

MicroUAM

CONOCIENDO LA VIDA DESPUÉS DE LA MUERTE A NIVEL
MICROSCÓPICO

¿Vida después de la muerte?

Pequeños habitantes después
de la muerte.

El olor de la muerte, momias y bacterias vampiro

Como en una película de terror.
Conoce qué hay detrás de estos
temas.

¿Qué hay de nuevo, viejo?

Una gigante entre las bacterias.

Tendencia UAM-C

Grupos de investigación y
profesores. Conoce sus
interesantes trabajos.



OCTUBRE - NOVIEMBRE
VOL. II

ÍNDICE

3 LA MUERTE Y LOS MICROORGANISMOS

Presentación de edición especial MicroUAM

4 NOTA DEL EDITOR

Día de muertos.

5 ¿VIDA DESPUÉS DE LA MUERTE?

El tananomicrobioma y su importancia.

6 EL OLOR DE LA MUERTE

¿Sabías que en tu cuerpo habitan billones de microorganismos? Descubre que sucede con ellos al morir.

9 HONGOS Y BACTERIAS MEJORAN LA FLOR DE CEMPASÚCHIL

Los hongos y las bacterias que ayudaron a mejorar el cempasúchil

10 ¡MICROORGANISMOS DE TERROR!

De la ciencia ficción a la realidad.

11 ¿ZOMBIES? CONTROL MENTAL MICROBIANO

Algo muy parecido a los zombies de Hollywood

13 ¿QUÉ HAY DETRÁS DE LA CONSERVACIÓN DE LAS MOMIAS?

¿Te has preguntado a qué se debe la conservación de las momias?

14 ¿QUÉ HAY DE NUEVO, VIEJO?

Thiomargarita magnifica, la bacteria más larga descubierta hasta el momento

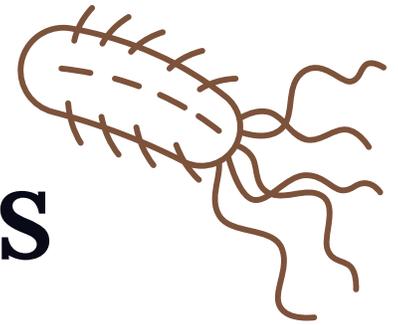
15 TENDENCIA UAM

Grupos de investigación y profesores. Conoce sus interesantes trabajos.





LA MUERTE Y LOS MICROORGANISMOS



La primer aproximación que tenemos de *la* vida después de la muerte es la aparición de microorganismos que habitan en un cadáver. Miles o millones de ellos ya habitaban partes de nuestro cuerpo como los intestinos, la piel, mucosas, entre otras. Sin embargo, su propagación estaba controlada por la temperatura corporal y la respiración. Una vez que el cuerpo se enfría al morir, las bacterias comenzarán la descomposición de adentro hacia afuera y, por el contrario, las bacterias y hongos que se encuentran en la piel y el suelo empezarán a descomponer un cadáver de afuera hacia dentro.

En esta segunda edición de la revista MicroUAM resaltamos la importancia de los microorganismos en la muerte. Te invitaremos a explorar su lado más terrorífico; la importancia que juegan en la conservación de un cadáver (momias) y podrás conocer a la bacteria más grande descrita hasta ahora.

¿Ya te impresionamos, no es así? Pues adéntrate en los siguientes artículos que hemos encontrado navegando en las profundidades más escalofrantes de diferentes bases de datos científicas. Todo esto con la finalidad de conmemorar el día de muertos en México.



Día de muertos

"El día de muertos es una tradición mexicana celebrada los días 1 y 2 de noviembre. Es una celebración a la memoria y ritual que privilegia el recuerdo sobre el olvido. La muerte no representa una ausencia sino a una presencia viva; la muerte es un símbolo de la vida que se materializa en el altar ofrecido.

En este sentido se trata de una celebración que conlleva una gran trascendencia popular ya que comprende diversos significados, desde filosóficos hasta materiales".

1 y 2 de noviembre





¿Vida después de la muerte?

CONOCE A ALGUNOS DE
LOS MICROORGANISMOS
QUE FORMAN PARTE DEL
TANATOMICROBIOMA

El surgimiento de un enorme y complejo ecosistema, se genera a partir de la muerte. Cambios físicos y bioquímicos componen este proceso y brindan información importante sobre el tiempo transcurrido desde la muerte, la ubicación y la forma de la muerte. Para entenderlo primero se debe comprender la coexistencia de los humanos con los microorganismos [1].

El tanatOMICROBIOMA humano es un término derivado de *thanatos* que en griego significa "muerte", y es el estudio de los microorganismos que se encuentran en los órganos internos y las cavidades al morir [2].

Las bacterias y hongos son los principales microorganismos encontrados en el tanatOMICROBIOMA, sin embargo, las bacterias destacan por su papel en la descomposición de los cadáveres. El tipo de bacterias que podremos encontrar dependerá de muchos factores como nuestra dieta, el tipo de suelo y el tiempo que haya transcurrido desde la muerte del individuo. Así que como puedes ver, ¡definitivamente existe vida después de la muerte, pero de otra forma!



EL OLOR DE LA MUERTE

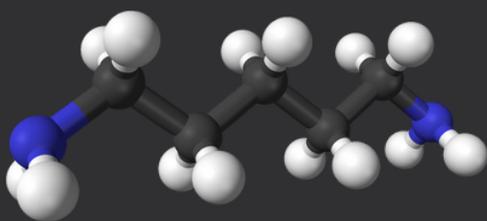
¿SABÍAS QUE
EN TU
CUERPO
HABITAN
BILLONES DE
MICROORGA-
NISMOS?

Cuando el ser humano muere, las células del cuerpo entran en un estado de hipoxia debido a la pérdida de la circulación sanguínea ya que el corazón deja de funcionar, en este proceso las células comienzan a tener episodios de muerte que terminan en la liberación de componentes celulares ricos en nutrientes como carbohidratos, lípidos, aminoácidos o proteínas y minerales que sirven de sustrato para las bacterias del microbioma nativo y se comienzan a multiplicar dirigiéndose a todos los órganos del cuerpo.

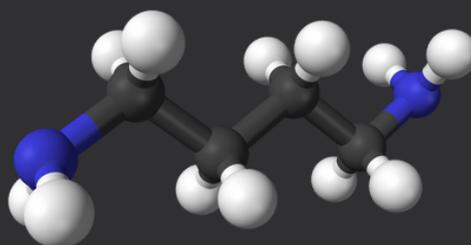
Las primeras bacterias en aparecer son las aerobias (Ej. *Lactobacillus* spp.), es decir aquellas que

crecen cuando hay oxígeno presente, sin embargo, una vez agotada la disponibilidad de oxígeno son las bacterias anaerobias las predominantes (como *Clostridium* spp.), estas bacterias fermentan o transforman los componentes anteriormente mencionados formando los gases que van a dar el olor característico de un cadáver [4].

Investigadores de la Universidad de Lovaina, Bélgica realizaron estudios para identificar los compuestos liberados durante la descomposición y adivina, ¡fueron encontrados 452 diferentes! [5].



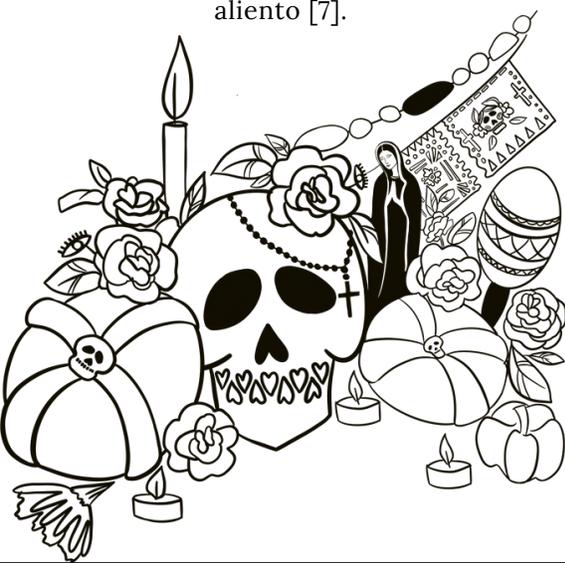
cadaverina



putrescina

Dos de los compuestos característicos del olor de un cadáver son la putrescina y la cadaverina que se producen por la descomposición de los aminoácidos lisina y la ornitina. Estos compuestos fueron descritos por primera vez en 1985 por L. Brieger y O. Bocklisch [6].

Se piensa que estas moléculas, caracterizadas por un olor fétido y que repele a la mayoría de los animales, también podrían actuar como un atrayente para animales carroñeros y parásitos. Y, aunque no lo creas, estos compuestos también se encuentran en cantidades muy bajas dentro de nuestros cuerpos vivos y son responsables del olor de la orina o el mal aliento [7].



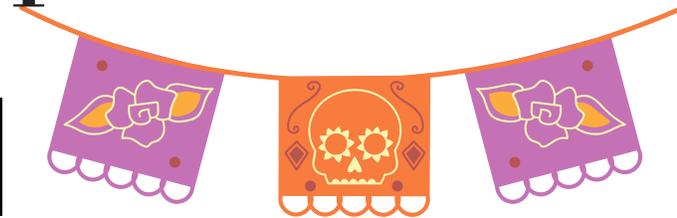
“HUELE A MUERTE
LA NOCHE,
NAUSEABUNDA
FRAGANCIA QUE
RECORRE LAS
CALLES
EN BUSCA DE OTRA
VÍCTIMA INOCENTE
QUE COBRARSE”

*"Creo en una vida después
de la muerte, simplemente
porque la energía no
puede morir, ella circula,
se transforma y no se
detiene nunca"*

ALBERT EINSTEIN (1879-1955)



Hongos y bacterias mejoran la flor de cempasúchil



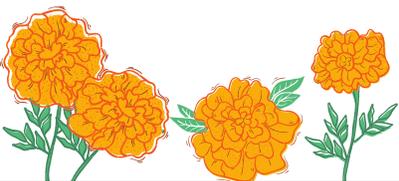
"La flor de Cempasúchil simboliza el Día de Muertos en México, gracias a su color y aroma es uno de los elementos más representativos de las ofrendas para los muertos"

De acuerdo con la CONABIO (Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad), el cultivo de la flor de cempasúchil (*Tagetes erecta*) se emplea a nivel mundial en ceremonias religiosas, con fines medicinales, en tintes y alimento para aves. Por lo que su cultivo y mejoramiento son dos aspectos muy importantes para esta flor en particular.

Víctor Olalde Portugal, investigador del Cinvestav Unidad Irapuato determinó el impacto de las bacterias *Bacillus subtilis* y el hongo *Glomus fasciculatum* en el mejoramiento de algunas características del cempasúchil. La presencia de estos microorganismos se relacionó con el aumento del tamaño de las flores, la intensidad de su color amarillo, el contenido de pigmento de la planta, y también aceleraron la floración.

En su trabajo, el doctor Ogalde y colaboradores mencionan que el uso de estos microorganismos en el cultivo del cempasúchil contribuirá a disminuir la cantidad de agua y fertilizantes que las plantas requieren para su crecimiento, ya que los microorganismos asociados a las raíces optimizan el uso de agua y de diversos nutrientes presentes en el sustrato, como nitrógeno, hierro y fósforo [8].

Es por estas razones que es importante estudiar las relaciones ecológicas entre organismos, como las descritas en esta página.





¡Microorganismos de terror!

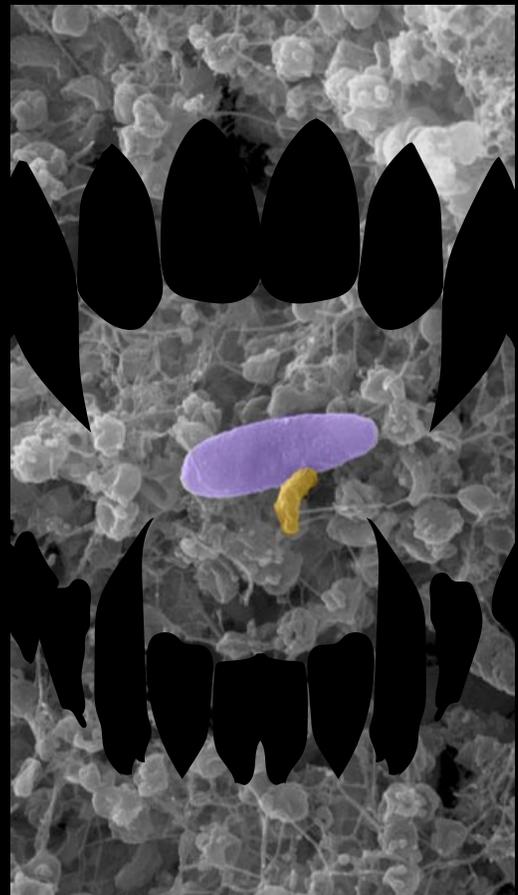
¿Vampiros? ¿Zombies? Dentro de la naturaleza abundan microorganismos que tienen comportamiento similar a lo que conocemos de estas criaturas gracias a la ciencia ficción. Conozcamos sobre las más comunes.

Micavibrio aeruginosavorus

Micavibrio aeruginosavorus es una bacteria depredadora con un mecanismo de acción similar a un “vampiro”, esta bacteria se adhiere a la membrana celular externa de su presa extrayendo nutrientes hasta agotarlos.

En la naturaleza se han reportado otros microorganismos con mecanismo similar como *Bdellovibrio bacteriovorus* que contrario a *M. aeruginosavorus* invade a la célula presa a través de la membrana para establecerse en el periplasma y digerirla desde adentro.

Afortunadamente hasta el momento no se ha reportado la aparición o patogenicidad de estas bacterias en mamíferos y por el contrario se han estado estudiando como “antibióticos vivos” de alto espectro contra bacterias multirresistentes [9].



¿ZOMBIES?

CONTROL MENTAL MICROBIANO

Toxoplasma gondii

Toxoplasma gondii es un microbio unicelular que sólo es capaz de sobrevivir infectando células vivas por lo que se clasifica como **parásito**.

Los gatos juegan un papel importante en la reproducción de este microbio ya que dentro de ellos los parásitos pueden formar ooquistes, una estructura donde pueden vivir durante mucho tiempo y que posteriormente son liberados mediante las heces de los felinos.

Pero, ¿Cómo se infectan los gatos? Hay algunos intermediarios como los ratones que pueden infectarse mediante agua o alimentos contaminados y bueno, todos sabemos que a los gatos les gusta cazar y comer ratones. Cuando un ratón se infecta con *Toxoplasma gondii* este puede albergarse en su cerebro interrumpiendo la comunicación entre algunas células y causando un cambio en su comportamiento, incluyendo la pérdida del miedo, así los ratones pueden acercarse a los gatos sin ningún temor y ser fácilmente cazados, lo que da lugar al ciclo de transmisión [10].



Ooquiste de *T. gondii*



Ophiocordyceps unilateralis

Aunque no es precisamente un microorganismo, también puede cambiar el comportamiento de su huésped; el hongo ***Ophiocordyceps unilateralis*** libera esporas que tienen la capacidad de infectar hormigas de los bosques tropicales esparciéndose a lo largo de su cuerpo y cambiando su comportamiento.

El hongo hace que las hormigas se alejen de su nido en busca de hojas que se encuentren cerca de 25 cm sobre el nivel del suelo, donde se presenta un microambiente húmedo que es favorable para su crecimiento. Una vez encontrado el microambiente ideal, las hormigas escalan y clavan su mandíbula en las hojas hasta que mueren, al morir el hongo forma un cuerpo fructífero (estructura que puede producir esporas) que emerge por la cabeza de la hormiga para esparcir esporas e infectar a nuevas hormigas u otros insectos que se encuentren cerca [11].

*"Así como una
jornada bien
empleada produce un
dulce sueño, así una
vida bien usada causa
una dulce muerte"*

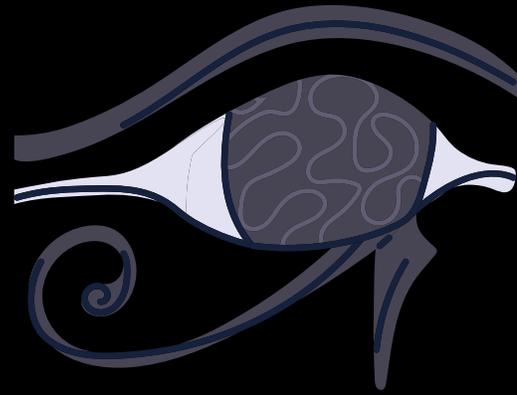
LEONARDO DA VINCI (1452-1519)

¿Qué hay detrás de la conservación de las momias?

Seguramente las habrás visto en películas de terror. Quizás luchando contra el "Enmascarado de plata" o puede que las hayas visitado en algún museo de Guanajuato. Tal vez en un documental sobre la historia de Egipto... ¿Te has preguntado qué hay detrás de su conservación a pesar de que hayan transcurrido cientos o miles de años?

Aquí te explicamos brevemente el papel fundamental que los microorganismos juegan en su conservación.

La momificación consiste en el proceso de conservación de un cadáver y se caracteriza por la deshidratación de los tejidos. En la mayoría de los casos este proceso se lleva a cabo en ambientes secos y calurosos, como zonas desérticas, también se ha observado en condiciones de frío extremo. Al encontrarse en ambientes tan secos o aireados ocurre una inhibición del crecimiento microbiano en los cadáveres [12]. Ya que para realizar diversas funciones metabólicas, las bacterias y hongos necesitan un ambiente húmedo.



Como se mencionó anteriormente, en las horas siguientes a la muerte todos los microorganismos que viven en el cuerpo comienzan a propagarse, ya que no existe más un ambiente regulado por la temperatura corporal y la respiración [13]. Sin embargo, este proceso ocurre más lentamente en ambientes secos, aireados o extremadamente fríos. Estos ambientes no permiten el contacto de los microorganismos con la humedad y dado que un buen porcentaje de la composición de estos diminutos seres es el agua, su crecimiento se retardará y por consecuencia, el proceso de descomposición del cadáver.

Otro factor que está involucrado en la conservación de las momias es la inactividad humana. Transcurrirán cientos o miles de años hasta que son desplazadas del ambiente que propiciaba las condiciones adecuadas para la inactividad microbiana y una vez que son expuestas a climas distintos, la actividad microbiana se restaura y se acelerará su descomposición.



Ha llegado el momento de
preguntarnos

¿QUÉ HAY DE NUEVO VIEJO?

*El equipo de
MicroUAM siempre te
mantiene informado
sobre descubrimientos
recientes en el campo
microscópico de las
Ciencias Naturales y la
Ingeniería. He aquí la
selección de esta
edición.*



Una gigante entre las bacterias

Thiomargarita magnifica es una bacteria que crece en las hojas de los mangles de la isla caribeña de Guadalupe y fue descubierta recientemente en 2022, pero, ¿por qué es tan importante el descubrimiento de esta bacteria?

T. magnifica, es la bacteria más larga descubierta hasta el momento, en promedio mide cerca de 10 cm de largo, es decir, puede ser observada a simple vista y es incluso más grande que una mosca de fruta (organismo eucarionte), rompiendo con los paradigmas de lo que se considera que es un microorganismo.

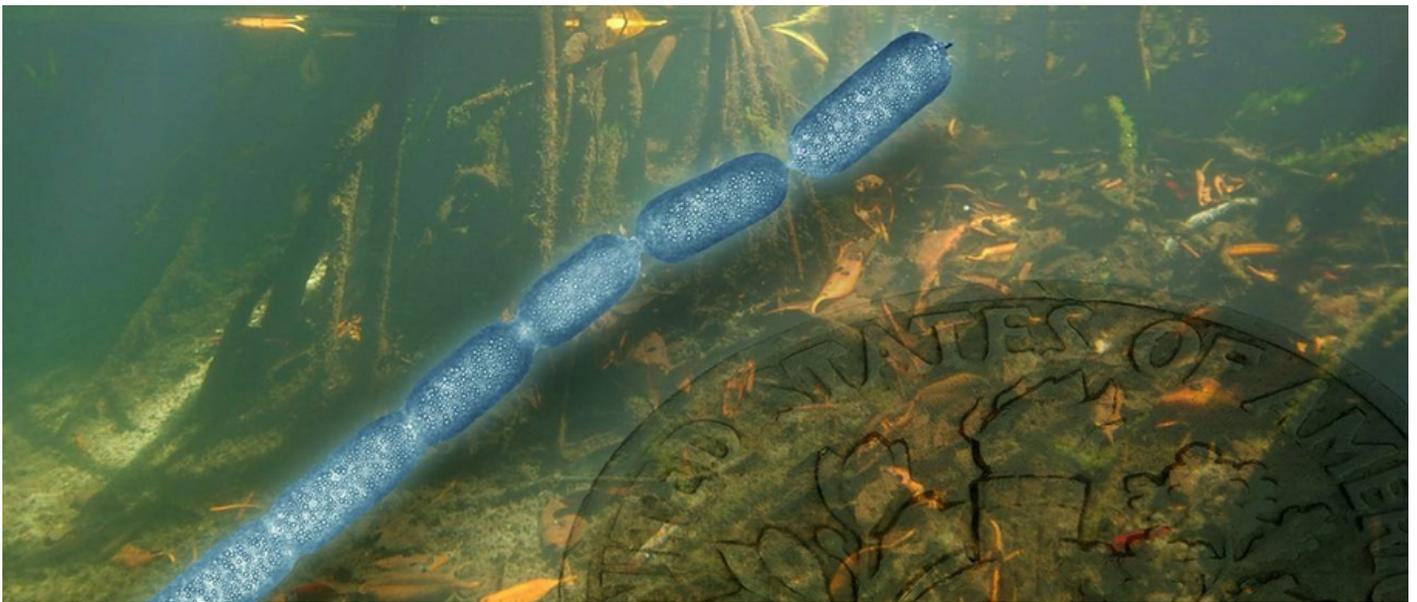


Foto del mangle de Pierre Yves Pascal e ilustración de Susan Brand (Berkeley Lab)

Se creía que todas las bacterias eran organismos microscópicos, es decir, que su tamaño alcanza apenas unos cuantos micrómetros, lo que sería cerca de 100,000 veces menos lo que mide *T. magnifica*.

Este razonamiento se apoyaba en la creencia de que un organismo unicelular (compuesto por solo una célula) de gran tamaño no podría existir debido a que presentaría problemas en diferentes procesos como el transporte de nutrientes, la producción de

energía, el crecimiento y los procesos de transcripción, traducción y replicación del ADN, dado que los tiempos que tomarían para llegar de un lugar a otro en una célula de gran tamaño limitarían todos estos procesos.

¿Cómo es que *T. magnifica* supera todas estas limitaciones?

T. magnifica es una bacteria que crece en forma de filamentos que se alargan hasta que ocurre la división celular.

La manera en que superan la dificultad del transporte de nutrientes, es mediante una enorme vacuola, un organelo localizado en medio de la célula repleto de líquido. Este organelo reduce el espacio en el interior de la célula, ocupando cerca del 73% del volumen total del microorganismo. El espacio no ocupado por la vacuola, recibe el nombre de citoplasma y en *T. magnifica* se descubrió que únicamente se encuentra en las periferias [14].

Además, los investigadores encontraron en esta bacteria un tipo de compartimentos semejantes a los organelos de las células eucariontes. Estos compartimentos, fueron llamados "pepinas" por los investigadores y dentro contenían ADN y ribosomas que le permiten a la bacteria realizar procesos celulares y del metabolismo de manera localizada sin que el tamaño sea una limitación [14].

Regularmente las bacterias contienen una sola copia de su ADN. Sin embargo, *T. magnifica* es poliploide como otras bacterias más grandes, lo que significa que tienen más de una copia de su ADN, estas ascienden a 36,880 por cada milímetro de filamento de la bacteria. ¡Este es el mayor estimado de número de copias del genoma en una célula hasta el momento! [14].



Fotografía modificada de [14]

Esto sin duda rompe con muchos de los conceptos que se tienen de cómo son las bacterias y deja más preguntas acerca de su regulación genética y su complejidad.

*Además, **T. magnifica** nos podría dar pistas acerca de cómo sucedió la evolución de los organismos eucariontes y deja la puerta abierta al descubrimiento de organismos sorprendentes y muchas cosas de la microbiología que aún ignoramos.*

Tendencia UAM-Q

En la División de Ciencias Naturales e Ingeniería de nuestra amada UAM Cuajimalpa existen diversos grupos de investigación conformados por alumnos y profesores, quienes a su vez poseen diferentes líneas de investigación de las que creemos vale la pena hacer difusión. Acompáñanos en esta sección a descubrir la selección de esta edición.

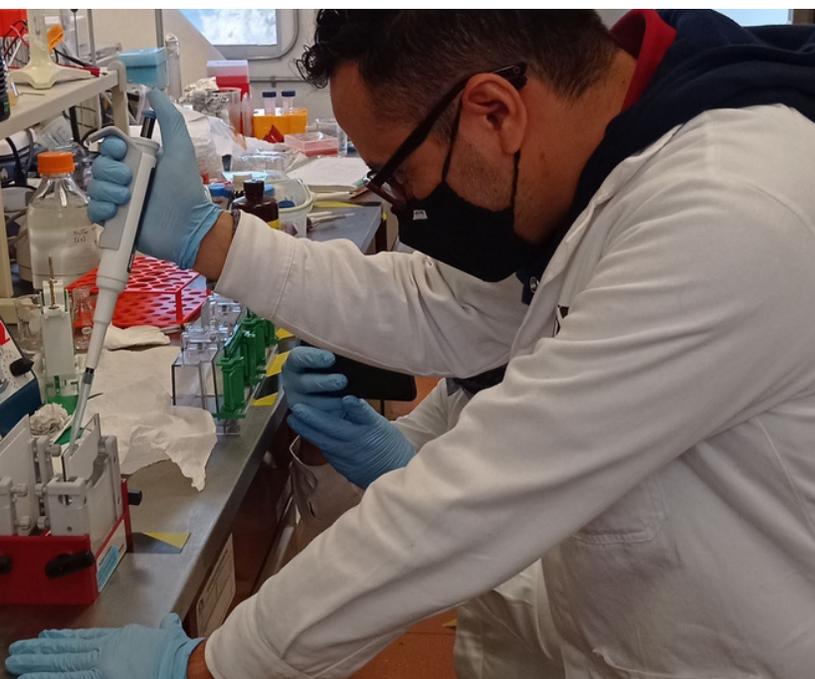
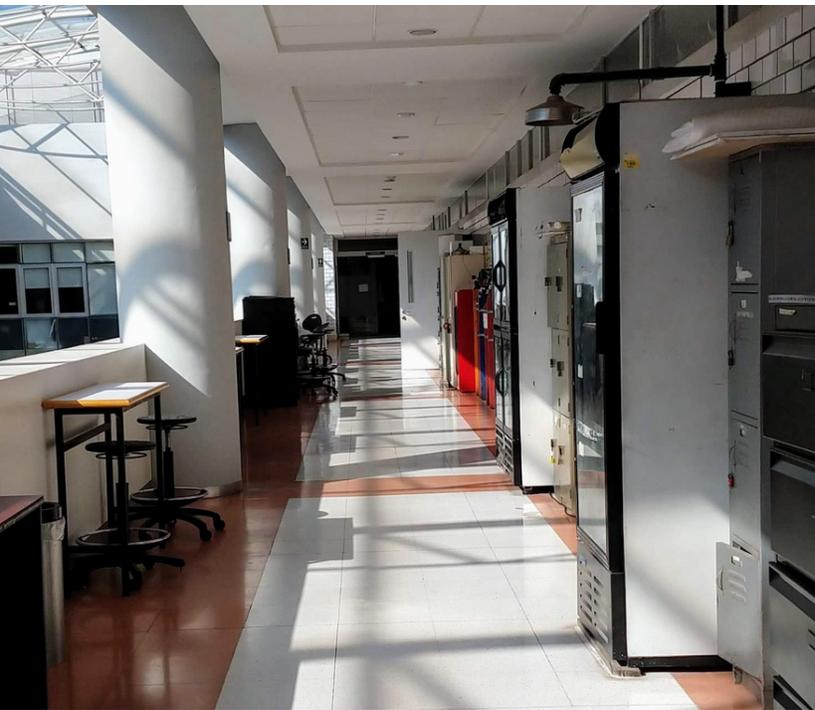


Alguna vez te preguntaste "¿Cuál es la línea de investigación de mi profe?"

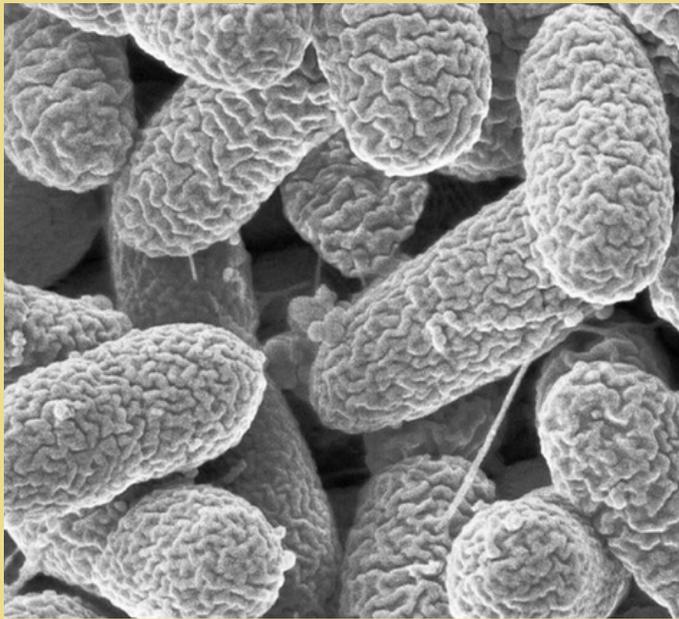
Una de las particularidades de la Licenciatura en Ingeniería Biológica es su plantilla docente. Los profesores tienen estudios de posgrado a nivel doctorado y pertenecen al Sistema Nacional de Investigadores. En esta segunda edición de MicroUAM, entrevistamos al Doctor Antonio

González Sánchez quien se graduó como ingeniero Biotecnólogo de la Universidad Politécnica del Estado de Morelos en el 2012. Posteriormente estudió el doctorado en Ciencias genómicas (2013-2018) en la Universidad Nacional Autónoma de México, Centro de Ciencias Genómicas. Realizó dos estancias posdoctorales en la Universidad Autónoma Metropolitana, Unidad Cuajimalpa (2018-2020) y finalmente en la Unidad Lerma (2020-2021).

En una muy enriquecedora charla él nos platica lo siguiente: "Actualmente laboro como técnico académico en el laboratorio de biotecnología de la UAM-C. Como parte de mis actividades se encuentra la docencia y apoyo en los proyectos de investigación del cuerpo académico del departamento de procesos y tecnología (DPT), lo que a su vez involucra el asesoramiento de alumnos de licenciatura y posgrado. Por el momento, estoy apoyando a la Dra. Sylvie Le Borgne en la caracterización fisiológica y genética de bacterias aisladas de la mina de Naica (Chihuahua, México), que como anteriormente mencioné ya se tiene un gran avance sobre las bacterias pertenecientes al género *Cupriavidus*. Sin embargo, aún hay más por hacer ya que tiene una amplia colección de aislados bacterianos de este lugar. La idea es seguir caracterizando bacterias que puedan tener una aplicación biotecnológica que nos beneficie en la obtención de algún producto o servicio".



A lo largo de su formación como investigador, el doctor Antonio González ha trabajado con diversos modelos biológicos como: El pez cebra (*Danio rerio*), bacterias fijadoras de nitrógeno en plantas leguminosas (*Rhizobium etli* CFN42), bacterias termófilas aisladas de la mina de Naica (Chihuahua México) y en un proyecto piloto sobre la microbiota vaginal de 10 mujeres mexicanas embarazadas.



Cupriavidus gilardii

Tomado de by Dennis Kunkel

Microscopy/science Photo Library

Scanning electron micrograph (SEM) of *Cupriavidus gilardii*, Gram-negative, motile, rod-shaped, soil bacterium (prokaryote).

Rhizobium spp.

SEM is a photograph by Steve Gschmeissner which was uploaded on May 9th, 2013.

Rhizobium nitrogen-fixing bacteria. Coloured scanning electron micrograph (SEM) of nitrogen-fixing soil bacteria (*Rhizobium* sp.)



Grupo de Ingeniería de Tejidos y Medicina Regenerativa



Dentro de la UAM Unidad Cuajimalpa se llevan a cabo investigaciones sobre Ingeniería de Tejidos, te invitamos a conocer más del tema.

La ingeniería de tejidos es un campo emergente en el área biomédica que reúne conocimientos de áreas como la medicina, ingeniería, biología, física y química con el objetivo de diseñar y generar tejidos artificiales para reparar tejidos u órganos dañados.

El grupo de Ingeniería de tejidos y medicina regenerativa (ITMR) de la Universidad Autónoma Metropolitana Unidad Cuajimalpa, liderado por la Dra. Nohra Elsy Beltrán Vargas, se

encuentra trabajando en el desarrollo de dispositivos terapéuticos para el tratamiento de diferentes patologías donde se dañan los tejidos, como lo es el infarto agudo de miocardio.

Apoyándose en el uso de células, de biomateriales y de señales físicas y químicas que imitan las señales biológicas del tejido, con apoyo de biorreactores, han generado parches cardiacos que esperan puedan mejorar la calidad de vida de las personas que hayan sufrido este

padecimiento y requieran de un trasplante de órgano.

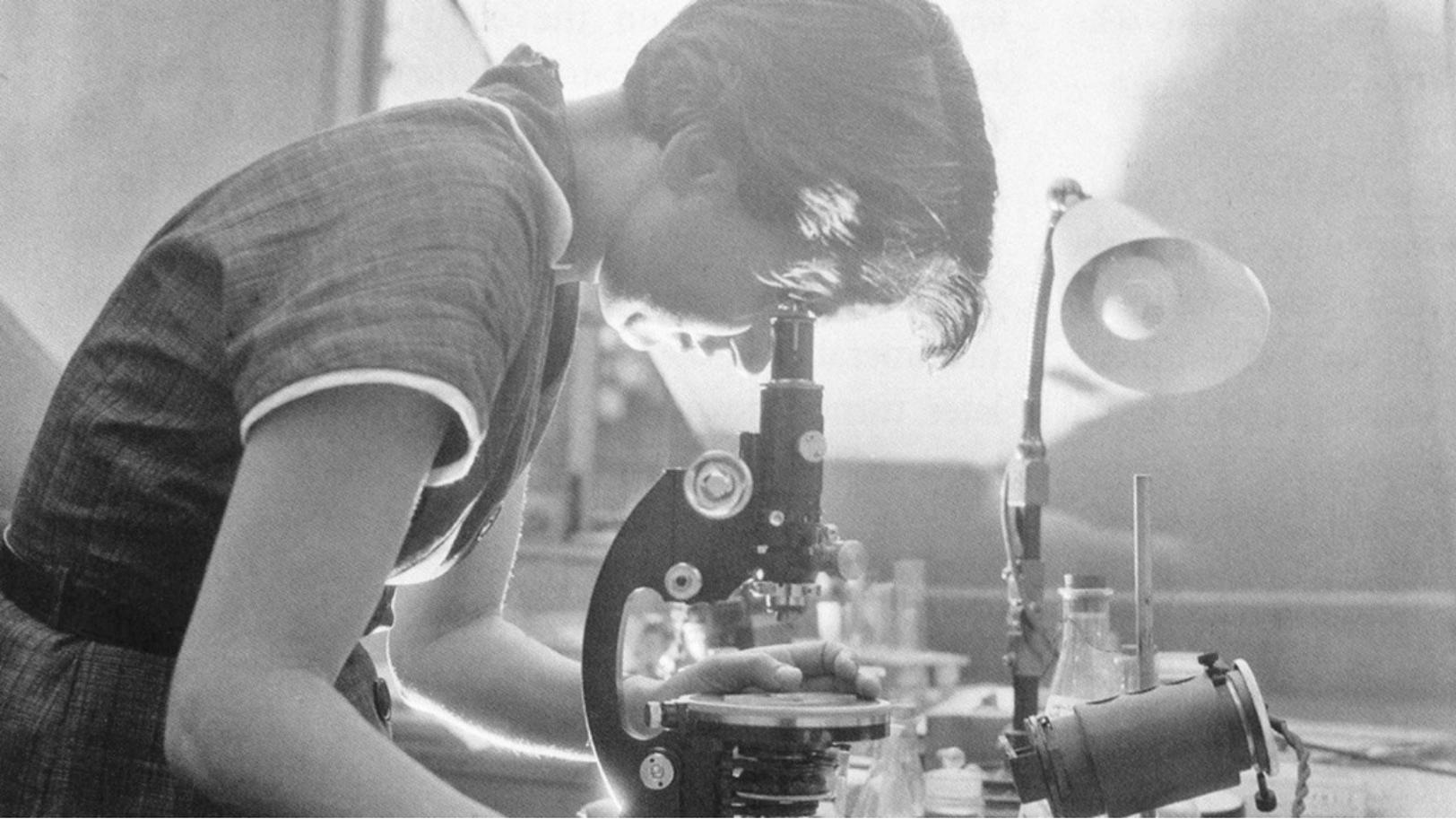
Dentro del grupo de ITMR participan doctores con diferentes especialidades y alumnos de varias licenciaturas, comprometidos con la investigación. Así mismo, se cuenta con el apoyo de algunos colaboradores pertenecientes a la UAM Unidad Iztapalapa, el Hospital Infantil de México "Federico Gómez" y el Instituto Nacional de Cardiología "Ignacio Chávez".



Grupo de ITMR UAMC, 2022. Por Enrique Olguín

Descubre más:





"La ciencia para mí da una explicación parcial de la vida. En la medida en que va, se basa en hechos, experiencias y experimentos"

ROSALIND FRANKLIN





Fotografía de Gustavo Zamudio Cortés, 2021

Editores

Mitzi de la Cruz Hernández
María del Rosario Marcial Becerril
Fernando Ordáz Meléndez
Sara Darinka Sánchez Robledo

Alumnos de posgrado en Ciencias
Naturales e Ingeniería

Agradecimientos

Agradecimiento especial a la División de Ciencias Naturales e Ingeniería por incentivar una nueva edición de MicroUAM.

Al Doctor Antonio González Sánchez quién aceptó nuestra invitación a una entrevista para la sección "¿Qué hay de nuevo viejo?"

Y finalmente agradecimiento especial a todos los brillantes investigadores que dedicaron su tiempo a los artículos mencionados en ésta revista.

Referencias

- [1] Javan, G. T., Finley, S. J., Abidin, Z., & Mulle, J. G. (2016). The thanatomicrobiome: A Missing Piece of the Microbial Puzzle of Death. *Frontiers in Microbiology*, 7(FEB), 225. <https://doi.org/10.3389/FMICB.2016.00225/BIBTEX>
- [2] Roy, D., Tomo, S., Purohit, P., & Setia, P. (2021). Microbiome in Death and Beyond: Current Vistas and Future Trends. *Frontiers in Ecology and Evolution*, 9, 75. <https://doi.org/10.3389/FEVO.2021.630397/BIBTEX>
- [3] Codina Escobar, J. C. (2014). Tanatomicrobioma: Muerte después de la vida, vida después de la muerte | Encuentros en la Biología. <https://www.encuentrosenlabiologia.es/2016/04/tanatomicrobioma-muerte-despues-de-la-vida-vida-despues-de-la-muerte/>
- [4] Can, I., Javan, G. T., Pozhitkov, A. E., & Noble, P. A. (2014). Distinctive thanatomicrobiome signatures found in the blood and internal organs of humans. *Journal of Microbiological Methods*, 106, 1–7. doi:10.1016/j.jmimet.2014.07.026
- [5] Rosier, E., Loix, S., Develter, W., Van de Voorde, W., Tytgat, J., & Cuypers, E. (2015). The Search for a Volatile Human Specific Marker in the Decomposition Process. *PLOS ONE*, 10(9), e0137341. doi:10.1371/journal.pone.0137341
- [6] Putrescine and Cadaverine- American Chemical Society <https://www.acs.org/content/acs/en/molecule-of-the-week/archive/p/putrescine.html>
Accessed: 2022-11-28
- [7] Izquierdo, C., Gómez-Tamayo, J. C., Nebel, J.-C., Pardo, L., & Gonzalez, A. (2018). Identifying human diamine sensors for death related putrescine and cadaverine molecules. *PLOS Computational Biology*, 14(1), e1005945. doi:10.1371/journal.pcbi.1005945
- [8] Flores, A. C., Luna, A. A. E., & Portugal, V. O. (2007). Yield and quality enhancement of marigold flowers by inoculation with bacillus subtilis and glomus fasciculatum. *Journal of Sustainable Agriculture*, 31(1), 21–31. https://doi.org/10.1300/J064V31N01_04
- [9] Shatzkes, K., Tang, C., Singleton, E., Shukla, S., Zuena, M., Gupta, S., ... Kadouri, D. E. (2017). Effect of predatory bacteria on the gut bacterial microbiota in rats. *Scientific Reports*, 7(1). doi:10.1038/srep43483
- [10] Mendonça-Natividade, F. and Ricci-Azevedo, R. (2020). Toxoplasma gondii: A Microbe That Turns Mice Into Zombies. *Front. Young Minds*. 8:36. doi: 10.3389/frym.2020.00036
- [11] Hughes, D.P., Andersen, S.B., Hywel-Jones, N.L. et al. Behavioral mechanisms and morphological symptoms of zombie ants dying from fungal infection. *BMC Ecol* 11, 13 (2011). <https://doi.org/10.1186/1472-6785-11-13>
- [12] Mansilla Lory, J., & Leboreiro Reyna, I. S. (2009). Historias de vida. El fenómeno de la momificación en el México prehispánico. *Arqueología Mexicana*, 17(97), 22–29.
- [13] Javan, G. T., Finley, S. J., Abidin, Z., & Mulle, J. G. (2016). The thanatomicrobiome: A Missing Piece of the Microbial Puzzle of Death. *Frontiers in Microbiology*, 7(FEB), 225. <https://doi.org/10.3389/FMICB.2016.00225/BIBTEX>
- [14] Volland JM, Gonzalez-Rizzo S, Gros O, Tysl T, Ivanova N, Schulz F, Goudeau D, Elisabeth NH, Nath N, Udvary D, Malmstrom RR, Guidi-Rontani C, Bolte-Kluge S, Davies KM, Jean MR, Mansot JL, Mouncey NJ, Angert ER, Woyke T, Date SV. A centimeter-long bacterium with DNA contained in metabolically active, membrane-bound organelles. *Science*. 2022 Jun 24;376(6600):1453-1458. doi: 10.1126/science.abb3634.
- [15] Escobar, J. C. C. (2016). Tanatomicrobioma: Muerte después de la vida, vida después de la muerte. *Encuentros en la Biología*, 9(157), 76-78.