

PROGRAMA DE APOYO A PROYECTOS DE INVESTIGACIÓN E INNOVACIÓN TECNOLÓGICA

DATOS GENERALES

Clave del proyecto: IN223423
Título: Ecología sucesional de cadáveres de cerdo en la Reserva Ecológica del Pedregal de San Ángel, Ciudad de México
Etapas: Informe Final 2023
Modalidad: a) Proyectos de investigación
Disciplina: Ecología
Especialidad: Ecología urbana
Adscripción del proyecto: Facultad de Ciencias
Duración: 2 Años
Palabras clave: ADN ambiental, Ecología de comunidades, Sucesión cadavérica
Situación: Proyecto aprobado

CANTIDADES ASIGNADAS

Primer año:	\$ 269,194.00
Segundo año:	\$ 212,000.00
Total:	\$ 481,194.00

TITULAR(ES) DEL PROYECTO

Responsable: ZENON CANO SANTANA
Adscripción: Facultad de Ciencias / División de Estudios Profesionales

SÍNTESIS DEL PROYECTO

El estudio de las sucesiones ecológicas proporciona información sobre los mecanismos de formación de la comunidad, la limitación de la dispersión poblacional, los efectos del conjunto de las especies, los efectos prioritarios de cada taxón, interacciones bióticas y retroalimentaciones entre distintos grupos taxonómicos. Una aplicación de este conocimiento es evaluar el intervalo post mortem mínimo (IPM min), a partir del análisis de las sucesiones entomológicas en cadáveres. Sin embargo, la sola presencia de esta comunidad es una evidencia indirecta de que existe un cadáver, por lo que el análisis del DNA ambiental (DNAa) puede ser una herramienta potencial para detectar rastros de una sucesión de insectos. Para lograr esto, se colocarán tres cadáveres de cerdo en la Reserva Ecológica del Pedregal de San Ángel para cada una de sus dos temporadas marcadas del año, la época de secas y lluvias, en un lapso de dos años. Al colocar cuatro tipos de trampa, se obtendrá la información necesaria para conocer las características temporales, ambientales y biológicas que participan en la formación, permanencia y disociación de una sucesión entomológica. Además, en cada sitio se tomarán muestras representativas de suelo, con el objetivo de encontrar las modificaciones de la huella de DNAa a lo largo del proyecto. En conjunto, esto nos permitirá conocer el tiempo que permanece un rastro de DNA de toda la comunidad necrócola y así poder establecer un sitio probable en el que se encuentre un cadáver o el tiempo estimado que estuvo en el sitio. El estudio de las comunidades necrócolas es importante, ya que la descomposición de materia orgánica es el nivel basal de las redes tróficas en los ecosistemas. Por otro lado, ésta resulta ser una herramienta que permite reconocer la ubicación de cadáveres en fosas o al aire libre. Asimismo, es importante recabar datos de la biología de los artrópodos involucrados en la sucesión degradativa de un cadáver y el proceso de recambio de especies a lo largo del proceso de descomposición cadavérica. Se estudia un tema muy importante para el país, ya que el delito de asesinato registró un total de 43,265 muertes violentas en 2021 y hay más de 100,000 personas desaparecidas.

CONTRIBUCIÓN DE LA INVESTIGACIÓN

Este estudio representa un avance significativo en el conocimiento de la biología de la descomposición en zonas antropizadas, ampliando su impacto más allá de la entomología forense para abordar preguntas clave en ecología e interacciones biológicas.

En este proyecto se buscó entender el proceso de sucesión degradativa y de descomposición cadavérica en diferentes escenarios espacio-temporales, pues consideró la necesidad de tener réplicas para entender cómo varían las comunidades de artrópodos necrócolos en diferentes sitios y en dos temporadas contrastantes del año, por lo cual se dio seguimiento a 12 cadáveres en total en un estudio de 2 años. Todo esto para establecer la predictibilidad del proceso de descomposición como un evento predecible o aleatorio. Se usaron diferentes tipos de monitoreo: trampas de caída (pit-fall), muestreo de suelo para detectar pupas y trampas invertida de emergencia para detectar adultos emergentes del suelo, así como el uso de cámaras trampa.

Dadas las necesidades del país, la formación de recursos humanos en el área de las ciencias forenses es importante formar cuadros que usen diversas herramientas para aplicarlas en estudios de campo. Este proyecto ha impulsado en el laboratorio del Dr. Cano Santana y la Dra. Castaño Meneses el interés por los artrópodos que ofrecen el importante servicio ecosistémico de descomposición cadavérica.

El grupo de investigación colaboró de manera eficiente a todo lo largo del proyecto. Aunque la mayor parte del trabajo recayó en la tesis doctoral de Eduardo Nuple, dos tesis de licenciatura (Quetzalin Moreno y Cristhian Villanueva) lograron aprovechar los últimos seis ensayos de cadáveres para obtener sus datos durante el segundo año del proyecto. Asimismo, y a pesar de los problemas asociados con la obtención de permisos, Gabriel Rendon ejecutará este año y en el marco de este proyecto el seguimiento de los procesos de degradación de cadáveres de animales vertebrados silvestres. Los becarios y el Mtro. Iván Castellanos, por su parte, apoyaron a los tesis en los muestreos de campo, en los cultivos de larvas y pupas en laboratorio y en la separación del material biológico en el laboratorio. Todos ellos adquirieron cierta experiencia en la biología de los artrópodos necrócolos y en el proceso de descomposición cadavérica. Por otra parte, la Dra. Castaño Meneses ha tenido una estrecha participación en el proyecto al dar consejos sobre el diseño de las trampas de caída. Ella sugirió el uso de las trampas invertidas de emergencia para detectar la distancia a la cual se dispersan las larvas necrófagas para pupar y participa activamente en el comité tutorial de doctorado del Mtro. Eduardo Nuple.

El proyecto nutrió las líneas de investigación del Dr. Cano-Santana al incorporar el entendimiento de la sucesión degradativa y la descomposición cadavérica como un aspecto muy importante para estudiar interacciones ecológicas, redes tróficas y procesos ecológicos. Actualmente se tienen una estudiante adicional (Laura Odette López) interesada en entender la descomposición y las comunidades necrócolas activas en condiciones de enterramiento de cadáveres de roedores, en tanto que el Dr. Yury Glebskiy, egresado del laboratorio del Dr. Cano, ha participado dando asesorías al grupo de trabajo en el uso de cámaras trampa y con él se escribió el artículo publicado en el marco del proyecto. Por todo lo anterior, se puede considerar que la línea de investigación de ecología de la descomposición cadavérica está completamente consolidada, pues se planea seguir con este enfoque de trabajo en los próximos años.

El proyecto PAPIIT permitió financiar la adquisición de diversos materiales, un microscopio y una computadora que ha facilitado el trabajo de investigación en el laboratorio del Dr. Cano y ha complementado al que ya se cuenta.

La labor de PAPIIT en el apoyo a estas nuevas líneas de investigación ha sido muy importante. Su apoyo está permitiendo incorporar estudiantes en el área de la ecología degradativa.

Aportes en la Formación de Recursos Humanos

Este proyecto también tuvo un impacto significativo en la formación de recursos humanos, ya que permitió la participación de 10 alumnos de licenciatura en un estudio con alta complejidad metodológica y bioética, algo poco común en su formación académica. La oportunidad de involucrarse en una investigación de este tipo les permitió desarrollar habilidades en técnicas de muestreo, identificación taxonómica y análisis de datos, enriqueciendo su experiencia en el campo de la biología forense y ecológica. Otro aspecto relevante fue el diseño innovador del muestreo de larvas, desarrollado específicamente para este proyecto. Esta metodología permitió identificar patrones de dispersión larval con una reducción significativa de errores de muestreo, lo que representa un aporte metodológico que podría ser aplicado en futuros estudios de dispersión de artrópodos necrófagos.

Documentación de la Fauna Asociada a la Descomposición

A nivel académico, el proyecto ha permitido la documentación de especies asociadas a la descomposición, incluyendo nuevos registros para México y la Reserva Ecológica del Pedregal de San Ángel (REPSA). Destacan géneros como *Agonum*, *Metopina* y *Pseudacteon*, así como familias como Neriidae y Mesembrinellidae, las cuales no habían sido reportadas en estudios previos de fauna cadavérica. De manera local, se registró por primera vez la presencia de *Lucilia sericata*, una especie cosmopolita ampliamente vinculada a la descomposición, pero que hasta ahora no había sido detectada en esta reserva. Más allá de los listados taxonómicos, el estudio ha permitido comprender la dinámica de dispersión de las larvas de dípteros, revelando que existen tres tipos distintos de dispersión (conglomerada, radial y lineal), en contraste con la concepción tradicional de un único patrón de dispersión larval. Este hallazgo permite mejorar la interpretación de la actividad larval en estudios forenses, al proporcionar información sobre qué especies pueden encontrarse en el entorno de un cadáver en función de la temporada del año. Se ha determinado, por ejemplo, que Calliphoridae es más abundante en temporada de lluvias, mientras que Sarcophagidae domina en temporada seca, lo que puede influir en la recolección de evidencia en contextos forenses. Otro hallazgo relevante es que las pupas de dípteros emergen entre los días 7 y 13 del proceso de descomposición, dependiendo de la temporada del año. Se identificó que el patrón de emergencia es aleatorio, lo que implica que los organismos emergen de forma dispersa a lo largo del proceso de descomposición y pueden ser encontrados de manera independiente de su estadio larval inicial. Esta información es clave para la entomología forense, ya que permite precisar el intervalo postmortem y la presencia de especies clave incluso días después de la fase de desarrollo larval.

Desde una perspectiva más amplia, el estudio no solo se centró en la identificación de especies, sino también en la comprensión de las redes de interacción que ocurren durante la descomposición cadavérica. Se identificaron cuatro tipos de interacciones principales: competencia, depredación, foresia y necrofagia, las cuales modelan la sucesión ecológica del proceso de descomposición. Se documentó, por ejemplo, que vertebrados como tlacuaches y lagartijas desempeñan un papel activo en la depredación de larvas y adultos de dípteros, particularmente en temporada seca, lo que puede influir en la dinámica poblacional de los artrópodos asociados a la descomposición.

Aplicaciones en Forense y Ecología

A nivel aplicado, estos hallazgos pueden mejorar los protocolos de toma de muestras en investigaciones forenses, permitiendo una interpretación más precisa de los datos entomológicos. La identificación de patrones de dispersión, variabilidad estacional y diferencias en la actividad de los artrópodos según el horario puede optimizar la recolección de evidencia en el campo y contribuir al desarrollo de nuevas metodologías para el análisis entomológico en casos judiciales. Más allá del ámbito forense, el estudio también contribuye a una mejor comprensión de cómo el proceso de descomposición se inserta en la cadena trófica y en el reciclaje de nutrientes dentro de los ecosistemas. Se documentó que la necromasa no solo es consumida directamente por larvas de dípteros, sino que también sostiene poblaciones de depredadores y carroñeros secundarios, como escarabajos, ácaros y vertebrados. La transferencia de biomasa desde los cadáveres hacia otros organismos permite entender cómo la descomposición influye en la biodiversidad del suelo, la remineralización de nutrientes y la dinámica de los ecosistemas naturales y urbanos.

Logros y Retos en la Investigación

A lo largo del proyecto, se han logrado avances clave en la comprensión de la fauna asociada a la descomposición y su dinámica ecológica. Sin embargo, algunos objetivos enfrentaron desafíos que no impidieron su desarrollo, sino que han generado nuevas oportunidades para ampliar el conocimiento en el área.

Uno de los aspectos que no se concretó en el periodo inicial fue el análisis de DNA ambiental (DNAa) de las muestras de suelo. La razón principal de esta demora fue la falta de bases de datos de referencia para los artrópodos involucrados en la descomposición en México. Esta limitación, si bien representó una dificultad inicial, también resalta un vacío crítico en el conocimiento genético de estas especies, lo que llevó a un replanteamiento en la estrategia de análisis. Como resultado, se priorizó la elaboración de una base genética de referencia, lo que permitirá que los análisis de DNAa sean más robustos y precisos. Este reto será resuelto en el segundo semestre del 2025, cuando se complete la construcción de la base de datos genética y se procesen las muestras de suelo recolectadas. Es importante destacar que el presupuesto destinado para estos análisis quedó cubierto dentro de este proyecto, asegurando que el trabajo continúe sin contratiempos financieros. Adicionalmente, como parte de un proyecto derivado, se llevó a cabo la

extracción de DNA y secuenciación del gen COI para 240 organismos, lo que equivale a tres individuos por cada una de las especies asociadas a la descomposición. Esta información será clave para la interpretación de los datos metagenómicos y contribuirá a la identificación precisa de especies en futuros estudios de DNA ambiental.

Futuras Aplicaciones y Desarrollo del Proyecto

Finalmente, este estudio sienta las bases para futuras investigaciones en diversos campos:

- En el ámbito forense, se podría desarrollar un modelo predictivo de descomposición basado en interacciones ecológicas, permitiendo estimaciones más precisas del intervalo postmortem.
- En el ámbito ecológico, se podría analizar el impacto de la carroña en la biodiversidad del suelo y en los ciclos biogeoquímicos, evaluando la persistencia de nutrientes derivados del proceso de descomposición.
- En el ámbito molecular, la base de datos de DNAa en construcción permitirá futuras comparaciones con estudios globales, ayudando a evaluar la universalidad de los patrones de descomposición en diferentes ecosistemas.

PARTICIPANTES INFORME FINAL

NOMBRE	TIPO DE PARTICIPANTE	PROCEDENCIA
ADRIÁN LÓPEZ SOULE	Alumno UNAM	Fac. Ciencias
ANDREA HERNÁNDEZ FLORES	Alumno UNAM	Fac. Ciencias
CRISTHIAN IVÁN VILLANUEVA HERNÁNDEZ	Alumno UNAM	Fac. Ciencias
EDUARDO NUPLE JUÁREZ	Alumno UNAM	Fac. Ciencias
ERICK ALEJANDRO OSEGUERA HERNÁNDEZ	Alumno UNAM	Fac. Ciencias
GABRIEL TADEO RENDÓN	Alumno UNAM	Fac. Ciencias
GABRIEL TADEO RENDÓN	Alumno UNAM	Fac. Ciencias
HANNIE GUADALUPE ZEA ROSARIO	Alumno UNAM	Fac. Ciencias
IVAN ISRAEL CASTELLANOS VARGAS	Académico UNAM	Facultad de Ciencias
MARIANA QUITERIO PÉREZ	Alumno UNAM	Fac. Ciencias
QUETZALIN MORENO SOLANO	Alumno UNAM	Fac. Ciencias
ROSA GABRIELA CASTAÑO MENESES	Académico UNAM	Facultad de Ciencias
SANDRA YURITCI GUERRERO HINOJOSA	Alumno UNAM	Fac. Ciencias

PRODUCTIVIDAD

ARTICULOS CON ARBITRAJE

Nombre de la revista Mammalia

Título del artículo Opossums cleaning our cities: consumption of rodent carcasses in an urban reserve

Dirección de descarga <https://www.degruyter.com/document/doi/10.1515/mammalia-2023-0069/html>

ISSN Factor de impacto 0.80

Año de publicación 2023 **DOI** <https://doi.org/10.1515/mammalia-2023-0069> **Difusión** Internacional

Idioma Inglés

Participantes

ZENON CANO SANTANA Coautor

DIFUSIÓN

PONENCIAS

Título de la ponencia Biología reproductiva de *Buddleja cordata*

Nombre del evento IX CONGRESO MEXICANO DE ECOLOGÍA

Lugar San Cristóbal de Las Casas, Chiapas **País** México **Difusión** Nacional

Participantes

MARIANA QUITERIO PÉREZ Ponente

ZENON CANO SANTANA Ponente

Título de la ponencia Redes de interacciones en el proceso de la descomposición de cadáveres de cerdos, *Sus scrofa*, en la Reserva del Pedregal de San Ángel, Ciudad de México

Nombre del evento Redes de interacciones en el proceso de la descomposición de cadáveres de cerdos, *Sus scrofa*, en la Reserva del Pedregal de San Ángel, Ciudad de México

Lugar San Cristóbal de Las Casas, Chiapas, México **País** México **Difusión** Nacional

Participantes

EDUARDO NUPLÉ JUÁREZ Ponente

IVAN ISRAEL CASTELLANOS VARGAS Ponente

QUETZALIN MORENO SOLANO Ponente

ZENON CANO SANTANA Ponente

Título de la ponencia Patrones espaciales de pupación y emergencia de insectos necrófagos: el papel de la orientación y la distancia respecto a un cadáver de cerdo

Nombre del evento IX CONGRESO MEXICANO DE ECOLOGÍA

Lugar San Cristóbal de Las Casas, Chiapas, México **País** México **Difusión** Nacional

Participantes

CRISTHIAN IVÁN VILLANUEVA HERNÁNDEZ Ponente

EDUARDO NUPLÉ JUÁREZ Ponente

IVAN ISRAEL CASTELLANOS VARGAS Ponente

ZENON CANO SANTANA Ponente

Título de la ponencia Influencia estacional en los patrones dispersión de larvas de dípteros necrófagos de cadáveres de cerdo

Nombre del evento IX CONGRESO MEXICANO DE ECOLOGÍA

Lugar San Cristóbal de Las Casas, Chiapas **País** México **Difusión** Nacional

Participantes

EDUARDO NUPLÉ JUÁREZ Ponente

ZENON CANO SANTANA Ponente

Título de la ponencia Impactos directos e indirectos de las vías férreas en los sistemas biológicos: una revisión bibliográfica

Nombre del evento IX CONGRESO MEXICANO DE ECOLOGÍA

Lugar San Cristóbal de Las Casas, Chiapas **País** México **Difusión** Nacional

Participantes

ADRIÁN LÓPEZ SOULE Ponente

ZENON CANO SANTANA Ponente

Título de la ponencia Diversidad asociada al arbolado urbano: el caso de la tronadora (*Tecoma stans*) en la Ciudad de México

Nombre del evento IX CONGRESO MEXICANO DE ECOLOGÍA

Lugar San Cristóbal de Las Casas, Chiapas **País** México **Difusión** Nacional

Participantes

HANNIE GUADALUPE ZEA ROSARIO Ponente

ZENON CANO SANTANA Ponente

OTROS PRODUCTOS

Otro Otro

Nombre Biología reproductiva de Buddleja cordata (Scrophulariaceae)

Año 2025 **Difusión** Nacional

Descripción

Tesis profesional de Mariana Quiterio Pérez, becada por el proyecto, terminada al 100% y aprobada por el sínodo, con fecha de titulación por definir en este año (2025). La tesis la hizo bajo la dirección del responsable del proyecto.

Otro Otro

Nombre Ecología de la relación entre Tecoma stans (Bignoniaceae) y los animales en un ambiente urbano de Ciudad Universitaria, Ciudad de México, México

Año 2025 **Difusión** Nacional

Descripción

Tesis con 100% de avance de Hannie Zea Rosario, becaria del proyecto. Esta tesis ya fue registrada en la Facultad de Ciencias y está siendo evaluada por el sínodo. Se espera que esta alumna obtenga el grado en este semestre 2025-2. La tesis la hizo bajo la dirección del responsable del proyecto.

Otro Otro

Nombre Efecto de los distintos tipos de vallas y la estacionalidad sobre la composición de artrópodos y pequeños vertebrados de la Reserva Ecológica del Pedregal de San Ángel, Ciudad de México, México

Año 2025 **Difusión** Nacional

Descripción

Avances de tesis profesional del alumno, becario del proyecto, Erick Alejandro Oseguera Hernández. Gracias la beca de conclusión de estudios ha tenido avances en su tesis (grado de avance: 75%). La tesis la hizo bajo la dirección del responsable del proyecto.

Otro Otro

Nombre IMPACTO DE LAS VÍAS FÉRREAS EN LOS SISTEMAS BIOLÓGICOS

Año 2025 **Difusión** Nacional

Descripción

Se tiene un avance de 95% en la tesis de licenciatura de Adrián López Soulé, becario del proyecto. La beca ha permitido que los estudios de este estudiante se vean acelerados. Adrián ya tiene sinodales asignados, y solamente está haciendo las últimas correcciones al texto para turnárselo. Su tesis se llevó a cabo en el Laboratorio de Interacciones y Procesos Ecológicos, bajo la dirección del responsable del proyecto.

Otro Otro

Nombre ANÁLISIS DEL CONSORCIO DE MICROALGAS PRESENTE EN LAGUNAS DE ALGAS DE ALTA TASA (HRAP) DURANTE EL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES

Año 2025 **Difusión** Nacional

Descripción

Se presentan los avances de tesina de la alumna Sandra Guerrero, becaria del proyecto y prestadora de servicio social del laboratorio del responsable del proyecto. Sandra aprovechó la beca para tener avances en su carrera. Se titulará con una tesina en la opción de titulación de "Apoyo a la investigación", bajo la dirección de un académico que no participó en el proyecto.

Otro Otro

Nombre ¿Los tejidos vegetales de los muérdagos enanos (*Arceuthobium*) favorecen la diversidad de invertebrados edáficos al momento de formar parte del mantillo de un bosque de *Pinus hartwegii*?

Año 2025 **Difusión** Nacional

Descripción

Andrea Hernández Flores, becaria del proyecto, logró avanzar en su carrera de modo que tiene 85% de avance en su tesis de licenciatura realizada bajo la dirección del responsable del proyecto.
