia entre las fallas y la longitud del traslape. La subsidencia forma algunas veces cuencas que se rellenan con sedimentos y material orgánico el cual es el caso de la Cuenca Pescadero (Gürbüz, 2010; Valdéz, 2017; Iñiguez, 2022).

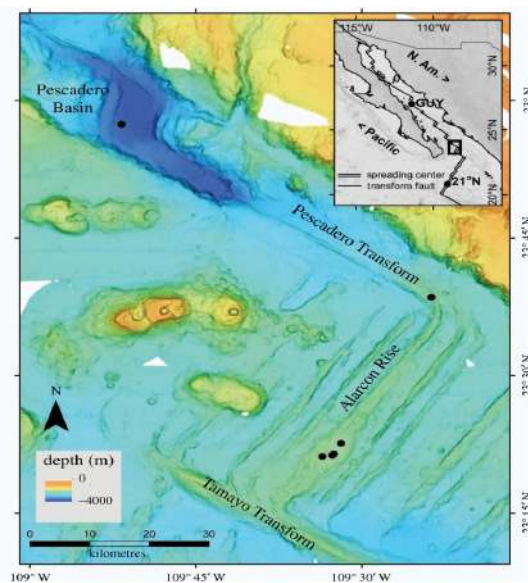


imagen 5. Mapa batimétrico del sur del Golfo de California que muestra la ubicación de los campos de ventilación de la Cuenca de Pescadero y la Elevación de Alarcón, así como las filtraciones de la Transformación de Pescadero (como puntos negros). El recuadro delimita el área de estudio en el contexto de los campos de ventilación que lo flanquean en la Cuenca de Guaymas (GUY) y en 21° N de la Elevación del Pacífico Este (21° N) (Goffredi, *et al.*, 2017).

En cuanto a los respiraderos hidrotermales presentes en la Cuenca Pescadero tienen una variación significativa respecto a otros respiraderos, incluyendo Guaymas, sus propiedades químicas y físicas son distintas lo que a su vez provoca cambios en la ecología de la cuenca. Parámetros que modifican a las comunidades como la temperatura y la geoquímica son de los principales factores generantes de la diferencia en cuanto a la diversidad de organismos. A pesar de esto la forma de sedimentación de materia orgánica es similar a la de otras cuencas ya que debido a la forma y al terreno circundante de la cuenca los desechos orgánicos llegan hasta el fondo de la cuenca desde otras cuencas circundantes, al mismo tiempo parte de esta materia cae desde la superficie oceánica la cual es generada por organismos fotosintéticos presentes (Goffredi, *et al.*, 2017).

Pescadero presenta una química singular ya que está compuesta exclusivamente de carbonatos y agua clara brillante que llega a tener temperaturas de 290°C. El pH resultante de todos los procesos es mayor a lo común en otras cuencas debido a los grandes depósitos de calcita en lugar de los sulfuros comunes en otras cuencas agua caliente al reaccionar con los sedimentos forma gases orgánicos y petróleo hidrotermal, un proceso que generalmente requiere un entierro profundo de sedimentos ricos en materia orgánica y millones de años (Zhang, *et al.*, 2023; Julià-Miralles, *et al.*, 2024; Schmidt Ocean Institute, 2024).

La química de los fluidos en Pescadero se caracteriza por composición única, esto es debido a una notable concentración de dihidrógeno, compuestos de nitrógeno como el metano y grandes compuestos de hidrocarburos. Estos fluidos surgen a través de los sedimentos espesos donde es la propia materia orgánica presente en el sedimento la que origina tal cantidad de hidrocarburos (Simoneit, *et al.*, 1992; Von Damm, *et al.*, 2006; Goffredi, *et al.*, 2017).

En la parte profunda existe una concentración importante de carbonatos que aunado a sulfuros y una compleja química forman parte de un entorno novedoso en donde se genera un ecosistema diverso pero al mismo tiempo con un alto nivel de endemismo donde se han identificado nuevas especies, parte de ellas pueden ser observadas en la imagen 6 (Hannington, *et al.*, 2011; German, *et al.*, 2016). Esta diversidad es definida como limitada y especializada debido a las características del entorno, dentro de la investigaciones realizadas se identificaron 26 especies de macrofauna de las cuales 17 son definidas como endémicas solo de Cuenca Pescadero. 17 de 26 especies son desconocidas en otros respiraderos de la misma zona de Baja California ya que de las 23 familias detectadas para la zona el sitio más próximo a Pescadero solo comparte 12, mientras que la con la Cuenca de Guaymas solo tiene nueve familias en común (Goffredi, *et al.*, 2017). Se desconoce cómo estos gases reducidos afectan directamente a la macrofauna; sin embargo, la alteración bioquímica de los fluidos de ventilación, incluida la acumulación de hidrógeno y metano, tiene implicaciones para la estructura y el

funcionamiento tanto de las comunidades microbianas de vida libre como de los simbiosntes bacterianos alojados en la fauna de la fundación. A pesar de todas estas notorias diferencias se han identificado mediante la detección de ADN, taxones larvarios los cuales no son identificados en edad adulta por lo que se sugiere la dispersión de especies entre las diversas cuencas presentes en el golfo de California (Thomson, *et al.*, 2003; , Mullineaux, *et al.*, 2010).

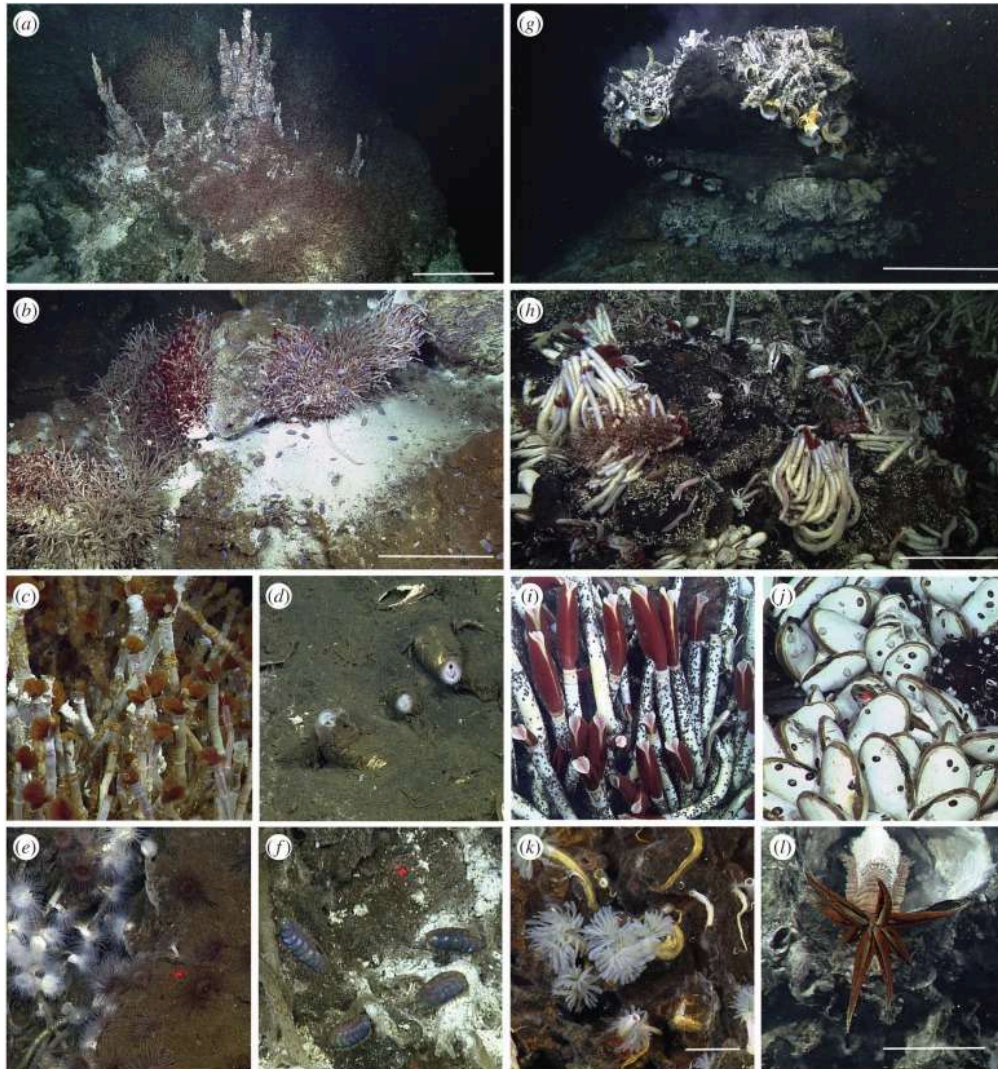


imagen 6. Imágenes de estructuras de ventilación y animales dominantes de los respiraderos. Montículo carbonatado con espirales de ventilación fuertemente colonizadas por gusanos tubícolas (a); vista más cercana que muestra gusanos escamosos polinoideos y anémonas (b); tubos de *O. alvinae* con poliquetos dorvilleidos amarillos (c); almeja *Archivesica* sp. con sifones blancos emergiendo de los sedimentos (d); nueva especie de actinario en dos morfos de color (e); nueva especie de polinoide *Peinaleopolynoe* sp. (f); fluido de alta temperatura difundándose desde un reborde delimitado por tubos del poliqueto *A. pompejana* (g); poliquetos serpúlidos, almejas de la especie *C. magnífica*, gusanos tubícolas reclinados *R. pachyptila* colonizan basaltos con recolectores móviles: cangrejos bythograeidos, galatheidos y peces zoárcidos (h); Vistas cercanas de *R. pachyptila* (i) y *C. magnífica* (j) con epifauna de lapas; una nueva especie de

Protis serpúlido (k), *A. pompejana* con simbioses microbianos dorsales (l) (Goffredi, *et al.*, 2017).

Otra de las grandes características presentes es que tanto gusanos tubulares como almejas presentan diferencias notorias con otras cuencas y los serpúlidos y patelogastrópodos están ausentes. Todas estas características llevan a la conclusión de que en general, en los respiraderos hidrotermales, y de forma evidente para la Cuenca Pescadero, los factores estructurales que determinan la composición de la fauna y las redes tróficas están fuertemente influenciadas por el entorno geológico, la composición fisicoquímica de los fluidos de ventilación y la heterogeneidad del sustrato, todos estos determinan la afinidad del hábitat, su especificidad y las limitaciones para reclutar otro tipo de especies no adaptadas al entorno generando niveles considerables de endemismo (Simoneit, *et al.*, 1990; Tsurumi y Tunncliffe, 2003; Matabos, *et al.*, 2011; Goffredi, *et al.*, 2017).

RESUMEN SOBRE LAS EXPEDICIONES DE LAS CUALES SE PROCESARON SEDIMENTOS DE FONDO MARINO

Reporte y Resumen de la Expedición Oceanográfica 385 en el JOIDES Resolution, International Ocean Discovery Program (IODP).

El 22 de septiembre del 2019, a bordo del buque oceanográfico (B/O) JOIDES Resolution, comenzó una importante expedición de dos meses con el objetivo de estudiar la tectónica del fondo marino y la biosfera en la cuenca de Guaymas, ubicada en la parte central del Golfo de California. Esta misión, de alto perfil científico, aportó valiosa información sobre diversos aspectos geológicos y biológicos del océano.

El JOIDES Resolution es un barco de investigación especializado que forma parte de la flota del International Ocean Discovery Program (IODP). Con sus 143 metros de eslora y una torre de perforación de 62 metros de altura sobre el nivel del mar, este buque fue capaz de realizar perforaciones a profundidades superiores a los 8,000 metros. Estas perforaciones permitieron obtener núcleos del suelo marino, que contienen sedimentos y restos de materia orgánica acumulada a lo largo de miles de años, proporcionando una muestra cronológica del fondo marino.



Imagen 7. Buque oceanográfico R/V Joides Resolution. Créditos de fotografías: Ronald Spelz (UABC) y Tim Fulton (IODP). obtenidas en: http://publications.iodp.org/proceedings/385/101/385_101.html

La Expedición 385 del IODP perforó sedimentos ricos en materia orgánica y sills intrusivos (masa tubular de roca ígnea principalmente horizontal entre dos capas de roca antigua sedimentaria), en la Cuenca de Guaymas. Esta región se caracteriza por un alto flujo de calor y magmatismo, con umbrales que extienden calor transitorio movilizándolo carbonando sedimentario. Se perforaron diversos sitios para estudiar estos efectos, para de esta forma dar paso al entendimiento de un sistema hidrotermal activo.

Entre los objetivos principales de la expedición estaban:

- Cuantificar los aportes sedimentarios y elementales a la cuenca.
- Examinar los sills y sedimentos circundantes para entender la alteración hidrotermal y el flujo de carbono.
- Estudiar las comunidades microbianas del subsuelo y su eficiencia en capturar efectos de alteración de carbono.

La expedición se dividió en dos áreas principales de estudio: una geológica, que se enfocó en las propiedades físicas y la descripción de los núcleos, y otra biológica, centrada en las comunidades microbianas. Los investigadores analizaron los tipos de gases presentes, los organismos que los generan y procesan, las razones de la variabilidad térmica entre diferentes lugares y la biodiversidad resultante.

La recolección de los núcleos de sedimento marino se dio a partir del empleo de un vehículo operado a distancia llamado ROV SuBastian (imagen 8) con posibilidades de sumergirse a una profundidad de hasta 4.500 metros. El ROV está equipado con un conjunto de sensores y equipos científicos para respaldar la recopilación de datos científicos y muestras, así como la investigación interactiva, la experimentación y el

desarrollo de tecnología así como brazos robóticos manejados a distancia con la capacidad de recolectar los núcleos los cuales pueden verse en funcionamiento en la imagen 9.



Imagen 8: ROV (remotely operated vehicle) SuBastian. Fotografía obtenida en: <https://schmidtocean.org/collection/4500-m-rov/>

El estudio de los núcleos de sedimento fue crucial para comprender procesos fundamentales en la historia del planeta. Entre estos se incluyeron la corroboración de teorías sobre la tectónica de placas y la deriva continental, el análisis de cambios climáticos en los últimos 100 millones de años, la evaluación de riesgos geológicos como sismos, volcanes y tsunamis, y el descubrimiento de comunidades microbianas que habitan en profundidades mayores de lo que se había predicho.



Imagen 9.ROV SuBastian recolectando sedimento marino en el fondo del mar de Baja California. Fotografía obtenida en: <https://schmidtocean.org/education/rov-faqs/>

En la Cuenca de Guaymas, se identificaron al menos dos campos de chimeneas hidrotermales: Guaymas y Pescadero. La expedición 385 del IODP realizó perforaciones en lugares donde se había determinado la localización de los sills mediante estudios sísmicos de alta y baja resolución de campañas oceanográficas anteriores. El objetivo fue evaluar la interacción y el rol de estos cuerpos magmáticos en profundidad y sus efectos en la superficie. Se perforaron secuencias de sedimentos y sills para explorar el ciclo del carbono en la cuenca de rift sedimentaria joven de Guaymas.

Los sitios U1545 y U1546, cercanos entre sí, permitieron comparar sedimentos invadidos por un sill ígneo con sedimentos no perturbados. U1547 y U1548 se centraron en un sistema de sills poco profundo y activo. U1549 y U1552 investigaron filtraciones frías, mientras que U1550 y U1551 examinaron intrusiones complejas de sills y sedimentación hemipelágica. La perforación combinó análisis de núcleos, microbiología y geoquímica para entender la interacción del sedimento y la dinámica geológica y biológica.

Los resultados sugieren que los umbrales no sólo transfieren calor, sino que también actúan como zonas de precipitación y almacenamiento de carbono. La expedición identificó grandes cantidades de metano y calcita en los umbrales, indicando que estos pueden secuestrar carbono. Las observaciones microbiológicas mostraron cómo los gradientes térmicos y la actividad hidrotermal afectan a las comunidades microbianas en el subsuelo. Los datos adquiridos permiten colaboraciones interdisciplinarias futuras para explorar las correlaciones entre geotermia, litología y biogeoquímica en múltiples sitios.

Entre los especialistas destacó la participación de la M.C. Manet Peña Salinas, de la Facultad de Ciencias Marinas de la UABC. Su misión en esta expedición fue una convergencia de ambos temas. Formando parte del equipo de propiedades físicas, su interés residía en cómo los cambios de temperatura afectan la biodiversidad, buscando definir el "límite de la vida" con aplicaciones en astrobiología. Su tesis doctoral comparó muestras de las cuencas de Pescadero y Guaymas, proporcionando una oportunidad única para contrastar dos sistemas hidrotermales formados bajo condiciones muy distintas. Este trabajo fue relevante para la búsqueda de vida en lunas heladas como Encélado de Saturno y Europa de Júpiter, donde se cree que existen océanos subyacentes.

En conclusión, la expedición a bordo del JOIDES Resolution no solo contribuyó al avance del conocimiento sobre la tectónica y la biología marina, sino que también podría tener implicaciones significativas para la astrobiología y la exploración de otros cuerpos aparte del planeta Tierra.

Este resumen fue creado a partir del resumen general de la expedición Oceanográfica 385 de la IODP (Teske, et al., 2021), disponible en: http://publications.iodp.org/proceedings/385/101/385_101.html y del reportaje de Roberto Ulises Cruz Aguirre publicado en la revista en línea *TODoS @ CICESE*, disponible en: <https://todos.cicese.mx/sitio/noticia.php?stat=Cmt&n=1390>

Resumen del informe de la Expedición del Instituto Oceánico Schmidt: Investigación Interdisciplinaria de la Cuenca del Pescadero

Otra de las expediciones en las que el grupo de trabajo de Ventilales Hidrotermales participó fue en el crucero del R/V Falkor (imagen 10), expedición FK210922 al sur del Golfo de California (GdC). Esta expedición adoptó un enfoque multidisciplinar para comprender las interacciones tectónicas, geoquímicas, microbiológicas y biológicas en los campos hidrotermales de las cuencas de separación cubiertas de sedimentos a lo largo del importante sistema de fallas de transformación que comprende la Cuenca Pescadero y el sistema completo.



imagen 10. Fotografía de la proa del R/V Kalkor. Fotografía de Mónica Naranjo.

Dentro de los objetivos de la expedición estuvieron los siguientes:

1. Mapeo de Cuencas: Mapear sistemáticamente las cuencas de separación de Carmen, Farallón y Pescadero para explorar la forma y estructura del fondo marino superficial, con el objetivo de caracterizar mejor la actividad tectónica en la región.
2. Mediciones de Flujo de Calor: Recoger mediciones de flujo de calor alrededor de los campos de ventilación y tomar muestras de fluidos de ventilación de la mayor cantidad de ventilaciones significativas posible para entender lo que sucede bajo la superficie de la Tierra.
3. Documentación de Comunidades Biológicas: Documentar la variabilidad en las comunidades microbianas y de macroinvertebrados y comprender su relación con la temperatura y la química de los fluidos, así como el posible origen de la vida en la Tierra.

La expedición, dividida en tres partes, investigó la tectónica a escala de la cuenca y la ventilación hidrotermal en las cuencas del sur del Golfo de California.

La primera etapa consistió en la cartografía multihaz de las cuencas del Carmen, Farallón y Pescadero Norte, la exploración de la morfología menos profunda (<1000 m) y características estructurales asociadas a la corteza continental altamente extendida.

La segunda y tercera etapa fue la utilización del ROV SuBastian para investigar los campos de ventilación hidrotermal Auka y JaichMaa 'ja'ag en la Cuenca Pescadero Sur; También con las mediciones de flujo de calor en y alrededor de los campos de ventilación; muestreo de fluidos de ventilación en cada uno de los tres campos conocidos (Auka, JaichMaa 'ja'ag y Maijia awi) y de la chimenea Matterhorn; muestreo de animales, microorganismos, fluidos, temperaturas de las chimeneas, sedimentos y flujo de calor para establecer el contexto geoquímico y evaluar las densidades, patrones de distribución y diversidad de la fauna.

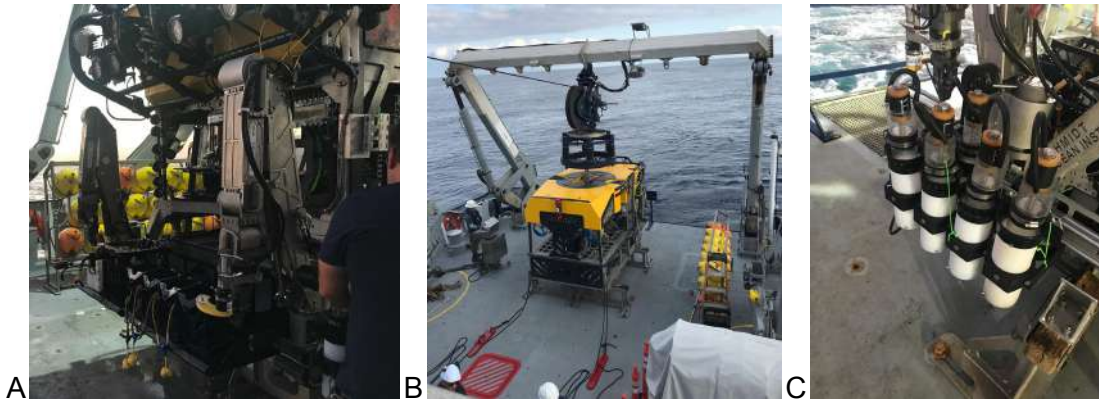


Imagen 11: (A) Fotografía que muestra los brazos robóticos del ROV SuBastian. (B) ROV SuBastian en la plataforma del buque. (C) Núcleos de sedimento extraídos del fondo marino. Fotografías de Manet E. Peña S.

El equipo científico recopiló datos batimétricos en partes en gran medida inexploradas del Golfo de California, incluidas las cuencas de separación de Carmen, Farallón y Pescadero Norte. Estos datos se sumaron a los obtenidos en 2018, abarcando en conjunto una octava parte del área total del Golfo de California, lo que contribuye significativamente a los esfuerzos globales de mapeo y ayuda a comprender la actividad tectónica en la región, mejorando la predicción de terremotos.

Se descubrieron nuevas ventilaciones de alta temperatura en los extremos norte y sur del campo de ventilación JaichMaa 'ja'ag, ampliando el área de ventilación hidrotermal conocida en la Cuenca Pescadero. Las nuevas áreas aún no han sido muestreadas, siendo objetivos esenciales para futuras exploraciones. Las ventilaciones hidrotermales en la Cuenca Pescadero son únicas, ya que emiten líquido claro y reluciente en lugar de líquido opaco. El equipo está investigando si los líquidos provienen de la misma fuente o de grietas separadas en la corteza terrestre. Además, se recogieron especímenes biológicos de los cuales se descubrieron seis o más posibles nuevas especies y 10 especies conocidas no encontradas previamente en la Cuenca Pescadero incluyendo poliquetos, gusanos flecha, crustáceos, moluscos y nematodos, además de núcleos de sedimentos para examinar la ecología, los animales y los microorganismos presentes, con el fin de comprender las relaciones simbióticas entre los animales y las bacterias y cómo sobreviven en condiciones extremas.

Este resumen de la expedición FK210922 en el crucero del R/V Falkor del Instituto Oceanico Schmidt se realizó a partir del Informe de la expedición del Instituto Oceanico Schmidt investigación interdisciplinaria de la cuenca del Pescadero (Caress, *et al.*, 2021)

disponible en: <https://zenodo.org/records/7545653#.Y8cQR3bMKM9> y del documento titulado Investigación interdisciplinaria de la Cuenca Pescadero. Disponible en: <https://schmidtocean.org/wp-content/uploads/PescaderoBasin-1.pdf>

Dichas expediciones fueron un esfuerzo multidisciplinario conjunto de la colaboración de diferentes universidades a lo largo del mundo, dentro de las instituciones se encuentran Monterey Bay Aquarium Research Institute (MBARI), Universidad Autónoma de Baja California (UABC), Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada (CICESE), California Institute of Technology, University of California Davis, Occidental College, Scripps Institution of Oceanography, Oregon State University, la participación del grupo mexicano de trabajo es un equipo colaborativo de investigadores liderado por el Dr. Ronald Spelz de la UABC y la Dra. Raquel Negrete perteneciente al CICESE, la Dra. Manet Peña también integra el grupo colaborativo e integra al laboratorio de Astrobiología del Instituto de Astronomía de la UNAM.

TRABAJO HECHO EN EL LABORATORIO DE ASTROBIOLOGÍA

La Dra. Manet es la responsable del almacenamiento, y cuidado de las muestras obtenidas en dichas expediciones, esto con la colaboración del laboratorio de Astrobiología donde se dispone de un ultracongelador el cual almacena las muestras recolectadas a una temperatura de -76°C promedio.



imagen 12. Ultracongelador del laboratorio de Astrobiología.

La importancia de estos sedimentos radica en el conocimiento que se puede obtener de dichos ecosistemas denominados como “extremos”. Diferentes análisis que van desde la composición bioquímica de estos hábitats hasta la ecología y microbiología de dichos hábitats son un ejemplo que da cabida a la posibilidad de la vida en entornos similares a los estudiados como las ventilas hidrotermales.

Mi trabajo en este proyecto consistió en realizar un procesamiento de las muestras para ser seleccionadas de tal forma que se recolecta solo la parte interior del núcleo tal como se muestra en la siguiente figura (imagen 13). Esto tiene la finalidad de garantizar la

pureza de los datos obtenidos del fondo marino así como el evitar una contaminación de un medio distinto al de interés de estudio.

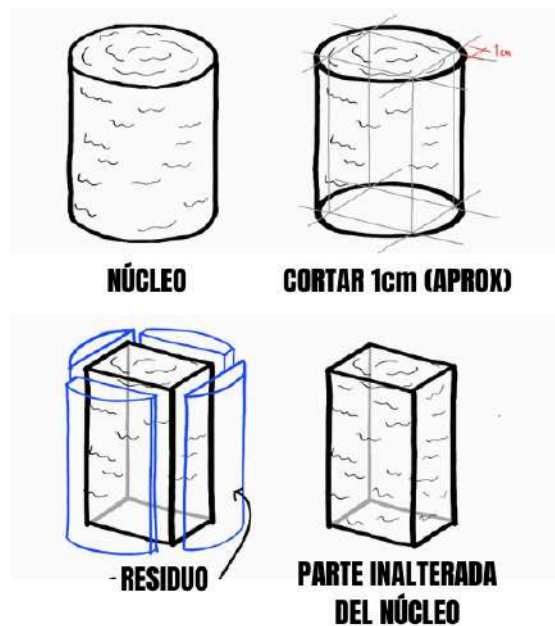


Imagen 13. Metodología para segmentar el núcleo y obtener su interior.

Para posteriormente, el resultado final sea almacenado en tubos falcon los cuales conservan la esterilidad del material de muestra.

la metodología empleada es la siguiente:

- **Descongelación**

1. Se identifican las muestras que serán procesadas.
2. Se retiran las muestras del ultracongelar 24 horas previas para descongelar el sedimento y así poder seccionarlo.
3. Las muestras se almacenan en un refrigerador normal con una temperatura promedio de 4°C.



Imagen 14. Recipiente original de los núcleos de sedimento marino y tubos falcon con sedimento ya procesado.

- **Limpieza y esterilización**
 1. Material

El material empleado para la disección se compondrá de palas, bisturí, pinzas (imagen 15), entre otros los cuales serán de materiales que permitan una esterilización adecuada como el acero inoxidable.



Imagen 15. Herramientas empleadas para la disección.

Estos serán esterilizados en el autoclave con el proceso denominado como “número 2” el cual está indicado para material de laboratorio y cuenta con las características de esterilizar a 132°C por un periodo de 15 minutos.



Imagen 16. Autoclave quirúrgico electrónico (Lorma® Modelo AV07).

2. Campana de flujo

- a. Las muestras serán procesadas en la campana de flujo por la que ésta debe tener una limpieza adecuada con agua y jabón previa al procesamiento.



Imagen 17. Campana de flujo laminar del laboratorio.

- b. Posteriormente se restriega la superficie con un paño y alcohol.
- c. Seguido de una exposición a una lámpara de luz UV la cual servirá como método de esterilización lo puede observarse en la imagen 18. Esta será ubicada en cada sección de la campana con la finalidad de garantizar la esterilización por un periodo de 10 minutos en cada sección (la campana de flujo se identifica en tres secciones, lado izquierdo, centro y lado derecho).



Imagen 18, Esterilización del área de trabajo con luz UV.

- **Disección de los núcleos**

1. Los sedimentos vienen almacenados en el recipiente original del que fueron extraídos, es por eso que con la finalidad de mantener una inocuidad se diseccionan de tal forma que se debe recolectar la parte interior del núcleo separándolo de las paredes exteriores que tuvieron contacto con otras superficies como se representa en la siguiente figura (imagen 19).



Imagen 19. Almacenaje de los núcleos de sedimentos marinos ya procesados

Aunado a esto se realizaron inventarios para verificar el stock aún disponible después de las muestras ya solicitadas por diferentes investigadores. de igual forma se dio inicio al protocolo del laboratorio para el procesamiento de dichos sedimentos el cual podrá ser un manual que se irá actualizando mediante la participación de futuros estudiantes.



Imagen 20. Inventario y almacenaje de los núcleos de sedimento marino realizado por el equipo integrado en el proyecto.

BITÁCORA DE DATOS

Como parte del seguimiento al material aun disponible de sedimentos marinos, se realizó un inventario de las muestras quedantes y de lo previamente registrado, para esto se realizó un excel que contenía características de cada muestra procesada en los tubos como el nombre indicativo de cada punto de recolección (imagen 21), la sección del núcleo en profundidad, entre otros.

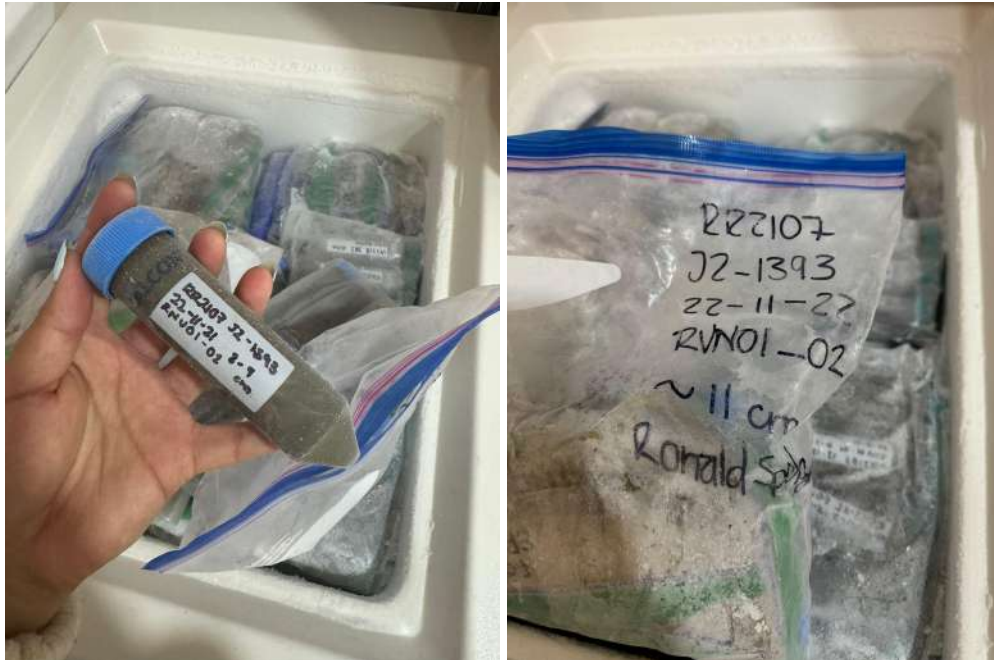


Imagen 21. Etiquetado de tubos falcon y conjunto de sedimentos agrupados por punto.

5.2 Recolectar, extraer, identificar y manipular organismos del filo Tardigrada.

Parte importante de la línea de investigación realizada en el laboratorio de Astrobiología es el estudio de organismos extremófilos como son los pertenecientes al filo Tardigrada.

El filo Tardigrada consiste exclusivamente de pequeños animales segmentados conocidos como tardígrados. A pesar de ser algunos de los animales más pequeños, con un tamaño que varía de 50 a 1000 μm , los tardígrados son famosos por su resistencia y resiliencia a los extremos ambientales (Hesgrove y Boothby, 2020). Con aproximadamente 1.500 especies descritas. Se describen como un filo de especies cosmopolitas debido a que habitan desde áreas urbanas hasta regiones polares, profundidades marinas y a grandes alturas encontrados incluso en la cima del Himalaya, principalmente en musgos y líquenes, (Degma, *et al.*, 2019; Arakawa, 2020). Tienen cuatro pares de patas no segmentadas con garras. Aunque su segmentación corporal y organización neuromuscular son similares a las de Panarthropoda (Martin, *et al.*, 2017; Gross, *et al.*, 2019), su boca terminal y faringe trirradiada son características compartidas con los cicloneuralianos (Schmidt-Rhaesa, *et al.*, 1998; Arakawa, 2022).

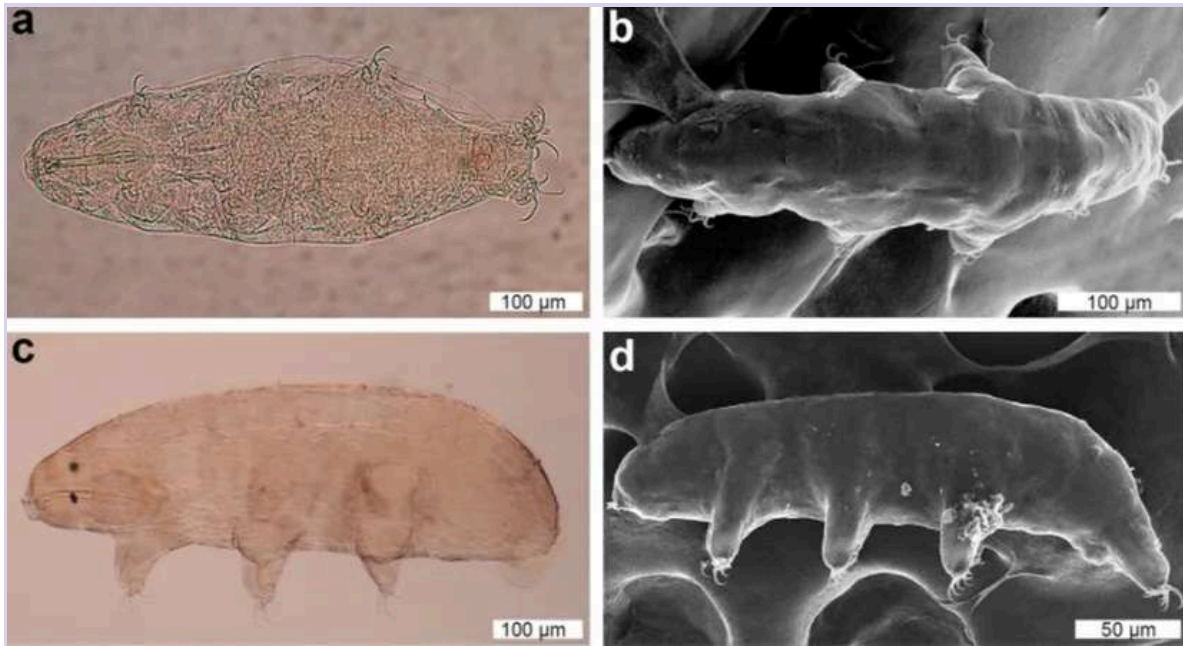


Imagen 22. Imágenes de la anatomía de *Dactylobiotus ovimutans* sp. (a) El cuerpo entero del holotipo. (b–d) Los paratipos. (b) La vista dorsal. (c,d) La vista lateral. Especie recién descubierta en la Antártida. Imagen de la revista Nature (Kihm, *et al.*, 2020).

La bioquímica depende del agua, que estabiliza la estructura de las proteínas y facilita la catálisis enzimática, esencial para el metabolismo y la biosíntesis. Incluso las moléculas hidrofóbicas se ensamblan debido a las interacciones con el agua, como en las bicapas de fosfolípidos de las membranas celulares. A pesar de lo esencial del vital líquido, algunos organismos microscópicos, como los tardígrados, pueden sobrevivir a una casi total desecación mediante anhidrobiosis, un estado en el que permanecen inactivos debido a que la velocidad de secado del agua circundante es mayor que su capacidad de moverse hacia una nueva fuente de agua (Guidetti, *et al.*, 2011; Hibshman, *et al.*, 2020). La anhidrobiosis, o "vida sin agua", es un tipo de criptobiosis (Clegg, 2001; Neuman, 2006). en la que un organismo alcanza un estado metabólico acompañado de una pérdida casi completa de agua (Crowe, *et al.*, 1992).

El agua es esencial para el metabolismo intracelular y la homeostasis, pero también hace a los organismos vulnerables a cambios ambientales como temperatura y presión. Los tardígrados en anhidrobiosis pueden mantenerse inactivos durante años (Watanabe, 2006) o almacenarse congelados hasta por 30 años (Tsujiimoto, *et al.*, 2016), resistiendo entornos extremos como temperaturas muy bajas de $-272,8$ °C o altas de más de 100 °C (Hengherr *et al.*, 2009), vacío total (Horikawa, *et al.*, 2015), presiones altas hasta por 7.5 GPa (Ono, *et al.*, 2016), productos químicos adversos, disolventes orgánicos (Horikawa, *et al.*, 2008), radiación gamma de hasta $3.000-5.000$ Gy, aproximadamente 1.000 veces la dosis letal para los humanos (Beltrán-Pardo, *et al.*, 2015) y el vacío espacial (Jönsson, *et al.*, 2008). Estos comportamientos extremófilos desafían la comprensión de la fisiología celular acuosa y los conceptos de los límites de la vida (Arakawa, 2022).

Las observaciones sobre los tardígrados han generado un creciente interés científico en su biología y en los mecanismos de su alta tolerancia a factores estresantes. Aunque muchos de estos procesos aún no están completamente comprendidos, se sabe que los tardígrados producen moléculas bioprotectoras, como proteínas y los sistemas de reparación del ADN (Jørgensen y Møbjerg, 2016; Giovannini, *et al.*, 2022), que juegan un papel crucial. Numerosos estudios se centran en entender las vías de la criptobiosis en estos organismos. Debido a su resistencia a condiciones extremas, como la irradiación, los tardígrados son considerados adecuados para estudios espaciales. Además, pueden ser importantes para la investigación médica en el desarrollo de biomateriales para preservar tejidos frágiles, células, ADN, vacunas, y en el estudio de los mecanismos de envejecimiento, proporcionando información relevante para enfermedades relacionadas con la edad (Kasianchuk, *et al.*, 2023).

El trabajo realizado en México respecto a los tardígrados es extenso, incluyendo el registro de las primeras especies marinas descritas en las costas de Quintana Roo que incluyeron 5 géneros: *Dipodarctus*, *Wingstrandarctus*, *Batillipes*, *Echiniscoides* y *Archechiniscus*. Lo documentado en este trabajo contribuyó al conocimiento de tardígrados marinos en México, taxón que se encontraba catalogado como parte de la biota desconocida en costas mexicanas, antes de este estudio (Perez-Pech, *et al.*, 2018). Para el caso específico de Baja California, el laboratorio de Astrobiología cuenta con el registro de cuatro géneros identificados en el estado: *Milnesium*, *Macrobiotus*, *Echiniscus* y *Viridiscus* (imagen 23), estos fueron recolectados a partir de muestras de musgos y líquenes en diferentes localidades del estado de Baja California como lo son Chapultepec, Cañón de Doña Petra, Rancho San Carlos en Ensenada y Cataviña en San Quintín lo que es interesante debido a la distribución tan extensa que presenta el estado de B.C. y una variada climatología que va desde climas semifríos subhúmedos con lluvias en invierno hasta climas denominados como muy secos-muy cálidos (Rosquillas-Navarro, 2016, Nuñez, *et al.*, 2021; García-Rodríguez y Nuñez, 2023).

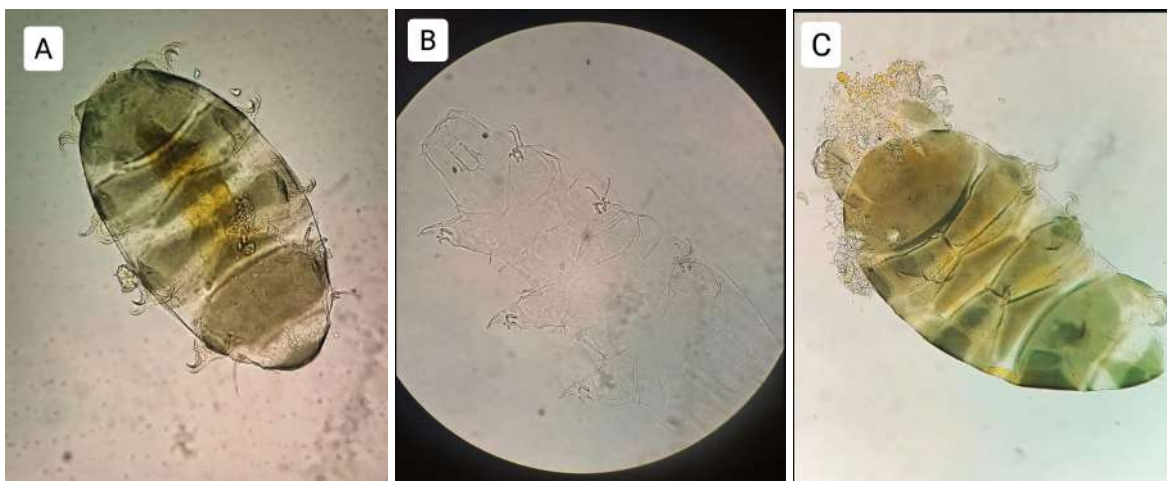


Imagen 23. Fotografías de tres géneros recolectados e identificados por el laboratorio de Astrobiología. *Milnesium* (A), *Macrobiotus* (B) y *Echiniscus* (C). Fotografía propia.

El laboratorio de Astrobiología fue el responsable de registros de identificación del filo tardigrada dentro del estado de Baja California. Estos estudios a cargo de la Dra. Patricia Guadalupe Núñez Pérez. Bajo su dirección, la Dra. Nuñez y su equipo realizan investigaciones en varias ramas de la biología que van desde la identificación taxonómica de las especies presentes en Baja California, exposición a condiciones extremas, reproducción y recolección de muestras.

Protocolo para colecta y extracción de tardígrados limnoterrestres del laboratorio de Astrobiología

El principal material utilizado para colecta musgos o líquenes es el siguiente:

- Espátula o navaja
- Bolsas de papel
- Plumón para etiquetado de muestras
- GPS
- Cámara fotográfica

Metodología de identificación para los puntos de muestreo en campo:

1. Lo primero es identificar el área de muestreo. Esta comparte características específicas donde generalmente se encuentran los musgos o líquenes como los apreciados en la imagen 24. Esto es principalmente en rocas, suelos, corteza o incluso en el concreto, normalmente estos musgos se encuentran cubiertos de la luz solar directa y en pequeñas cuencas las cuales permiten mantener cierto nivel de humedad a pesar de encontrarse en ecosistemas áridos o semiáridos.



Imagen 24. A. Musgo del género *Grimmia*, presente en Ensenada. B. Musgo presente en zona urbana de Ensenada. C. Liquen del género *Niebla*, localizado en Punta Mazo, Bahía de San Quintín, B.C. Fotografías de: Bióloga Yosira Mariela Rodríguez García.

2. Se toma una fotografía del lugar de muestreo y se toman las coordenadas de la ubicación del musgo en el área. Se puede utilizar la aplicación Naturalista para obtener fotografías y coordenadas, en caso de no contar con un GPS (imagen 25).



Imagen 25. Fotografía de un punto de muestreo en Ensenada B. C. y registro en el perfil propio en Naturalista del muestreo realizado en Cataviña, San Quintín. B.C., Diciembre de 2023.

3. Con una espátula o navaja se cortan secciones del musgo o líquen encontrado. En musgos, se puede estandarizar una medida de 5x5 cm (imagen 26).



Imagen 26. Recolección de musgo durante muestreo en Ensenada, B.C

4. Las muestras colectadas se guardan en bolsas de papel ya que estas permiten mantener las características del sustrato al absorber el exceso de humedad como las de la imagen 27. Estas se etiquetan con los datos:

- Número de muestra
- Nombre del recolector
- Fecha de colecta
- Coordenadas
- Región del muestreo

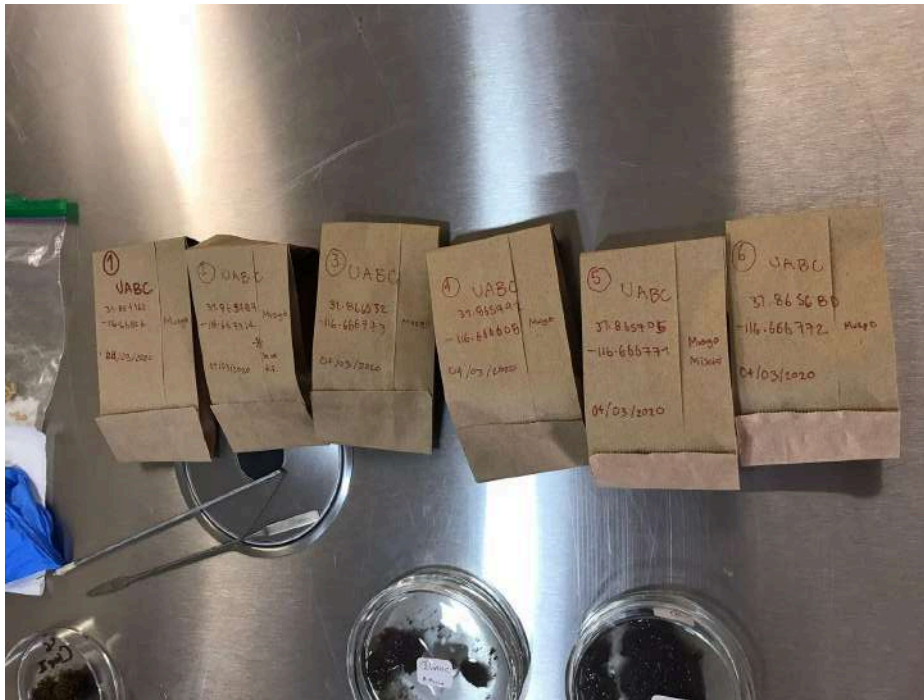


imagen 27:Recolección de musgo y líquen para extracción de Tardígrados. Fotografía de: Esther Reyes.

5. Las muestras se resguardan en una caja de cartón o metal hasta ser procesadas.

Materiales para montaje y extracción en laboratorio (imagen 28):

- Caja petri 90mm
- Caja petri 30mm
- Portaobjetos cóncavo
- Cubreobjetos
- Aguja de disección
- Pipeta pasteur
- Agua
- Estereoscopio
- Microscopio óptico



Imagen 28. Material empleado para la extracción de organismos en el laboratorio de Astrobiología.

Metodología para el montaje y extracción de los organismos presentes en las muestras de musgos y líquenes

1. La muestra de musgo se coloca en una caja Petri de 90 mm con agua colocando el colchón de musgo boca abajo. Esto permite que se hidrate más rápido. Idealmente, la muestra se deja remojando por 24 horas (imagen 29), pero tras 30 minutos de remojo es posible comenzar a observar los organismos. Esto revierte la anhidrobiosis.



Imagen 29. Musgo remojados para la posterior extracción de organismos. Fotografía: Yosira Rodríguez.

2. Pasado el tiempo de remojo, el musgo se exprime y se retira de la caja Petri.
3. El agua restante se observa bajo estereoscopio, comenzando con los aumentos más bajos.
4. Al encontrar un tardígrado, debe ser colectado cuidadosamente con la pipeta pasteur, y posteriormente se coloca en una caja Petri 30 mm. Este proceso se repite las veces necesarias, y es posible utilizar la aguja de disección para mover los organismos y así facilitar la extracción.
5. De ser necesario una observación detallada de uno de los tardígrados extraídos se coloca en un portaobjetos cóncavo, para iniciar su observación al microscopio óptico utilizando la pipeta Pasteur. A 40x es posible observar el aparato bucofaríngeo y garras como en la imagen 30.



Imagen 30. Fotografía en microscopio óptico donde se aprecian las garras y el aparato bucofaringeo de un tardígrado del género *Macrobiotus*. Fotografía propia tomada en el laboratorio de Astrobiología.

Parte del trabajo realizado en el laboratorio fue el apoyo a las diferentes investigaciones en diversos ámbitos como lo fue la recolección de dichos organismos en lugares como el desierto de cataviña en Baja California, municipio de San Quintín.

También se realizó la identificación y aislamiento de los tardígrados con el fin de aislarlos de su medio ambiente natural a condiciones específicas requeridas para su investigación.

Otros organismos

Otra parte fundamental del proceso es el aislamiento de rotíferos los cuales también se encuentran presentes en las muestras de suelo recolectadas. Esto resulta trascendente debido al tipo de alimentación de algunas de las especies de tardígrados ya que estos presentan una dieta omnívora combinando el consumo de materia vegetal así como la depredación de los rotíferos como parte de su alimentación.

Anexo de video disponible en Drive: https://drive.google.com/file/d/16sDKL1aYsxbOZZ-9oFHz-sR0wAJQQg1M/view?usp=drive_link

Este protocolo fue adaptado del desarrollado por la tesista de Licenciatura, Rodríguez García Yosira Mariela y es el empleado por los estudiantes del laboratorio de Astrobiología.

5.3 Cultivar microalgas y rotíferos con la finalidad de ser utilizados como alimento vivo para el cultivo de tardígrados.

Como parte de las investigaciones y proyectos del laboratorio, existe uno con la finalidad de lograr un ciclo trófico completo a partir de un productor primario que sirva como alimento para otros organismos estudiados por el laboratorio de Astrobiología, como lo son los rotíferos y los tardígrados. Esto se debe al interés de comprender la historia de vida de los géneros de tardígrados estudiados, por lo que se intenta replicar su ciclo biológico. Debido a la importancia de estos organismos, considerados extremófilos, es necesario replicar los procesos tróficos presentes en su ecosistema natural, como se mencionó anteriormente.

Para llevar a cabo esto, se inició con la producción primaria de organismos autótrofos. En este proceso, se implementó un experimento de cultivo de la microalga *Chlorella vulgaris* (productor primario). Entre las microalgas, el género *Chlorella* es uno de los más estudiados, y dentro de este, la especie *Chlorella vulgaris*. A partir de su biomasa se pueden extraer productos de interés biotecnológico utilizados principalmente en las industrias alimentaria, cosmética, farmacéutica, energética y en la agricultura (Gómez-Luna, *et al.*, 2022). Dicha alga también puede ser utilizada como alimento para ciertas especies de tardígrados incluyendo las trabajadas en el laboratorio de Astrobiología, además los considerados Eutardígrados tienen una alimentación omnívora al alimentarse también de rotíferos que a su vez, al igual que los mismos tardígrados y

heterotardígrados se alimentan del microalga *Chlorella vulgaris* (imagen 31) (García-Rodríguez y Nuñez, 2023).

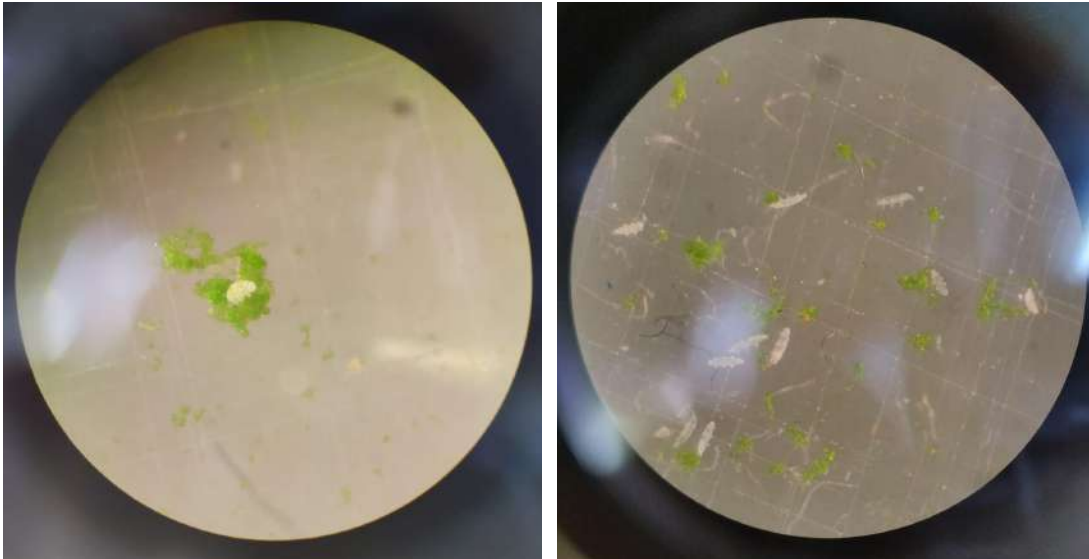


Imagen 31. Tardígrados alimentados con *Chlorella vulgaris*.

Es por eso que se intentó replicar, con las adaptaciones necesarias, lo hecho en la tesis de López-Lucero E. Alexis, quien presentó la tesis llamada “Efecto del enriquecimiento de alimento vivo en el perfil de aminoácidos y ácidos grasos de rotífero (*Brachionus plicatilis*)” de la Licenciatura de Biotecnología en Acuicultura de la UABC. A continuación se presenta una síntesis de lo hecho por López-Lucero, 2022:

La microalga marina *Nannochloropsis sp* es comúnmente utilizada en acuicultura como alimento para el cultivo de rotíferos como la especie *Brachionus plicatilis* debido a su alto contenido de ácidos grasos esenciales. En esta tesis, se realizaron dos experimentos para determinar la mejor recuperación en cantidad de biomasa de *Nannochloropsis sp* y evaluar el uso de fertilizantes agrícolas en la producción de microalgas frescas y floculadas como alimento para los rotíferos.

Para esto realizaron dos experimentos en donde en el primer experimento, se probaron diferentes concentraciones de NaOH. Esto con el propósito de medir el tiempo de floculación y el los porcentajes de células floculadas. Se logró un 92.65% de recuperación de células en cultivos con medio f/2 el cual es el indicado de forma específica para cultivos de microalgas, y un 79.75% con fertilizantes agrícolas.

En el segundo experimento, se suministraron diferentes tipos de alimento a los rotíferos: *Nannochloropsis sp* líquida en medio f/2 y fertilizante agrícola, microalgas floculadas en ambos medios, y una pasta comercial de *Nannochloropsis sp*. La mayor densidad celular se obtuvo al séptimo día, con los mejores resultados en cultivos con fertilizantes agrícolas. Los rotíferos alimentados con microalgas floculadas en medio f/2 mostraron la mayor densidad (226 rotíferos/mL) y el índice de fertilidad más alto (1.15 ± 0.18).

Se concluyó que los fertilizantes agrícolas son una opción más económica que el medio f/2, logrando una mayor densidad celular de *Nannochloropsis sp* y sin efectos negativos

en la alimentación de los rotíferos a pesar de que el medio F/2 es el más efectivo para la densidad de rotíferos, sin embargo en proporción de costos, los fertilizantes agrícolas son una perfecta alternativa. Estos fertilizantes son una opción viable para la producción de microalgas y rotíferos marinos en programas comerciales.

En el caso de lo realizado en el laboratorio de Astrobiología se prepararon soluciones del fertilizante sólido comercial de uso agrícola llamado Bayfolan® de la marca Bayer el cual contenía las siguiente concentración de nutrientes:

N 24.00%, Ca 0.020%, P₂O₅ 17.00%, Mg 0.025%, K₂O 13.00%, Cu 0.025%, S 0.20%, Co 0.005%, Fe 0.10%, Mo 0.0025%, Zn 0.10%, Clorhidrato de tiamina 0.0040%, Mn 0.05%, Ácido indol acético 0.0030%, B 0.04% (imagen 32).



Imagen 32. Imagen ilustrativa del fertilizante sólido comercial de uso agrícola Bayfolan®.

El procedimiento empleado fue el siguiente:

Se realizó de forma experimental en tres concentraciones diferentes con la finalidad de identificar la dosificación adecuada de fertilizante según las propias indicaciones de Bayfolan .

Concentración 1: al 0.5% (1.25 gr Bayfolan® solido/250 ml agua destilada),

Concentración 2: al 0.75% (1.87 gr Bayfolan® sólido/250 ml agua destilada)

Concentración 3 al 1.0% (2.5 gr Bayfolan® sólido/250 ml agua destilada).

Una vez agregado el soluto al agua destilada, se agitó por 5 minutos a 530 rpm. Tras su preparación, cada solución se esterilizó en autoclave quirúrgico electrónico (Lorma® Modelo AV07) en el número 2.



imagen 33. Medios previamente preparados, diluidos y esterilizados para ser utilizados.

Se prepararon tres medios de cultivo con cada concentración (0.5%, 0.75% y 1.0%), combinando 50 ml de fertilizante por cada 200 ml de agua destilada (imagen 33). Cada medio se preparó en un frasco de vidrio lavado previamente con agua clorada y enjuagado con agua destilada. En cada frasco se agregaron 50 ml de algas *Chlorella vulgaris* por cada 300 ml de medio. Estas se mantuvieron a una temperatura ambiente (Promedio), expuestas a la luz solar indirecta durante el fotoperiodo natural de los meses de Febrero, Marzo y Abril (imagen 34).

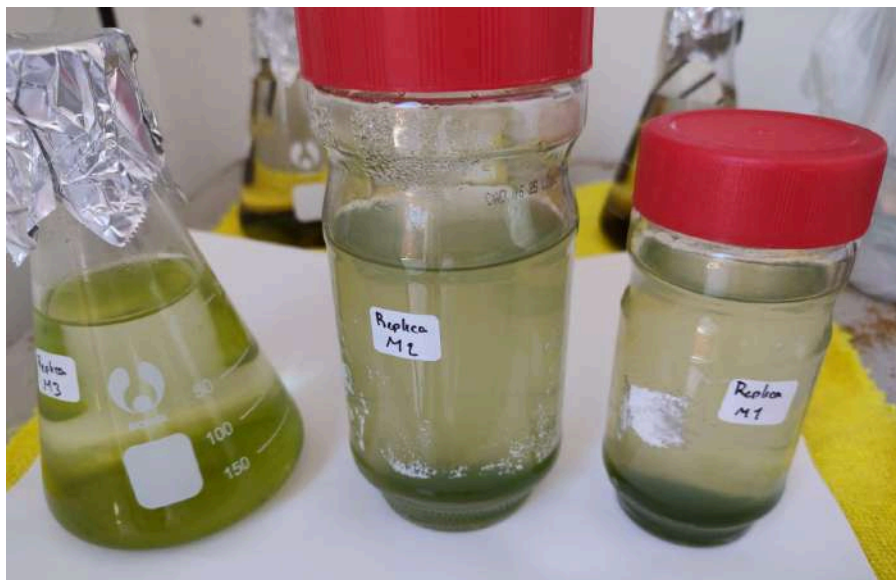


Imagen 34. Réplicas del cultivo de *Chlorella vulgaris* con las tres concentraciones.

Después de repetidos intentos se logró estandarizar esta metodología, ya que no se genera contaminación y se ha visto una reproducción óptima del alga una vez adaptada a las condiciones del laboratorio de Astrobiología (imagen 35).



Imagen 35. Cultivo de algas maduro y adaptado completamente a las condiciones del laboratorio de Astrobiología.

5.4 Apoyar en las prácticas del curso optativo de licenciatura *Introducción a la Astrobiología* de la Facultad de Ciencias de la Universidad Autónoma de Baja California.

El plan de estudios de las licenciaturas de Biología y Física de la Facultad de Ciencias de la Universidad Autónoma de Baja California tienen como una de sus materias optativas el curso de *Introducción a la Astrobiología* el cual proporciona una cantidad de créditos determinada dependiendo de la licenciatura, esto la vuelve una de las materias con mayor impacto en este rubro. Dicha materia tiene una duración semestral y es impartida por los Drs. **Patricia Guadalupe Núñez Pérez** y **Roberto Vazquez Meza**. La primera parte del curso es impartida por el Dr. Vazquez quien dirige su área de conocimiento a la astrofísica y la detección de cuerpos planetarios por lo que es el principal responsable de la parte del curso enfocada al conocimiento del origen del universo, materia y energía, condiciones

planetarias que puedan albergar vida, geoquímica entre otros campos; así mismo la Dra. Patricia Guadalupe Núñez Pérez enfoca su área de expertis en organismos extremófilos que van desde esporas vegetales, invertebrados, tapetes microbianos entre otros. La Dra. Núñez orienta todos los conocimientos enfocados en la parte biológica del curso, los temas abordan desde el origen de la vida y sus distintas teorías, taxonomía y evolución, bioquímica, extremófilos y condiciones ambientales que pueden sostener la vida.

Las horas del curso son divididas en dos, la primera parte es teórica y la segunda se destina a diferentes prácticas enfocadas en la materia. Respecto a la parte teórica del curso este fue tomado como oyente para reforzar los conocimientos en el área. Para la parte práctica se tuvo la oportunidad de colaborar guiando a los estudiantes del curso en el uso correcto del material de laboratorio como lo eran los microscopios y demás herramientas necesarias. De igual forma se daba seguimiento a las prácticas junto a los estudiantes reforzando el conocimiento propio pero también siendo partícipe del apoyo a los estudiantes para llevar a cabo las prácticas de forma adecuada.

Anexo del manual de prácticas del curso *Introducción a la Astrobiología*: <https://sites.google.com/astro.unam.mx/asbio/proyectos/unam-papime-pe109915>

Al finalizar el curso también se participó con una exposición final de un tema de interés propio relacionado a la materia por lo que realicé mi exposición titulada “El Origen de la vida” enfocada en este tema de amplio interés para la Astrobiología.



Imagen 36. Exposición final del curso de Astrobiología titulada *El origen de la vida*.

5.5 Participar en el equipo de voluntarios del XII Congreso Nacional de Astrobiología, realizado del 11 al 13 de septiembre en Ensenada, B. C.

El XII Congreso Nacional de Astrobiología (XII CNA) se llevó a cabo por primera vez en Ensenada, Baja California, del 11 al 13 de septiembre de 2023, organizado por la Sociedad Mexicana de Astrobiología, A.C. (SOMA). La Universidad Autónoma de Baja California (UABC) y el Instituto de Astronomía de la Universidad Nacional Autónoma de México (IA-UNAM) fueron las sedes del evento.

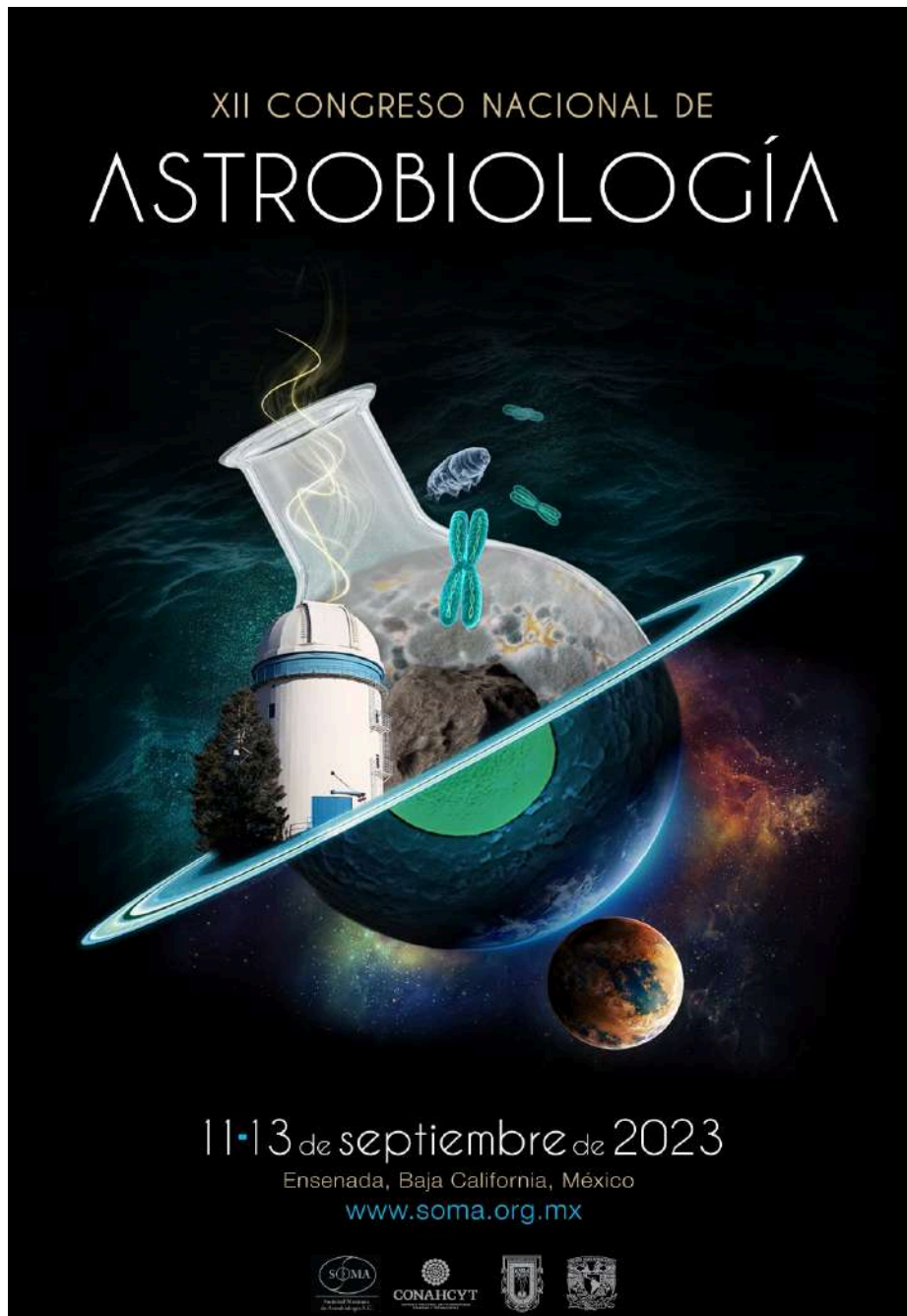


Imagen 37. Cartel oficial del XII Congreso Nacional de Astrobiología.

El XII CNA reunió a más de 70 investigadores y estudiantes nacionales e internacionales para compartir los avances científicos más recientes en astrobiología en México.

Después de cinco años sin realizar un congreso presencial, el XII CNA llegó a Ensenada, conocida como la Ciudad del Conocimiento, que alberga el Observatorio Astronómico Nacional (OAN-SPM) y el Laboratorio de Astrobiología (ASBIO-UNAM), entre otras instituciones académicas y centros de investigación.

El congreso se llevó a cabo del 11 al 13 de septiembre de 2023. Las sesiones matutinas fueron en la sala de la 4a. planta del edificio del Departamento de Informática y Bibliotecas (DIB) en UABC, Sauzal. Las sesiones vespertinas se realizaron en el auditorio del IA-UNAM, campus Ensenada.

El evento fue organizado por SOMA, una asociación civil con más de 20 años dedicada a la vinculación de investigadores, formación de estudiantes y divulgación de la astrobiología. El congreso contó con el apoyo del Consejo Nacional de Humanidades, Ciencias y Tecnologías (CONAHCYT), UABC e IA-UNAM.

Durante el congreso se presentaron cinco conferencias magistrales, una mesa redonda y diversas presentaciones de investigaciones. Los temas incluyeron el estudio central de la astrobiología, la cual es una ciencia que estudia el origen, evolución, distribución y futuro de la vida en el Universo, integrando conocimientos de biología, física, química, astronomía y geología. Parte de los temas de mayor interés fueron la búsqueda de vida en otros planetas, la evolución de la vida en la Tierra y avances en exploración espacial. Además, hubo exposiciones artísticas y viajes post-congreso al Valle de Guadalupe y la Sierra de San Pedro Mártir.

Mi participación fue durante la totalidad del congreso en la que se apoyó proporcionando información a congresistas y asistentes, así como todo el apoyo técnico y de logística en el que se nos requirió al equipo de staff. De igual forma tomé varias de las conferencias de los principales temas de mi interés en el campo como lo fueron temas relacionados a tapetes microbianos, bacterias sulfato reductoras presentes en cráteres, dispersión y reproducción de organismos extremófilos, entre otros variados temas. Aunado a esto realicé apoyo al congreso con la toma de fotografías durante este.

El congreso me permitió ver lo amplio de las disciplinas que se involucran con la Astrobiología y la biología en general. Disciplinas tecnológicas e ingenierías son parte crucial de las investigaciones realizadas en campo y de forma experimental así como ramas de la computación, de la programación y de las tecnologías cibernéticas tienen injerencia en el estudio de la vida y sus posibles límites. De igual forma se amplía el campo en todas las materias con las que normalmente hay relación como la bioquímica pero enfocada en los límites de la vida, su exposición a ambientes cargados en materiales químicos usualmente tóxicos, radioactividad y el impacto en los organismos, la tolerancia a ambientes anóxicos, entre otros son temas de los que me familiaricé durante el congreso.



Imagen 38. Equipo de organización y staff del XII Congreso Nacional de Astrobiología.

Acerca de la Sociedad Mexicana de Astrobiología, A.C.

La Sociedad Mexicana de Astrobiología es una asociación civil sin fines de lucro, compuesta por investigadores, estudiantes y divulgadores de la ciencia interesados en el origen y evolución de la vida, y la posibilidad de existencia de vida en otros lugares del Universo. <https://sites.google.com/soma.org.mx/soma-a-c/congresosescuelas/xii-cna>

5.6 Participar en el equipo de divulgación en los eventos *Noche de las Ciencias* y *Noche de las Estrellas*.

La divulgación del conocimiento científico es una responsabilidad de todo aquel que investiga, porque contribuye a la democratización del conocimiento, disminuir las desigualdades preexistentes y comunicar resultados a la comunidad formada por los especialistas en la materia. La divulgación de la investigación científica consiste en una actividad de relaciones públicas de la comunidad científica que se interesa por mostrar al "buen pueblo" las maravillas que los científicos son capaces de producir. Muchas emisiones de televisión o artículos de divulgación tienen este objetivo. Tratan de explicar lo que hacen los científicos a las personas (Santos-Magister, 2010).

Autores e instituciones mencionan que la difusión del conocimiento científico y tecnológico es crucial no solo para informar al público general, sino también para inspirar a seguir

carreras científicas. La divulgación tiene un papel concientizador, por ejemplo, la importancia de la ciencia para enfrentar desafíos ambientales y sociales. Los artículos de divulgación están redactados de manera simple y objetiva, y se encuentran en diversos medios como revistas, sitios web, libros, y eventos como talleres y conferencias. La divulgación permite compartir resultados de estudios y avances, fomentando la apreciación y cuestionamiento de la ciencia, y acercando a la sociedad a la ciencia y tecnología (Área de comunicación y difusión PCT-UAS, 2023).

Dentro de las actividades relacionadas a la profesión llevadas a cabo como parte de equipo del laboratorio de Astrobiología fue la participación en los eventos de divulgación científica *Noche de las Ciencias* y *Noche de las Estrellas* respectivamente.

La Noche de las Ciencias se llevó a cabo el sábado 7 de octubre. Los organizadores nuevamente fueron una colaboración entre UABC, UNAM y CICESE, dichas instituciones abrieron sus puertas a todo el público en general para que estos se aproximaran a todos los trabajos que se hacen en estas casas de estudios.



Imagen 39. Cartel oficial del evento Noche de las Ciencias.

En el caso particular del equipo de trabajo de ASBIO, se invitaba al público interesado a entrar al laboratorio de Astrobiología para así conocer los trabajos y proyectos que se llevan a cabo. Mi participación correspondió con dar charlas a los asistentes informando acerca del trabajo realizado en las ventilas hidrotermales y la labor posterior realizada en el laboratorio hablando principalmente del trabajo de las expediciones oceanográficas pero también apoyando con los demás proyectos como el estudio de los tardígrados y los demás proyectos del área de astrofísica.



Imagen 40. Exposición al público general en el evento Noche de las Ciencias

El evento de *Noche de las Estrellas*, se celebró el día 25 de noviembre y la sede fue el museo del Caracol, recinto importante de divulgación científica y cultural de la ciudad de Ensenada. En este evento se participó con el cartel titulado *Astronautas del Futuro: Cohetes y Exploración Espacial*.



Imagen 41. Cartel titulado *Astronautas del futuro: Cohetes y Exploración Espacial* para el evento Noche de las Estrellas.

En dicho evento se realizaron actividades enfocadas a la interacción con niños y su acercamiento a los proyectos que realiza el laboratorio de Astrobiología mediante juegos y actividades recreativas e interesantes para los niños.



Imagen 42. Stand del laboratorio de Astrobiología en el evento Noche de las Estrellas.



Imagen 43. Cartel oficial del evento Noche de las Estrellas.

5.7 Publicación de artículo de divulgación científica para la Gaceta UNAM de Ensenada.

Por último, otra actividad realizada fue el escribir un artículo de divulgación científica para la Gaceta de la UNAM, Ensenada. Este escrito fue hecho a partir de un tema de interés propio el cual abordaba de forma central una teoría de cómo se originó la vida en la Tierra.

El escrito se llamó "La lotería de la vida" y aborda la probabilidad de la formación de la vida a través de los descubrimientos científicos recientes sobre biomoléculas y teorías del origen de la vida. Se exploran conceptos como los coacervados, estructuras simples precursoras de las células, y su papel en el almacenamiento y utilización de sustancias químicas del entorno para formar estructuras más complejas. Se mencionan experimentos clave como los de Urey y Miller, que demostraron la síntesis de aminoácidos, y estudios sobre la capacidad del ARN para replicarse a sí mismo. Finalmente, se compara la probabilidad de la formación de vida con ganar la lotería, sugiriendo que, dadas las condiciones adecuadas y suficiente tiempo, la vida es inevitable.

Este ya fué aceptado y será publicado en la próxima edición de la Gaceta UNAM, Ensenada.

6. DESCRIPCIÓN DEL VÍNCULO DE LAS ACTIVIDADES Y CONCLUSIONES DEL SERVICIO SOCIAL.

De forma general, la Universidad Autónoma Metropolitana (UAM) tiene como misión ofrecer educación de excelencia, realizar investigación relevante y preservar la cultura, en servicio a la sociedad mexicana.

La UAM aspira a ser una de las mejores universidades en México, destacando en formación integral, investigación avanzada, innovación tecnológica, sustentabilidad y compromiso social. Será reconocida nacional e internacionalmente por su excelencia académica.

En el caso específico de su licenciatura en Biología impartida en su unidad Xochimilco, su misión es formar biólogos cuyas habilidades, competencias y conocimientos les permitan participar en el diagnóstico, gestión y planeación del uso, conservación y restauración de los recursos naturales. Tiene como visión ser reconocida como modelo a seguir, tanto a nivel nacional como internacional, en la enseñanza de la biología de los recursos naturales y su gestión.

Todo esto hace que su plan de estudios tenga el objetivo de formar profesionales creativos y críticos capaces de realizar actividades científicas para desarrollar y evaluar, con una perspectiva multidisciplinaria, estrategias de manejo de los recursos naturales bióticos con base en metodologías propias de las Ciencias Biológicas.

Es por eso que, a lo largo de mi formación como biólogo, pude comprender la importancia del conocimiento desde una visión multidisciplinaria. La biología, por sí sola, se divide en amplias y diversas áreas que individualmente no tienen la capacidad de responder los cuestionamientos y problemáticas acercándose a la realidad. La integración de otros campos de estudio lleva a una comprensión con una escala ampliada que permite determinar y gestionar la información de acuerdo a las problemáticas locales y las necesidades de la sociedad en el tiempo presente, con una visión holística del futuro sin perder de vista el pasado. Disciplinas como la física y la química, incluyendo sus variantes como la astrofísica, permiten entender los fundamentos de estudio más básicos de la biología: la vida. De igual forma, ampliar la perspectiva sobre un campo innovador como la astrobiología permite un ejercicio de humildad al entender que el conocimiento humano es limitado a los sentidos y la interpretación de la realidad; sin embargo, con cada avance en diversas disciplinas de las ciencias, las humanidades y la tecnología, nos acercamos más a la verdad, proporcionando a la sociedad la capacidad de tomar decisiones fundamentadas en el conocimiento acumulado.

Una parte crucial que la Universidad Autónoma Metropolitana siempre considera como parte fundamental del conocimiento es el beneficio que este proporciona a la sociedad. El campo de la astrobiología no es la excepción; este permite tener una visión más amplia sobre los temas generales que se estudian en un plan de estudios general, como el de la UAM Xochimilco en su licenciatura de Biología. Al mismo tiempo, la labor del laboratorio de Astrobiología resulta fundamental para acercar a la sociedad en general no solo a las disciplinas biológicas, sino a toda la gama de la ciencia en general. Este papel es indispensable mediante la divulgación científica, atrayendo a futuras generaciones a continuar con la investigación y, al mismo tiempo, acercando a la comunidad estudiantil a temas de interés global que tendrán amplia relevancia en un futuro cercano debido a la velocidad con la que están cambiando las realidades que habitamos, como el cambio

climático, la necesidad de recursos y el crecimiento demográfico. Estos desafíos obligan a las sociedades a no desistir en los campos de conocimiento emergentes, y es ahí donde la atracción del talento se vuelve fundamental.

Finalmente, la astrobiología busca responder las mismas preguntas que la biología general: el ciclo de vida de los organismos, los límites de la vida frente a los factores ambientales, la propagación de la vida, la ecología de los ecosistemas extremos, la evolución de la vida y, en última instancia, la influencia de la vida a escala universal, todo con una visión multidisciplinaria y sin dejar de lado a la sociedad, los beneficios que esta obtiene y la gestión y capacidad de decisión. Por ello, este servicio social ha logrado una integración perfecta de todos estos temas y objetivos del plan de estudios.

7. BIBLIOGRAFÍA:

Arakawa, K. (2020). Simultaneous metabarcoding of eukaryotes and prokaryotes to elucidate the community structures within tardigrade microhabitats. *Diversity*, 12(3), 110.

Arakawa, K. (2022). Examples of extreme survival: tardigrade genomics and molecular anhydrobiology. *Annual review of animal biosciences*, 10(1), 17-37.

Área de comunicación y difusión PCT-UAS (2023). Parque Científico Tecnológico, Universidad Autónoma de Sinaloa. Disponible en: <https://innovacion.uas.edu.mx/dia-de-la-divulgacion-cientifica-por-que-es-importante/>

ASBIO. (2023). Laboratorio de Astrobiología, Instituto de Astronomía, Ensenada, B. C., México. Universidad Nacional Autónoma de México. Disponible en: <https://sites.google.com/astro.unam.mx/asbio/inicio>

Baker E. T. y German C. R. (2004). On the global distribution of hydrothermal vent fields, in *Mid-Ocean Ridges: Hydrothermal Interactions between the Lithosphere and Oceans*, eds German C. R., Lin J., Parson L. M. Washington DC: American Geophysical Union; , p245–266

Beaulieu S. E., Szafranski K. M. (2020). InterRidge Global Database of active submarine hydrothermal vent fields. Version 3.4. PANGAEA.

Beltrán-Pardo E, Jönsson KI, Harms-Ringdahl M, Haghdoost S, Wojcik A 2015. Tolerance to gamma radiation in the Tardigrade *Hypsibius dujardini* from embryo to adult correlate inversely with cellular proliferation. *PLOS ONE* 10:e0133658

Biddle J. F., Cardman Z., Mendlovitz H., Albert D. B., Lloyd K. G., Boetius A., et al.. (2012). Anaerobic oxidation of methane at different temperature regimes in Guaymas Basin hydrothermal sediments. *ISME J.* 6, 1018–1031.

Brusca, R. C. (2010). Invertebrate biodiversity and conservation in the Gulf of California. *The Gulf of California Biodiversity and Conservation. Arizona-Sonora Desert Museum Studies in Natural History. The University of Arizona Press, Tucson*, 354. 4, p72–95.

Calmus, T., Búrquez, A., y Martínez, A. (2017). El golfo de California: Un océano joven, región megadiversa, vínculo entre tectonia y ecología. *Cienc. UANL*, 85, p59-64.

- Calvert, S. E. (1966). Origin of diatom-rich, varved sediments from the Gulf of California. *The Journal of Geology*, 74(5, Part 1), 546-565.
- Canet, C., y Prol-Ledesma, R. M. (2006). Procesos de mineralización en manantiales hidrotermales submarinos someros. Ejemplos en México. *Boletín de la sociedad geológica mexicana*, 58(1), 83-102.
- Chyba, C. F., y Hand, K. P. (2005). Astrobiology: the study of the living universe. *Annu. Rev. Astron. Astrophys.*, 43, 31-74.
- Clegg JS. 2001. Cryptobiosis a peculiar state of biological organization. *Comp. Biochem. Physiol. B* 128:613–24
- Copley, J. T., Marsh, L., Glover, A. G., Hühnerbach, V., Nye, V. E., Reid, W. D., Sweeting, C.J., Wigham, B.D. y Wiklund, H. (2016). Ecology and biogeography of megafauna and macrofauna at the first known deep-sea hydrothermal vents on the ultraslow-spreading Southwest Indian Ridge. *Scientific Reports*, 6(1), 39158.
- Crowe JH, Hoekstra FA, Crowe LM. 1992. Anhydrobiosis. *Annu. Rev. Physiol.* 54:579–99
- Cruz-Castillo, M. (2002). Catálogo de las fallas regionales activas en el norte de Baja California, México. *GEOS, Unión geofísica mexicana*, 22(1), 37-42.
- D'Elia, L. (2010). Caracterización estratigráfica y estructural de la evolución temprana (sin-rift y post-rift inicial) del margen sur de la Cuenca Neuquina entre Sañicó (Neuquén) y el río Limay (Río Negro) (Doctoral dissertation, Universidad Nacional de La Plata).
- Dalzell C. J., Ventura G. T., Walters C. C., Nelson R. K., Reddy C. M., Seewald J. S., et al. (2021). Hydrocarbon transformations in sediments from the Cathedral Hill hydrothermal vent complex at Guaymas Basin, Gulf of California – A chemometric study of shallow seep architecture. *Org. Geochem.*
- Degma, P., Bertolani, R., & Guidetti, R. (2019). Actual checklist of Tardigrada species.
- von Damm K. L., Edmond J. M., Measures C. I., Grant B. (1985). Chemistry of submarine hydrothermal solutions at Guaymas Basin, Gulf of California. *Geochim. Cosmochim. Acta* 49, 2221–2237.
- von Damm, K. L., Parker, C. M., Lilley, M. D., Clague, D. A., Zierenberg, R. A., Olson, E. J., & McClain, J. S. (2006). Chemistry of vent fluids and its implications for subsurface conditions at Sea Cliff hydrothermal field, Gorda Ridge. *Geochemistry, Geophysics, Geosystems*, 7(5).
- Ding, J., Zhang, Y., Wang, H., Jian, H., Leng, H. y Xiao, X. (2017). Microbial community structure of deep-sea hydrothermal vents on the ultraslow spreading Southwest Indian Ridge. *Frontiers in Microbiology*, 8, 229238.
- Dowell F., Cardman Z., Dasarathy S., Kellermann M. Y., McKay L. J., MacGregor B. J., et al.. (2016). Microbial communities in methane and short alkane-rich hydrothermal sediments of Guaymas Basin. *Front. Microbiol.* 7:17
- Edgcomb, V. P., Kysela, D. T., Teske, A., de Vera Gomez, A., & Sogin, M. L. (2002). Benthic eukaryotic diversity in the Guaymas Basin hydrothermal vent environment. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 99(11), 7658-7662.
- Edgcomb, V. P., Teske, A. P., & Mara, P. (2022). Microbial hydrocarbon degradation in Guaymas Basin—exploring the roles and potential interactions of fungi and sulfate-reducing bacteria. *Frontiers in microbiology*, 13, 831828.

Erdmann, W., y Kaczmarek, L. (2017). Tardigrades in space research-past and future. *Origins of Life and Evolution of Biospheres*, 47, 545-553.

García-Rodríguez, Y. y Nuñez, P.G. (2023). Análisis metodológico para cultivo in vitro de tardígrados (eutardigrada, Heterotardigrada) de Baja California. UABC

Gawthorpe, R. L., y Leeder, M. R. (2000). Tectono-sedimentary evolution of active extensional basins. *Basin Research*, 12(3-4), 195-218.

German, C. R., Petersen, S., & Hannington, M. D. (2016). Hydrothermal exploration of mid-ocean ridges: where might the largest sulfide deposits be forming?. *Chemical Geology*, 420, 114-126.

Giovannini, I., Boothby, T. C., Cesari, M., Goldstein, B., Guidetti, R., & Rebecchi, L. (2022). Production of reactive oxygen species and involvement of bioprotectants during anhydrobiosis in the tardigrade *Paramacrobiotus spatialis*. *Scientific Reports*, 12(1), 1938.

Goffredi, S. K., Johnson, S., Tunnicliffe, V., Caress, D., Clague, D., Escobar, E., ... & Vrijenhoek, R. (2017). Hydrothermal vent fields discovered in the southern Gulf of California clarify role of habitat in augmenting regional diversity. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences*, 284(1859), 20170817.

Gómez-Luna, L., Tormos-Cedeño, L., & Ortega-Díaz, Y. (2022). Cultivo y aplicaciones de *Chlorella vulgaris*: principales tendencias y potencialidades en la agricultura. *Tecnología Química*, 42(1), 70-93..

Griem, W. (2020). Fallas de geología estructural. *GEOLOG*.

Gross V, Treffkorn S, Reichelt J, Epple L, Lüter C, Mayer G. (2019). Miniaturization of tardigrades (water bears): morphological and genomic perspectives. *Arthropod Struct. Dev.* 48:12–19

Guidetti R, Altiero T, Rebecchi L 2011. On dormancy strategies in tardigrades. *J. Insect Physiol.* 57:567–76

Guil-López, N. (2020). Tardígrados, más allá de la vida. Sumario de la revista: *Naturalmente*

Gürbüz, A. (2010). Geometric characteristics of pull-apart basins. *Lithosphere*, 2(3), 199-206.

Hannington, M., Jamieson, J., Monecke, T., Petersen, S., & Beaulieu, S. (2011). The abundance of seafloor massive sulfide deposits. *Geology*, 39(12), 1155-1158.

Hengherr S, Worland MR, Reuner A, Brümmer F, Schill RO. 2009. High-temperature tolerance in anhydrobiotic tardigrades is limited by glass transition. *Physiol. Biochem. Zool.* 82:749–55

Hesgrove, C., & Boothby, T. C. (2020). The biology of tardigrade disordered proteins in extreme stress tolerance. *Cell communication and signaling : CCS*, 18(1), 178. <https://doi.org/10.1186/s12964-020-00670-2>

Hibshman JD, Clegg JS, Goldstein B. 2020. Mechanisms of desiccation tolerance: themes and variations in brine shrimp, roundworms, and tardigrades. *Front. Physiol.* 11:592016

Horikawa DD, Kunieda T, Abe W, Watanabe M, Nakahara Y et al. 2008. Establishment of a rearing system of the extremotolerant tardigrade *Ramazzottius varieornatus*: a new animal model for astrobiology. *Astrobiology* 8:549–56

Horikawa DD, Yamaguchi A, Sakashita T, Tanaka D, Hamada N et al. 2012. Tolerance of anhydrobiotic eggs of the Tardigrade *Ramazzottius varieornatus* to extreme environments. *Astrobiology* 12:283–89

Hou, J., Sievert, S. M., Wang, Y., Seewald, J. S., Natarajan, V. P., Wang, F. y Xiao, X. (2020). Microbial succession during the transition from active to inactive stages of deep-sea hydrothermal vent sulfide chimneys. *Microbiome*, 8, p1-18.

IAUNAM-E. (2023). Instituto de Astronomía, Ensenada. Universidad Nacional Autónoma de México. Disponible en: <http://www.astrosen.unam.mx/>

Iñiguez, I. M. (2022). Geometría y estructura de sistemas hidrotermales sub-superficiales en la cuenca Pescadero Sur, Golfo de California, a partir de batimetría de alta resolución y perfiles acústicos someros (Tesis de Maestría). CICESE.

Jönsson KI, Rabbow E, Schill RO, Harms-Ringdahl M, Rettberg P. 2008. Tardigrades survive exposure to space in low Earth orbit. *Curr. Biol.* 18:R729–31

Jørgensen, A., & Møbjerg, N. (2015). Notes on the cryptobiotic capability of the marine arthrotardigrades *Styraconyx haploceros* (Halechiniscidae) and *Batillipes pennaki* (Batillipedidae) from the tidal zone in Roscoff, France. *Marine Biology Research*, 11(2), 214-217.

Julià-Miralles, M., Yarbuh, I., Spelz, R. M., Negrete-Aranda, R., Contreras, J., Fletcher, J. M., ... & Cares, D. W. (2024). Strain localization instabilities and the genesis of multiple axes of seafloor spreading in the Carmen basin, southern Gulf of California. *International Journal of Earth Sciences*, 1-19.

Kasianchuk, N., Rzymiski, P., & Kaczmarek, Ł. (2023). The biomedical potential of tardigrade proteins: A review. *Biomedicine & Pharmacotherapy*, 158, 114063.

Kihm, J. H., Kim, S., McInnes, S. J., Zawierucha, K., Rho, H. S., Kang, P., & Park, T. Y. S. (2020). Integrative description of a new *Dactylobiotus* (Eutardigrada: Parachela) from Antarctica that reveals an intraspecific variation in tardigrade egg morphology. *Scientific reports*, 10(1), 9122.

Laso-Pérez R., Wegener G., Knittel K., Widdel F., Harding K. J., Krukenberg V., et al.. (2016). Thermophilic archaea activate butane via alkyl-coenzyme M formation. *Nature* 539, 396–401

Legg, M. R., Wong, V., & Suarez, F. (1991). Geologic Structure and Tectonics of the Inner Continental Borderland of Northern Baja California: Chapter 9: Part III. *Regional Geophysics and Geology*.

Lonsdale P., Becker K. (1985). Hydrothermal plumes, hot springs, and conductive heat flow in the southern trough of guaymas basin. *Earth Planet. Sci. Lett.* 73, 211–225.

Martin C, Gross V, Hering L, Tepper B, Jahn H et al. (2017). The nervous and visual systems of onychophorans and tardigrades: learning about arthropod evolution from their closest relatives. *J. Comp. Physiol. A* 203:565–90

Matabos, M., Plouviez, S., Hourdez, S., Desbruyeres, D., Legendre, P., Warén, A., ... & Thiébaud, E. (2011). Faunal changes and geographic crypticism indicate the occurrence of a biogeographic transition zone along the southern East Pacific Rise. *Journal of Biogeography*, 38(3), 575-594.

McKay L., Klokman V., Mendlovitz H., LaRowe D., Zabel M., Hoer D., et al.. (2016). Thermal and geochemical influences on microbial biogeography in the hydrothermal sediments of Guaymas Basin, Gulf of California. *Environ. Microbiol. Rep.* 8, 150–161.

Moon-van der Staay, S. Y., De Wachter, R., & Vault, D. (2001). Oceanic 18S rDNA sequences from picoplankton reveal unsuspected eukaryotic diversity. *Nature*, 409(6820), 607-610

- Morley, C. K. (1999). AAPG Studies in Geology# 44, Chapter 8: Basin Evolution Trends in East Africa. 1. 131-150
- Mullineaux, L. S., Adams, D. K., Mills, S. W., & Beaulieu, S. E. (2010). Larvae from afar colonize deep-sea hydrothermal vents after a catastrophic eruption. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 107(17), 7829-7834.
- NASA. (2022). Career Path Suggestions: Astrobiology. National Aeronautics and Space Administration. Disponible en: <https://astrobiology.nasa.gov/career-path-suggestions/>
- Neuman Y. 2006. Cryptobiosis: a new theoretical perspective. *Prog. Biophys. Mol. Biol.* 92:258–67
- Núñez, P. G., León-Espinosa, G. A., Vázquez, R., Peña-Salinas, M. E., Rodríguez-Almaraz, G. A., y Moreno-Talamantes, A. (2021). First tardigrade records from San Pedro Mártir, Baja California, México. *Check List*, 17(4), 1131-1136.
- Olins, H. C., Rogers, D. R., Frank, K. L., Vidoudez, C. y Girguis, P. R. (2013). Assessing the influence of physical, geochemical and biological factors on anaerobic microbial primary productivity within hydrothermal vent chimneys. *Geobiology*, 11(3), p279-293.
- Ono F, Mori Y, Takarabe K, Fujii A, Saigusa M et al. 2016. Effect of ultra-high pressure on small animals, tardigrades, and Artemia. . *Cogent Phys.* 3:1167575
- Osante, P., Covarrubias, J. E., Manríquez, J., Vidargas, J. D. y Leyva N. (2020). *Caminos y vertientes del septentrión mexicano: homenaje a Ignacio del Río*. Universidad Nacional Autónoma de México, Instituto de Investigaciones Históricas. p121-132.
- Peña-Salinas, M. E. (2017). Evaluación del método de reducción del cloruro de yodo nitrotetrazolio (INT) a formazán para estimar la respiración de bacterias en comunidades marinas. Tesis de Maestría en Ciencias en Ecología Marina. CICESE.
- Pérez-Pech, W. A., Anguas-Escalante, A., de Jesús-Navarrete, A., & Hansen, J. G. (2018). Primer registro genérico de tardígrados marinos en costas de Quintana Roo, México. *Academia Journal*, 4(10), 1909-1912.
- Price R. E., y Giovanelli D. (2017). "A review on the geochemistry and microbiology of marine shallow-water hydrothermal vents" in Reference Module in Earth Systems and Environmental Sciences.
- Ramírez, S. I., y Terrazas, H. (2006). Astrobiología, una nueva disciplina científica. *Inventio, la génesis de la cultura universitaria en Morelos*, 2(3), 45-54.
- Robles, T. (2015) Astrobiología en México. *Revista: Astronomía*.
- Rodríguez-Villalobos, M.M. (2019). Flujo de calor en chimeneas hidrotermales en la Cuenca Pescadero. *Comunicamos Ciencia, Boletín. CICESE*.
- Rosquillas-Navarro, A.H., Aragón-Caballero, A., Martínez-López, E. y Alfaro-Figueroa, A. (2016). Fenómenos Hidrometeorológicos. Guía sobre riesgos para el Estado de Baja California. Coordinación Estatal de Protección Civil, Baja California.
- Rutherford A. F. (2014). Abundance and Distribution of Major and Understudied Archaeal Lineages at Globally Distributed Deep-sea Hydrothermal Vents. dissertation, thesis, Portland State University, Portland: OR.
- Santos-Magister, V. E. (2010). Difusión y divulgación de la investigación científica. IDEASIA

- Schill R.O. (2018). *Water Bears: The Biology of Tardigrades* Cham, Switz: Springer.
- Schlische, R. W., & Anders, M. H. (1996). Stratigraphic effects and tectonic implications of the growth of normal faults and extensional basins. *Special Papers-Geological Society Of America*, 183-203.
- Schmidt Ocean Institute(2024). Interdisciplinary Investigation of the Pescadero Basin. Disponible en: <https://schmidtocean.org/cruise/interdisciplinary-investigation-of-the-pescadero-basin/#>
- Schmidt-Rhaesa A, Bartolomaeus T, Lemburg C, Ehlers U, Garey JR. (1998). The position of the Arthropoda in the phylogenetic system. *J. Morphol.* 238:263–8
- Shin B., Kim M., Zengler K., Chin K. J., Overholt W. A., Gieg L. M., et al. (2019). Anaerobic degradation of hexadecane and phenanthrene coupled to sulfate reduction by enriched consortia from northern Gulf of Mexico seafloor sediment.
- Sievert S. M. y Vetriani C. (2012). Chemoautotrophy at deep-sea vents: past, present, and future. *Oceanography* 25, 218–233.
- Sievert, S. M. y Vetriani, C. (2012). Chemoautotrophy at deep-sea vents: past, present, and future. *Oceanography*, 25(1), p218-233.
- Simoneit, B. R. T., Goodfellow, W. D., & Franklin, J. M. (1992). Hydrothermal petroleum at the seafloor and organic matter alteration in sediments of Middle Valley, Northern Juan de Fuca Ridge. *Applied geochemistry*, 7(3), 257-264.
- Simoneit, B. R., Lonsdale, P. F., Edmond, J. M., & Shanks III, W. C. (1990). Deep-water hydrocarbon seeps in Guaymas Basin, Gulf of California. *Applied Geochemistry*, 5(1-2), 41-49.
- Sogin, M. L., Gunderson, J. H., Elwood, H. J., Alonso, R. A., & Peattie, D. A. (1989). Phylogenetic meaning of the kingdom concept: an unusual ribosomal RNA from *Giardia lamblia*. *Science*, 243(4887), 75-77
- SOMA AC. (2023). ¿Cómo ser astrobiólogo? Sociedad Mexicana de Astrobiología, A. C. Disponible en: <https://sites.google.com/view/soma-a-c/astrobiolog%C3%ADa/quiero-ser-astrobi%C3%B3log>
- Teske A., de Beer D., McKay L., Tivey M. K., Biddle J. F., Hoer D., et al.. (2016). The Guaymas Basin hiking guide to hydrothermal mounds, chimneys and microbial mats: complex seafloor expressions of subsurface hydrothermal circulation. *Front. Microbiol.* 7:75.
- Teske A., Hinrichs K. -U., Edgcomb V., de Vera Gomez A., Kysela D., Sylva S. P., et al.. (2002). Microbial diversity in hydrothermal sediments in the Guaymas Basin: evidence for anaerobic methanotrophic communities. *Appl. Environ. Microbiol.* 68, 1994–2007.
- Teske, A., Lizarralde, D., Höfig, T.W., Aiello, I.W., Ash, J.L., Bojanova, D.P., Buatier, M.D., Edgcomb, V.P., Galerne, C.Y., Gontharet, S., Heuer, V.B., Jiang, S., Kars, M.A.C., Khogenkumar Singh, S., Kim, J.-H., Koornneef, L.M.T., Marsaglia, K.M., Meyer, N.R., Morono, Y., Negrete-Aranda, R., Neumann, F., Pastor, L.C., Peña-Salinas, M.E., Pérez Cruz, L.L., Ran, L., Riboulleau, A., Sarao, J.A., Schubert, F., Stock, J.M., Toffin, L.M.A.A., Xie, W., Yamanaka, T., and Zhuang, G. (2021). *Proceedings of the International Ocean Discovery Program Volume 385*. World Wide Web, 2377, 3189.
- Teske, A., Wegener, G., Chanton, J. P., White, D., MacGregor, B., Hoer, D. Beer, D., Zhuang, G., Saxton, M., Joye, S., Lizarralde, D., Soule, A., y Ruff, S. E. (2021). Microbial communities under distinct thermal and geochemical regimes in axial and off-axis sediments of Guaymas Basin. *Frontiers in microbiology*, 12, 633649.

- Thomson, R. E., Mihály, S. F., Rabinovich, A. B., McDuff, R. E., Veirs, S. R., & Stahr, F. R. (2003). Constrained circulation at Endeavour ridge facilitates colonization by vent larvae. *Nature*, 424(6948), 545-549.
- Tsujimoto M, Imura S, Kanda H. 2016. Recovery and reproduction of an Antarctic tardigrade retrieved from a moss sample frozen for over 30 years. *Cryobiology* 72:78–81
- Tsurumi, M., & Tunnicliffe, V. (2003). Tubeworm-associated communities at hydrothermal vents on the Juan de Fuca Ridge, northeast Pacific. *Deep Sea Research Part I: Oceanographic Research Papers*, 50(5), 611-629.
- Valdéz, I. (2017). Análisis mediante modelos analógicos del sistema de cuencas pull-apart en la parte sur del golfo de California (Tesis de Maestría). Universidad Nacional Autónoma de México.
- Valencia Meza, A., y Ortiz Alegría, A. (2022). El desarrollo de la Astrobiología como ciencia: Astrobiología. *EPISTEMUS*, 16(33).
- Vázquez-Meza, R. y Núñez-Pérez, P.G. (2017). Astrobiología, Manual de Prácticas. Laboratorio de Astrobiología. Instituto de Astronomía, UNAM. Campus Ensenada.
- Wang Y., Feng X., Natarajan V. P., Xiao X., y Wang F. (2019). Diverse anaerobic methane-and multi-carbon alkane-metabolizing archaea coexist and show activity in Guaymas Basin hydrothermal sediment. *Environ. Microbiol.* 21, 1344–1355.
- Watanabe M. 2006. Anhydrobiosis in invertebrates. *Appl. Entomol. Zool.* 41:15–31
- Wegener G., Krukenberg V., Riedel D., Tegetmeyer H. E., Boetius A. (2015). Intracellular wiring enables electron transfer between methanotrophic archaea and bacteria. *Nature* 526, 587–590.
- Welhan, J. A. (1988). Origins of methane in hydrothermal systems. *Chemical Geology*, 71(1-3), 183-198.
- Zhang, D., Zhou, Y., Yen, N., Hiley, A. S., & Rouse, G. W. (2023). Ophryotrocha (Dorvilleidae, Polychaeta, Annelida) from deep-sea hydrothermal vents, with the description of five new species. *European journal of taxonomy*, 864, 167-194.
- Zhang, Y., Huang, N. y Jing, H. (2022). Biogeography and Population Divergence of Microeukaryotes Associated with Fluids and Chimneys in the Hydrothermal Vents of the Southwest Indian Ocean. *Microbiology Spectrum*, 10(5), e02632-21.
- Zhou, Y., Zhang, D., Zhang, R., Liu, Z., Tao, C., Lu, B., Sun, D., Xu, P., Lin, R., Wang, J. y Wang, C. (2018). Characterization of vent fauna at three hydrothermal vent fields on the Southwest Indian Ridge: implications for biogeography and interannual dynamics on ultraslow-spreading ridges. *Deep Sea Research Part I: Oceanographic Research Papers*, 137, 1-12.

8. ANEXOS

BITÁCORA DE PROCESAMIENTO DE LOS RESIDUOS DEL SEDIMENTO MARINO DE LA EXP RR2107 CUENCA DE GUAYMAS								
Fecha y hora								
#	Datos de la muestra	Rango de muestras	Fecha procesamiento	Descongelación	Procesamiento ASBIO	#Falcon/residuo	Peso (g)	Observaciones
1	2107_J2-1903_RN01-01	0-1 cm	21/11/22	15/9/2024 11:30 am	15/9/2024 12:00 pm	1		2 conchas
2	2107_J2-1903_RN01-01	1-2 cm	21/11/22	15/9/2024 11:30 am	15/9/2024 12:00 pm	1		
3	2107_J2-1903_RN01-01	2-3 cm	21/11/22	15/9/2024 11:30 am	15/9/2024 12:00 pm	1		
4	2107_J2-1903_RN01-01	3-4 cm	21/11/22	15/9/2024 11:30 am	15/9/2024 12:00 pm	1		Concha
5	2107_J2-1903_RN01-01	4-5 cm	21/11/22	15/9/2024 11:30 am	15/9/2024 12:00 pm	1		
6	2107_J2-1903_RN01-01	5-6 cm	21/11/22	15/9/2024 11:30 am	15/9/2024 12:00 pm	1		
7	2107_J2-1903_RN01-01	6-7 cm	21/11/22	15/9/2024 11:30 am	15/9/2024 12:00 pm	1		
8	2107_J2-1903_RN01-01	7-8 cm	21/11/22	15/9/2024 11:30 am	15/9/2024 12:00 pm	1		Conchas
9	2107_J2-1903_RN01-01	8-9 cm	21/11/22	15/9/2024 11:30 am	15/9/2024 12:00 pm	1		Concha
10	2107_J2-1903_RN01-01	9-10 cm	21/11/22	15/9/2024 11:30 am	15/9/2024 12:00 pm	1		
11	2107_J2-1903_RN01-01	10-11 cm	21/11/22	15/9/2024 11:30 am	15/9/2024 12:00 pm	1		
12	2107_J2-1903_RN01-01	11-12 cm	21/11/22	15/9/2024 11:30 am	15/9/2024 12:00 pm	1		
13	2107_J2-1903_RN01-01	12-13 cm	21/11/22	15/9/2024 11:30 am	15/9/2024 12:00 pm	1		
14	2107_J2-1903_RN01-01	13-14 cm	21/11/22	15/9/2024 11:30 am	15/9/2024 12:00 pm	1		
15	2107_J2-1903_RN01-01	14-15 cm	21/11/22	15/9/2024 11:30 am	15/9/2024 12:00 pm	1		Bolsa original dañada
16	2107_J2-1903_RN01-01	15-16 cm	21/11/22	15/9/2024 11:30 am	15/9/2024 12:00 pm	1		
17	2107_J2-1903_RN01-01	16-17 cm	21/11/22	15/9/2024 11:30 am	15/9/2024 12:00 pm	1		sin ACABO
18								
19								
20								
21								
22								
23								
24								
25								
26								
27								
28								
29								
30								
31								
32								
33								
34								
35								
36								
37								
38								
39								
40								
41								
42								
43								
44								
45								
46								

Elaborado por Hernández-Rodríguez Lorei y Nieto-Durán Carlos Eduardo, Marzo 2024.

BITÁCORA DE PROCESAMIENTO DE LOS NÚCLEOS DEL SEDIMENTO MARINO DE LA EXP. 385 CUENCA DE GUAYMAS							
Fecha y hora							
#	Datos de muestra	Descongelación	Procesamiento	#muestras/núcleo	Datos del residuo	Observaciones	
1	385U 1552B 3H 4 100/105 7317210DP	28/9/2023	13:30:00	28/9/2023	14:00:00	3 Falcon	Se cambiaron recipiente original dañado
2	385U 1552B 5H 4 51/10 7317210DP	28/9/2023	13:30:00	28/9/2023	14:00:00	3 Falcon	Recipiente original
3	385U 1547B 3H 3 132/137 7317210DP	2/10/2023	14:50:00	3/10/2023	11:00:00	2 Falcon	Recipiente original
4	385U 1547B 20F 2 10/16 7317210DP	2/10/2023	14:50:00	3/10/2023	11:00:00	3 Falcon	Recipiente original
5	385U 1551B 3H 1 137/147 7317210DP	2/10/2023	14:50:00	3/10/2023	11:30:30	3 Falcon	Recipiente original
6	385U 1551B 2H 1 140/150 7317210DP	2/10/2023	14:50:00	3/10/2023	12:30:00	3 Falcon	Recipiente original dañado
7	385U 1549B 2H 4 70/75 731210DP	3/10/2023	13:00:00	4/10/2023	11:45:00	3 Falcon	Recipiente original
8	385U 1549B 43F 3 116/123	3/10/2023	13:00:00	4/10/2023	11:45:00	3 Falcon	Recipiente original
9	385U 1549B 12H 3 145/151	3/10/2023	13:00:00	4/10/2023	12:20:00	3 Falcon	Recipiente original
10	385U 1549B 16H 4 138/143	3/10/2023	13:00:00	4/10/2023	12:20:00	3 Falcon	Recipiente original
11	285U 1549B 25F 2 30/35	4/10/2023	14:00:00	6/10/2023	12:40:00	3 Falcon	Recipiente original
12	385U 1549B 54F2 0/5	4/10/2023	14:00:00	6/10/2023	12:40:00	3 Falcon	Original dañado
13	385U 1549B 58F3 120/125	4/10/2023	12:00:00	6/10/2023	14:00:00	3 Falcon	Recipiente original
14	385U 1549B 15H5 30/35	4/10/2023	12:00:00	6/10/2023	14:00:00	3 Falcon	Recipiente original
15	385U 1552B 1H3 90/95	9/10/2023	13:00:00	11/10/2023	14:00:00	2 Falcon	Recipiente original
16	385U 1552B 2H3 97/102	9/10/2023	13:00:00	11/10/2023	14:00:00	2 Falcon	Recipiente original
17	385U 1551B 1H4 121/126	9/10/2023	13:00:00	11/10/2023	14:00:00	2 Falcon	Bolsa Ziploc
18	385U 1551B 5H2 0/10	9/10/2023	13:00:00	11/10/2023	14:00:00	3 Falcon	Recipiente original
19	385U 1550B 20X2 86/91	11/10/2023	13:00:00	12/10/2023	13:00:00	3 Falcon	Recipiente original
20	385U 1550B 6H3 148/151	11/10/2023	13:00:00	12/10/2023	13:00:00	3 Falcon	Recipiente original
21	385U 1548B 7H4 30/35	11/10/2023	14:00:00	12/10/2023	15:00:00	3 Falcon	Recipiente dañado
22	385U 1548B 3H4 60/65	11/10/2023	14:00:00	12/10/2023	15:00:00	3 Falcon	Recipiente original
23	385U 1548B 12H3 137/142	12/10/2023	14:00:00	13/10/2023	15:00:00	3 Falcon	Recipiente original
24	385U 1548B 7H2 122/127	12/10/2023	14:00:00	13/10/2023	16:00:00	3 Falcon	Recipiente original
25	385U 1551B 4H2 0/10	12/10/2023	14:00:00	13/10/2023	17:00:00	6 Falcon	4 Falcon
26	385U 1552B 6H3 97/102	16/10/2023	14:00:00	17/10/2023	13:00:00	3 Falcon	Recipiente original
27	385U 1549B 9H4 140/145	16/10/2023	14:00:00	17/10/2023	13:00:00	3 Falcon	2 Falcon
28	385U 1549B 37F2 70/84	17/10/2023	14:00:00	18/10/2023	13:00:00	3 Falcon	Recipiente original
29	385U 1549B 34F3 90/95	17/10/2023	14:00:00	18/10/2023	13:00:00	3 Falcon	Recipiente original
30	385U 1545A 62X2 30/35	18/10/2023	14:00:00	19/10/2023	14:00:00	3 Falcon	Original roto
31	385U 1547B 16F2 25/30	18/10/2023	14:00:00	19/10/2023	14:00:00	3 Falcon	Recipiente original
32							
33							
34							
35							
36							
37							
38							
39							
40							
41							

Elaborado por Nieto-Durán Carlos Eduardo y Ruiz-Molina Ruben Alberto, Septiembre 2023.
Actualizado el 08 de marzo por Lorei y Carlos, 2024

Bitácoras de procesamiento de los núcleos de Cuenca Guaymas y Pescadero.

Constancias de eventos.



XII CONGRESO NACIONAL DE
ASTROBIOLOGÍA
11-13 de septiembre de 2023

La Sociedad Mexicana de Astrobiología, A.C.
otorga la presente

CONSTANCIA

a: **Carlos Eduardo Nieto Durán**

por haber asistido a los **trabajos del XII Congreso Nacional de Astrobiología**,
realizado del **11 al 13 de septiembre** en la ciudad de Ensenada, Baja California, México


Dra. Patricia G. Núñez Pérez
Presidenta de SOMA


Dr. Roberto Vázquez Meza
Presidente del comité organizador

Ensenada, B.C., México a 13 de septiembre de 2023





El Instituto de Astronomía de la UNAM
otorga la presente constancia a:

Carlos Eduardo Nieto Durán

Por su valiosa participación en
La Noche de las Estrellas 2023

25 de noviembre de 2023
Caracol Museo de Ciencias, Ensenada, B.C.


Dr. J. Jesús González González
Director



La Sociedad Mexicana de Astrobiología, A.C.

otorga el presente

RECONOCIMIENTO

a

Carlos Eduardo Nieto Durán

por haber colaborado como VOLUNTARIO en la organización y desarrollo del **XII Congreso Nacional de Astrobiología**, realizado del 11 al 13 de septiembre de 2023 en la ciudad de Ensenada, B. C.

Dra. Patricia G. Núñez Pérez
Presidenta de SOMA

Dr. Roberto Vázquez Meza
Presidente del Comité Organizador

Ensenada, B. C., México a 13 de septiembre de 2023



Artículo publicado en la Gaceta UNAM, Ensenada.

LA LOTERÍA DE LA VIDA

Autores: Nieto-Durán Carlos Eduardo^{1,2}, Peña-Salinas Manet Estefania^{2,3} y Vázquez-Meza Roberto³.

1. Departamento El Hombre y su Ambiente, UAM Xochimilco, CDMX.
2. Laboratorio de Astrobiología, Instituto de Astronomía, UNAM. Ensenada, BC.
3. Facultad de Ciencias Marinas, UABC. Ensenada, B.C.

¿Qué tan probable es que se forme la vida? Esta pregunta ha sido realizada incontables veces en la historia, pero no fue hasta años recientes que diversos grupos de investigadores empezaron a descubrir las piezas más pequeñas y fundamentales para el origen de la vida, las biomoléculas. Como tal, las biomoléculas no se definen como seres vivos determina la teoría celular, ya que la unidad mínima de la vida, justo sería la célula. Aunque al recordar las partes estructurales de esta entidad, se entiende que es una combinación de numerosas piezas desempeñando roles específicos e incluso independientes que en conjunto dan paso a un ser vivo.

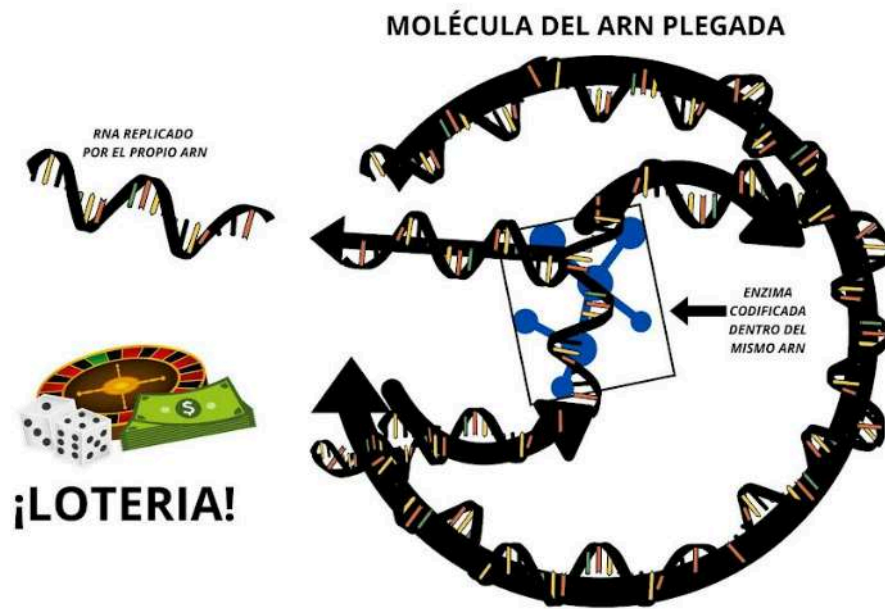
Una de las teorías para el origen de la vida es el surgimiento de estructuras simples precursoras de las células llamadas coacervados. Estos son glóbulos formados por una membrana constituida principalmente por lípidos que a su vez le confiere la capacidad de almacenar sustancias químicas en su interior. Estas estructuras tienen la capacidad de “utilizar” los elementos presentes en el ambiente para así dar paso a estructuras más complejas.

Los experimentos de Urey y Miller en 1953, demostraron que al mezclar los ingredientes necesarios y diversas fuentes de energía la síntesis de los principales componentes de las proteínas, los aminoácidos, es posible; lo que sería un precursor de las primeras enzimas simples o los primeros vestigios de la biomolécula del ARN.

Una serie de experimentos en los años noventa demostró que la molécula de ARN tiene la capacidad de funcionar como enzima copiándose así misma, esto debido a que se observó en virus presentes en bacterias como la enzima de replicación se encuentra codificada dentro del mismo ARN (imagen 1), es decir, dentro de las instrucciones que el ARN tiene para llevar a cabo diversos procesos, una sección de la secuencia es la misma que configura una copia del mismo material genético del que se compone el ARN. Es por esto que el papel de los coacervados pudo haber sido el de la captura de estos ingredientes vitales como las primeras biomoléculas que contendrían los genes necesarios para interaccionar dentro de la membrana. Al juntarse todo dentro de un medio aislado, como lo es el interior del coacervado, las interacciones de las biomoléculas pudieron dar paso a los primeros prototipos de lo que ahora se conoce como célula ya que al tener muchas combinaciones aleatorias de biomoléculas es probable que en un punto del tiempo existieran coacervados capaces de llevar a cabo la replicación o copia del material genético por medio de aminoácidos, proto-enzimas, e incluso las primeras formas de ARN y así iniciar una reproducción de los primeros seres vivos como se observa en la imagen 2.

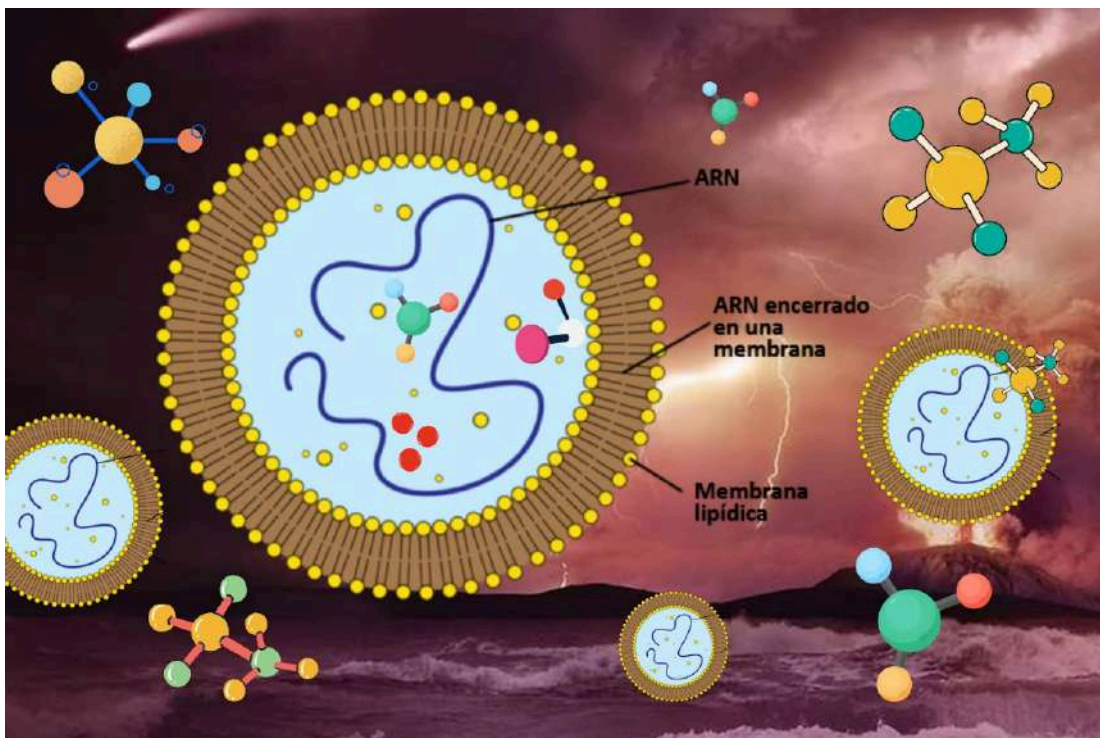
Las probabilidades de que estos ingredientes queden atrapados dentro de estas membranas formadas por lípidos seguramente sea baja; así como puede ser jugar a la lotería, pero si se hacen los cálculos, al escoger el mismo número y jugando todos los días, las probabilidades de ganar la lotería en un lapso de 1000 años es del 97%, de hecho se podría considerar muy mala suerte el no haber ganado la lotería al menos una vez en ese lapso de tiempo. Por lo que, ahora, al conocer cómo los coacervados tienen una capacidad de formación relativamente fácil en periodos de tiempo cortos (como lo demostraron Miller y Urey con la formación de aminoácidos), los mismos coacervados pueden formarse rápidamente de igual forma en una amplia variedad de condiciones. Todos estos factores demostrarían que si jugaras a la lotería con los ingredientes y las condiciones adecuadas, durante centenas de millones de años, sería muy probable el ganar la lotería de la vida algunas miles de veces.

IMAGEN 1



Molécula de ARN copiándose a sí misma generando material genético. Adaptado de Andrade, 2011.

IMAGEN 2



Coacervados, primeros prototipos de células en la sopa primigenia. Adaptado de Villafañe, 2022.

$$1 - \left(\frac{(\text{cantidad total de números}) - 1}{\text{cantidad total de números}} \right)^{(\text{cantidad total de días})} = \text{probabilidad a tu favor}$$

Fórmula para estimar la probabilidad

$$1 - (100000 - 1 / 100000)^{365 \cdot 1000} = x$$

$$1 - (99999 / 100000)^{365000} = x$$

$$1 - .99999^{365000} = 0.9740 = 97\%$$

Bibliografía del artículo:

Andrade, E. (2011). La dualidad análogo digital de la información se ejemplifica en el estudio de las moléculas de RNA. Acta Biológica Colombiana, 16(3), 15-42.

Bacchini, R., Vázquez, L. V., Bianco, M. J., y García Fronti, J. (2018). Introducción a la Probabilidad ya la Estadística. Cengage Learning.

Villafañe, s., Vázquez, A. y Colín, M. (2022). El futuro de la Química Prebiótica. Los desafíos de explicar el origen de la vida. UNAM.