



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE MEDICINA VETERINARIA Y ZOOTECNIA

ANÁLISIS MICROBIOLÓGICO Y BROMATOLÓGICO DE UNA
MATRIZ DE ASERRÍN Y HECES CANINAS SOMETIDAS AL
PROCESO DE COMPOSTAJE PARA SER USADAS COMO
SUSTRATO AGRÍCOLA

TESIS

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

MÉDICO VETERINARIO ZOOTECNISTA

PRESENTA

JOSE LUIS BAUTISTA HERNÁNDEZ

ASESOR

Dr. ALEJANDRO VARGAS SÁNCHEZ

Ciudad Universitaria, Cd. Mx.

2024



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

DEDICATORIA

Este trabajo está dedicado a mis padres, Romualda Hernández y Juan Santiago Bautista. A la dedicación e inspiración que me ofrecieron siempre, para poder concluir esta etapa de mi vida, además por ser la motivación constante y guía de vida, para mejorar como persona, tanto en el ámbito familiar, laboral, profesional y en las relaciones con mis amistades. Por forjarme como una persona con valores, principios y esmero para dar siempre todo lo mejor de mí y nunca dejar vencerme, con la finalidad de cumplir mis metas, pero sobre todo, por hacer que me sienta orgulloso de mis raíces y cultura del Estado de Hidalgo.

A mis hermanos, Antonio, Eduardo, Alfredo, Abraham y Juan Alberto, porque siempre son y serán mi inspiración, ya que todos los consejos que me brindaron cuando se presentaron momentos difíciles familiares y personales, me han servido para superarlos, con el objetivo de seguir cumpliendo mis sueños y metas. Gracias por siempre cuidarme al ser el hermano menor de la familia.

Para mis amistades y compañeros de vida, Alejandra Gallo, Tete Luna, Gabriela Sánchez, Jessica Morales, Nashelly Bautista, Karen Lara, Abdiel Alatorre, Víctor Sánchez e Imelda Flores, ya que al pasar el tiempo, se han ido incorporando en este camino de mi vida, y los sueños que siempre les he platicado se han hecho realidad, formando parte de ellos, por último, gracias a sus palabras de motivación y por creer en mí, pero ante todo, por permitirme vivir muchas experiencias de alegría, diversión y aprendizaje, siempre los tendré presente en mi vida.

AGRADECIMIENTOS

En un principio a la Universidad Nacional Autónoma de México, así como a la Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia, por proporcionarme las instalaciones y académicos preparados, para adquirir los conocimientos y poder concluir mis estudios universitarios.

A los miembros del jurado por el tiempo dedicado en la revisión de mi trabajo de tesis.

A mi asesor de tesis, al Doctor Alejandro Vargas Sánchez, por proporcionarme la confianza en todo momento al realizar este trabajo en conjunto. Además, por apoyarme siempre con su tiempo y material requerido para concluir la tesis. También, todo el conocimiento y consejos que me dio en los momentos que los requería, siempre los tendré presentes en mi vida. Pero sobre todo, por su amistad y consideración como una persona capaz para desempeñar esta labor en el proceso de compostaje.

A la doctora Susana Mendoza, por permitir que se lleve a cabo las pruebas de laboratorio necesarias para este proyecto, y a Lupita, por apoyarme con su conocimiento y tiempo en la explicación del procesamiento de las muestras.

Al doctor Oscar Gutiérrez, por darme la oportunidad y confianza al desempeñar mi labor como ayudante de profesor en el CEIEPP, permitiendo estar a cargo de grupos de práctica o servicios sociales, transmitiendo mis conocimientos y experiencias relacionadas con los cerdos.

También al CEIEPP, por todas las nuevas amistades, momentos de experiencia que me dejó el centro.

Y por último, a todo el personal de la Unidad de Sanidad, Prevención y Control Animal (USPCA) de Cuautitlán Izcalli, por permitirnos la entrada y el trato amable para poder llevar a cabo la parte experimental de esta tesis.

CONTENIDO

DEDICATORIA.....	II
AGRADECIMIENTOS	III
LISTA DE ABREVIATURAS.....	VIII
RESUMEN	IX
INTRODUCCIÓN	1
Situación internacional y de México en la tenencia de perros.	3
Residuos sólidos urbanos producidos en la ciudad de México y área conurbada.....	5
Situación de la producción de excretas caninas.	6
Enfermedades zoonóticas parasitarias y bacterianas transmitidas por medio de excretas caninas.....	9
Vías de transmisión.....	9
Toxocariasis.....	10
Giardiasis.....	11
Ancilostomiasis.....	12
Criptosporidiosis.....	14
Capilariasis.....	15
Factores predisponentes de las parasitosis zoonóticas.	16
Salmonelosis no tífica.....	17
Colibacilosis.....	19
Campilobacteriosis.....	20
Proceso de compostaje como alternativa.....	22
Factores no biológicos.....	22
Temperatura.....	22
Aireación.....	23
Humedad relativa y porosidad.....	24
Relación Carbono-Nitrógeno (C:N).....	25
pH.....	25
Factores biológicos.....	26
Beneficios del compost en el suelo.....	29
Sustancias húmicas.....	29
JUSTIFICACIÓN	31
HIPÓTESIS.....	31

OBJETIVOS	31
OBJETIVO GENERAL	31
OBJETIVOS PARTICULARES	31
MATERIAL Y MÉTODOS.....	32
Metodología.	32
RESULTADOS.....	36
Temperatura.	36
pH.	37
Humedad Relativa.	37
Evaluación organoléptica.....	38
Peso.....	39
Resultados químicos.....	39
Prueba de fitotoxicidad.	44
Evaluación parasitológica.	45
Pruebas bacteriológicas.....	46
DISCUSIÓN	52
Temperatura.	52
pH.	53
Humedad relativa (HR).	53
Evaluación organoléptica.....	54
Peso.....	54
Evaluación química.....	55
Relación C:N.....	57
Prueba de fitotoxicidad.	58
Evaluación parasitológica.	60
Análisis bacteriológico.	61
CONCLUSIONES GENERALES.....	63
CONCLUSIONES ALTERNAS.	64
PROSPECTIVA.....	65
REFERENCIAS.....	66
ANEXO.	77
1.1 Inóculo endógeno.	77
1.2 Pruebas bacteriológicas.....	78

1.3. Gráficos de tendencia de temperatura del proceso de compostaje de heces caninas.....	80
1.4. Evaluacion organoleptica	82
1.5 Elaboración de las pilas de compost de heces caninas y aserrín	83
1.6 Elaboración de las pilas de compost de heces caninas y aserrín	84

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Ciclo biológico de <i>Toxocara canis</i>	11
Figura 2. Ciclo biológico de <i>Giardia spp</i>	12
Figura 3. Ciclo biológico de <i>Ancylostoma caninum</i>	13
Figura 4. Ciclo de vida de <i>Cryptosporidium spp</i>	15
Figura 5. Ciclo de vida de <i>Capillaria hepatica</i>	16
Figura 6. Fases de temperatura en el proceso de compostaje	23
Figura. 7 Zonas de inserción de sensores para medición de temperatura y humedad	34
Figura 8. Agar ICC	46
Figura 9. Agar ICC	47
Figura 10. Tinción de Gram.....	47
Figura 11. Agar MacConkey.....	48
Figura 12. Agar Salmonella-Shigella.....	48
Figura 13. Agar EMB.....	49
Figura 14. Agar Fluorocult.....	51

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Factores fisicoquímicos que afectan la supervivencia de E. coli.....	20
Tabla 2. Temperatura y tiempo de inactivación de agentes patógenos	27
Tabla 3. Tiempo de las diferentes fases de temperatura durante el pc de heces caninas.....	37
Tabla 4. Cantidad de humedad adicionada a las repeticiones del compostaje de heces caninas y aserrín	38
Tabla 5. Variación de peso de las repeticiones al inicio y final del pc de heces caninas y aserrín.....	39
Tabla 6. Variación de los niveles de macroelementos y elementos traza al inicio y final del pc de heces caninas y aserrín	42

Tabla 7. Resultados de las pruebas parasitológicas al inicio del proceso de compostaje.....	45
Tabla 8. Resultados del antibiograma de las bacterias aisladas en el proceso de compostaje de heces caninas y aserrín	50

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1. Variación del porcentaje de Nitrógeno Total (NT) al inicio y final del pc de heces caninas y aserrín.....	40
Gráfico 2. Variación del porcentaje de Carbono Orgánico (CO) al inicio y final del pc de heces caninas y aserrín.....	40
Gráfico 3. Variación del porcentaje de Materia Orgánica (MO) al inicio y final del pc de heces caninas y aserrín.....	41
Gráfico 4. Variación de la relación Carbono: Nitrógeno al inicio y final del pc de heces caninas y aserrín	42
Gráfico 5. Índice de germinación de las compostas de heces caninas y aserrín	44
Gráfico 6. Promedio del Índice de germinación de las compostas de heces caninas y aserrín	45
Gráfico 7. Concentración bacteriana del proceso de compostaje de heces caninas y aserrín.....	51
Gráfico 8. Temperatura promedio de la REP1 durante el pc heces caninas y aserrín.....	80
Gráfico 9. Temperatura promedio de la REP2 durante el pc de heces caninas y aserrín.....	80
Gráfico 10. Temperatura promedio de la REP3 durante el pc de heces caninas y aserrín	81
Gráfico 11. Temperatura promedio de la REP4 durante el pc de heces caninas y aserrín	81

LISTA DE ABREVIATURAS

ATP = adenosin trifosfato	O₂ = oxígeno
AH = ácidos húmicos	O = lipopolisacárido
AF = ácidos fulvicos	AF = ácidos fulvicos
Cd.Mx. = Ciudad de México	PAOT = Procuraduría Ambiental y de Ordenamiento Territorial de la Ciudad de México
CO₂ = dióxido de carbono	P = fósforo
°C = grados centígrados	PC = proteína cruda
C = carbono	pc = proceso de compostaje
CO = carbono orgánico	p. ej. = por ejemplo
COT = carbono orgánico total	ROU = residuos orgánicos urbanos
cm = centímetro	ROD = residuos orgánicos domésticos
Ca = calcio	RSU = residuos sólidos urbanos
Cu = cobre	SMADF = Secretaría de Medio Ambiente del Distrito Federal
d = día	SV = sólidos volátiles
DF = Distrito Federal	SH = sustancias húmicas
GEI = gases de efecto invernadero	SHV = síndrome hemolítico urémico
g = gramo	ton = tonelada
h = hora	UFC = unidades formadoras de colonias
H+ = hidrógeno	USPCA = Unidad de Sanidad, Prevención y Control Animal
H = proteína flagelar	USDA = United States Department of Agriculture
HR = humedad relativa	Vi = antígeno capsular
Hr = huminas residuales	% = porcentaje
HNO₃ = ácido nítrico	
H₂S = ácido sulfhídrico	
IG = índice de germinación	
Kg = kilogramo	
K = potasio	
L = litro	
MO = materia orgánica	
mm = milímetro	
min = minuto	
N₂O = óxido nítrico	
N₂ = nitrógeno gaseoso	
NRC = National Research Council	
NH₃ = amoníaco	
NH₄ = amonio	
NO₃ = nitrato	
NO₂ = nitrito	
NT = nitrógeno total	
NMP = número más	

RESUMEN

BAUTISTA HERNÁNDEZ JOSE LUIS. Análisis Microbiológico y Bromatológico de una Matriz de Aserrín y Heces Caninas Sometidas al Proceso de Compostaje Para ser Usadas Como Sustrato Agrícola.

En México, 45 millones de hogares poseen un perro y hasta el momento, las excretas generadas, no son manejadas ni dispuestas adecuadamente; por lo que estos residuos contienen agentes patógenos que son dispuestos inadecuadamente y pueden contaminar el medio ambiente, ocasionando problemas de salud pública. Así que, como alternativa a esta problemática, se elaboraron pilas mezclando heces caninas, aserrín e inóculo y ajustando la humedad en 50%. La medición de temperatura y humedad se realizó en tres zonas dentro de las pilas. Estas fueron muestreadas en los días 3 y 28 del proceso de compostaje para realizarles pruebas parasitológicas, bacterianas, fisicoquímicas y de fitotoxicidad. La temperatura registrada, siguió la tendencia característica del proceso de compostaje y en algunas pilas, alcanzó hasta 73°C; al finalizar el proceso, la humedad promedio fue de 39.25%, mientras que el pH obtenido fue cercano a la neutralidad. La mitad de las pilas redujeron su peso más del 40%, mientras que el índice de germinación fue al menos del 70%. El aspecto final del compost obtenido presentó textura fina, coloración café oscuro, y no presentó olores desagradables. Los parásitos que se eliminaron fueron *Capillaria* spp, *Toxocara* spp y *Criptosporidium* spp, observando solo nematodos y ácaros de vida libre (no relacionados con enfermedades). También, se aislaron e identificaron *E. coli* genérica y *C. freundii*, que solo presentaron resistencia a las penicilinas y cefalosporinas. Para el caso de la concentración bacteriana promedio, esta fue de 6.52 Log 100 UFC/g. Los niveles de N, P y K se mantuvieron entre 1-3%, dentro del rango indicado en la norma mexicana correspondiente. Con estos resultados, el compost generado se clasificó como Tipo C, por lo que solo puede utilizarse en áreas verdes urbanas y en la reforestación. Estos resultados sirven como evidencia del potencial del proceso de compostaje para tratar adecuadamente las heces caninas, reduciendo con esto el impacto ambiental y su potencial infeccioso para el hombre y otros animales susceptibles.

INTRODUCCIÓN

En la actualidad, la sociedad ha modificado la manera de tener animales de compañía, tan solo, en el año 2014, se estimó que en México existían más de 45 millones de hogares con algún animal de compañía (perro o gato), de los cuales el 86.6% tenían perros.¹ La tenencia responsable de ellos asegura la prevención de accidentes y transmisión de enfermedades zoonóticas.² Por lo que dos estrategias básicas son la implementación de un calendario de vacunación y desparasitación.³

En la Ciudad de México (Cd. Mx.) se registra una producción diaria superior a media tonelada de heces caninas, lo que representa más de 180 toneladas (ton) por año.⁴ La disposición de las excretas se lleva a cabo regularmente depositándolas en botes de basura, en inodoros, coladeras o en el mejor de los casos en contenedores exclusivos para estos residuos, en algunos casos se encuentran en sitios públicos (parques, centros comerciales u hospitales veterinarios).⁵ Sin embargo, cuando permanecen en áreas públicas, son un riesgo potencial de salud, debido a que en temporada seca las heces se deshidratan y las partículas pulverizadas son transportadas por corrientes de aire como bio-aerosoles que posteriormente pueden ser dispersadas y ser fuente de contaminación.^{6,7} Por otra parte, cuando las heces se encuentran acumuladas (o dentro de bolsas de plástico) y no son manejadas, se establece un ambiente de anaerobiosis, provocando que la materia orgánica se fermente y crezcan especies microbianas que producen gases de efecto invernadero (GEI) como el metano (CH₄) y dióxido de carbono (CO₂), provocando contaminación ambiental y molestia en la población debido a olores desagradables.⁸

Por otro lado, se han reportado 19 géneros de parásitos en excretas de perros, siendo los más frecuentes *Cryptosporidium* spp, *Giardia* sp, *Taenia* sp, *Toxocara canis* (*T. canis*), *Toxocara cati*, *Toxoplasma gondii*, *Trichuris vulpis* y *Ancylostoma caninum* (*A. caninum*).^{9,10} De estos, la mayoría se transmiten al estar en contacto con las heces de los animales.^{9,11} En un estudio, se analizaron muestras de suelo que fueron colectadas en diferentes parques, en

Baja California, México. Del total, el 11.6% estaban contaminadas con parásitos, principalmente *T. canis* (46.4%) y *A. caninum* (5.3%).¹² Por su parte, Eguia-Aguilar *et al.*, (2004),¹³ tomaron 75 muestras de intestinos de perros de la Cd. Mx, de las cuales el 62.5% fueron positivas a la presencia de *A. caninum* y 13.3% a *T. canis*. En Oaxaca, Vélez-Hernández, *et al.*, en 2014,¹⁴ informaron una prevalencia de 47.78% de *T. canis* y 17.88% para *A. caninum* en heces de perro. Además, de la existencia de parásitos, hay bacterias patógenas en las heces como *E.coli* genérica, *Salmonella* spp, *Campylobacter jejuni*, *Enterococcus faecalis*, *Shigella flexneri*, *Streptococcus canis*, *Staphylococcus aureus* y *Clostridium difficile*; ambos agentes pueden afectar la salud humana provocando problemas respiratorios, digestivos y nerviosos.^{15,16,17}

Hasta el momento, las formas principales de tratamiento de las heces caninas han sido el enterramiento, la incineración y el empleo de biodigestores.¹⁸ Sin embargo, la mayoría de estos procesos presentan efectos colaterales debido a las modificaciones en las características fisicoquímicas del suelo, la generación de lixiviados que contaminan los mantos freáticos, así como la producción de GEI que adicionalmente causan problemas sociales.¹⁹ Una alternativa a esta problemática es el empleo del proceso de compostaje (pc), donde la degradación se lleva a cabo en un ambiente aerobio, mediante la interacción de microorganismos degradadores, en el cual se genera calor extremo, CO₂ y vapor de agua.²⁰ El pc ha dado tan buenos resultados que la Cd. Mx. lo implementó para el manejo y aprovechamiento de los residuos orgánicos urbanos (ROU).²¹ No obstante, la mayor aplicación del pc debe ocurrir en unidades de producción animal para manejar excretas y cadáveres, utilizando el producto remanente, el compost, como fertilizante para la agricultura.^{22,23,24}

Se ha desarrollado en Canadá, Inglaterra y los Estados Unidos, proyectos de compostaje de heces caninas, en donde los resultados obtenidos fueron alentadores y la sociedad los aceptó como medida de tratamiento y para reducir la contaminación ambiental.^{15,25,26,27} Por ejemplo, el trabajo realizado por Nemiroff, *et al.*, (2007),²⁶ donde realizaron el pc de heces caninas con viruta de madera, obteniendo una degradación adecuada de las excretas pero

con reserva del producto final, debido a la presencia de patógenos, después de llevar a cabo el proceso.

La viabilidad del pc empleado para degradar los Residuos Sólidos Orgánicos (RSO) radica en la actividad de un consorcio microbiano con metabolismo aeróbico que genera calor, a su vez se favorece por el mantenimiento de la humedad que propicia la conservación de la temperatura en las diferentes fases del proceso, así como intervención en el metabolismo de los microorganismos, y como resultado un aumento de la biomasa microbiana.^{28,29} Por su parte, otros parámetros como el pH, condiciona la presencia de ciertos microorganismos debido a cambios extremos en los valores del medio y que favorece se lleven a cabo ciertas reacciones bioquímicas necesarias para el pc.²⁹ Además, se ha demostrado que la temperatura superior a 55°C alcanzada dentro de pilas de materiales compostados, reduce o elimina la cantidad de bacterias patógenas como *Escherichia coli* genérica y *Salmonella* spp; así como los huevos y quistes de helmintos, esporas de hongos y semillas de malezas, generando así un producto inocuo para el hombre.^{30,31,32}

Por otra parte, la combinación correcta de una fuente de carbono y nitrógeno es necesaria para que se lleve a cabo de manera correcta el pc y que la biomasa se desarrolle a lo largo del proceso. Así, el aserrín por sus características químicas, es una alternativa de uso como fuente de carbono, ya que cuenta con un 5-15% de humedad, tamaño de partícula de 0.5-1 milímetros (mm), 57.09% de porosidad de retención de agua y 24.75% de porosidad de aireación,³³ lo que sirve para mantener un ambiente idóneo en el desarrollo del pc.

Situación internacional y de México en la tenencia de perros.

El lobo es el ancestro del perro doméstico actual, el cual aproximadamente hace unos 14 mil años fue domesticado. Ciertas características fenotípicas permanecen en algunas de las razas de los perros actuales. La capacidad de adaptación, convivencia y trabajo en sociedad ha permitido una relación estrecha con los humanos. Varios estudios han demostrado influir de manera positiva en la salud y bienestar del ser humano (terapéutico, fisiológico,

psicológico y social). Sin embargo, se debe tomar en cuenta la salud mental y física del animal, así como la integridad física del hombre.³⁴

Las principales funciones que ha cumplido el perro implican desde asistencia a personas con alguna discapacidad, en el pastoreo de animales, de guarda y protección, compañía, caza, de rescate, en la parte deportiva, entre otras actividades.³⁵ De acuerdo a la Procuraduría Ambiental y del Ordenamiento Territorial (PAOT),³⁶ se define como animal de compañía a “todo animal mantenido por el humano para su acompañamiento y que vive bajo sus cuidados, sin riesgo para su vida y la de la comunidad” y que en muchas ocasiones se considera como un “amigo incondicional”.

La tenencia de perros ha venido en aumento en los últimos años dentro de entornos familiares. No se tiene una cifra exacta de cuántos cánidos existen, pero de acuerdo al White Mountain Group,³⁷ en el 2017 existían 670 millones de mascotas en el mundo, mientras que para el 2022 se estimó 730 millones, de los cuales el 45% lo proporciona Latinoamérica. Por su parte, en México se estima que hay 23 millones de perros, de los cuales el 70% se encuentran sin un hogar, reportando un exceso de perros en varios estados del país. La reproducción incontrolada ha permitido un exceso de cánidos. Uno de los manejos que se realiza para el control de la población es la esterilización de machos y hembras, sin embargo, la falta de campañas puede generar la concentración de poblaciones y los que se encuentran en situación de calle terminan siendo exterminados cruelmente, por parte de las personas así como presentándose problemas de salud pública (zoonosis y ataques a los transeúntes).³⁸ Este aumento puede llegar a convertirse en un problema de coexistencia, por las implicaciones en la salud humana, por lo que se deben llevar a cabo medidas necesarias para minimizar factores de riesgo en la transmisión de enfermedades entre especies.

Existe el desconocimiento de los propietarios en cuanto a las enfermedades que pueden llegar a causar una nula o mala disposición de las excretas caninas. Los principales medios por los cuales se pueden transmitir microorganismos son los bio-aerosoles, el agua de consumo, comida, saliva y

la materia fecal de los perros. Por lo tanto, el cumplimiento de las normas de convivencia con los animales de compañía, es una medida que se debe seguir para evitar conflictos con las personas más cercanas.

Es por esto que el rol del médico veterinario toma importancia, al sugerir manejos con el animal, brindando información de los cuidados y requerimientos que se van a tener, el tipo de alimentación, vacunación, desparasitación, aseo e higiene, actividades de recreación y paseos, el financiamiento, así como el manejo adecuado de las excretas.³⁵

Residuos sólidos urbanos producidos en la ciudad de México y área conurbada.

Se define residuos sólidos urbanos (RSU) a todos “aquellos generados en las casas habitación, que resultan de la eliminación de los materiales utilizados en las actividades domésticas, de los productos que consumen y de sus envases, embalajes o empaques; los residuos que provienen de cualquier otra actividad dentro de establecimientos o en la vía pública que genere residuos con características domiciliarias y los resultantes de la limpieza de las vías y lugares públicos, siempre que no sean considerados por esta Ley como residuos de otra índole”. El manejo de los residuos tiene como objetivo el bienestar social, considerando la mejora de servicios, valorización material y energética, inspección y vigilancia, así como la generación de cadenas productivas para la toma de decisiones en el manejo y aprovechamiento de residuos. De acuerdo a datos de la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, en la Cd. Mx. se producen 9,552 ton/día de residuos, en el Estado de México 16,739 ton/día, mientras que en Jalisco 7,961 ton/día, que concentran el 28.5% de todos los residuos generados en el país. Para el año 2020, se estimó que el 31.55% de los residuos eran susceptibles de aprovechamiento, mientras que el 46.42% eran orgánicos.³⁹

Por otra parte, se ha observado un aumento mundial en la generación de desechos plásticos, tan solo en 2018 fue más de 350 millones de ton. Se estimó una producción en Asia del 51%, en América del Norte del 18%, en Europa del 17% y África, América del Sur y Australia contribuyeron con el 14%

del total de residuos plásticos. Siendo el polipropileno y el polietileno, los polímeros más utilizados para la producción de envases de alimentos, contenedores, cubiertas, películas, pipas, bolsas de un solo uso, etc., de los cuales, solo un porcentaje se llega a reciclar, tiene un valor energético o se depositan en rellenos sanitarios.⁴⁰

Situación de la producción de excretas caninas.

La producción de excretas caninas que se generan en las casas habitación representa una fracción importante, sin embargo, otra parte se produce en las calles por perros sin un límite territorial y que deambulan con libertad.

De acuerdo a la Ley de Protección a los Animales de la Ciudad de México, artículo 29,³ establece que toda persona propietaria, que compre o adquiera un animal de compañía está obligada a cumplir con las disposiciones correspondientes establecidas en la presente Ley, en la cual, los propietarios están obligados a recoger las heces dispuestas por su animal cuando transite con él en vía pública. Ya que el comportamiento de los cánidos al deambular en diferentes áreas públicas, defecan y orinan, lo que puede servir como fuente de infección para otros perros y para el humano (zoonosis).

Además, genera contaminación visual lo que repercute en un impacto económico negativo, desaliento en la inversión y reducción en la afluencia del turismo regional, debido al aspecto inapropiado de las áreas públicas. Y por esto, las actividades de recolección y manejo de las heces de perros presentan poco interés por las instituciones gubernamentales.⁴¹ También, es socialmente inaceptable el hecho de no hacerse responsables de la recolección de las excretas de sus perros, por lo que debe existir un cambio de comportamiento por medio de la construcción del concepto de “dueño responsable”.

Por otra parte, la cantidad de excretas que puede producir un perro depende de varios factores, como puede ser, la talla del animal, edad, estado fisiológico y el tipo de alimentación proporcionado. Por ejemplo, Taylor (2004),⁴² estimó la producción de 340 g de heces caninas por día en perros de talla mediana y 140 g para los de talla chica.

En la actualidad, hay diferentes tipos de dietas, de las cuales existen distintas formulaciones, basadas en ingredientes de origen vegetal y animal. La cantidad de alimento que consume un perro, depende de la edad, estado fisiológico y talla. De acuerdo al National Research Council (por sus siglas en Inglés, NRC), el requerimiento mínimo de proteína cruda (PC) para perros y gatos adultos es del 8% y 16%, respectivamente. Sin embargo, se ha reportado un contenido del 40.8% en promedio de PC en alimentos enlatados, mientras que en alimentos secos el 31.4% de PC, más de los requeridos, que pueden no proporcionar una nutrición óptima para el animal y en lugar de eso, un porcentaje se descompone para obtener energía y otra parte se acumulará en forma de grasa, por lo que sólo una fracción será eliminado y a su vez transferidos al ambiente.⁴³

Se reconoce que la calidad y tipo de alimentos ofrecidos pueden influir en la presencia de agentes patógenos en las excretas. Este hecho fue reportado en 2022 por Solis D, *et al.*,⁴⁴ donde analizaron 42 dietas a base de carne cruda y 24 dietas de alimentos extrudizados (comerciales), de los cuales obtuvieron los siguientes resultados; para dietas a base de carne de 1.4×10^5 a 4.3×10^8 UFC/g, mientras que para las dietas extrudizadas de <1.0 a 1.8×10^3 UFC/g. Los microorganismos que se lograron aislar fueron *Salmonella* spp y *Listeria monocytogenes*. De los 33 perros alimentados con dietas a base de carne cruda, el 33.3% excretó en las heces agentes patógenos y de los 22 caninos alimentados con dietas extrudizadas, no se lograron aislar las bacterias antes mencionadas.

Tomando en cuenta lo antes referido, las heces caninas al desintegrarse y pulverizarse por la desecación del sol, el arrastre por el agua de lluvia o por acción del pisoteo de las suelas de los zapatos, provoca la sobrevivencia y dispersión de agentes patógenos en el ambiente, provocando enfermedades zoonóticas.⁴⁵ Y no solo afecta a la población, sino al ambiente donde quedan incluidos los cuerpos o corrientes de agua, zonas de reserva, playas y parques. La disposición inadecuada de este residuo es un problema en varios países, debido a que existen formas limitadas de disponerlas; las personas que las recogen lo hacen utilizando bolsas plásticas de un solo uso, aumentando con esto el consumo y la generación de residuos plásticos que se vierten al

ambiente y cuya desintegración puede tardar años en lograrse. Además, se sugiere que desechar las excretas en bolsas plásticas, tiene un mayor impacto ambiental que las heces no recolectadas, debido al proceso de fermentación que ocurre al mantenerse selladas,⁴⁰ las cuales, la mayoría son dispuesta en los camiones recolectores de las ciudades, alcaldías o municipios, generando molestia, debido a la presencia de malos olores y atracción de vectores (ratas, moscas o cucarachas).

Por lo tanto, las personas encargadas de la separación y selección de los Residuos Orgánicos Domésticos (ROD), tienen una ocupación peligrosa, ya que arriesgan su salud al entrar en contacto con algún residuo peligroso, biológico-infeccioso (p. ej., plomo, asbesto, sangre, materia fecal, vidrios rotos, cadáveres de animales, objetos punzocortantes o metales oxidados), vectores (como perros y ratas) o tener algún accidente al operar maquinaria pesada, dónde en muchos casos, trabajan sin equipo de protección personal. Debido a esto, pueden llegar a presentar problemas respiratorios (por exposición al polvo, gases, sustancias químicas peligrosas), dermatológicos, músculo-esqueléticos (fracturas) y heridas.⁴⁶

Además, si las excretas caninas, junto con otro tipo de residuos orgánicos llegan ya sea a tiraderos a cielo abierto o rellenos sanitarios, la materia orgánica que contiene, se descompone pasivamente y genera debido al proceso de fermentación, los más potentes GEI (principalmente metano), que pueden provocar contaminación por humo, cuando se presentan incendios al acumularse ciertos gases.

Por esta razón, se han buscado alternativas para manejar y disponer de las excretas de perros. Por ejemplo, un método es el uso de biodigestores para la generación de biogas y energía, de hecho en 2019, Martínez-Sabater, *et al.*,⁴⁷ mencionan que la combinación de heces caninas y residuos vegetales, aumenta su potencial para la generación de biogas con valores similares a los excrementos de bovinos. Otra alternativa es incluir las heces en el proceso de lombricompostaje, donde estas son degradadas por los microorganismos encontrados en el tracto digestivo de las lombrices (*Eisenia foetida*).⁴⁸

Otro método es disponerlas en contenedores, que se entierran en el suelo, donde las heces se acumulan hasta llenarlos, y al adicionar enzimas comerciales, la materia fecal es degradada, aunque el tiempo del proceso es variable, y el producto generado no se ha analizado bromatológicamente, además se desconoce el papel del método, sobre la posible contaminación al suelo.

Debido a que las anteriores opciones no han mostrado tener la certeza en la capacidad para tratar efectivamente las excretas, y a la limitada información sobre el manejo y tratamiento de heces caninas, se muestra como opción el pc, que puede emplearse para tratar la materia orgánica hasta su completa degradación y simultáneamente inactivar los agentes patógenos presentes, hasta generar un producto inocuo para el hombre, los animales y el ambiente. Como en la investigación de Martínez-Sabater, *et al.*,(2019),⁴⁷ donde compostaron heces caninas, ROD y restos de poda, obteniendo un compost con características bromatológicas aceptables, pero sin considerar la inactivación de agentes patógenos.

Enfermedades zoonóticas parasitarias y bacterianas transmitidas por medio de excretas caninas.

Las zoonosis son enfermedades infecciosas transmitidas de los animales al ser humano bajo condiciones naturales. Algunos de los agentes que pueden ser transmisibles son bacterias, virus, parásitos, hongos y rickettsias. En los últimos años se ha visto un aumento en la emergencia y reemergencia de ciertas zoonosis, asociado a cambios ecológicos, climáticos y socioculturales, provocando un acercamiento más estrecho con el hábitat de los animales silvestres. Además, se ha visto que los sectores de la población de mayor riesgo son los menores de edad (< 5 años), personas con alguna enfermedad que suprime al sistema inmune y a los adultos mayores.⁸

Vías de transmisión.

Los agentes antes mencionados pueden ser transmitidos por varias formas, entre ellas se encuentra el contacto directo, ingestión, inhalación, vectores o mordeduras; algunos agentes pueden utilizar dos o más vías de transmisión.⁸

De las principales enfermedades transmitidas por excretas de perros, se mencionan las siguientes:

Toxocariasis.

Es producida por el nematodo *Toxocara canis*, distribuida en todo el mundo. La infección se da por la ingestión de alimentos contaminados o por contacto directo con excretas, que contienen los huevos del parásito. Es uno de los agentes con mayor relevancia por las diferentes presentaciones clínicas que puede causar en el ser humano. Las presentaciones clínicas y patológicas van a depender de los órganos a los cuales afecta la migración de este agente; la primera es el síndrome de *larva migrans* visceral, la segunda de *larva migrans* ocular y la tercera es la *larva migrans* neurológica. Los niños menores de 5 años son los más expuestos cuando practican la geofagia.⁴⁹ De hecho, en los Estados Unidos, se reportaron 70 casos de ceguera en niños, causada por este parásito; en contraste, en México no se tienen datos de la presentación de esta enfermedad, sin embargo, se han hecho estudios de serología en la población, de la que han resultado prevalencias del 22.22% en el Estado de México, 26.2% en Durango y 12.02% en otros municipios del Estado de México,¹² lo cual indica una exposición a este parásito en algún momento.

Debido al escaso conocimiento de la sintomatología, no se llega a realizar un diagnóstico completo y acertado, por lo que existe el riesgo de infección en la población. Además, factores como la temperatura y humedad elevadas, propician la presencia de huevos de parásitos en los suelos, ya que a partir de 4°C se lleva a cabo el desarrollo de los huevos, mientras que puede resistir una temperatura máxima de 37°C.

Las características del suelo tienen un papel importante, ya que los suelos cubiertos de vegetación proporcionan cubierta y resguardo, lo que provoca su permanencia en el suelo y las capas que lo conforman lo hacen resistente al ambiente, sobreviviendo por meses, incluso años.⁵⁰ También, la importancia que tiene la hembra dentro del ciclo del parásito (Figura 1), radica en la

capacidad de producir hasta 200 mil huevos al día (1 g de heces de cachorro infectado puede contener hasta 15 mil huevos).

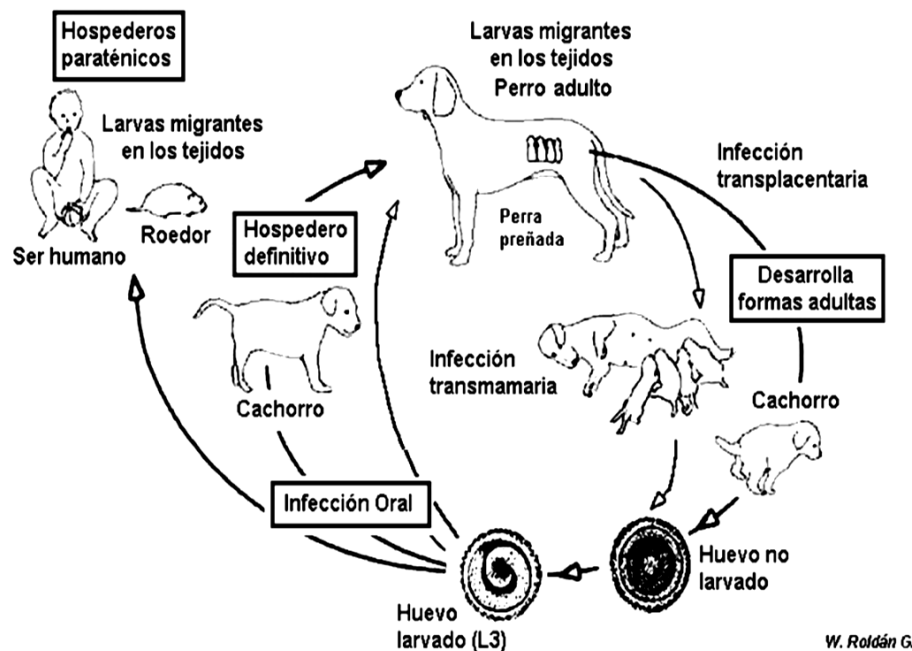


Figura 1. Ciclo biológico de *Toxocara canis*

Tomado de Brenda JPC, et al., 2011.

Giardiasis.

Es una enfermedad cosmopolita y de frecuencia elevada en el hombre, causada por el parásito *Giardia* sp (los principales son: *G. intesitnalis*, *G. duodenalis* y *G. canis*). Tiene una presentación mundial, pero con mayor frecuencia en países en vías de desarrollo. Afecta principalmente a niños, los cuales presentan afecciones gastrointestinales agudas y crónicas como diarrea o síndrome de mal absorción. La transmisión es vía fecal-oral o de forma indirecta por consumo de agua de bebida o alimentos contaminados. Se presenta en países con niveles sanitarios reducidos. El diagnóstico se complica debido a que la eliminación de los ooquistes se da de forma intermitente, por lo que se sugiere utilizar pruebas inmunológicas.

Cuando se adhiere a la mucosa y existe una multiplicación (fisión binaria), que cubre la superficie de los enterocitos e interfieren en la absorción de los nutrientes, provocando cuadros de diarrea o síndrome de mal absorción. Los

principales afectados son los cachorros, debido a que su sistema inmune aún se encuentra en desarrollo, volviéndose un dispersor activo de este parásito al deambular en áreas recreativas concurridas por la gente (Figura 2). En el caso de los perros adultos, la infección es asintomática. Requiere de condiciones de temperatura específicas para seguir su desarrollo (en agua a 8°C durante dos meses y a 21°C por un mes). Sin embargo, estos son sensibles a la luz y desecación; a temperaturas de congelación y a los desinfectantes comunes (cuaternarios de amonio, cloro). Se ha descrito que no es del todo cierta la especificidad de especie, por lo que la *G. intestinalis* se considera común en el hombre y varias especies de mamíferos (perro, gato, bovino y cobayo).^{51,52}

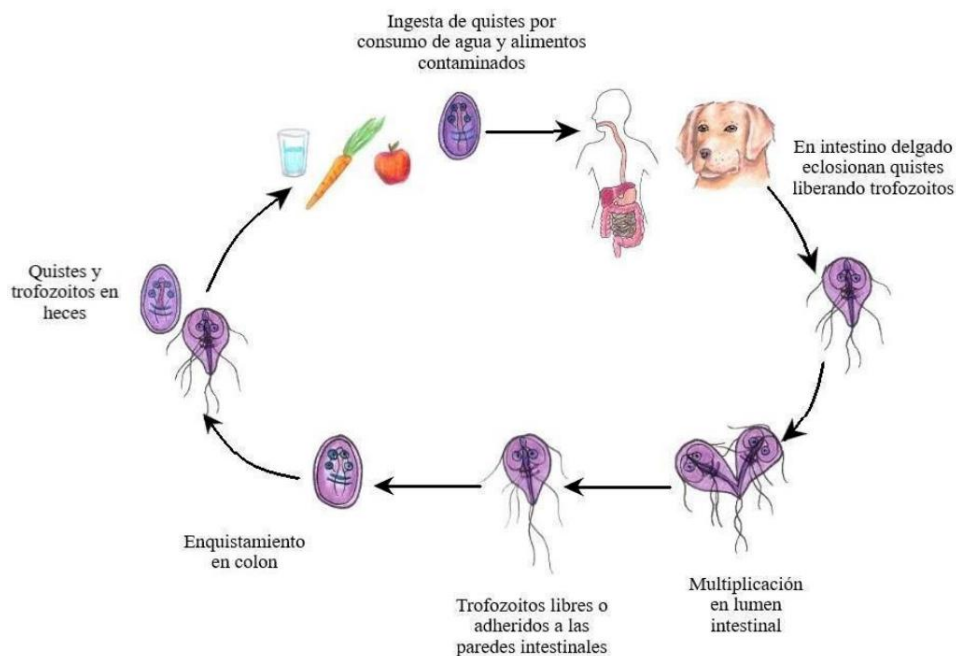


Figura 2. Ciclo biológico de *Giardia* spp

Tomado de Ester NR, 2022

Ancilostomiasis.

Es una enfermedad también conocida como anemia tropical, causada por *Ancylostoma caninum*, el cual es un parásito presente en especies carnívoras domésticas y silvestres. La infestación y acción de larvas adultas puede causar anemia y alteraciones intestinales. Su distribución es mundial, la presentación es cosmopolita (áreas templadas y tropicales), sin embargo, puede predominar

en suelos arenosos como los encontrados en las playas. La transmisión ocurre por vía cutánea y oral. Puede causar problemas de *larva migrans* cutánea y ancilostomiasis intestinal. Cuando infecta al humano tiene manifestaciones clínicas similares a otras parasitosis, lo que dificulta el diagnóstico.^{53,54}

Se trata de una parasitosis común en perros, principalmente en la etapa juvenil. Para la fase larvaria infectante (Figura 3), la humedad, temperatura ambiental, así como el contenido de materia orgánica y el nivel de oxígeno, tienen un papel importante para el desarrollo y transmisión de este parásito, ya que la temperatura en la que se desarrollan los huevos va de los 23°C a los 30°C, sin embargo, son sensibles a la radiación solar y al frío (menos de 15°C). Es por esto que, las fases infectantes predominan en lugares cubiertos por vegetación, sirviendo de protección contra el clima. La presencia de los parásitos en estos lugares se da por la eliminación de los huevos, ya que la hembra produce hasta 15 000 huevos diarios, siendo esto relevante para la infección.

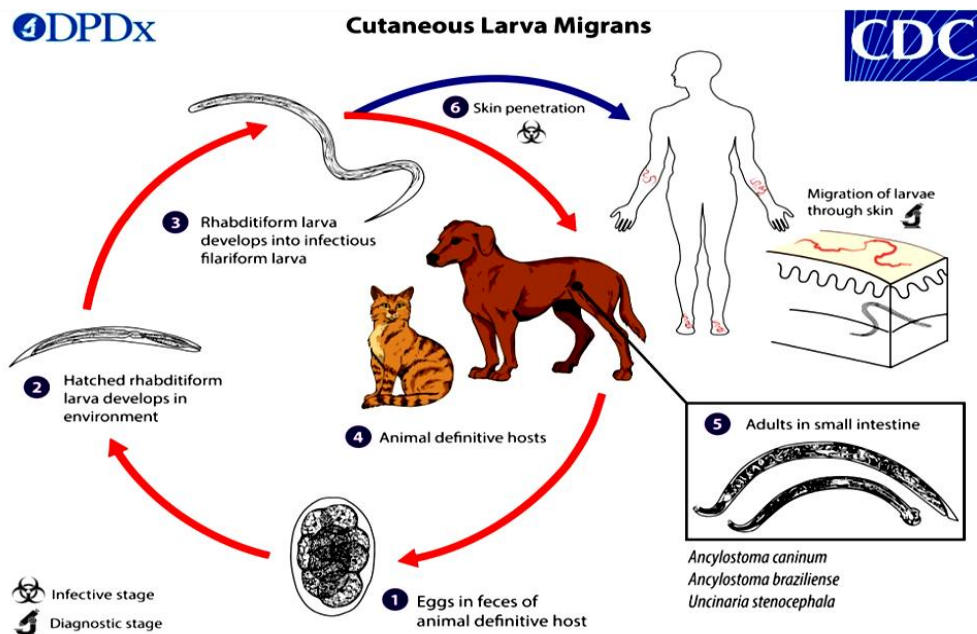


Figura 3. Ciclo biológico de *Ancylostoma caninum*.

Tomado de Centers for Disease Control and Prevention [Internet]. 2019. Disponible en: <https://www.cdc.gov/dpdx/zoonotichookworm/index.html>

Criptosporidiosis.

La criptosporidiosis es una enfermedad causada por *Cryptosporidium* spp, los principales son *C. parvum*, *C. hominis*, *C. felis*, *C. canis*. Es un parasito que tiene poca especificidad en la infección de hospederos, de modo que puede infectar a cualquier animal domestico y al humano. Esta transmisión se da por ingestión de alimentos y agua contaminada con excretas que contienen los ooquistes (hasta 10,000 huevos/ g de heces), asociada principalmente a animales jóvenes y asintomáticos (Figura 4). Esta infección es importante debido a que solo se requiere de al menos 10 ooquiste para la infección. Además, tiende a desarrollarse en ambientes húmedos (pastos de jardines o parques), con climas templados. Resiste los cambios climáticos así como a desinfectantes comunes. En estas condiciones pueden llegar a sobrevivir en el ambiente hasta 6 meses. Sin embargo este se inactiva rápidamente a la acción de los rayos UV, a altas temperaturas (45°C/10 min o 72°C/1 min) y por la desecación.⁵⁵ En el estudio de Martínez-Barbosa I, *et al.*, (2015),⁵⁶ se observó que los perros domiciliados representaron una fuente importante en la transmisión de este parasito, ya que al menos, 11.5% de los 183 perros muestreados resultaron positivos, donde los cachorros y perros adultos asintomáticos fueron la fuente de dispersión del parasito. Es por esto que toma importancia, debido a que esta infección en los humanos, causa principalmente problemas diarreicos severos y constantes, provocando una desnutrición y deshidratación, que en ocasiones puede propiciar la muerte de las personas infectadas.

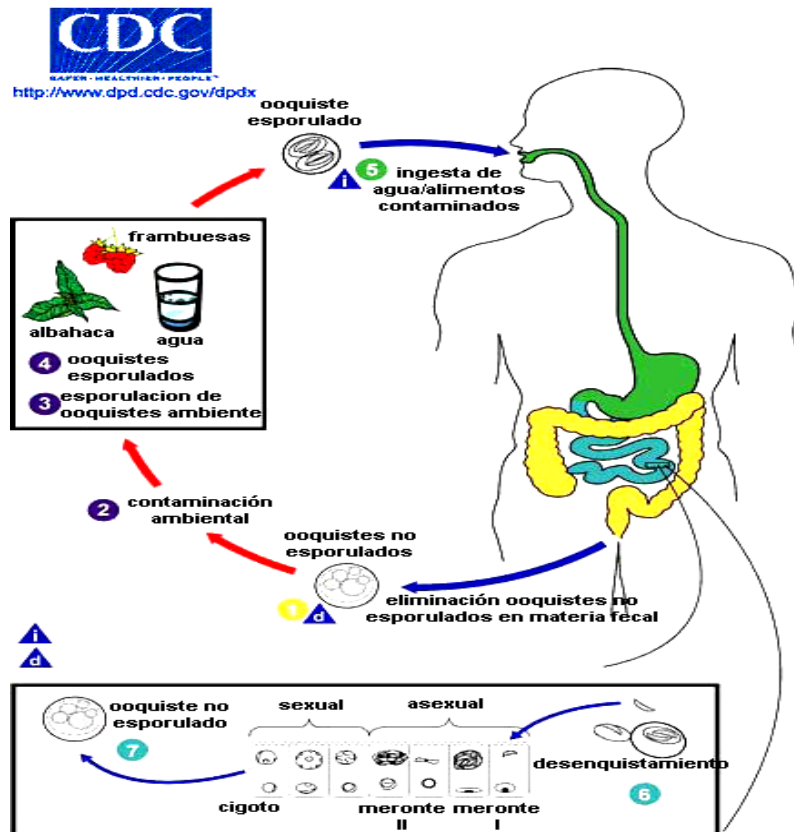


Figura 4. Ciclo de vida de *Cryptosporidium* spp

Tomado de Fundación IO [Internet]. Disponible en: [https://old.com.fundacionio.es/salud- io/enfermedades/parasitos/cryptosporidium/](https://old.com.fundacionio.es/salud-io/enfermedades/parasitos/cryptosporidium/)

Capilariasis.

Es una enfermedad causada por *Capillaria* spp, donde los géneros de importancia en salud humana son *C. philippinensis*, *C. aerophila* y *C. hepática*. Puede llegar a infectar a cerdos, carnívoros o primates, pero con mayor frecuencia la infección de ratas urbanas, los cuales, pueden ser ingeridos por perros o gatos, donde se desarrollan los parásitos y posteriormente diseminan los huevos en las excretas (Figura 5). Para el caso de *C. plica* infecta a los perros provocando problemas urinarios pero no es zoonótico. La principal forma de infección es por alimentos y agua contaminados con excretas, infectando principalmente a niños menores de 5 años y personas inmunosuprimidas. En el caso de los humanos causa: problemas intestinales (diarrea, dolor abdominal), hepatitis, trastornos respiratorios, anorexia y letargia, que puede causar la muerte en humanos. Estos son sensibles a la exposición de la radiación UV, a temperaturas superiores a los 35°C, pero que

puede resistir temperaturas bajo cero y sobrevivir hasta 1-3 años en estas condiciones. Esta parasitosis es importante debido a que se puede presentar lugares húmedos y secos.

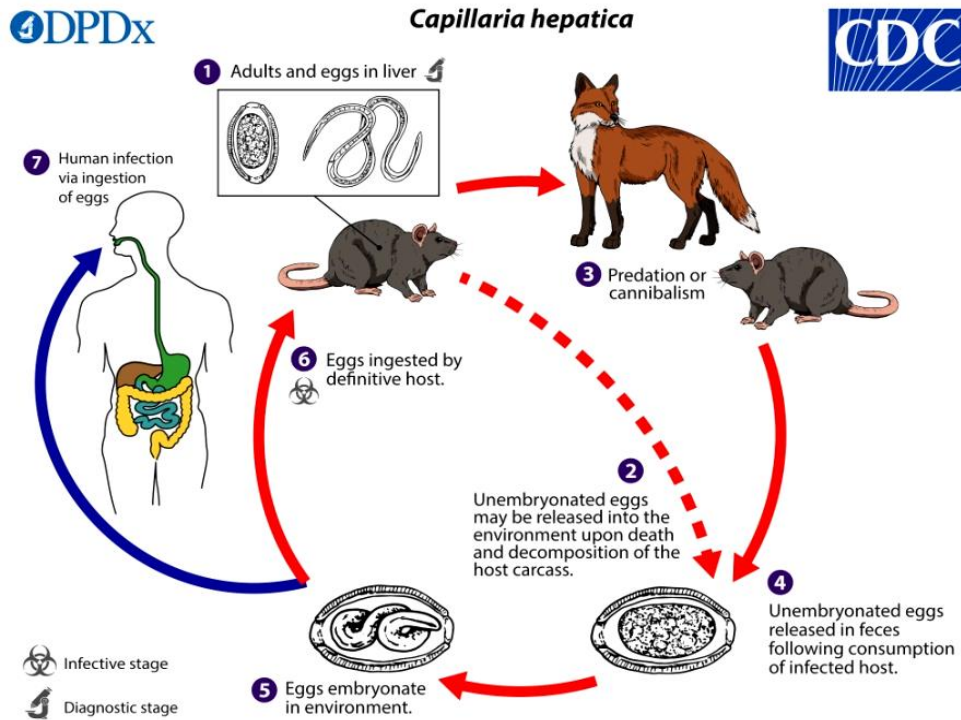


Figura 5. Ciclo de vida de *Capillaria hepatica*

Tomado de de Centers for Disease Control and Prevention [Internet]. 2019. Disponible en: <https://www.cdc.gov/dpdx/hepaticcapillariasis/index.html>

Factores predisponentes de las parasitosis zoonóticas.

La dosis infectante de cada parásito está directamente relacionada con las condiciones del medio ambiente (temperatura, humedad relativa, pluviometría, viento y radiación solar) así como con las características edafológicas, provocando que las infecciones se den de manera lenta o rápida. Las condiciones de temperatura y humedad relativa son los principales factores que regulan la distribución y frecuencia de las infecciones. El conocimiento de las condiciones requeridas para el desarrollo parasitario es de suma importancia, ya que se puede llegar a predecir los periodos de riesgo. Pero el impacto que llega a causar el cambio climático por desastres naturales (olas de calor y frío, inundaciones, tormentas, sequías, incendios, etcétera) pueden propiciar el incremento de la distribución de estos agentes. En el caso de las estaciones del año, se relacionan las condiciones medioambientales de cada zona y la

presencia de focos de parasitosis.⁵⁷ Por ejemplo, en el verano, por las condiciones de la estación, la reproducción de parásitos es rápida; en primavera y otoño suele ser lenta y en invierno es difícil que se logre desarrollar, sin embargo, si los inviernos no son tan fríos puede haber infección. Por otra parte, la mayoría de las larvas se inhiben debido a la radiación solar que puede presentarse en cierta época del año con mayor intensidad. Sin duda, las condiciones ambientales de las zonas rurales y urbanas pueden propiciar la presencia de parásitos en lugares concurridos por personas y perros. Como en el estudio realizado por Martínez–Barbosa I, *et al.*, (2015),⁵⁶ donde observaron que, ciertas zonas de la Ciudad de México (sur y sureste), favorecieron la infección parasitaria en un 53% a los perros muestreados, atribuidos a las condiciones climáticas.

En general, los médicos y personas, tienden a minimizar el impacto que pueden tener estos agentes en la salud humana al encontrarse en el ambiente. Por ejemplo, en el trabajo realizado por Raviola C, *et al.*, (2009),⁵⁸ llevaron a cabo revisiones clínicas a 68 pacientes en comunidades rurales de Paraguay, con edades entre 8 meses y 15 años. De estos, el 68% fueron positivas a la prueba ELISA para la detección de *T. canis*, los cuales, durante el examen físico mostraron al menos una alteración clínica, pero la mayoría eran asintomáticos. En estos lugares, donde se carece de necesidades básicas de salubridad, los pobladores no le dan importancia o desconocen esta situación, permitiendo que los perros defecuen al aire libre, en jardines o en los patios de las casas, donde los niños realizan actividades físicas o conviven con perros y gatos, los cuales carecen de una medicina preventiva básica (vacunación y desparasitación), siendo estos un factor predisponente para la infección humana.

Salmonelosis no tífica.

Producida por el género bacteriano *Salmonella* spp. Es adquirida por contacto directo o la ingesta de alimentos contaminados. Se distribuye en todo el mundo, puede sobrevivir por semanas en ambientes secos y por meses en el agua. Los principales portadores son animales como el perro, aves y reptiles.

La mayoría de las afecciones son gastrointestinales (una de las 4 principales causas de diarrea), pero además se pueden presentar problemas sistémicos (bacteriemia), osteomielitis y meningitis, afectando principalmente a niños menores de edad, personas adultas mayores y pacientes inmunodeprimidos. Después de ingerir los alimentos contaminados, los síntomas se presentan de 6 a 72 h después de haber ingresado al organismo y la enfermedad puede durar de 2 a 7 d. Entre el 60% y 80% de los casos no se registran y con menor frecuencia se diagnostican. En un estudio retrospectivo de México, se reportaron 199 serovariedades en muestras clínicas, las cuales fueron *S. enteritidis* (20.4%), y *S. typhimurium* (18.3%).^{59,60} La mayoría de las afecciones que causa son leves, pero en ocasiones, puede llegar a complicarse, dependiendo del hospedero y el serotipo presente. A nivel mundial, esta bacteria puede presentar resistencia a los agentes antimicrobianos, lo que dificulta el tratamiento de los pacientes afectados.⁶¹

La principal serovariedad que causa problemas de salud es *Salmonella typhimurium*. Son bacilos Gram negativos, móviles y anaerobios facultativos. Se clasifican de acuerdo a los lipopolisacáridos (O), proteínas flagelares (H) y antígenos capsulares (Vi). Presentan un metabolismo oxidativo, fermentativo, pueden producir ácido y gas (fermentación de hidratos de carbono como el citrato). Son catalasa positiva y oxidasa negativos. La formación de colonias se aprecia a partir de las 18 a 24 horas de haberse incubado a 37°C. Los requerimientos para su desarrollo en medios son a un pH 6.6 a 8.2; puede crecer a diferentes temperaturas que van de 5°C a 47°C, sin embargo, temperaturas extremas (pasteurización y congelamiento) lo destruyen. La dosis infectante depende de la virulencia de la cepa. Una vez que ingresa en el organismo, la infección se produce en el intestino delgado y colon (cercano al recto).⁶² Además, la importancia que tienen las endotoxinas producidas por esta bacteria, radica en la alteración del sistema inmunológico, producción de fiebre, alteraciones vasculares (hemorragias), hematológicas (leucopenia, leucocitosis, cambios en los mecanismos de coagulación), que pueden llegar a producir la muerte del hospedero.

Colibacilosis.

Es una enfermedad causada por el género bacteriano *Escherichia coli* genérica. Forma parte de la microbiota normal del intestino en humanos y animales homeotermos. Se excreta diariamente en las heces (10^8 a 10^9 UFC/g) por lo que es uno de los indicadores de contaminación fecal. Tiene capacidad de sobrevivir en el medio ambiente (en agua: 1 d, en sedimentos: 1.5 d y en suelo: hasta 3 d), sin embargo, puede mantener su población debido al desecho continuo de excretas humanas y animales.⁶³ Al formar parte del tracto intestinal, se afronta a diversos antibióticos aplicados en procesos infecciosos, por lo que, existe una alta selección que resiste la acción de estos.

Esta bacteria, es un bacilo corto Gram negativo, aerobia facultativa, no esporulada, que fermenta la lactosa, produce gas en 48 h a $\pm 35^\circ\text{C}$, cuya característica es la división en un corto periodo de tiempo (<20 min), que la vuelven un organismo idóneo para el estudio en diversos experimentos. La temperatura en la que crece va de 36°C a 40°C en el tracto intestinal de animales, sin embargo, en el medio ambiente puede crecer a $>30^\circ\text{C}$. Los ambientes húmedos afectan gravemente el crecimiento de la bacteria, ciertas cepas pueden resistir la desecación y al ser rehidratadas, las sobrevivientes, pueden volver a dividirse. Además, dependiendo de la cepa, puede presentar una adaptación a cierto pH dentro y fuera del organismo, cuando son excretadas.⁶⁴

Las principales afecciones que causa en el hombre son: enteritis, dolor abdominal, diarrea, vómito, fiebre, disentería así como el Síndrome Hemolítico Urémico (SHU) que provoca la muerte del paciente. La mayoría de las especies de *E. coli* no son graves, sin embargo, algunas pueden causar grandes afecciones al organismo, como es el caso de *E. coli* productora de la toxina Shiga (la excreción puede durar hasta una semana en personas adultas y más tiempo en niños). Se transmite por ingestión de alimentos contaminados con excretas.⁶⁵

Por otra parte, las condiciones ambientales afectarán la presencia de esta bacteria, ya que existen ciertos factores que pueden alterar la supervivencia, como los descritos en la Tabla 1, donde se puede observar la importancia de mantener una temperatura, un nivel de oxigenación, condiciones de pH, así como los nutrientes necesarios, para el desarrollo de la bacteria.

Tabla 1. Factores fisicoquímicos que afectan la supervivencia de *E. coli*

SUSTRATO	INFLUENCIA DEL FACTOR CLAVE EN LA SUPERVIVENCIA
Estiércol y suelo	La supervivencia disminuye a altas temperaturas
Estiércol y suelo	La supervivencia disminuye en condiciones aeróbicas
Estiércol	La supervivencia disminuye a un pH básico
Suelo (textura)	La supervivencia disminuye ante un bajo nivel de arcilla (por la relación de adsorción con este tipo de suelo y la bacteria)
Carbono orgánico disuelto (DOC) en el suelo	La supervivencia disminuye por un bajo nivel de DOC (que es una fuente principal de energía, y para la formación de estructuras bacterianas)
Estiércol y suelo (comunidad microbiana)	Influencia compleja e indirecta
Prácticas de manejo del suelo	Influencia compleja
Estiércol (tipo de dieta)	La supervivencia disminuye cuando una dieta es baja en fibra

Modificado de Van Elsas, *et al.*, 2011

Campilobacteriosis.

Esta enfermedad es producida por la bacteria *Campylobacter* spp. Los perros son una de las fuentes de infección. Las personas al igual que los perros pueden presentar problemas gastrointestinales, principalmente diarrea. Las principales especies aisladas son *C. coli*, *C. upsaliensis*, *C. helveticus* y *C. jejuni*, sin embargo, en Canadá se ha aislado *C. upsaliensis* en perros y gatos domésticos que no presentan signos.⁶⁶ Son bacilos delgados y curvos, móviles, Gram negativos, no forman esporas y es catalasa positiva. Cuando se encuentra en el organismo puede crecer en un rango de temperatura entre 37°C a 42°C, sin embargo, algunas especies pueden sobrevivir a 4°C. Son sensibles a la desecación y a pH ácido; el pH óptimo de crecimiento es de 6.5 a 7.5. La mayoría de estas especies crecen en condiciones bajas de oxígeno (2% de oxígeno y 10% de dióxido de carbono).

La infección se da vía fecal-oral de manera directa (alimentos contaminados) o indirecta (fómites, vectores, medio ambiente. La mayoría de los perros menores a 1 año de edad, están predispuestos a la infección; la excreción de esta bacteria se da de manera intermitente, además se ha descrito una mayor incidencia en la temporada de primavera. Los lugares confinados y la cercanía con otros animales aumentan la incidencia de infección.⁶⁶

Cuando se encuentra en el ambiente y se afronta a condiciones extremas, adquiere la forma cocoide. El cual, al estar fuera del huésped, es más susceptible a los cambios del medio. En esta forma, las células son viables pero de difícil cultivo, ya que la baja actividad metabólica, no permite de manera adecuada la formación de colonias en los medios de cultivo habituales donde se desarrollan, pero una vez que se restablece las condiciones adecuadas, empezará a desarrollarse nuevamente, y por ello se dificulta su aislamiento.⁶⁷

Para el caso de los humanos, esta bacteria provoca diarreas acuosas o sanguinolentas, dolor abdominal, náuseas y en ocasiones fiebre. Estos cuadros generalmente tienen presentaciones cortas, sin embargo, pueden prolongarse de 3 a 4 d. El dolor que presenta el paciente se describe similar al de una apendicitis. La importancia de esta infección se presenta cuando inician las complicaciones como artritis reactiva, síndrome de Guillain Barré o síndrome de Miller Fisher. El consumo de alimentos contaminados son los causantes de las infecciones en humanos por lo tanto no existe una edad específica que llegue afectar más. La mayoría de los animales infectados son asintomáticos, sólo en casos contados se presenta la diarrea. Una de las características de esta enfermedad es la presentación esporádica (estacional), principalmente en lugares con climas templados. Por ejemplo, en Europa se presenta esta enfermedad a finales de la primavera y principios del verano. Otro de los factores que pueden verse involucrados es la presencia de vectores (moscas, roedores) que ayudan a la dispersión del agente.⁶⁷

Proceso de compostaje como alternativa.

La demanda de desarrollar métodos sostenibles que generen un menor impacto en el ambiente, por parte de la población, para el manejo de residuos que se producen en las ciudades y unidades de producción, toma mayor importancia en los últimos años. Por lo que, uno de los procesos que se maneja en la actualidad y que va en desarrollo es el pc.

El compostaje de residuos orgánicos se ha llevado a cabo a través de la historia de la humanidad de diversas maneras. Este proceso degrada la materia orgánica por la acción de una sucesión de comunidades microbianas que van cambiando de acuerdo a la duración de cada etapa que lo conforman y dependen del cumplimiento de los factores biológicos y no biológicos, favoreciendo la actividad microbiana. Durante la etapa termófila, existe mayor actividad de los microorganismos y es donde hay una mayor degradación de la materia, además que, la temperatura generada controla el crecimiento de ciertos microorganismos que pueden ser perjudiciales para el ambiente y para las personas.^{23,32}

Factores no biológicos.

Temperatura.

La temperatura es uno de los principales parámetros que se debe considerar durante el pc, es un indicador de que el proceso se lleva a cabo de manera adecuada. El tiempo que se mantiene cierto rango de temperatura dentro de las pilas de compostaje puede eliminar o reducir la cantidad de microorganismos patógenos de la materia prima, además, acelera la descomposición de los residuos. La ruptura de los enlaces de las moléculas compuestas por carbono y nitrógeno, por acción de los microorganismos (actividad microbiana), provoca la liberación de energía (ATP) como calor, que se mantiene por cierto periodo de tiempo ya que el material evita la disipación de la temperatura por lo que funciona como un aislante, incrementando con esto la temperatura de toda la pila.

En relación con los rangos de temperatura del proceso, este se divide en cuatro etapas: mesófila ascendente, termófila, mesófila descendente y maduración (Figura 6). Esta diferencia de temperatura, está directamente relacionada con otros parámetros como son la aireación, la humedad relativa, que determinan la sucesión de consorcios microbianos que se seleccionan naturalmente por medio de la adaptación a los factores anteriormente indicados. La temperatura donde existe mayor diversidad de microorganismos ocurre entre los 35°C a 40°C, mientras que donde se logra la mayor degradación de los materiales es entre los 45°C y 55°C.^{29,68,69}

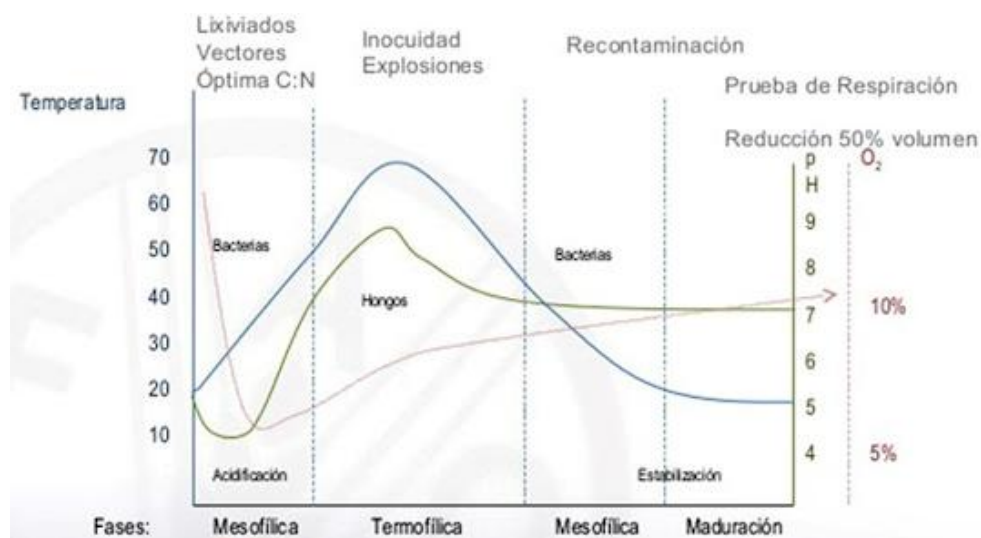


Figura 6. Fases de temperatura en el proceso de compostaje

Modificado de Roman P, *et al.*, 2013

Aireación.

El proceso se caracteriza por llevarse a cabo en un medio aerobio, por lo que se debe garantizar la presencia constante de aire dentro de las pilas, para permitir se lleve a cabo la respiración celular. El nivel mínimo de concentración de oxígeno es 5%; cuando es menor esta concentración, se generan condiciones de anaerobiosis que fomentan el desarrollo de especies con metabolismo anaeróbico. Al igual que la temperatura, existen diferencias en los niveles de oxigenación durante las etapas del proceso, teniendo el mayor consumo en la etapa termófila. El proceso de aireación se puede realizar de diferentes formas de acuerdo a la tecnificación del sistema. De esta manera, se pueden emplear

sistemas de aireación forzada, volteo manual o mecanizado. En el aire, se encuentra el oxígeno necesario para cada microorganismo y poder llevar a cabo sus procesos metabólicos (degradación), así como la función de regular la cantidad de humedad en el sistema, debido a la pérdida en forma de vapor de agua y lo más relevante, mantiene una temperatura adecuada, ya que esto provoca un incremento de la actividad microbiana, que a su vez tiene mayor desprendimiento de energía y como consecuencia aumento de la temperatura. Así mismo, el volteo manual o mecánico proporciona otra función además de permitir el ingreso de aire al sistema, ayuda a homogenizar el material, ya que expone la superficie de los materiales para que otros microorganismos actúen sobre ella, así como favorecer la distribución homogénea de los microorganismos en toda la materia que se está degradando. Sin embargo, un exceso de aireación provoca la disipación de la temperatura acumulada, así como pérdida de humedad (vapor de agua), la deshidratación de las células y con esto la ralentización o la detención de la actividad de descomposición. Por el contrario, si no se maneja una adecuada aireación, aumentará la humedad, la temperatura disminuirá y se establecerá un ambiente anaerobio.^{68,69}

Humedad relativa y porosidad.

La humedad es un factor que tiene relación directa con la actividad microbiana, ya que es un medio de transporte (nutrientes y elementos que aportan energía) a través de la membrana celular, entre otras funciones más.

El porcentaje de humedad a la cual debe iniciar el pc es de un rango entre 40 – 60%, sin embargo, conforme el proceso avanza, el porcentaje disminuye gradualmente en forma de vapor de agua. Ahora bien, cada materia prima contiene en forma natural un porcentaje de humedad, por lo que debe calcularse la humedad de la matriz inicial para evitar que el porcentaje inicial supere el rango antes mencionado.

Este parámetro se debe cuidar debido a la gran cantidad de reacciones metabólicas que se llevan a cabo durante las diferentes etapas del proceso, existiendo mayor intensidad de las reacciones durante las etapas: mesófila ascendente y termófila. Si excede el nivel de 60%, el agua ocupará los

espacios entre las partículas, desplazando el aire de la pila, reduciendo con esto la disponibilidad de oxígeno en el sistema, produciéndose un medio anaerobio, que provocaría la generación de lixiviados, pérdida de nutrientes y la presencia de olores desagradables. Por el contrario, si el sistema presenta un nivel por debajo del 40% de HR, las reacciones microbianas se reducen y por ende la temperatura disminuye, provocando que no se degrade correctamente los sustratos.

Aquellos sustratos que son fuente de carbono se les conoce como estructurantes (p. ej., restos de podas, residuos de la industria de la madera), debido a que proporcionan el espacio suficiente para permitir la entrada y flujo del aire a la pila, además por sus características intrínsecas de mayor cantidad de materia seca, pueden absorber la humedad excesiva dentro de los sistemas elaborados.^{68,69}

Relación Carbono-Nitrógeno (C:N).

Todos los microorganismos que están involucrados dentro del pc requieren cierta cantidad de nutrientes. Es por ello que debe existir un equilibrio entre la cantidad de carbono (C) y nitrógeno (N) dentro de una pila de compost, ya que, son los elementos químicos que la mayoría de los microorganismos requieren en cantidades específicas para su sobrevivencia y metabolismo. Se ha descrito que una relación inicial óptima puede estar en el rango de 25-30:1 ya que los microorganismos ocupan 30 partes de C como fuente de energía y una parte de N para la síntesis de proteínas que conforman los organelos, ácidos nucleicos y los aminoácidos. De hecho, si existe carbono en exceso, esto provoca que se dificulte la degradación, la actividad microbiana disminuye y, por lo tanto, se requiere más tiempo para que la temperatura se incremente. Por el contrario, si existe un exceso de N, esto provoca la formación elevada de amoníaco, creando con esto un producto tóxico para las plantas y el ambiente.^{68,69}

pH.

El pH es otro de los parámetros que favorece la presencia o ausencia de diferentes microorganismos en las etapas del pc. Existen variedades de

bacterias y hongos que se desarrollan a diferentes concentraciones de ácidos o bases. La mayoría de las bacterias que están involucradas en el proceso, se desarrollan y tienen actividad en un rango de pH entre 6.7 a 7.5. Por el contrario, los hongos tienen preferencia por los sustratos con pH de 5.5 a 8. Generalmente, el pH al inicio del proceso es ácido, por la presencia de ácidos orgánicos y CO₂, pero, posteriormente, por actividad microbiana, se convierte el amonio en amoníaco y provocará que se alcalinice el medio hasta llegar a estabilizarse, llegando a un pH entre 7 a 7.4.^{68,69}

Factores biológicos.

En el pc existen microorganismos diversos presentes en las etapas del proceso, en una sucesión de poblaciones microbianas que se adaptan a cada etapa dependiendo de las condiciones fisicoquímicas del medio (temperatura, pH, HR, nutrientes, O₂). La temperatura es el factor principal que condiciona la presencia de ciertas poblaciones. Conforme evoluciona el proceso, la presencia de microorganismos se limita por la intensidad del calor acumulado en el sistema, ya que, al elevarse la temperatura, las poblaciones son reemplazadas por otras mejor adaptadas a esa temperatura, que permanecen hasta que los nutrientes y las condiciones que requieren se terminen o sean adversas.³² De esta manera, durante la fase termófila, las bacterias constituyen cerca del 80% al 90% de la población microbiana dentro de una pila de compost.

En la etapa inicial, los principales agentes presentes son microorganismos mesófilos, es decir que requieren temperaturas entre 20-40°C; de los géneros bacterianos que pueden estar presentes son *Staphylococcus* spp, *Bacillus* spp, *Pseudomonas* spp y actinomicetos. Algunas especies de hongos como *Aspergillus* spp, *Penicillium* spp, *Trichoderma*, *Mucor*, *Rhizopus*, entre otros, que producen enzimas para los diferentes sustratos: lípidos, proteínas, hemicelulosa, celulosa y quitina. Una vez que actúan sobre estos, generan moléculas sencillas, las cuales son aprovechadas por otros microorganismos como fuente de energía o formando parte de su estructura. Y debido a la abundancia de sustratos que inicia el pc, incrementa gradualmente la cantidad de microorganismos (principalmente bacterias) en esta primera etapa, lo que conlleva a que la temperatura también se incremente.

En la segunda etapa, la microbiota termófila empieza a tener actividad conforme se alcanzan temperaturas adecuadas para su desarrollo. Esto es, cuando se superan los 45°C empiezan a proliferar estos microorganismos; en un principio estos actúan sobre los sustratos que no se degradan con facilidad, principalmente la celulosa y la lignina. Determinadas bacterias empiezan a formar amoníaco, provocando con esto que se alcalinice el medio. Posteriormente, a temperaturas de 60°C o más, algunas bacterias forman esporas y algunos actinomicetos sobreviven, los cuales se encargan de degradar principalmente ceras y hemicelulosa. El tiempo de exposición a temperaturas elevadas, es un factor clave dentro del pc, por esta razón a esta etapa se le conoce también como de “sanitización”, ya que es donde la mayoría de las bacterias, virus, parásitos y semillas indeseables encontradas en la materia prima disminuyen su población o son eliminadas (Tabla 2).

Tabla 2. Temperatura y tiempo de inactivación de agentes patógenos

Patógenos	Temperatura y Tiempo Letal
<i>Salmonella typhimurium</i>	60 °C por 30 minutos
<i>Shigella</i> (Grupos A al D)	55°C por 1 hora
<i>Escherichia coli</i>	55°C por 1 hora o 60°C por 15-20 minutos
<i>Vibrio cholerae</i>	Sensible a cambios de temperatura y muere a temperatura ambiente en pocas horas
<i>Streptococcus pyogenes</i>	54°C por 10 minutos
<i>Mycobacterium tuberculosis</i>	66°C por 15-20 minutos
<i>Brucella abortus</i>	61°C por 3 minutos
<i>Áscaris lumbricoides</i>	45°C por 20 días; 50°C por 2 horas; 55°C por 50 minutos; 60°C por 3.5 minutos
<i>Trichinella spiralis</i>	Infección reducida a 50°C por 1 hora o muerte a 67°C
<i>Taenia saginata</i>	71°C por 5 minutos

Adaptado de Wang LK, *et al.*, 2021

Las principales bacterias que predominan dentro de una matriz de degradación son *Bacillus* spp y *Actinomicetos* termófilos. Cuando disminuyen los nutrientes requeridos por estas bacterias, el tamaño de las poblaciones va disminuyendo, lo que a su vez, provoca una reducción de la temperatura.

Es por esto que en la tercera etapa, la temperatura disminuye de 70°C a 45°C provocando un cambio en la población de microorganismos. Al igual que la etapa anterior, se van agotando las fuentes de carbono, nitrógeno y O₂, por lo tanto, el consorcio microbiano mesófilo predominante es reemplazado por otro con capacidad para degradar detritus de almidón, celulosa y lignina, que el consorcio anterior no pudo descomponer. Esto provoca una vez más que la temperatura vuelva a disminuir. En esta etapa puede existir la presencia de ciertos géneros de hongos que ayudarán a terminar de degradar moléculas recalcitrantes.

La etapa de maduración, se considera una etapa pasiva, ya que la temperatura disminuye hasta llegar entre los 25°C y 28°C o similar a la ambiental. Se caracteriza principalmente por la formación de ácidos húmicos y fúlvicos. La cantidad de microbiota inicial se reduce drásticamente. La relación C:N disminuye hasta llegar a un rango entre 10-15:1, también, el volumen de la pila disminuye hasta llegar casi a un 50% del inicial y la densidad del producto final aumenta; la humedad disminuye hasta llegar a un rango entre 30-40%. El tiempo para completar la degradación de la materia prima puede ser de semanas a meses. Sin embargo, en ambos casos es necesario que la materia orgánica sea lo suficientemente estable para evitar dañar los organismos vegetales, lo que se conoce como pérdida de fitotoxicidad. Así que, si el compost generado no se deja madurar lo suficiente, este altera las condiciones del suelo y las sustancias que emite, pueden modificar negativamente el crecimiento de las plantas. El amonio que aún está presente, una parte se transforma en amoniaco en presencia de calor y humedad, lo que es tóxico para las plantas y además genera olores desagradables. Además, las sales nitrogenadas sin descomponer pueden infiltrarse en el subsuelo, contaminar mantos freáticos y las plantas al absorberlos pueden generar un producto de mala calidad, alto en nitratos y nocivo para la salud humana.^{68,69}

Beneficios del compost en el suelo.

Uno de los beneficios que se obtienen al utilizar el pc, es la reducción en la cantidad de ROD`s que se vierten a los tiraderos municipales, al mismo tiempo que se obtiene un abono orgánico libre de sustancias químicas nocivas para el suelo. Además, el aprovechamiento de estos residuos permite adicionar materia orgánica en las tierras cultivables, y se reduce la cantidad de emisiones de metano al ambiente durante los procesos fermentativos que se llevan a cabo dentro de los rellenos sanitarios o vertederos municipales que no manejan este tipo de material orgánico.⁶⁸

Debido a sus características físicas y químicas, el compost, fomenta, la formación de nuevos consorcios microbianos, los cuales generan moléculas bioactivas que promueven beneficios diversos en la salud de las plantas. También contribuye a restaurar los suelos por la agregación de bacterias implicadas en los ciclos biogeoquímicos y la adición de nutrientes. Al agregar el compost, cambia las características del suelo, provocando que se facilite el manejo de la tierra para los cultivos. Otra característica importante es que mejora la absorción y retención de agua en el suelo, evitando con esto la erosión.⁷⁰ Además, ayuda a la regulación de la temperatura del suelo por la cantidad de humedad y porosidad que se genera al agregar esta enmienda, así como la proporción de sustancias húmicas, que mejoran la capacidad de intercambio de cationes entre el suelo y las raíces.

Sustancias húmicas.

La materia orgánica (MO) que conforma el suelo está compuesta principalmente por carbono orgánico (CO), que interactúa con otras sustancias y moléculas, modificando las características químicas del subsuelo y lo protege ante los procesos de erosión. La degradación y transformación de detritus (animales o vegetales) en el suelo, se da por mecanismos enzimáticos bacterianos, dando lugar a la formación de sustancias húmicas (SH), como los ácidos húmicos (AH), ácidos fúlvicos (AF) y huminas residuales (HR), los cuales son macromoléculas estables que pueden movilizar o mantener biodisponibles metales esenciales para el desarrollo de microorganismo de

suelos y plantas. Al agregarlos en conjunto con otros materiales biodegradables, forman complejos orgánico-minerales, los cuales ayudan a contrarrestar la salinidad excesiva del suelo, que reciben principalmente por fertilizantes sintéticos, mejorando con esto la disponibilidad de O_2 y CO_2 , participación en la absorción de ciertas sustancias tóxicas, así como en la retención de agua y absorción de nutrientes.⁷⁰

JUSTIFICACIÓN

En México y en otros países en vías de desarrollo, son limitadas los procesos que dispongan adecuadamente de las heces caninas, que muchas veces pueden estar contaminadas con microorganismos patógenos zoonóticos,^{9,15} por lo que se debe considerar tratarlas de manera adecuada para que el riesgo sanitario disminuya o se elimine. Es por esto que, el proceso de compostaje, se propone como opción para el manejo de este residuo. Además, como resultado del tratamiento, se puede obtener compost con características fisicoquímicas de interés para el agricultor.

HIPÓTESIS

El proceso de compostaje de heces caninas y aserrín generará un ambiente inadecuado para la sobrevivencia de algunos microorganismos patógenos, pero favorable para la transformación natural de la materia prima hasta volverla apropiada para ser usada en la jardinería familiar o en proyectos agrícolas.

OBJETIVOS

OBJETIVO GENERAL

Evaluar por medio del análisis microbiológico y bromatológico una matriz de aserrín y heces caninas sometidas al proceso de compostaje para ser usadas como sustrato agrícola.

OBJETIVOS PARTICULARES

- Analizar la temperatura durante el proceso de compostaje de heces caninas y aserrín mediante la elaboración de gráficos.
- Analizar muestras de heces caninas al inicio y final del proceso de compostaje con la técnica de flotación y McMaster para detectar la existencia de huevos de parásitos, así como la prevalencia y cuantificación por cuenta total bacteriana para *E. coli* genérica y *Salmonella* spp.

- Obtener los niveles de ciertos bioelementos: carbono, nitrógeno; al inicio y final del proceso de compostaje.

MATERIAL Y MÉTODOS

El presente trabajo se llevó a cabo dentro de la Unidad de Sanidad, Prevención y Control Animal (USPCA), ubicado en avenida Transformación S/N, colonia Parque Industrial Cuamatla, 54730 Cuautitlán Izcalli, México (ubicación en Google Maps: 19.655237530085714, -99.1907087724314)

Metodología.

Se empleó la siguiente materia prima: i) excretas de canino; ii) aserrín adquirido en maderería; iii) agua estéril; iv) inóculo endógeno (ANEXO 1.1).⁷¹

Las excretas caninas se obtuvieron directamente de las jaulas individuales del USPCA. Éstas se mezclaron (pool) y se tomó una muestra que se desecó a temperatura ambiente y bajo la sombra por 48 h. Posteriormente se pasó por una criba metálica con espacios de (0.5 cm) para homogenizar el tamaño de las partículas. Cada muestra obtenida (n=5) fue de 50 g y se colocó dentro de bolsas Ziploc® (USDA, 2005). Por otro lado, se realizó un cono con 120 kg de aserrín y se tomó una muestra de 500 g empleando la técnica de cuarteo descrita por Rickeboer J, *et al.*, (2003).³²

Las muestras obtenidas de excretas caninas y aserrín se analizaron para conocer el contenido de nitrógeno total (NT) por medio del método Kjeldhal⁷² y de cenizas totales⁷² (incineración a 520 °C por 5 h).

Para la formación de las pilas se obtuvo la relación C:N con los resultados de las muestras analizadas (aserrín y excretas en base seca). Para calcularlo, se empleó el contenido de sólidos volátiles totales (SV) y la siguiente fórmula:

$$(\% \text{ SV} = 100 - \% \text{ cenizas})$$

Posteriormente, se calculó el contenido de Carbono Orgánico Total (COT) empleando el método de Adams RC, *et al.*, (1951),⁷³ quienes consideraron que la mayoría de los materiales biológicos, presentan un contenido de COT del 55%. Por lo que se empleó la fórmula:

$$(\% \text{ COT} = \% \text{ SV} / 1.8)$$

Con él %COT, se calculó la relación C:N de cada materia prima (excretas y aserrín) dividiendo él % COT entre el % NT (obtenido de los resultados del método Kjeldhal). Una vez obtenidas las dos relaciones C:N, se dividió la relación C:N del aserrín entre la de las excretas.

Con los resultados, se realizaron cuatro pilas que serán repeticiones (**REP1**, **REP2**, **REP3**, **REP4**), con pesos de 71 a 98 kg (debido a la disponibilidad variable de excretas en el centro), empleando aserrín/excretas de canino que presentaron una relación C/N en un rango de 30-35/1 como lo indica la SMADF (2011).⁷⁴ Finalmente, se adicionó en promedio 13.5 L de inóculo endógeno (Anexo 1.1) y se añadió agua estéril faltante para iniciar el experimento con una humedad relativa inicial dentro de cada pila de 50% y se midió con un higrómetro calibrado. Cada 15 min, se midió la temperatura interna con la ayuda de un equipo Data Logger (RC-51H, Elitech, EUA) calibrado, que se ubicó en tres puntos (Z1, Z2, Z3) del eje de simetría vertical de cada pila (Figura 7). Cada tercer día, la materia prima se homogenizó y se añadió la cantidad de agua estéril necesaria para mantener la humedad relativa en rango de 45% a 55% Los volteos y el ajuste de la humedad se realizaron durante 28 días que duró el período de experimentación.

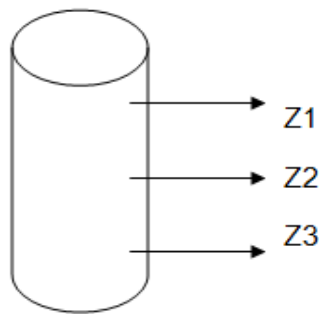


Figura. 7 Zonas de inserción de sensores para medición de temperatura y humedad

A los 3 y 28 días de iniciado el experimento, se tomaron muestras (n=5) de 20 g del interior de cada pila. Las submuestras se mezclaron para formar muestras compuestas de 100 g que se analizaron: en i) parasitología (flotación y McMaster)⁷⁵ para conocer la presencia de huevos de parásitos; ii) microbiología para determinar cuenta total bacteriana (Anexo 1.2) para conocer niveles de *E.coli* genérica y *Salmonella* spp por g/compost como lo indica la SMADF, 2011;⁷⁴ finalmente, iii) fueron empleadas técnicas estandarizadas (mineralización en seco)⁷⁶ para conocer los niveles de fósforo (P) y potasio (K).

Los medios de cultivo que se utilizaron para el aislamiento e identificación de las bacterias fueron: agar Infusión Cerebro Corazón (BD Difcon™, Francia), agar MacConkey (BD BIOXON®, Becton Dickinson, México), agar Salmonella-Shigella (BIOXON®, Becton Dickinson, México), agar E.M.B eosina y azul de metileno-lactosa-sacarosa (MERK® 1347, México) y Fluorocult® *E coli* 0157:H7-Agar, que sirvió para el aislamiento y diferenciación de cepas enterohemorrágicas (EHEC) de *E. coli* 0157:H7 de una *E. coli* genérica. Como método de apoyo, se utilizó el equipo VITEK® 2 COMPACT (BIOMÈRIUX, EUA), para la identificación de los microorganismos aislados en los medios de cultivo, además se utilizó para obtener la sensibilidad a antibióticos de cada uno de los agentes aislados, ya que este equipo permite realizar esta prueba al mismo tiempo que se está procesando la identificación bacteriana (ANEXO 1.2).

Además, para obtener el Índice de Germinación (IG), se realizó la prueba biológica de fototoxicidad por cada pila de compost terminado y el control, utilizando la técnica establecida por la NADF-020-AMBT-2011⁷⁴ en el ANEXO II. Se realizó por triplicado cada bioensayo. En cada caja de Petri, se depositaron 10 semillas de Rábano Crimson gigante (*Raphanus sativus*). Las cuatro pruebas recibieron extracto de compost obtenido a partir de las muestras de compost terminado, así como agua bidestilada (Tipo II), obtenida de un purificador de agua por osmosis inversa y electro desionización continua (AQUELIX; Merck, Millipore, EUA). Para el control, se empleó otra caja de Petri conteniendo las semillas de rábano y el agua bidestilada Tipo II. Los bioensayos tuvieron una duración de 3 d. Posteriormente, se evaluó el porcentaje de semillas germinadas de las 4 repeticiones.

RESULTADOS

Temperatura.

En el ANEXO 1.3, se muestran las tendencias de las temperaturas que tuvieron las pilas de compost de heces caninas y aserrín, donde se distinguen las 4 etapas presentes en una pila de compost común. Sin embargo, se observa que las **REP1** Y **REP4** permanecen por más tiempo en la etapa de maduración a diferencia de las otras dos repeticiones. Además, el tiempo promedio que permanecieron las 4 matrices de compost a temperaturas psicrófilas (0-20°C) fue de 124 min, mientras que para el rango de temperaturas mesófilas (21-40°C), el tiempo fue de 4,561.5 min promedio.

Para el caso del rango de 41-50°C, se registró un tiempo medio de 3,788.75 min (63.14 h); para la **REP1**, **REP2**, **REP3** y **REP4** fue de 2,885 min (66.5 h), 3,985 min (66.41 h), 2,875 min (47.91 h) y 4,305 min (71.75 h) respectivamente, siendo la **REP4** donde fue mayor el tiempo con este rango de temperatura.

Con el rango de temperatura 51-60°C, se registró en promedio: 13,530 min para las pilas de compost, donde la **REP4** fue la que menor tiempo mantuvo este rango con 2,500 min (41.66 h), contrario a la **REP2**, que registró mayor tiempo de 6,350 min, es decir, 105.83 h, el doble de tiempo.

Para las temperaturas termófilas que van de 61-70°C, se obtuvo un tiempo promedio de 13,271.25 min, sin embargo, la repetición donde se registró mayor tiempo fue la **REP3** con 6870 min (114.5 h), mientras que el tiempo en la **REP4** fue de sólo 1950 min (32.5 h).

Por último, la temperatura hipertermófila (71-75°C) promedio en estas repeticiones fue de 1,224.25 min. De los cuales, solo la **REP1** y **REP3** superaron los 70°C por un período de tiempo de 540 min (9 h) y 1092.3 min (18.20 h), respectivamente.

Los resultados obtenidos de temperatura de cada una de las pilas de compost, se muestran en la Tabla 3.

Tabla 3. Tiempo de las diferentes fases de temperatura durante el pc de heces caninas

TEMPERATURA	REP1 (min)	REP2 (min)	REP3 (min)	REP4 (min)
0-10°C	0	0	0	0
11-20°C	245	0	75	176
21-30°C	3015	1765	2345	1161
31-40°C	2885	2710	2685	1680
41-50°C	3990	3985	2875	4305
51-60°C	5090	6350	4100	2500
61-70°C	3780	5095	6870	1950
71-75°C	540	0	1092.3	0

pH.

El pH que se alcanzó dentro de las pilas fue variando conforme avanzó el tiempo del proceso. En un inicio, se registró un pH promedio de 7.4, debido a que las enzimas presentes en el medio empiezan la degradación de los sustratos. Y al medir el pH en las muestras finales, este fue de 7.64 (**REP1**), 7.25 (**REP2**), 7.10 (**REP3**) 7.97 (**REP4**), terminando el compost en pH neutro, encontrándose dentro de los rangos mencionados en diferentes investigaciones.

Humedad Relativa.

En la Tabla 4 se indica la cantidad de materia prima que conformó cada pila, así como el agua inicial y el agua adicionada. Se trabajo con estas cantidades debido a que en el centro de control canino, los perros permanecían entre 24-48 h, además el alimento ofrecido era diverso (debido a decisiones administrativas y existencia intermitentes de presupuesto). Otro de los factores

que influyó en la disponibilidad de las excretas, fue que en ocasiones el personal no resguardo las excretas y se mandaban al recolector de basura municipal. Así mismo, la cantidad de inóculo y agua se ajustaron al aspecto de las excretas, ya que algunas contenían mayor o menor porcentaje de humedad.

Tabla 4. Cantidad de humedad adicionada a las repeticiones del compostaje de heces caninas y aserrín

INGREDIENTES	REP1	REP2	REP3	REP4
Excretas (kg)	44.8	36,4	47	32
Aserrín (kg)	15.6	12,6	13	10
Inóculo (kg)	15	12	15	12
Agua inicial (L)	22	22.5	22.5	17
Total de agua adicionada (L)	51	43.5	50.5	54

La cantidad de agua que se agregó a todas las matrices elaboradas, al iniciar el experimento fue en promedio 21 L.

El agua inicial correspondió al agua necesaria para “activar” las matrices, mientras que el agua adicionada fue la requerida para “ajustar” el nivel de humedad relativa de las matrices en 50%. De esta manera, al final del proceso de compostaje, la humedad relativa en cada pila fue: 34.3 % (**REP 1**), 44.5% (**REP 2**), 30.2% (**REP 3**) y 48% (**REP 4**).

Evaluación organoléptica.

El mezclado inicial de las excretas caninas fue muy desagradable a la vista, también, existió la presencia de moscas y larvas en diferentes estadios de diversos dípteros. El olor fue nauseabundo. Sin embargo, después de mezclarse con el aserrín, el inóculo y la adición del agua, perdieron gran parte de su aspecto visual, aunque, el olor continuó siendo desagradable.

Al terminar el proceso de compostaje, las heces caninas y aserrín, se degradaron a tal punto que no se distinguían a la vista en el compost terminado. También, el aspecto final fue similar a tierra color café oscuro, presentó textura fina y libre de olores desagradables. En el ANEXO 1.4 se muestra el cambio de aspecto que tuvieron las pilas tomadas durante los días de volteo.

Peso.

Para las cuatro repeticiones, el peso inicial fue diferente para cada una, registrando al término del tiempo experimental, los siguientes pesos en la Tabla 5, donde se pudo observar que la **REP2 y REP3** fueron las que tuvieron un porcentaje mayor de reducción en la masa al final del proceso, siendo estos del 49.70% y 45.23%; mientras que las **REP1 y REP4** tuvieron los porcentajes de menor reducción, con reducciones de 29.97% y 23.09% respectivamente.

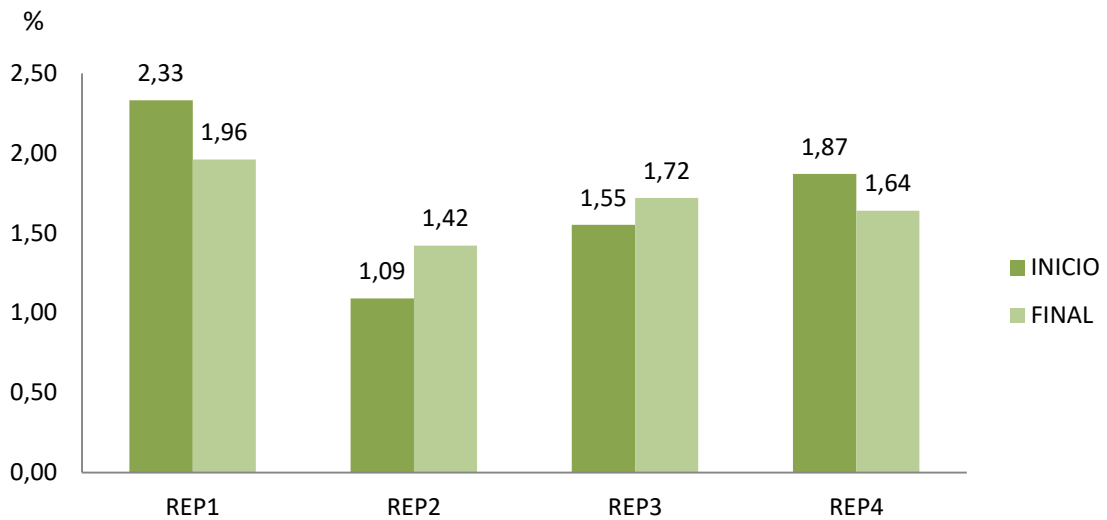
Tabla 5. Variación de peso de las repeticiones al inicio y final del pc de heces caninas y aserrín

	REP 1	REP 2	REP 3	REP 4
Peso inicial (kg)	97.4	83.5	97.5	71
Peso final (kg)	68.2	42	53.4	54.6
Reducción (%)	29.97	49.70	45.23	23.09

Resultados químicos.

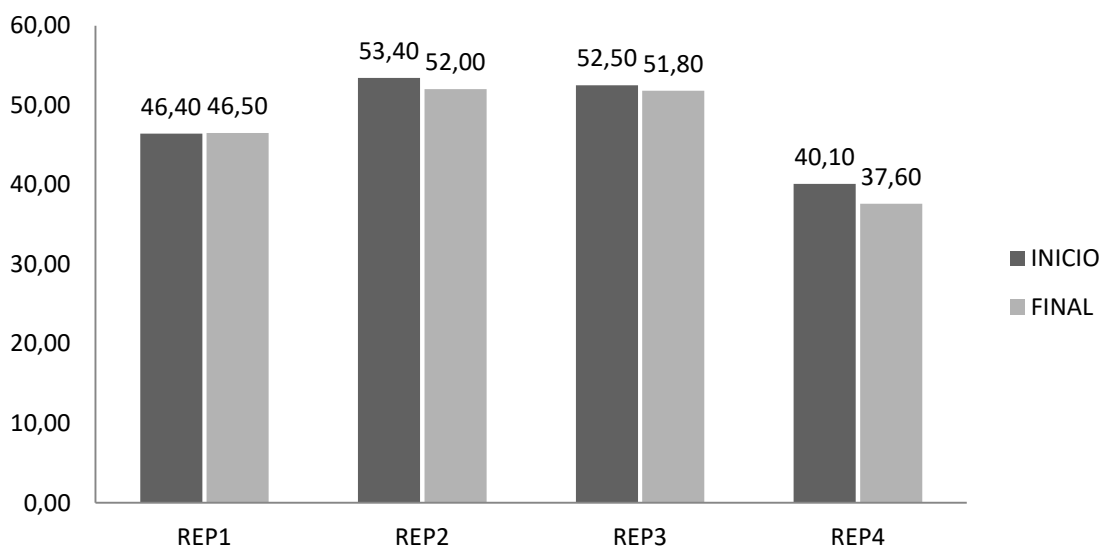
De los muestreos obtenidos al inicio y final del proceso de compostaje, se obtuvieron los siguientes resultados mostrados en los Gráficos 1, 2, 3 y 4 para los principales componentes a considerar en un compost.

Gráfico 1. Variación del porcentaje de Nitrógeno Total (NT) al inicio y final del pc de heces caninas y aserrín



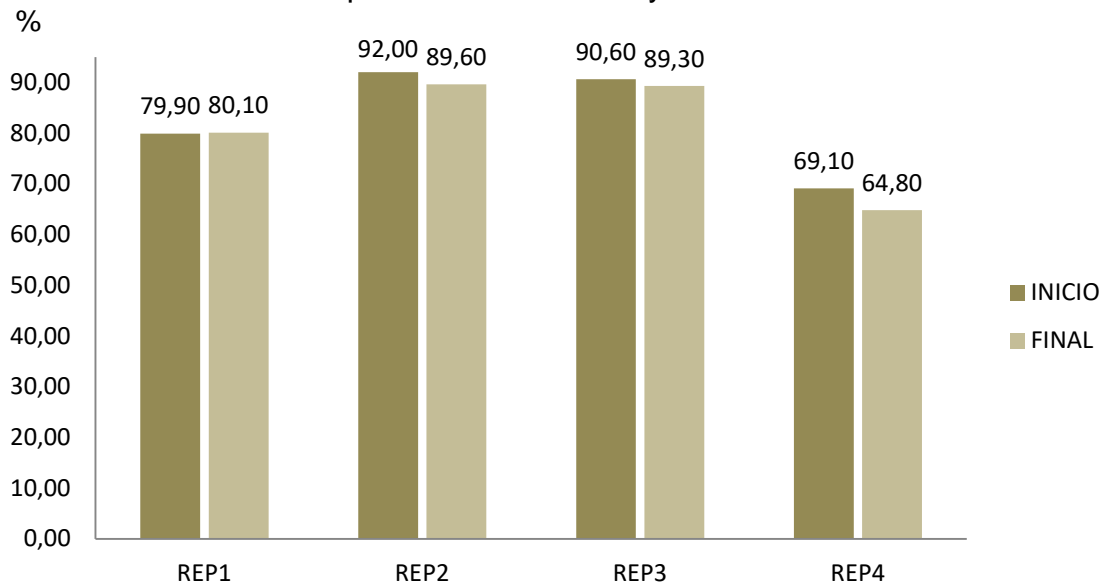
Para el caso del nitrógeno total (NT), se observó que las repeticiones presentaron valores iniciales de 1,09% a 2,33%, con un promedio de 1,71%. Al final del proceso, se obtuvieron porcentajes que iban de 1,64% a 1,96%, donde el promedio fue de 1,68%. Sólo en las **REP1** y **REP4** se presentaron reducciones del 15,88% y 12,30%, con respecto a los valores iniciales.

Gráfico 2. Variación del porcentaje de Carbono Orgánico (CO) al inicio y final del pc de heces caninas y aserrín



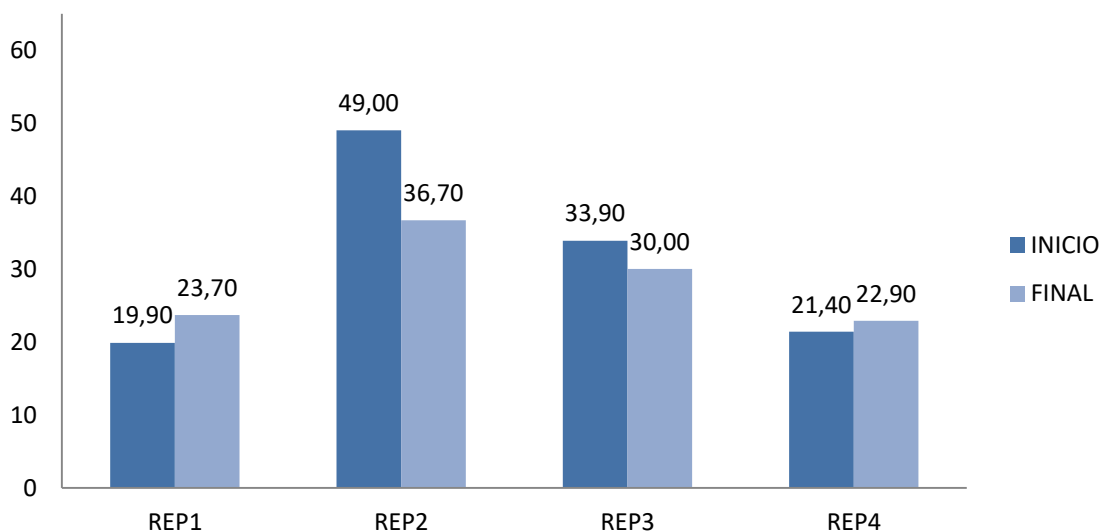
El carbono orgánico (CO) que se obtuvo en los resultados al iniciar el proceso fue de 40,10% a 53,40%, cuyo promedio fue de 48,1%, Para las muestras finales los valores fueron de 37,60% a 52%, con promedio de 46,97%. Se observó que al menos en 3 de las repeticiones tuvieron reducciones mínimas y la que mayor porcentaje redujo fue la **REP4** con un 6,23%.

Gráfico 3. Variación del porcentaje de Materia Orgánica (MO) al inicio y final del pc de heces caninas y aserrín



La materia orgánica (MO) es uno de los factores que más se considera dentro de las compostas para su clasificación. En los experimentos realizados, se presentaron porcentajes entre el 69,10% y 92%, con un promedio de 82,9%. Al final las variaciones fueron mínimas con respecto a los iniciales, los porcentajes fueron de 64,80% al 89,60%, donde solo la **REP1** obtuvo un incremento del 0,25%.

Gráfico 4. Variación de la relación Carbono: Nitrógeno al inicio y final del pc de heces caninas y aserrín



Con respecto a la relación C:N, se obtuvieron datos que iban desde 19,90 a 49, con un promedio de 31,05. Al final, se pudo obtener las relaciones desde 22,90 a 36,70, con promedio de 28,32. Donde la repetición con mayor porcentaje de reducción mostró fue la **REP2** con 25,10% de acuerdo a los datos iniciales.

A continuación, en la Tabla 6 se muestran los macroelementos y elementos traza que se consideran para evaluar la calidad agronómica del compost terminado.

Tabla 6. Variación de los niveles de macroelementos y elementos traza al inicio y final del pc de heces caninas y aserrín

ELEMENTO	REP1		REP2		REP3		REP4	
	INICIO	FINAL	INICIO	FINAL	INICIO	FINAL	INICIO	FINAL
P (%)	2,72	1,23	0,81	1,08	1,15	1,21	2,31	4,06
K (%)	0,61	0,86	0,41	0,48	0,62	0,76	0,76	0,61
Ca (%)	6,97	3,11	1,89	2,49	2,19	2,44	6,29	4,08
Cu (ppm)	58,06	20,8	14,57	21,35	22,31	27,98	38,96	42,12
Zn (ppm)	790	294	235	346	260	264	548	478

Para el caso del fósforo (P) fue uno de los elementos que al final del proceso, tuvo el mayor porcentaje registrado de 4.06% en la **REP4**, la de menor porcentaje fue de 1.08% para la **REP2**, pero para las **REP1** y **REP3**, estas se

mantuvieron por debajo del promedio (1.89%). Con esto, se pudo observar que solo la **REP1** fue la que mostró una reducción del 54,78% con respecto a los datos iniciales.

Con el potasio (K), se observó que al final hubo un incremento en el porcentaje para las **REP1**, **REP2** y **REP3**, donde la **REP1** (0,86%) fue la que registró un mayor incremento, contrario a la **REP4**, donde se obtuvo 0,61%.. Sin embargo, la **REP2** fue la que registró el menor incremento, el cual fue de 0,48%, por debajo del promedio 0,67%.

EL calcio (Ca) obtuvo al final un promedio de 3.03%, donde la **REP4** fue la de mayor porcentaje (4,08%), la de menor fue registrada para la **REP3** con 2,44%. Observando que la que **REP1**, fue la que obtuvo un 55,38% de reducción con respecto al valor inicial.

Los elementos traza como el cobre (Cu) y zinc (Zn) fueron los que más variación tuvieron con respecto a los resultados iniciales para las 4 repeticiones. El Cu obtuvo al inicio un promedio de 33.5 ppm, con variaciones desde 14,6 ppm hasta 58,1 ppm, donde la repetición que mostró mayor concentración fue la **REP1**, mientras que la de menor fue la **REP2**. Al final del proceso, solo la **REP1** mostró una disminución considerable, obteniendo una reducción del 64,78%. Para las demás repeticiones, se observaron incrementos, y la que mostro mayor concentración fue la **REP4** con el 42,1 ppm y la de menor concentración la **REP1** con 20,8 ppm.

Para el Zn la **REP1** fue la que obtuvo una mayor concentración (790 ppm) al iniciar el proceso y la **REP2** fue la de menor concentración con 235 ppm, en ese momento el promedio fue de 458,25 ppm. Para el muestreo final, se obtuvo que la **REP1** fue la que mostró un mayor porcentaje de reducción (62,78%) terminando en 294 ppm. Y la repetición que termino con mayor concentración fue la **REP4**, donde obtuvo 478 ppm, mientras la de menor concentración fue la **REP3** con 264 ppm, y terminando con un promedio del 345,5 ppm.

Prueba de fitotoxicidad.

En relación con las pruebas de fitotoxicidad, en las cajas control se obtuvo el 100% de germinación de las semillas. Por su parte, en la **REP1**, las cajas 1 y 3 obtuvieron el 90% de germinación, mientras que para la 2 fue el 100%. Con esto, se obtuvo el Índice de Germinación (IG), resultando, para la primera caja de 74.90%, para la segunda el 81.79% y para la tercera el 97.83%. Obteniendo en promedio un 84.84% de IG.

Para el caso de la **REP2**, se obtuvo el 90% en la primera caja y el 100% para la caja 2 y 3; obteniendo un IG en la primera caja de 67.35%, segunda el 92.78% y tercera el 124.78%, promediando los tres resultados en 94.97%.

En la **REP3**, el porcentaje de germinación de las semillas fue del 100% para las cajas 1, 3 y para la caja 2 del 90%. Los IG obtenidos fueron caja 1 el 74.83%, caja 2 el 72.68% y la caja 3 el 101.30%, obteniendo un promedio del 82.94%.

Por último, la **REP4**, obtuvo en la caja 1 el 100% de germinación, mientras que la caja 2 y 3 obtuvieron el 90%. El IG calculado fue: caja 1 el 77.18%, caja 2 el 63.40% y la caja 3 el 74.74%, con un promedio del 71.77%. Estos resultados, sirvieron para elaborar gráficos (Gráfico 5, Gráfico 6), donde se indica el índice de germinación.

Gráfico 5. Índice de germinación de las compostas de heces caninas y aserrín

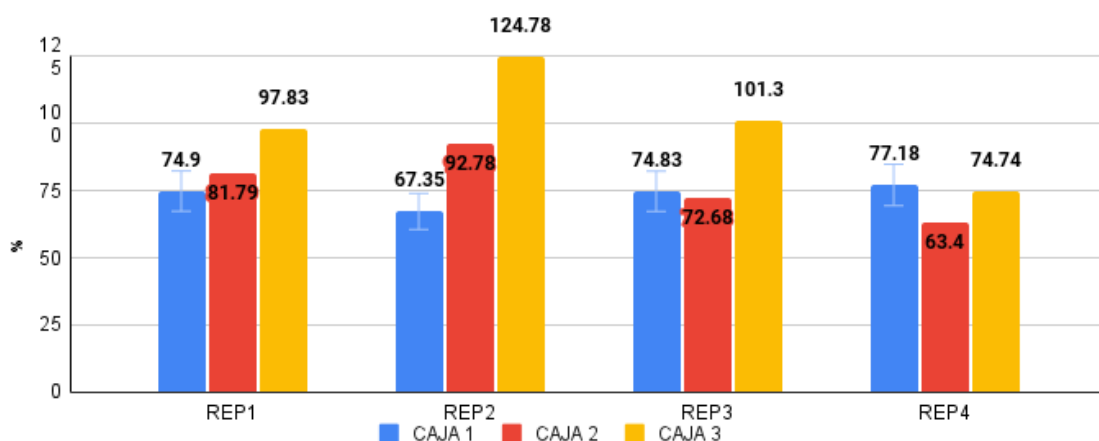
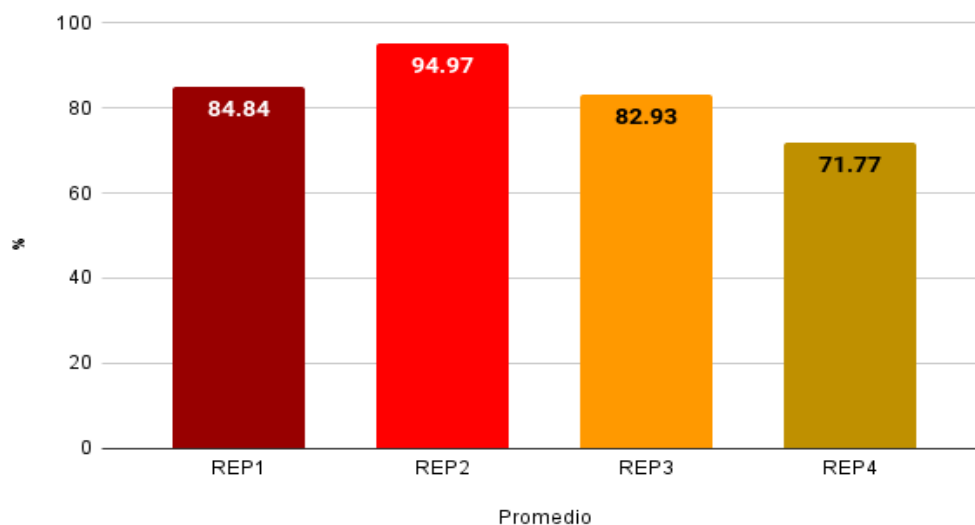


Gráfico 6. Promedio del Índice de germinación de las compostas de heces caninas y aserrín



Evaluación parasitológica.

Las pruebas de flotación, y la técnica de Faust generaron resultados complementarios. También, se realizó la técnica de McMaster que tiene mayor potencial para el conteo de individuos presentes en las muestras. Finalmente, la inclusión de la técnica de Mini-Flotac y el cultivo larvario permitieron evaluar de una manera más integral las muestras enviadas. Los resultados de dichas evaluaciones se observan en la Tabla 7.

Tabla 7. Resultados de las pruebas parasitológicas al inicio del proceso de compostaje

Técnica	1	2	3
Flotación	Negativo	Nematodo* Acaro**	Nematodo* Acaro**
Faust	Acaro*** Nematodo* <i>Capillaria</i> spp	<i>Toxocara</i> spp Acaro*** Nematodo* Huevo de ácaro	Acaro*** Nematodo <i>Capillaria</i> spp
McMaster	Negativo	Negativo	Negativo
Kinyoun	<i>Cryptosporidium</i> spp	<i>Cryptosporidium</i> spp	<i>Cryptosporidium</i> spp
MiniFlotac	15 huevos de <i>Toxocara</i> spp 5 huevos de	5 huevos de <i>Capillaria</i> spp 35 huevos de	5 huevos de <i>Capillaria</i> spp 30 huevos de

	<i>Capillaria</i> spp 45 huevos de ácaro** 10 huevos de nematodo*	ácaro** 45 ácaros*** 20 huevos de nematodos*	ácaros** 15 ácaros***
Cultivo larvario	Nematodos adultos machos y hembras vivos*	Nematodos adultos machos y hembras vivos*	Nematodos adultos machos y hembras vivos*

* Nematodo de vida libre; **ácaro adulto de vida libre; ***acaro vivo; negativo=significa que no se observaron estructuras parasitarias

En las muestras enviadas al final del pc, solo se lograron identificar nematodos de vida libre y ácaros adultos de vida libre, porque lo se pudo deducir la eliminación de los demás parásitos encontrados al inicio del proceso.

Pruebas bacteriológicas.

Al realizar el cultivo bacteriológico en agar Infusión Cerebro-Corazón (ICC), las colonias que se observaron fueron de dos tipos; las primeras tenían una forma irregular de borde ondulado, elevada, tamaño grande, textura lisa, con pigmentación beige y de apariencia mucóide (Figura 8). Las segundas fueron colonias circulares, de borde entero, elevada, convexas, tamaño mediano, textura lisa, de pigmentación blanca y apariencia mate (Figura 9).



Figura 8. Agar ICC

Se puede observar colonias de forma irregular, con borde ondulado, elevadas, tamaño grande, textura lisa, de apariencia mucóide y una pigmentación beige.



Figura 9. Agar ICC

Se observa una colonia de forma circular, con borde entero, elevada, tamaño mediano, textura lisa, mate y pigmentación blanca.

Para el caso de las pruebas bioquímicas, los resultados obtenidos en ambas colonias fueron: catalasa (+), oxidasa (-), motilidad (+), oxido-fermentativa ambas fermentadoras de glucosa. En la tinción de Gram, se observaron bacilos largos y cortos, con agrupación no definida y de color rosa. Con esta información, se sugirió la presencia de enterobacterias (Figura 10).

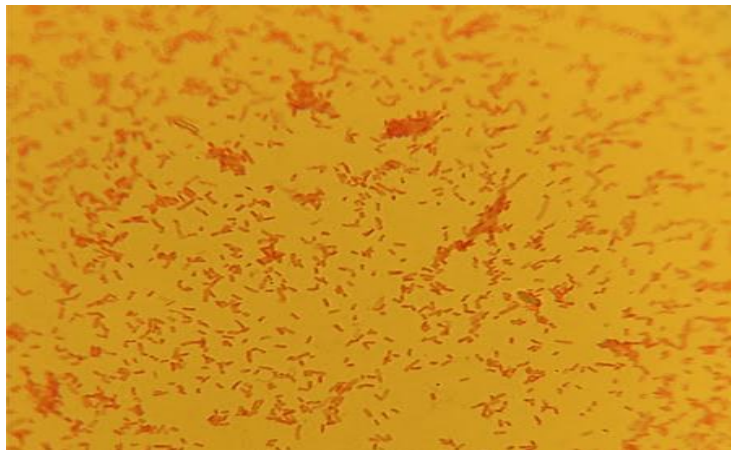


Figura 10. Tinción de Gram

Se observaron bacilos largos y cortos, sin agrupación definida, de color rosa

Las colonias que crecieron en agar MacConkey, se observaron de color rosa (lactosa +), circulares con bordes enteros, las cuales sugieren la presencia de *E.coli*, *Enterobacter* spp o *Klebsiella* spp (Figura 11)

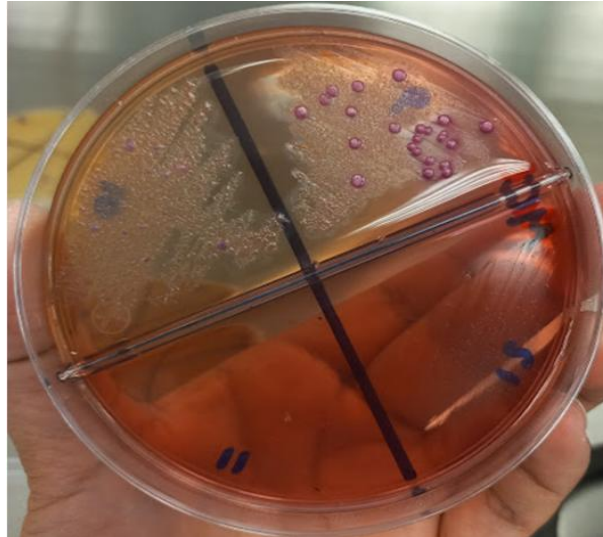


Figura 11. Agar MacConkey

Las colonias observadas son de color rosa, que son lactosa (+), de forma circular, con bordes enteros y colonias incoloras lactosa (-).

Por otro lado, las colonias que crecieron en agar Salmonella-Shigella presentaron coloración rosa y negro; las rosas son sugerentes a *E. coli*, las colonias negras, que son aquellas bacterias que no fermentan la lactosa y son capaces de producir H_2S en este medio, como *Salmonella* spp, *Citrobacter* spp o *Proteus* spp (Figura 12)

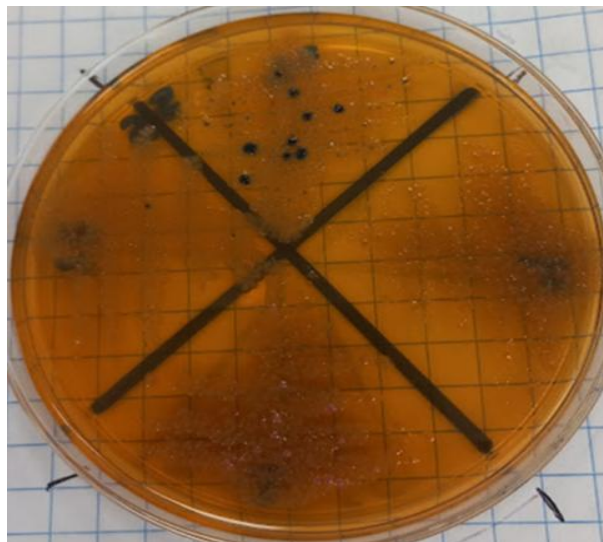


Figura 12. Agar Salmonella-Shigella

Se observan colonias grandes de color negro, productoras de H_2S y colonias de color rosa de tamaño pequeño, fermentadoras de lactosa.

Posteriormente, las colonias que crecieron en agar E-M-B, fueron de color verde brillante metálico. Para estos casos, *E.coli* y *Citrobacter* spp llegan a presentar estas características en este medio (Figura 13).

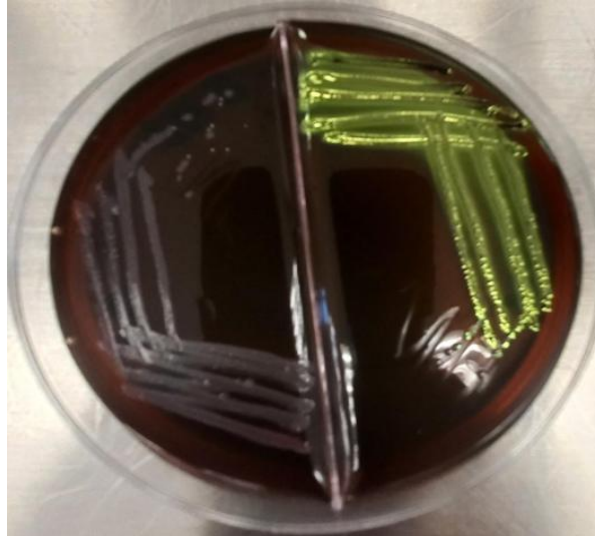


Figura 13. Agar EMB

Se observan colonias de color verde brillante metálico, que fermentan la lactosa.

Con los resultados obtenidos de las pruebas bioquímicas, tinción de Gram y medios de cultivo, se pudo descartar ciertos agentes, hasta reducir el número a solo cuatro posibles agentes: *E. coli*, *Salmonella* spp, *Proteus* spp y *Citrobacter* spp. Al considerar las características de las colonias en los medios selectivos se sugirió la presencia de *E. coli* y *Citrobacter* spp.

Por lo tanto, al obtener los resultados del equipo VITEK® 2 COMPACT, los agentes que se pudieron identificar fueron: ***Escherichia coli*** con 99% de confiabilidad y ***Citrobacter freundii***, con un porcentaje de confiabilidad del 85%. Este último análisis, confirmó los resultados obtenidos en las pruebas complementarias clásicas, que evidenciaban la posible presencia de *E.coli*, y *C. freundii*, donde la formación de colonias en algunos medio utilizados presentaba características similares a *Salmonella* spp. Por lo que, el no haber empleado el equipo antes indicado, se hubieran generado resultados inciertos, y además, permitió incrementar la confiabilidad en la identidad de los microorganismos aislados.

Además de forma complementaria, se obtuvo los resultados de sensibilidad antimicrobiana. En la Tabla 8, se muestra la sensibilidad que existió a los antibióticos para los agentes aislados, observando que *C. freundii* y *E.coli* presentaron una resistencia ante la amoxicilina, ampicilina y cefalotina, pero la diferencia estuvo en *E. coli*, dónde también lo presentó para trimetoprim.

Tabla 8. Resultados del antibiograma de las bacterias aisladas en el proceso de compostaje de heces caninas y aserrín

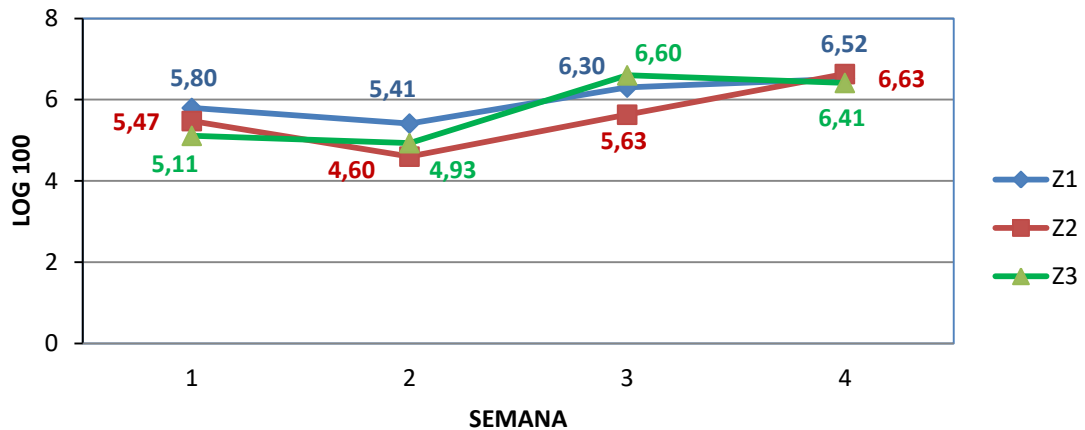
Antibiótico	Resultado	Antibiótico	Resultado
Amoxicilina	R ^{1 2}	Ertapenem	S ^{1 2}
Ampicilina	R ^{1 2}	Meropenem	S ^{1 2}
Ampicilina/Sulbactam	S ^{1 2}	Amicacina	S ^{1 2}
Cefalotina	R ¹ / S ²	Gentamicina	S ^{1 2}
Cefuroxima	S ^{1 2}	Ciprifloxacino	S ^{1 2}
cefuroxima acetil	-	Norfloxacino	S ^{1 2}
Cefotaxima	S ^{1 2}	Fosfomicina	S ^{1 2}
Ceftriaxona	S ^{1 2}	Nitrofurantoina	S ^{1 2}
Cefepima	S ^{1 2}	Trimetoprim	S ¹ / R ²

R= resistente; S=sensible; 1=*C. freundii*; 2=*E.coli* genérica

Por otra parte, de las muestras obtenidas durante el volteo de cada pila, se realizó la técnica de dilución seriada desde 10^{-1} hasta 10^{-7} . Los resultados fueron transformados a unidades Log 100, los que se muestran en el Gráfico 7. En este, se puede observar en Z1 es el valor mínimo de 5.41 Log 100 UFC/g en la primera semana, y un máximo de 6.52 log 100 UFC/g en la última semana, con un promedio de 6.00 Log 100 UFC/g. Por su parte, en Z2 el valor mínimo fue de 4.6 Log 100 UFC/g a la segunda semana, y a la cuarta semana, se obtuvo el máximo de 6.63 Log 100 UFC/g, teniendo en promedio 5.58 Log 100 UFC/g. Por otra parte, la concentración en Z3 presentó una disminución de 4.93 Log 100/UFC/g al igual que las otras zonas, pero el valor máximo lo alcanzó en la tercera semana con 6.60 Log 100 UFC/g, que posteriormente disminuyó, terminando en promedio de 5.76 Log 100 UFC/g. Si bien la

tendencia en las tres zonas fue el incremento del número de bacterias, al pasar el tiempo, estas disminuyeron y se estabilizaron hasta llegar a una concentración promedio de las tres zonas de 6.52 Log 100 UFC/g.

Gráfico 7. Concentración bacteriana del proceso de compostaje de heces caninas y aserrín



Finalmente, en las cajas de Petri pertenecientes al primer y último día de muestreo, y únicamente, de las repeticiones 3 y 4, se tomaron colonias que fueron sembradas en Agar Fluorocult® a 37 °C y a las 48 h fueron expuestas a luz UV, observando que, en las muestras iniciales, las colonias mostraron fluorescencia, mientras que en las últimas colonias aisladas no se pudo observar la luminiscencia (Figura 14).

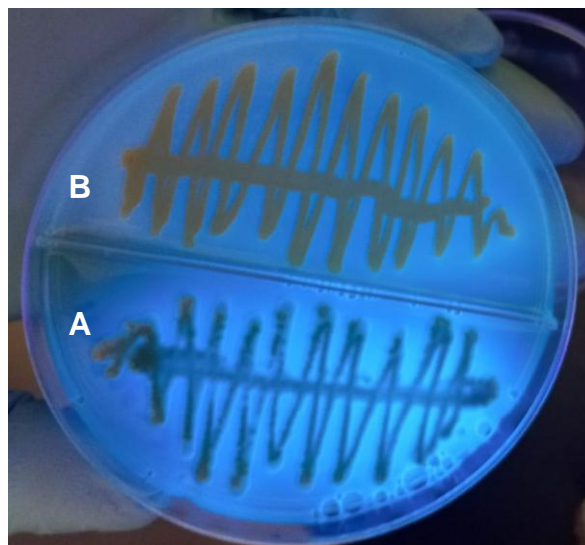


Figura 14. Agar Fluorocult

En este agar se observaron colonias de muestras iniciales fluorescentes (A) y colonias aisladas al final del proceso sin fluorescencia (B)

DISCUSIÓN

Temperatura.

Las temperaturas que se alcanzaron dentro de las pilas de compost al utilizar excretas caninas y aserrín, se generaron a partir de reacciones metabólicas microbianas (síntesis y degradación) en un medio aeróbico, siguiendo así la tendencia normal dentro de un proceso de compostaje. Además, se pudo observar claramente 4 etapas diferentes a lo largo de los experimentos: mesófila ascendente, termófila, mesófila descendente y enfriamiento o maduración. Así, se tiene, que en los experimentos, durante la etapa termófila, se registraron temperaturas máximas de hasta 73.7°C (**REP1**), 70.3°C (**REP2**), 72.7°C (**REP3**) y 68.9°C (**REP4**), en contraste, al experimento realizado por Nemiroff L, *et al.*, (2007) donde compostaron excretas caninas y aserrín, y observaron que la temperatura máxima que alcanzaban dentro de las pilas fue entre los 40-55°C, siendo una temperatura que no permite inactivar agentes patógenos. Sin embargo, Martínez-Sabater E, *et al.*, (2019), al mezclar heces caninas, ROU y restos de poda, registraron temperaturas de hasta 63.2°C en el día 4 del proceso, por lo que, en este último y el presente experimento, se alcanzaron temperaturas consideradas como termófilas.

Además, se pudo demostrar que al aplicar en las cuatro repeticiones una aireación continua, sin importar si el sistema fue rotatorio o estático, alcanzó temperaturas superiores a 65°C en un menor tiempo, ya que en las cuatro repeticiones llegaron a temperaturas termófilas entre el día 1 y 2, pero además, la REP1, REP2 y REP3 permanecieron por más tiempo en rangos de 40°C hasta 70°C con un promedio de 3502.81 min (58.38 h). Los cuales son similares a los resultados obtenidos por, Alkoaik, (2019),⁷⁷ donde utilizó restos de tomate y heces de pollos en un contenedor móvil con sistema de aireación automatizada y un biorreactor estático; para el cual, el contenedor rotatorio alcanzó 68.8°C en sólo 48 h, permaneciendo en la fase termofílica durante 3 días consecutivos, y para el biorreactor estático alcanzó una temperatura máxima de 55°C hasta las 114 h después de iniciado el experimento. Demostrando que mantener un medio aeróbico y mezcla continua de los

sustratos, mejora la calidad del compost e incrementa la temperatura en un menor tiempo. Y como lo menciona Wilkinson KG, (2007),²² estas temperaturas pueden ser suficientes para inactivar agentes patógenos como virus, bacterias, hongos, protozoarios, quistes y huevos de helmintos.

pH.

El pH inicial promedio, que se mantuvo en las repeticiones fue básico (7.4) debido a la composición de la fuente de carbono (aserrín) que es recalcitrante. Al mantenerse en este rango, generó las condiciones adecuadas para que los microorganismo iniciaran el proceso de degradación, ya que si en esta etapa el medio es altamente alcalino o ácido, puede inhibir el desarrollo de microorganismos y afectar el proceso de degradación, así como la temperatura, afectando la calidad del compost. Demostrado en la investigación de Spencer JL, *et al.*, (2013)⁷⁸ donde, se observó que en pilas compuestas de cadáveres de aves y con un pH inicial mayor a 8, la degradación fue incompleta, manteniéndose por más tiempo entre los 45°C y 55°C. Contrario a lo realizado por Martínez-Sabater E, *et al.*, (2019),⁴⁷ que llevaron a cabo pilas compuestas de heces caninas, ROU y residuos de poda, con un pH inicial ácido (entre 6.27 a 6.95), terminando con un pH promedio de 7.64, similar a lo obtenido al final en las cuatro repeticiones (pH promedio de 7.49), el cual se mantiene dentro de los rangos adecuados dictados por la Norma Mexicana.⁷⁴

Humedad relativa (HR).

Al ajustar la HR inicial a 50% y manejándola en este porcentaje durante los volteos de las pilas de compost, el proceso de degradación fue el adecuado, ya que los microorganismos al tener la humedad requerida, llevan a cabo su metabolismos (respiración celular), desprendiendo energía en forma de calor y observándolo por el incremento de la temperatura, las cuales fueron superiores a 65°C. A diferencia de Yang XC, *et al.*, (2019)⁷⁸ donde realizaron un experimento de compostaje de carcasas de cerdo con HR inicial del 60% durante 180 días, en el cual, sólo se arregló y ajustó la HR al día 93 del experimento. Donde, la temperatura máxima alcanzada con esta humedad fue de 58°C. Finalmente, las cuatro repeticiones terminaron con una HR promedio

de 39.25%, menor a la alcanzada por Nemiroff L, *et al.*, (2007),²⁵ donde prepararon pilas de heces caninas con aserrín y obtuvo una HR final del 85%, el cual se produce cuando existe un exceso de humedad y se saturan los poros dentro del sistema, provocando el desplazamiento del oxígeno y cambiando a un medio anaerobio, lo que a su vez disminuye la temperatura.

Evaluación organoléptica.

Para esta investigación, se llevo a cabo la evaluación física de las características finales obtenidas en las cuatro repeticiones, que pueden describir la madurez del compost obtenido. Estas alcanzaron temperaturas finales en promedio de 17°C, olor a tierra mojada, con cierta cantidad de humedad y reducción en el tamaño de partícula (ANEXO 1.4). Contrario a las investigaciones de Nemiroff L, *et la.*, (2007)²⁵ y Martínez-Sabater, *et al.*, (2019),⁴⁷ donde no cuentan con esta evaluación, y por lo tanto no se puede comparar con estas investigaciones. Para el caso del color que se obtuvo (café marrón oscuro), Xie S, *et al.*, (2023),⁷⁹ mencionan que esta característica puede estar influenciada por los materiales utilizados, derivado del grado de descomposición y el contenido de ácidos húmicos. Esta evaluación puede emplearse como un indicador de la madurez del compost de heces caninas, para investigaciones futuras, ya que es una de las evaluaciones que se toma en cuenta al momento de realizar la comercialización.

Peso.

La reducción del peso en las repeticiones puede deberse posiblemente a la diferente composición de las excretas caninas, incluida la humedad. También, se atribuye a la fuente de alimentación de los perros, debido a problemas administrativos, donde la calidad del alimento balanceado era diferente; el cambio continuo de animales provenientes de diferentes lugares y por lo tanto el consumo de alimento era variado. Además, como lo menciona Michel FCJ, *et al.*, (2004),⁸⁰ la pérdida de peso en las pilas de compost, se presenta por la mineralización, pérdida de nutrientes y la formación de vapor de agua, derivado de la actividad microbiana. A su vez, la materia prima utilizada influye en la degradación y reducción del peso. Como lo observado por Komar S, *et al*, en 2012,⁸¹ que reportaron una mayor reducción para pilas compuestas heces de

caballo, paja granulada o viruta de madera, donde los resultados encontrados fueron del 49% y 40%, respectivamente. Por lo tanto, los resultados obtenidos en la presente investigación no fueron consistentes, ya que sólo en dos de las repeticiones (REP 2 y 3) presentaron reducciones similares (49.70% y 45.23%).

Sin embargo, a pesar de que no se mantiene una homogeneidad en la composición de las excretas, las repeticiones llevadas a cabo en este experimento se comportaron similares a los reportados en otros trabajos. Observando que las excretas caninas también tienen la capacidad de poder generar una biodegradación si se controlan los factores intrínsecos del proceso, como en pilas elaboradas con heces de otras especies.

Evaluación química.

Con los resultados obtenidos de las muestras de compost y comparando lo dictado por la NADF-020-AMBT-2011,⁷⁴ para el caso de los macroelementos (N, P, K), estos se mantienen dentro del rango de 1-3%. Y al momento de realizar las sumas de los tres elementos, se obtuvieron porcentajes de 4.05% (**REP1**), 2.98% (**REP2**), 3.69% (**REP3**) y 6.31% (**REP4**), los cuales son menores al 7% referido en la norma antes mencionada. Al comparar estos resultados con los obtenidos por Martínez-Sabater E, *et al.*, (2019),⁴⁷ se mostraron diferentes, ya que en la pila que realizaron (C2) con una mayor proporción de excretas caninas (64.9%), el porcentaje de NT (2.43%), K (1.77%) fueron mayores y en el P se observó una disminución (0.38%), donde, los datos finales de las cuatro repeticiones, puede deberse al cambio de los sustratos utilizados en su investigación (heces caninas, ROU y residuos de poda).

Por otra parte, los datos obtenidos de las cuatro repeticiones al final del pc, mostraron una reducción en los porcentajes de MO y CO con respecto a los iniciales, el cual coincide con lo registrado por Martínez-Sabater E, *et al.*, (2019),⁴⁷ donde también existió una disminución del porcentaje de MO y COT en pilas donde se compostó heces caninas. Sin embargo, los datos de MO que largaron en ese experimento (51.5%, 29.9% y 30.6%), fueron menores a los

alcanzados en esta investigación, donde se obtuvieron 80.1%, 89.6%, 89.3%, 64.8%.de MO.

Esta disminución en ambas investigaciones, puede deberse a que el carbono forma parte de los residuos orgánicos (restos vegetales o animales en descomposición), de la biomasa microbiana, así como diferentes sustancias (ácidos fúlvicos, ácidos húmicos o huminas), que integran la MO, y que durante el pc se descomponen en sustancias menos complejas, donde una parte servirá para la formación de diferentes compuestos utilizados en el metabolismo microbiano y la otra se perderá en forma de CO₂, CH₄ o en los lixiviados.⁸² Además, la fuente de carbono dentro de las pilas de compost (en este caso el aserrín), cumple la función de absorber el exceso de humedad, proporcionar volumen a la masa y en su caso permitir la existencia de poros donde circulara el aire requerido para mantener un ambiente aeróbico. Es por ello que se considera en diferentes investigaciones el porcentaje de MO en los compostes antes que CO y que por esto, quizá la Norma Mexicana⁷⁴ sólo hace mención de los valores de la MO al momento de clasificarlos.

Por último, en el caso de los niveles de elementos traza, el cobre (Cu) se mantuvo, en todas las repeticiones, por debajo de 70 mg·kg⁻¹ y en los niveles de zinc (Zn), las 4 repeticiones excedieron los 200 mg·kg⁻¹. Aunque los niveles de Cu fueron de Nivel 1- tipo A, se sugirió que estos compostes, se clasificarían como Nivel 2-tipo B. No obstante, en la investigación realizada por Zheng X, *et al.*, (2022),⁸³ hacen mención de las diferencias en las normativas de cada país, donde cada uno establece los límites de elementos traza en compost producido a partir de excretas de animales. Por ejemplo, en los compost de excretas de cerdo registran 1.373,58 mg/kg de Zn y 465,10 mg/kg de Cu al final del proceso, los cuales exceden los niveles para la regulación de la Unión Europea (EU por sus siglas en ingles) pero no para la regulación China. Es por esto que, los datos obtenidos del compost de heces caninas y aserrín, pueden utilizarse para la clasificación y uso de este producto, que de acuerdo a la Norma Mexicana,⁷⁴ solo se podría utilizar en paisajes, áreas verdes urbanas y en la reforestación, siempre y cuando se considere la información que proporciona Nemiroff, *et al.*, (2007)²⁵ y los resultados de esta investigación, ya que contiene

concentraciones altas de sales y por lo tanto se debe cuidar su incorporación al suelo, combinándolo con otros sustratos orgánicos.

Relación C:N.

De acuerdo a la Norma Mexicana,⁷⁴ clasifica el compost en tres tipos, de acuerdo a la relación C:N final: el tipo A con una relación <15 (el de mejor calidad), el tipo B con una relación <20 para y el tipo C donde la relación debe ser <25. Comparando estos datos con los obtenidos en las repeticiones, observamos que, en las **REP1** y **REP4** se clasificaron como tipo C, ya que presentaron una relación C:N final de 23.7 y 22.9, mientras que las **REP2** y **REP3** excedieron esta relación dictada por la norma, terminando en 36.7 y 30, respectivamente. Esto coincide con la revisión realizada por Azim K, *et al.*, (2019),⁶⁹ donde menciona que puede existir diferentes valores tanto iniciales (30:1, 28:1 o 13:1) como finales (<25:1, 15:1 o 7:1) en la relación C:N, los cuales dependen directamente del material compostado. De igual manera, en el manual elaborado por Roman P, *et al.*, (2013),⁶⁸ mencionan que al iniciar el pc, las mezclas iniciales pueden tener una relación entre 25:1 a 35:1 y para el compost maduro entre 10:1 a 15:1. Por ello, se puede deducir que las repeticiones donde tuvieron altas relaciones, aun no estaban maduras y por lo tanto, se deben manejar por más tiempo, como lo hizo Martínez-Sabater, *et al.*, (2019),⁴⁷ que compostó heces caninas por más de 50 días y obtuvo una relación adecuada en una de las pilas.

Es importante mantener una relación adecuada de C:N, porque son esenciales para la síntesis de proteínas, aminoácidos, como fuente de energía o de forma estructural, de las células. Por lo tanto, si se maneja una relación alta y debido a las características intrínsecas de los materiales recalcitrantes (maderas, aserrín, viruta, y derivados de la madera entre otros) de difícil oxidación, se requerirá de más tiempo para descomponerse, además de diferentes microorganismos específicos capaces de degradarlos y aprovecharlo,⁸⁴ además, este se perderá en forma de CO₂ debido al alto consumo, contrario a una baja relación, donde las bacterias ocuparan primero el N que se encuentra en exceso, y por el metabolismo bacteriano se producirá NH₃, perdiéndose de la matriz, cambiando la calidad final del compost.

Si bien, el contenido de ciertos elementos, provenientes del compostaje de excretas caninas estuvieron por debajo de los límites reglamentados, se debe considerar la cantidad de compost para adicionar, debido a que se puede tener un efecto acumulativo al pasar los años y ser nocivos -tóxicos- para el suelo y las plantas. La correcta concentración de N en los suelos puede ser benéfica para las plantas, ya que ayudará con el aumento de biomasa, además de promover la formación de clorofila, el crecimiento de microorganismos presentes en el suelo y en la síntesis de proteínas.⁸⁵

Además, la cantidad de nutrientes que proporcionaron las excretas caninas dependieron fundamentalmente del origen del perro, debido a las condiciones en las que se encontraban, es decir, si son animales de compañía o perros en situación de calle, ya que influye en la cantidad, calidad y oportunidad de elección del alimento. Por ejemplo, en el estudio realizado por Hall JA, *et al*, en 2018,⁸⁶ demostraron que los perros prefieren consumir alimentos altos en grasas (41%) y carbohidratos (36%), contrario a los gatos que tuvieron preferencia hacia carbohidratos (43%) y proteínas (30%). Además, la dependencia del presupuesto otorgado por el gobierno y donaciones, para adquirir los alimentos de bajo costo, se ve reflejado la diferencia de nutrientes con la que terminaron cada una de las pilas de compost, ya que las croquetas de bajo costo no cumplen con los estándares de calidad y existe una deficiencia en la nutrición del animal.⁸⁷

Prueba de fitotoxicidad.

Las pruebas realizadas para saber la calidad del compost o su madurez se basan en métodos físicos, químicos y biológicos. La prueba biológica, o bioensayo, más utilizada es la obtención del índice de germinación (IG) con la prueba de fitotoxicidad. Con este método, se determina en una muestra de compost el grado de madurez, el cual implica la disminución de sustancias nocivas, como el amoníaco, que afectan la germinación de la semilla así como el desarrollo futuro de las plantas.

Al analizar los datos del IG obtenido de las cuatro repeticiones, la **REP1** y **REP2** fueron las que tuvieron mayores porcentajes de germinación de las

semillas, pero tomando en cuenta la relación C:N final, que está relacionado con el IG, coincide que las **REP2** y **REP3** presentaron mayores diferencias, observadas en el Gráfico 6. Este hecho se describe en la investigación de Ji Z, *et al.*, (2023),⁸⁷ donde mencionan que para el caso de la relación C:N, si la relación final del compost es menor o igual a 23, el IG se eleva y llegar hasta el 95%. Por el contrario, si la relación es igual o mayor a 35, el IG disminuye hasta un 70% de IG. Pero además, refiere que si la humedad se mantiene entre 54% y 66% el IG aumenta, al fomenta la actividad microbiana. El cual coincide con los datos obtenidos por Martínez-Sabater, *et al.*, (2019),⁴⁷ donde al incorporar más sustratos con una relación mayor a la de las heces caninas, obtuvieron menores porcentajes de IG (C2= 85.0%, C3A= 38% y C3B= 40.6%). Por lo tanto, los sustratos utilizados en estas repeticiones (excretas caninas, aserrín e inóculo endógeno), influyeron en el porcentaje de IG, debido a las características intrínsecas del aserrín (recalcitrante) que lo hacen difícil de degradar y como consecuencia aumentar el tiempo del proceso así como el nivel de madurez.

Otros factores como el tiempo de maduración, modifican el IG, debido a que más de 40 días en esta etapa, se reduce la nitrificación por la oxidación del NH_4 y volatilización del NH_3 . También la selección de semillas para calcular el IG puede influir en los resultados, debido a que no existe una semilla “patrón” que esté establecida internacionalmente para la realización de este método. Por lo tanto, no es adecuado comparar los resultados entre experimentos independientes, que pueden afectarse debido a la calidad de la semilla, la tasa de crecimiento y la tolerancia específica que presentan al extracto preparado. Por ejemplo, en 2021, Yang Y, *et al.*,⁸⁸ experimentaron con 17 semillas de diferentes especies para evaluar el IG de cada una, mostrando que solo 8 especies de semillas germinaron en 48 h, una de ellas fue el rábano, que al parecer es una de las semillas más utilizadas en las investigaciones.

Por último, para poder clasificar las repeticiones, se utilizó la Norma Mexicana,⁷⁴ donde, los promedios obtenidos en las cuatro pilas de compost, entraron dentro de la categoría Tipo B, al terminar con un IG mayor al 70%, mostrando que tuvieron el tiempo suficiente para poder terminar con una

calidad adecuada, pero si se toma en cuenta los demás datos, en dos de las pilas (**REP2** y **REP3**) este valor puede cambiar y por lo tanto mejorar su calidad agronómica si se dejan mayor tiempo en el proceso. Además puede ser utilizada en la remediación de suelos encontrados en parques o adicionado al suelo donde crecerán plantas que no tienen un destino de consumo.

Evaluación parasitológica.

Al inicio del proceso, en las muestras analizadas se pudieron detectar nematodo de vida libre (en diferentes estadios), *Toxocara* spp, *Capillaria* spp, *Cryptosporidium* spp y ácaros adultos de vida libre, por las condiciones fisicoquímicas de la matriz, que fomentaron la sobrevivencia de estos agentes, debido a factores principales como la temperatura y humedad que aun no eran lo suficientemente dañinos para los parásitos, los cuales en su mayoría requieren de temperaturas entre 8°C y 35°C para continuar con su desarrollo. Esto se pudo observar en el estudio realizado por Harroff LA, *et al.*, (2019),⁹⁰ donde demostraron que a temperaturas de 34-45°C, lograron inactivar huevos de *A. suum* en condiciones aeróbicas, mientras que con el proceso anaeróbico se inactivaron a partir de 37-45°C. Es por esto que al transcurrir el pc y alcanzar temperaturas superiores a los 65°C en las cuatro repeticiones, al final no se detectaron los parásitos como *Toxocara* spp, *Capillaria* spp y *Cryptosporidium* spp, demostrando que el pc puede ser efectivo para inactivar parásitos zoonóticos de las excretas. Resultados similares obtuvo Esquivel H, *et al.*, (2014),³⁰ cuando compostaron carne de cerdo contaminada con metacestodos de *T. solium*, y a partir de las 48 h con temperaturas internas de hasta 48.9°C, se pudieron inactivar estas estructuras parasitarias. A diferencia de los resultados obtenidos por Nemiroff, *et al.*, (2007),²⁵ donde, al compostar heces caninas y alcanzar temperaturas entre 40-50°C, no se pudieron eliminar los agentes patógenos (parásitos y bacterias) y por lo tanto recomienda el uso de guantes al manipular este tipo de compost.

También, factores como el pH, la humedad, tiempo de exposición o disponibilidad de nutrientes, pueden condicionar la supervivencia de los parásitos, ya que durante el pc varían en las cuatro etapas del proceso. Por ejemplo, en la investigación de Maya C, *et al.*, (2012),⁹¹ sometieron a diferentes

condiciones de temperatura, pH y sequedad a parásitos como *A. lumbricoides*, *A. suum*, *T. canis*, *Trichuris trichuria*, *Hymenolepis nana* y *T. solium*. Reportando que *Ascaris* spp, *T. canis*, y *T. solium* presentaron mayor resistencia a la temperatura; también se observó que a diferentes porcentajes de sequedad combinado otros factores, se pueden inactivar al 100% si se manejan tiempos ≥ 120 min y con temperaturas $\geq 60^{\circ}\text{C}$; además, el pH ácido fue el que mayor porcentaje de inactivación tuvo frente al alcalino, siendo el huevo larvado el más susceptible a esta condición.

Además, la presencia de nematodos y ácaros de vida libre, es normal dentro de las pilas de compost realizadas al aire libre, ya que existe diversidad de mesofauna, que de acuerdo a lo descrito por Azevedo LH, *et al.*, (2019),⁹¹ estos pueden descomponer naturalmente los residuos sólidos orgánicos, generando fuentes de energía y nutrientes para otros microorganismos. Por ejemplo, existen ácaros terrestres que se clasifican de acuerdo a lo que consumen en depredadores, saprófagos y microfítos. Ambos organismos se alimentan de restos vegetales, bacterias, hongos, protozoarios e incluso de otros nematodos cumpliendo una función de biocontrol.

Análisis bacteriológico.

Al obtener los resultados de las pruebas bacteriológicas y analizarlas, se pudo concluir que las bacterias aisladas fueron *E. coli* genérica y *C. freundii*. Con el uso del agar Fluorocult, se pudo distinguir la presencia de una *E. coli* enteropatógena de una *E. coli* genérica, lo cual se observa en la Figura 13, donde al iniciar existió la presencia de *E. coli* O157:H7, pero al final se aisló *E. coli* genérica. Esto se pudo confirmar al término del pc, ya que sólo se utilizó el aparato VITEK 2® COMPACT, en la muestra final, detectando *E. coli* genérica y *C. freundii*.

Por otra parte, al analizar el comportamiento de la carga microbiana, se observó (Gráfico 6), una disminución de la primera a la segunda semana en las tres zonas de las pilas, esto coincide con algunos datos obtenidos por Patel JR, *et al.*, (2015),⁹³ en pilas cubiertas y no cubiertas de compost maduro, donde a partir del día 3 se redujeron considerablemente las poblaciones de *Salmonella*

enterica, *E. coli* O157:H7 y *E. coli* genérica, incluso hasta llegar a ser indetectables, pero al día 84 existió una repoblación con concentraciones menores a 4 log 10 UFC/g., el cual, fue diferente a lo obtenido en esta investigación (promedio fue de 6.52 log 100 UFC/g), a pesar de alcanzar temperaturas mayores a 65°C por mas 3 días. Resultados similares obtuvo Nemiroff, *et al.*, (2007),²⁵ al compostar heces caninas con viruta y a temperaturas entre 40-55°C, no se lograron inactivar las bacterias y parásitos. Lo cual, puede explicarse de acuerdo a la investigación de Van Elsas, *et al.*, (2011),⁹⁴ que mencionan la existencia de cepas de *E. coli* (patógenas y no patógenas) que pueden persistir en un hábitat primario (en un organismo con una función protectora y de degradación de diferentes compuestos, principalmente carbonados) o secundario (medio ambiente), debido a la presencia de islas genómicas que les confieren resistencia, las cuales pueden transmitirse de una cepa a otra (de una patógena a una no patógena) que al someterse a condiciones extremas (bajos niveles de nutrientes, pH, temperatura y humedad fluctuantes, etc), modifican su metabolismo (expresión de genes) para adaptarse y resistir temperaturas termofilas.⁹⁵ Este hecho se pudo observar en el trabajo de Singh, *et al.*, (2010),⁹⁵ el cual al someter a *E. coli*, *Salmonella* spp y *L. monocytogenes* a un estrés calórico (temperaturas mesófilas), pueden sobrevivir al choque térmico, lo cual permito su presencia en la siguiente etapa termofílica, siempre y cuando se mantuvieran en la periferia de las pilas (viables hasta por 17 días). Sin embargo, aquellas que se localizaron en la parte central, fueron sometidas a temperaturas mayores o iguales a 55°C por más de un día, llegando a inactivarse fácilmente. Por lo tanto, es posible que la cepa de *E. coli*, no sea una especie patógena y por el contrario, que sea una especie saprofita del proceso, por esto, se recomienda el estudio genético para revelar la identidad específica de la bacteria recientemente descubierta en el proceso de compostaje de heces caninas.

Con respecto al aislamiento de *C. freundii*, se menciona que es común, debido a que es una bacteria presente en el tracto intestinal de varios mamíferos. Y de acuerdo a Nacimba NGA, *et al.*, 2018,⁹⁶ existen microorganismos como *C.freundii* que se pueden aislar de una pila de compost, que cumplen una función dentro de los consorcios microbianos en el que se encuentre,

aprovechando el nitrógeno cuando se presenta en exceso, en forma de nitrato, mediante el proceso de desnitrificación mejorando la calidad final del producto. Como lo mencionan en su investigación Hu L, *et al.*, (2022),⁹⁷ que al sembrar *C. freundii* y *Penicillium citrinum*, existió un mayor aprovechamiento del N y C en los medios donde se cultivaron, favoreciendo el crecimiento y evidenciando la sinergia que existe entre microorganismos. Por lo tanto, su presencia puede tener efectos favorables para el pc de heces caninas, pero también puede presentar un riesgo para el ser humano y animales que se encuentren con un sistema inmunodeprimido.

CONCLUSIONES GENERALES

En esta investigación, se pudo observar que las excretas caninas son una fuente importante en la transmisión de agentes infecciosos para el humano y otros animales debido a que se pudieron aislar e identificar a *Toxocara* spp, *Cryptosporidium* spp, *Capillaria* spp, *E. coli* genérica y *Citrobacter freundii*, que son patógenos con posibilidad de causar alguna enfermedad zoonóticas.

Factores como la HR, temperatura, relación C:N, tiempo del proceso, volteo y aeración, que se manejaron en el compostaje de heces caninas y aserrín, generaron condiciones extremas para los parásitos encontrados al inicio del pc, lo que favoreció la eliminación y ausencia en las muestras finales. Dónde el factor con mayor repercusión para estos agentes, fue la temperatura, ya que se superaron los 65°C y permanecieron por al menos 3 días consecutivos, como lo indica la literatura consultada. Además, existió una disminución de las bacterias aisladas durante la fase termofílica pero que, aun así permanecieron hasta el final del proceso.

Los resultados de algunas pruebas bromatológicas, químicas y de fitotoxicidad realizados al compost de heces caninas, proporcionaron información suficiente para establecer su calidad y con esto, clasificarlo como un producto altamente

aprovechable para la remediación de suelos, pero no para los destinados a la siembra de productos consumibles.

Por último, este proceso se puede utilizar como método alternativo para el tratamiento y aprovechamiento de heces caninas, al reducir la contaminación ambiental generada por otros procedimientos (incineración, métodos anaeróbicos). Pero además, para el control de ciertos agentes patógenos identificados en este tipo de residuos, siempre y cuando se manejen de manera adecuada los parámetros del proceso y permaneciendo por mayor tiempo en la etapa de maduración para la eliminación o reducción de patógenos.

CONCLUSIONES ALTERNAS.

En los últimos años, el papel que ha tomado el perro en la sociedad, es de gran importancia, debido a que desempeña diferentes roles en la sociedad, por ejemplo, de guardia, de compañía, terapéutico, de asistencia, etcétera.

La mayoría de las familias, acogen a uno o más perros en sus hogares, por los cambios de hábito en la conformación de las familias, lo que incrementa la cantidad de residuos generados en los hogares. La responsabilidad que representa realizar los procedimientos de medicina preventiva (desparasitación y vacunación periódica) en los perros de compañía, toma importancia en los hogares, debido a la convivencia cercana que tienen con población de riesgo (niños menores de 5 años de edad, adultos o personas inmunodeprimidas), al ser susceptibles a infecciones por causa de los microorganismos presentes en las excretas caninas, que en muchas ocasiones no se consideran como fuente de riesgo sanitario. La eliminación de agentes patógenos en las heces caninas se vuelve una tarea difícil, por la falta de tratamientos adecuados. También, la falta de información (trabajos científicos, normas) y difusión de la misma, que brinde los elementos necesarios para prevenir la presencia de heces en áreas recreativas públicas, provoca un foco alto de infección para perros y personas en general.

Por lo tanto, es necesario y urgente establecer el proceso de compostaje para la disposición y tratamiento de las excretas caninas. Como se pudo observar, en éste experimento, el proceso es viable en el establecimiento de un

programa de manejo y tratamiento de heces caninas, empleando una fuente de carbono de fácil acceso (aserrín) para ser usado en las ciudades, que cuenten con una población elevada de perros, reduciendo de esta manera, la cantidad de residuos orgánicos domésticos que se dispondrían en los rellenos sanitarios, pero que además, idealmente, se pueden aprovechar debido a que proveen de nutrientes y microorganismos benéficos para la reparación de suelos, los que actualmente están erosionados, entre otras razones, por la falta de materia orgánica.

PROSPECTIVA

Se debe generar mayor interés por la generación de procesos que ayuden a tratar las heces caninas y que demuestre una transformación efectiva de la materia prima, así como la reducción del poder infeccioso de este residuo.

Los propietarios de animales de compañía, deben ser responsables al momento de adquirir o adoptar un perro o gato, garantizándoles las condiciones adecuadas para mantener una vida sana, ya que si no se proporcionan estas condiciones, se vuelven reservorios de microorganismos transmisibles al ser humano y con posibilidad alta de afectar su salud. Y no basta con las muestras de afecto al perro (amar y querer), sino además, deben realizar las siguientes acciones obligatorias y de responsabilidad social: 1) invertir recursos financieros en un plan de medicina preventiva y alimentación; 2) invertir tiempo y esfuerzo en sacar al perro a pasear o socializar y por último, 3) esfuerzo en la colecta de las heces así como en el tratamiento de las mismas. De no realizarse estas tres tareas obligatorias, el futuro dueño se convertirá en una persona irresponsable y correrá el riesgo de adquirir alguna enfermedad infectocontagiosa, además de enviar al ambiente heces con microorganismos que afecten a otros animales o al ser humano.

REFERENCIAS

1. Bienestar Subjetivo-BIARE Ampliado (posesión de mascotas) [Internet]. INEGI. 2014 [consultado 10 febrero 2022]. Disponible en: <https://www.inegi.org.mx/investigacion/bienestar/ampliado/default.html#Tabulados>
2. Soberanis-Ramos O, Arvizu-Tovar L, Pérez-Rivero J. Tenencia responsable de perros en la Ciudad de México. Salud Pública Méx. 2018; 60(2):128-129.
3. Ley de Protección a los animales de la Ciudad de México [Internet]. Gaceta Oficial del Distrito Federal: PAOT; última modificación 17 de mayo 2021 [citado 10 febrero 2022]. Disponible en: https://paot.org.mx/centro/leyes/df/pdf/2021/LEY_PROTEC_ANIMALES_27_05_2021.pdf
4. Morán LR. Proponen solución al problema de los perros callejeros. Ciencia UNAM [Internet]. 2012 [citado 10 febrero 2022]. Disponible en: http://ciencia.unam.mx/leer/109/Proponen_solucion_al_problema_de_los_perros_callejeros
5. Pablo JP. Heces caninas: un creciente, enigmático y fétido problema. Proceso [Internet]. 2016 [citado 1 junio 2021]. Disponible en: <https://www.proceso.com.mx/431134/heces-caninas-un-creciente-enigmatico-y-fetido-problema>
6. Sánchez-Salinas E, Ortiz Ma.LH, Castrejón MLG. Contaminación urbana del aire. Aspectos fisicoquímicos, microbiológicos y sociales [Internet]. México: Universidad Autónoma del Estado de Morelos.; 2014 [citado 20 mayo 2021]: 1-190. Disponible en: https://www.uaem.mx/dgds/files/libros/2014_LIBRO_CONTAMINACION%20URBANA%20DEL%20AIRE.%20ASPECTOS%20FISICOQUIMICOS%20MICROBIOL%C3%93GICOS%20Y%20SOCIALES.pdf
7. Santillan ML. Los perros son un amor, sus heces un riesgo. Ciencia UNAM [Internet]; 2019 [citado 20 mayo 2021]. Disponible en: <http://ciencia.unam.mx/leer/855/los-perros-son-un-amor-sus-heces-un-riesgo>

8. Abarza FIV. Efecto de las heces caninas sobre la producción de biogás. [Tesis de licenciatura]. Santiago de Chile: Universidad de Chile; 2014. 1-74.
9. Dabanch JP. Zoonosis [Internet]. Rev Chil Infectol. 2003 [citado 20 mayo 2021]; 20(1):47-51. Disponible en:
<https://scielo.conicyt.cl/pdf/rci/v20s1/art08.pdf>
10. Medina-Pinto R, Rodríguez-Vivas R, Bolio-González M. Nematodos intestinales de perros en parques públicos de Yucatán, México [Internet]. Biomédica. 2018 [citado 20 mayo 2021]; 38(1):105-110. Disponible en:
<https://revistabiomedica.org/index.php/biomedica/article/view/3595/3880>
11. Sarmiento-Rubiano L, Delgado L, Paola JR, Sarmiento MC. Parásitos intestinales en perros y gatos con dueño de la Ciudad de Barranquilla, Colombia. Rev Investig Vet Perú. 2018; 29(4): 1403-1410. DOI: 10.15381/rivep.v29i4.15348
12. Ramírez-Rubio L, García-Cueto O, Tinoco-Gracia L, Quintero-Núñez M, Cueto-González S, Trasviña-Muñoz E. Frecuencia de huevos de *Toxocara canis* en parques públicos de Mexicali, Baja California, México. Rev Int Contam Ambie. 2019; 35(3): 589-595. DOI: 10.20937/RICA.2019.35.03.06
13. Eguia-Aguilar P, Cruz-Reyes A, Martínez-Maya J. Ecological analysis and description of the intestinal helminths presents in dogs in Mexico City. Vet Parasitol. 2004; 127(2):139-146. DOI: 10.1016/j.vetpar.2004.10.004
14. Vélez-Hernández L, Reyes-Barrera K, Rojas-Almaráz D, Calderón-Oropeza M, Cruz-Vázquez J, Arcos-García J. Riesgo potencial de parásitos zoonóticos presentes en heces caninas en Puerto Escondido, Oaxaca. Salud Pública Méx. 2014; 56(6): 625-630. DOI: 10.21149/spm.v56i6.7389
15. Attia SJ. Canine feaces: the microbiology of an environmental health problem [Internet]. University of Sheffield; 2012 [citado 20 mayo 2021]. Disponible en:
http://etheses.whiterose.ac.uk/3849/1/new_Copy__of_SALAH_FINAL%2B.pdf
16. Soliz ME. Relación entre infección por *Toxocara canis* y la presencia de asma en la población pediátrica [Tesis de especialidad]. Distrito Federal (Mx): Universidad Nacional Autónoma de México; 2009.1-53.

17. Salinas MC. Caracterización de aerobacterias entéricas en ambientes intra y extramuros de la Ciudad de México [Tesis de maestría]. México: Universidad Nacional Autónoma de México; 1998. 1-72.
18. Rodríguez DP, García AC. Diseño y construcción de un biodigestor para la producción de biogás a partir de heces caninas [Tesis de licenciatura]. Bogotá (Col): Universidad Distrital Francisco José de Caldas; 2017.
19. Torres BS. El mito de los incineradores como solución al problema de la basura. El caso del municipio de Tecámac [Tesis de licenciatura]. Distrito Federal (Mx): Universidad Nacional Autónoma de México; 2015. 1-110.
20. Vargas AS, Mendoza ES, Trujillo ME, Reyes LB. Degradación de la materia orgánica por medio del proceso de compostaje [Internet]. Porcicultura.com; 2016 [citado 20 mayo 2021]. Disponible en:
<https://www.porcicultura.com/destacado/Degradaci%C3%B3n-de-la-materia-org%C3%A1nica-por-medio-del-proceso-de-compostaje>
21. SEDEMA. Inventario de residuos sólidos de la Ciudad de México 2018. [Internet]. Ciudad de México; 2018 [citado 20 mayo 2020]: 65-76. Disponible en:
<https://www.sedema.cdmx.gob.mx/storage/app/media/DGCPA/IRS-2018.pdf>
22. Wilkinson KG. The biosecurity of on-farm mortality composting. *J Appl Microbiol.* 2007; 102(2): 609-618. DOI: 10.1111/j.1365-2672.2006.03274.x
23. Vargas AS. Compostaje en-sitio para la disposición sanitaria de los residuos orgánicos [Internet]. Porcicultura.com; 2018 [citado 10 febrero 2020]. Disponible en: <https://www.porcicultura.com/destacado/Compostaje-en-sitio-para-la-disposici3n-sanitaria-de-los-residuos-org3nicos>
24. Schwarz M, Bonhotal J, Harrison E, Brinton W, Storms P. Effectiveness of composting road-killed deer in New York State. *Compost Sci Util.* 2010; 18(4): 232-241.
25. Nermiroff L, Patterson J. Design testing and implementation of a large-scale urban dog waste composting program. *Compost Sci Util.* 2007; 15(4):237-242.
26. Lovering K. Comparative Analysis of dog waste processing methods for Metro Vancouver [Internet]. UBC Sustainability Scholar; 2018 [citado 20 mayo 2021]: 1-40. Disponible en:

- https://sustain.ubc.ca/sites/default/files/2018-31%20Comparative%20Analysis%20of%20Dog%20Waste%20Processing%20Methods%20for%20Metro%20Vancouver_Lovering.pdf
27. NRCS-USDA. Composting dog waste [Internet]. 2005 [citado 20 mayo 2021]: 1-7. Disponible en:
<https://www.nrcs.usda.gov/sites/default/files/2022-10/Composting-Dog-Waste-Booklet-Alaska.pdf>
 28. Andrade SO, Erosa de la Vega G, Nevárez GM. Amonio-oxidasas bacterianas y arqueales involucradas en el ciclo del nitrógeno. *Terra Latinoam.* 2015; 33(3): 233-245.
 29. Barrena RG. Compostaje de residuos sólidos orgánicos. Aplicación de técnicas respirométricas en el seguimiento del proceso [Tesis de doctorado]. Barcelona (Esp): Universidad Autónoma de Barcelona; 2006. 1-24.
 30. Esquivel H, Villalobos N, Vargas y Martínez JM. Inactivación del metacestodo de *Taenia solium* a través del proceso de compostaje: una realista alternativa aplicable en el medio rural en México. *Vet. Méx.* 2014: 29-35.
 31. Termorshuizen AJ, Moolenaar SW, Veeken AHM, Blok WJ. The value of compost. *Rev Environ Sci Biotechnol.* 2004; 3(4): 343-7.
 32. Ryckeboer J, Mergart J, Coosemans J, Deprins K, Swings J. Microbiological aspects of biowaste during composting in a monitored compost bin. *J. Appl Microbiol.* 2003; 94(1): 127-137. DOI: 10.1046/j.1365-2672.2003.01800.x
 33. Gayosso-Rodríguez S, Borges-Gómez L, Villanueva-Couoh E, Estrada-Botello MA, Garruña R. Caracterización física y química de materiales orgánicos para sustratos agrícolas. *Agrociencia.* 2018; 4(52): 639-652.
 34. Gómez G, Leonardo F, Atehortua H, Camilo G, & Orozco P, Sonia C. La influencia de las mascotas en la vida humana. *Rev Colomb Cienc Pecua.* 2007; 20(3): 377-386. Disponible en:
http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0120-06902007000300016&lng=en&tlng=es

35. Ramírez JUG, Arvizu LOT, Sánchez LMZ, Reyes ERTR. Guía de animales de compañía para dueños responsables. 1era ed. Ciudad de México (Mx): Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia; 2019.
36. PAOT. Animales de compañía. [Internet]. [citado 20 mayo 2021]. Disponible en:
https://paot.org.mx/micrositios/sabias_que/BIENESTAR_ANIMAL/tema_2.html#:~:text=La%20Ley%20de%20Protecci%C3%B3n%20a,y%20la%20de%20la%20comunidad%E2%80%9D.
37. White Mountain Group. Latinoamérica: líder en el crecimiento poblacional de mascotas. [Internet]. Cordoba (Arg); [citado 15 noviembre 2022]. Disponible en:
[https://wmg-pet.com/latinoamerica-lider-en-el-crecimiento-poblacional-de-mascotas/#:~:text=Entre%20el%202017%20y%202022,72%25%20\(115%20millones\)](https://wmg-pet.com/latinoamerica-lider-en-el-crecimiento-poblacional-de-mascotas/#:~:text=Entre%20el%202017%20y%202022,72%25%20(115%20millones)).
38. Cortez-Aguirre G. R., Jiménez-Coello M., Gutiérrez-Blanco E., Ortega-Pacheco A. Stray dog population in a City of Southern Mexico and its impact on the contamination of public areas. *Vet Med Int.* 2018; 2018: 1-6. DOI: 10.1155/2018/2381583.
39. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. Diagnóstico básico para la gestión integral de los residuos de la Ciudad de México. 1era ed. México: Lucart Estudio; 2020. 1-272.
40. Drózd D, Malińska K, Postawa P, Stachowiak T y Nowak D. End-of-life management of biodegradable plastic dog poop bags through composting of Green Waste. *Materials.* 2022; 15(8): 1-14. Disponible en: <https://doi.org/10.3390/ma15082869>
41. Tamponi C, Knoll S, Tosciri G, Salis F, Dessì G, Cappai MG, Varcasia A, Scala A. Environmental contamination by dog feces in touristic areas of Italy: parasitological aspects and zoonotic hazards. *Am J Trop Med Hyg.* 2020; 103(3): 1143-1149. Disponible en: <https://doi:10.4269/ajtmh.20-0169>.
42. Taylor, L. Poop, Scoop and compost: proposal to explore the feasibility of composting dog waste in public parks. National Coalition for People and Dogs. Vancouver (Can). 2004: 1-7.

43. Swanson KS, Carter RA, Yount TP, Aretz J, Buff PR. Nutritional sustainability of pet foods. *Adv Nutr.* 2013; 4(2): 141-150. DOI: 10.3945/an.112.003335
44. Solís D, Toro M, Navarrete P, Faúndez P, Reyes-Jara A. Microbiological quality and presence of foodborne pathogens in raw and extruded canine diets and canine fecal samples. *Front Vet Sci.* 2022; 9: 1-11. DOI: 10.3389/fvets.2022.799710
45. Alicia MP. Caracterización de un residuo orgánico de relevancia para la Salud Pública en la ciudad de San Carlos de Bariloche: excretas caninas. [Tesis de especialidad]. Universidad Nacional de Rio Negro. 2012. 1-45.
46. López MYV, Valle MAB, Fausto JG. Condiciones laborales y riesgos para la salud en recolectores de basura. *Rev Col Salud Ocupacional.* (Col). 2020; 11(1): 1-9. DOI: 10.18041/2322-634X/rsco.1.2021.5898
47. Martínez-Sabater E, García-Muñoz M, Bonete P, Rodríguez M, Sánchez-García FB, Pérez-Murcia MD, Bustamante MA, López-Lluch DB, Moral R. Comprehensive management of dog faeces: Composting versus anaerobic digestion. *J Environ Manage.* 2019; 250: 1-7. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2019.109437>
48. Angélica GSM. Reciclaje de las heces fecales caninas en el parque Neptuno mediante la elaboración de humus usando la lombriz roja californiana (*Eisenia foetida*), Distrito de Santiago de Surco. [Tesis de Licenciatura]. Universidad Nacional Tecnológica de Lima Sur. Villa el Salvador (Perú). 2019. 1-103.
49. Viguria FP, Mijan de la Torre A. La pica: retrato de una entidad clínica poco conocida. *Nutr Hosp.* 2006; 21(5): 557-566. Disponible en: https://scielo.isciii.es/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0212-16112006000800001
50. Martínez-Barbabosa I, Gutiérrez EMC, Alpízar EAS, Pimienta LR de Jesús. Contaminación parasitaria en heces de perros, recolectadas en calles de la ciudad de San Cristóbal de Las Casas, Chiapas, México. *Vet. Méx.* 2008; 39(2): 173-180. Disponible en: http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0301-50922008000200006&lng=es

51. Huamancayo FL, Chávez AV. Giardiasis en perros menores de tres años que concurren a los parques públicos del Distrito de Santiago de Surco en Lima Metropolitana. Rev Inv Vet Perú. 2015; 26 (2): 296-302. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.15381/rivep.v26i2.11092>
52. Vázquez OT, Campos TR. Giardiasis. La parasitosis más frecuente a nivel mundial. Rev Del Centro de Inv (Méx). 2009; 8: 75-80.
53. Esther KIC. Contaminación de áreas recreativas con heces de perro en el bosque de Chapultepec (delegación Miguel Hidalgo, Distrito Federal) y el riesgo de infecciones parasitarias para el humano. [Tesis de Licenciatura]. Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán (Mx): Universidad Nacional Autónoma de México. 2004. 1-55.
54. Alfaro MLA. Prevalencia de *Ancylostoma caninum* en *canis lupus familiaris* en el área urbana y periurbana de la colonia Zacamil, del municipio de Mejicanos, San Salvador. [Tesis de licenciatura]. El Salvador: Facultad de Ciencias Agronómicas: Universidad de el Salvador. 2011. 1-46.
55. INSST- Instituto Nacional de Seguridad y Salud en el Trabajo. *Cryptosporidium spp* [Internet]. Torrelaguna. Madrid; última modificación 24/ de marzo de 2022 [citado 16 de junio de 2023]. Disponible en: <https://www.insst.es/agentesbiologicosbasebio/parasitos/cryptosporidium-spp>
56. Martínez-Barbosa I, Gutiérrez M, Ruiz LA, Fernández AM, Gutiérrez EM, Aguilar JM, Shea M, Gaona E. Detección de *Cryptosporidium spp* y otros parásitos zoonóticos entéricos en perros domiciliados de la Ciudad de México. Arch Med Vet. 2015; 47: 347-353.
57. Rodríguez JGD, Olivares JL, Sánchez YC, Alemán Y, Arece J. Cambios climáticos y su efecto sobre algunos grupos de parásitos. Rev Salud Anim. 2013; 35 (3): 145-150. Disponible en: <http://scielo.sld.cu/pdf/rsa/v35n3/rsa01313.pdf>
58. Rivarola C, Marlene E, Vuyk AIN, Riveros MM, Canese A, Micò VGA. *Toxocara canis* en población pediátrica rural. Pediatr (Asuncion). 2009; 36(2): 122-126
59. Crosa JH, Brenner DJ, Ewing WH, Falkow S. Molecular relationships among the Salmonellae. J Bacteriol. 1973; 115: 307- 315

60. Uribe C, Cecilia MS. Salmonelosis no tifoidea y su transmisión a través de alimentos de origen aviar. Col Med. 2006; 37(2): 151-158.
61. Organización Mundial de la Salud. *Salmonella* (no tifoidea) [Internet]. 2018. [citado 18 de diciembre de 2022]. Disponible en: [https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/salmonella-\(non-typhoidal\)](https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/salmonella-(non-typhoidal))
62. González JP, Pereira NS, Soto ZV, Hernández EA y Villarreal JC.. Aislamiento microbiológico de *Salmonella* spp. y herramientas moleculares para su detección. Rev Salud Uninorte (Col). 2014; 30 (1): 73-94. Disponible en: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=81730850009>
63. Larrea-Murrell JA, Rojas-Badía MM, Romeu-Álvarez B, Rojas-Hernández N M, Heydrich-Pérez M. Bacterias indicadoras de contaminación fecal en la evaluación de la calidad de las aguas: revisión de la literatura. Rev CENIC Cien Biol. 2013; 44(3): 24-34.
64. Jang J, Hur HG, Sadowsky MJ, Byappanahalli MN, Yan T, Ishii S. Environmental *Escherichia coli*: ecology and public health implications-a review. J Appl Microbiol. 2017; 123 (3): 570-581. Disponible en: <http://10.1111/jam.13468>
65. Organización Mundial de la Salud. *E.coli* [Internet] 2018 [citado 18 de diciembre de 2022]. Disponible en: <https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/e-coli>
66. Procter TD, Pearl DL, Finley RL, Leonard EK, Janecko N, Reid-Smith RJ, Weese JS, Peregrine AS, Sargeant JM. A cross-sectional study examining *Campylobacter* and other zoonotic enteric pathogens in dogs that frequent dog parks in three cities in south-western Ontario and risk factors for shedding of *Campylobacter* spp. Zoonoses Public Health. 2014; 61(3): 208-218. Disponible en: <http://doi: 10.1111/zph.12062>.
67. Ugarte MR. Detección y caracterización de *Campylobacter* procedente de animales, alimentos y agua residual. [Tesis doctoral]. España: Universidad Complutense de Madrid. 2015. 1-165.
68. Román P, Martínez MM y Pantoja A. Manual de compostaje del agricultor experiencias en América Latina. Santiago de Chile: FAO. 2013: 1-108.

69. Azim, K., Soudi, B., Boukhari, S. *et al.* Composting parameters and compost quality: a literature review. *Org. Agr.* 2017; 8: 141–158. Disponible en: <https://doi.org/10.1007/s13165-017-0180-z>
70. López-Salazar R, González-Cervantes G, Vázquez-Alvarado RE, Olivares-Sáenz E, Vidales-Contreras A, Carranza RR, Ortega-Escobar M. Metodología para obtener ácidos húmicos y fúlvicos y su caracterización mediante espectrofotometría infrarroja. *Rev. Mex. Cienc. Agric. Pub. Esp.* 2014; 8: 1397-1407
71. Vargas AS, Trujillo MEO, Reyes LBS, Mendoza SEE. Uso de un inóculo endógeno para acelerar la degradación de materia orgánica en una granja porcina por medio del proceso de compostaje. *Rev Int Contam Ambie.* 2020; 36(4): 985-996. Disponible en: <https://doi.org/10.20937/RICA.53416>
72. Fundamentos y técnicas de análisis de alimentos. Laboratorio de alimentos I. Facultad de Química, UNAM. 2007-2008.
73. Adams RC, Bennett FM, Dixon JK, Lough RC, MacLean FS, Martin GI. The utilization of organic wastes in New Zealand. Second Interim Report of the interdepartamental Committee. 1951; 6(11): 396-424.
74. SMADF. Norma ambiental para el Distrito Federal, NADF-020-AMBT-2011, Requerimientos mínimos para la producción de composta a partir de la fracción orgánica de los residuos sólidos urbanos, agrícolas, pecuarios y forestales así como las especificaciones mínimas de calidad de la composta producida y/o distribuida en el Distrito Federal [Internet]. Gaceta Oficial del Distrito. 2012 [citado 18 de enero de 2023]. Disponible en: http://data.sedema.cdmx.gob.mx/padla/images/stories/normatividaddf/nadf_020_ambt_2011.pdf
75. Alcalá YC, Cruz IM, Figueroa JC, Ibarra FV, Martínez COM, Pérez AF, Ramírez AG, *et al.* Diagnóstico de parásitos de interés en medicina veterinaria. 1era. ed. Ciudad de México (MX): Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia; 2019.
76. Bianchini MR, Eyherabide GA. Técnicas de mineralización para la determinación de macronutrientes en muestras de raíz de zanahoria (*Daucus carota*). *Rev. Fac. Agron. La Plata.* 1998; 103 (2): 191-195.

77. Alkoaik FN. Integrating aeration and rotation processes to accelerate composting of agricultural residues. *PLoS ONE*. 2019; 14(7): 1-14. Disponible en: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.022034>
78. Yang XC, Han ZZ, Ruan XY, Chai J, Jiang SW., y Zheng, R. Composting swine carcasses with nitrogen transformation microbial strains: Succession of microbial community and nitrogen functional genes. *Science of the total environment*. 2019; 688: 555-566. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0048969719328566>
79. Xie S, Tuan-Huun T, Pu M, Zhang T. Transformation characteristics of organic matter and phosphorus in composting processes of agricultural organic waste: *Research Trends. Materials Science for Energy Technologies*. 2023; (6): 331-342.
80. Michel FCJ, Pecchia JA, Rigot J y Keener HM. Mass and nutrient losses during the composting of dairy Manure Amended with Sawdust or Straw. *Compost Science & Utilization*. 2004; 12:4: 323-334. Disponible en: <https://doi.org/10.1080/1065657X.2004.10702201>
81. Komar S, Miskewitz R, Westendorf M, Williams CA. Effects of bedding type on compost quality of equine stall waste: implications for small horse farms. *Journal of Animal Science*. 2012; 90 (3): 1069-1075. Disponible en: <https://doi.org/10.2527/jas.2010-3805>
82. Martínez HE, Fuentes JPE, Acevedo EH. Carbono orgánico y propiedades del suelo. *R.C Suelo Nutr. Veg*. 2008; 8(1): 68-96.
83. Zheng X, Zou D, Wu Q, Wang H, Li S, Liu F, Xiao Z. Review on fate and bioavailability of heavy metals during anaerobic digestion and composting of animal manure. *Waste Management*. 2022; 150: 74-89. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2022.06.033>
84. Díaz L.F, De Bertoldi M, Bidlingmaier W, Stentiford E. *Compost Science and Technology*, 1era ed: Elsevier.. 2007
85. *Suelos y fertilización. Área: suelos y agua*. 4ta ed: Trillas.. 2020.
86. Hall JA, Vondran JC, Vanchina MA, Jewell DE. When fed foods with similar palatability, healthy adult dogs and cats choose different macronutrient compositions. *J Exp Biol*. 2018; 221: 1-11. Disponible en: [10.1242/jeb.173450](https://doi.org/10.1242/jeb.173450).

87. PROFECO. Las mejores croquetas para perro [Internet]. 2023 [citado 15 de mayo de 2023]. Disponible en: <https://profeco.online/mejores-croquetas-perro-profeco/>)
88. Ji Z, Zhang L, Liu Y, Li X, Li Z. Evaluation of composting parameters, technologies and maturity indexes for aerobic manure composting: A meta-analysis. *Science of the Total Environment*. 2023; 886. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2023.163929>
89. Yang Y, Wang G, Li G, Ma R, Kong Y, Yuan J. Selection of sensitive seeds for evaluation of compost maturity with the seed germination index. *Waste Manag*. 2021; 136: 238-243. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2021.09.037>
90. Harroff LA, Liotta JL, Bowman DD, Angenent LT. Current time-temperature relationships for thermal inactivation of *Ascaris* eggs at mesophilic temperatures are too conservative and may hamper development of simple, but effective sanitation. *Water Research X*. 2019; 5: 1-7. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.wroa.2019.100036>
91. Maya C, Torner-Morales FJ, Lucario ES, Hernández E, Jimenez B. Viability of six species of larval and non-larval helminth eggs for different conditions of temperature, pH and dryness. *Water Research*. 2012; 46 (15): 4770-4782. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1016/j.watres.2012.06.014>
92. Azevedo LH, Leite LG, Chacon-Orozco JG, Moreira MFP, Ferreira MP, Gonzalez-Cano LM, Borges V, Rueda-Ramirez D, de Moraes GJ, Palevsky E. Free living nematodes as alternative prey for soil predatory mites: An interdisciplinary case study of conservation biological control. *Biological Control*. 2019; 132: 128-134. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.biocontrol.2019.02.007>
93. Patel JR, Yossa I, Macarasin D, Millner P. Physical covering for control of *Escherichia coli* O157:H7 and *Salmonella* spp in static and windrow composting processes. *Appl Environ Microbiol*. 2015; 81(6): 2063-2074. Disponible en: <https://doi.org/10.1128/AEM.04002-14>
94. Van Elsas JD, Semenov AV, Costa R, Trevors JT. Mini Review. Survival of *Escherichia coli* in the environment: fundamental and public health aspects. *The ISME Journal*. 2011; 5: 173-183.

95. Singh R, Jiang X, Luo F. Thermal Inactivation of Heat-Shocked *Escherichia coli* O157:H7, *Salmonella*, and *Listeria monocytogenes* in Dairy Compost. *Journal of Food Protection* 2010; 73 (9): 1633-1640. Disponible en: <https://doi.org/10.4315/0362-028X-73.9.1633>.
96. Nacimba NGA, Sari SDC y Andueza FDL. Tratamiento de desechos orgánicos empleando microorganismos celulíticos. FIGEMPA, Investigación y Desarrollo. 2018; 1: 30-40. DOI:10.29166/revfig.v1i1.819
97. Hu L, Wang Z, He J, Lv S, Zhou B, Hrynsphan D, Savitskaya T, Chen J. Co-culturing fungus *Penicillium citrinum* and strain *Citrobacter freundii* improved nitrate removal and carbon utilization by promoting glyceride metabolism. *Bioresour Technol.* 2022; 360: 1-9. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2022.127563>

ANEXO.

1.1 Inóculo endógeno.

Se tomaron 3 submuestras de una pila de compost de 3 semanas, hecha con fuentes vegetales y biosólidos crudos provenientes de una granja de cerdos de ciclo completo. Se homogenizaron las submuestras para formar una muestra compuesta de 90 g. Se tomó una muestra de 1 g de compost y se suspendió en 10 ml de una solución de NaCl al 0.85%, que se homogenizó, filtró y se centrifugó a 1000 x g por 10 min. Del extracto obtenido, se empleó 100 ml que se adicionó en un matraz Erlenmeyer, conteniendo 100 ml de solución mineral y 50 ml de extracto de carne / aserrín. Esta suspensión conformó el medio de cultivo. Las condiciones de incubación fueron: 175 rpm y 55°C por 5 días. Después, se tomó 1 ml y se transfirió en 250 ml de nuevo medio estéril que fue puesto en las mismas condiciones de incubación. Este procedimiento se llevó a cabo en 3 ocasiones. El producto obtenido fue considerado como el inóculo, la concentración estuvo entre $1.5 - 2.5 \times 10^6$ UFC/ml, constituido principalmente por *Bacillus* spp y *Pseudomonas* spp (principalmente aislados en pilas de compost)³⁵

1.2 Pruebas bacteriológicas.

Para llevar a cabo los aislamientos e identificación bacteriológicos de las muestras de compost, se preparó para su sembrado un agar Infusión Cerebro Corazón (BD Difcon TM 500g, Francia), que se utiliza de manera universal para el aislamiento de bacterias y hongos. El cual, se agregaron 52 g del medio en 1L de agua purificada. Posteriormente se calentó y se agito constantemente hasta hervir por 1 minuto, para poder disolver el medio. Después, se proceso en autoclave a 121°C por 15 min. Antes de añadirlos a las cajas de Petri, se agito de manera suave para homogeneizar el precipitado. También, se realizaron pruebas de: tinción de Gram, catalasa, oxidasa, motilidad, oxido-fermentativa, para el apoyo en la clasificación de las colonias aisladas.

Posteriormente, se utilizaron medios selectivos para los aislamientos. El primero fue el agar MacConkey (BD BIOXON, Becton Dickinson de México), que es un medio específico para bacilos Gram negativos y enterobacterias. Este se preparó agregando 60 g del producto en 1 L de agua destilada, se dejó en esta solución por 10 a 16 min, posteriormente se llevó a calentar hasta el punto de ebullición con agitados constantes por 1 min. Pasado este tiempo, se esterilizó en autoclave a 121°C por 16 min. Transcurrido el tiempo se mantuvo a una temperatura entre 45-50°C y vaciando en cada caja de Petri, para su posterior uso.

El segundo medio fue Salmonella-Shigella (BIOXON®, Becton Dickinson de México), que es un medio selectivo recomendado para el aislamiento de enterobacterias. Se disolvió 60 g del medio en 1 L de agua destilada, dejando hidratar por 15 min, posteriormente se calentó y agito hasta el punto de hervir durante 1 min. Este medio a diferencia de los anteriores no se esterilizó en autoclave.

Y el tercer medio que se utilizó fue el agar E-M-B, eosina y azul de metileno-lactosa-sacarosa (Agar EMB, Diagnostica MERK® 1347, Microbiología, México), que es un medio selectivo de bacilos Gram negativos y permite el crecimiento de todas las especies de la familia *Enterobacteriaceae*. Se agregó

a 1 L de agua destilada 36 g del producto, para hidratar durante 15 min, después de esto se calentó la mezcla agitando de manera suave y frecuente hasta hervir y disolver por completo el medio. Por último, se esterilizó en autoclave a 121°C por 15 min, y posteriormente, se mantuvo hasta enfriar, para agregarlos a las cajas de Petri.

El medio Florocult® *E. coli* 0157:H7, apoyó a la identificación de *E. coli* enteropatógena, que al obtener colonias de esta bacteria y ante la presencia de una lámpara de luz UV, se puede observar fluorescencia del medio. La preparación consistió en agregar 55 g del medio en 1 L de agua desionizada, se calentó y agito hasta hervir por 15 min. Posteriormente se esterilizó en autoclave a 121°C por 15 min, el cual se pudo utilizar después de enfriarse y vaciarlo a las cajas de Petri.

Finalmente, de los aislamientos logrados, se prepararon suspensiones microbianas para su posterior análisis en el equipo de identificación microbiana VITEK® 2 COMPACT. Donde, se utilizaron 6 tubos de plástico para agregar 3 ml de cloruro de sodio al 0.45% (con un pH de 5.0) a cada uno (3 tubos para cada colonia aislada). Al primer tubo, se introdujo un hisopo de algodón estéril con la muestra de la colonia aislada, impregnando por las paredes del tubo la muestra y se desecho el hispo. Con la ayuda de un vortex se mezcló esta solución por uno segundos. Después, con una micropipeta se tomó 142 microlitros de esta solución, depositándolo al tubo 2 que, posteriormente se mezcló. Este tubo, fue colocado en un densitómetro, que midió la densidad óptica, para obtener una solución entre 0.50 a 0.63 McFarland. Repitiendo el mismo proceso para el tubo 3. A cada tubo, se asignó una tarjeta específica para la identificación bacteriana y al otro para la sensibilidad antimicrobiana. Una vez terminado este paso, se procedió a introducir toda la información de la muestra y de la densidad final de cada uno de los tubos al programa, para que empezara su procesamiento. Este equipo permite procesar varias muestras a la vez, por lo tanto, se realizó el mismo procedimiento para ambas colonias aisladas. El tiempo requerido para obtener los resultados fue de 24 horas, además puede identificar hasta 150 bacilos Gram negativos, fermentadores y

no fermentadores, entre ellas *E. coli* genérica y *E. coli* 0157:H7, *Salmonella* spp, *Citrobacter freundii*, entre otras.

1.3. Gráficos de tendencia de temperatura del proceso de compostaje de heces caninas.

Gráfico 8. Temperatura promedio de la REP1 durante el pc heces caninas y aserrín

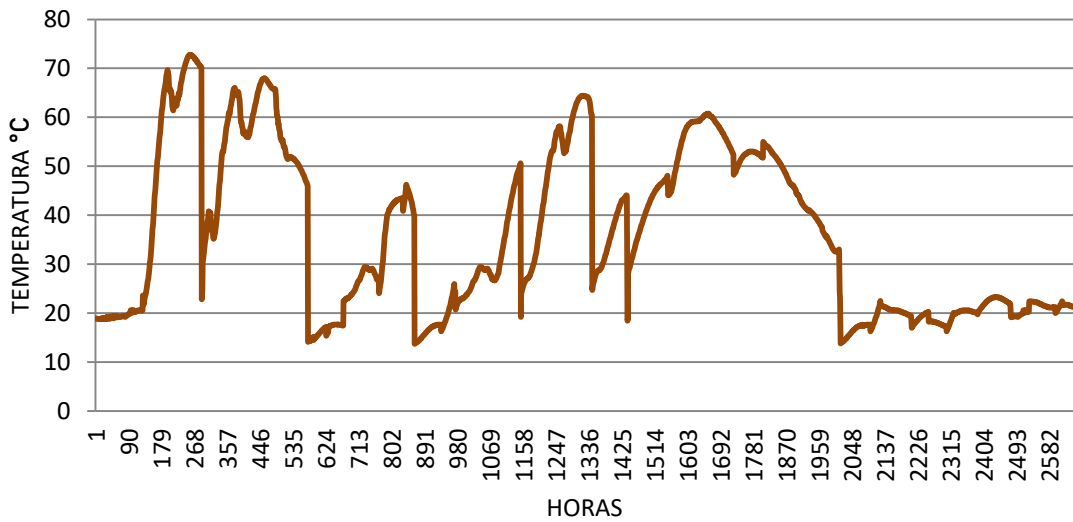


Gráfico 9. Temperatura promedio de la REP2 durante el pc de heces caninas y aserrín

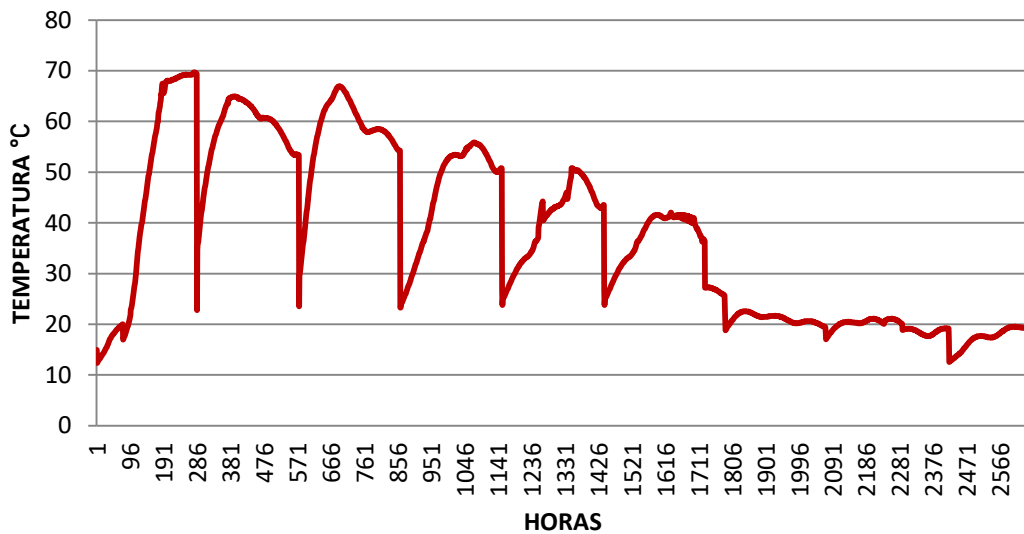


Gráfico 10. Temperatura promedio de la REP3 durante el pc de heces caninas y aserrín

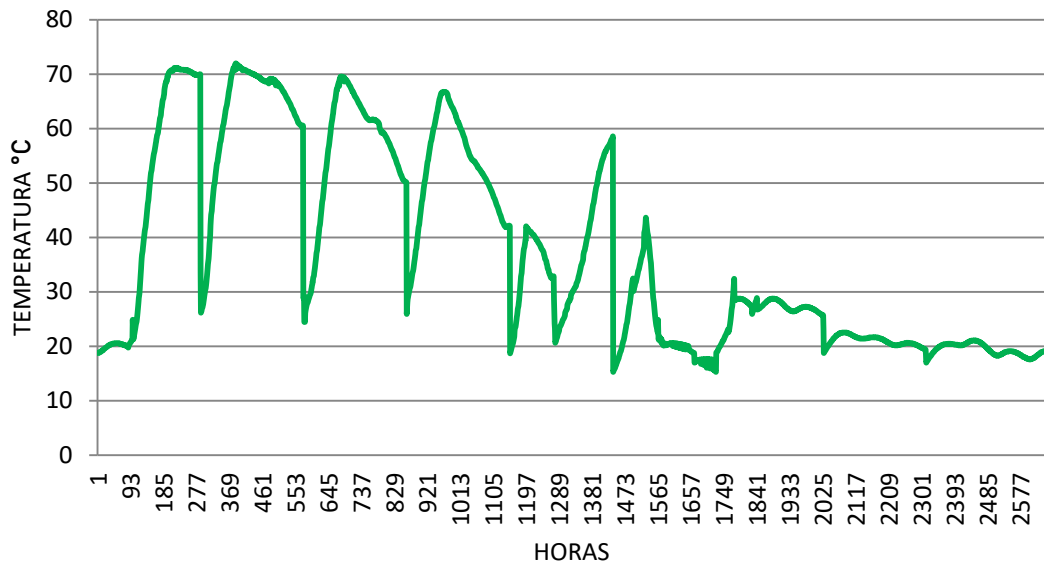
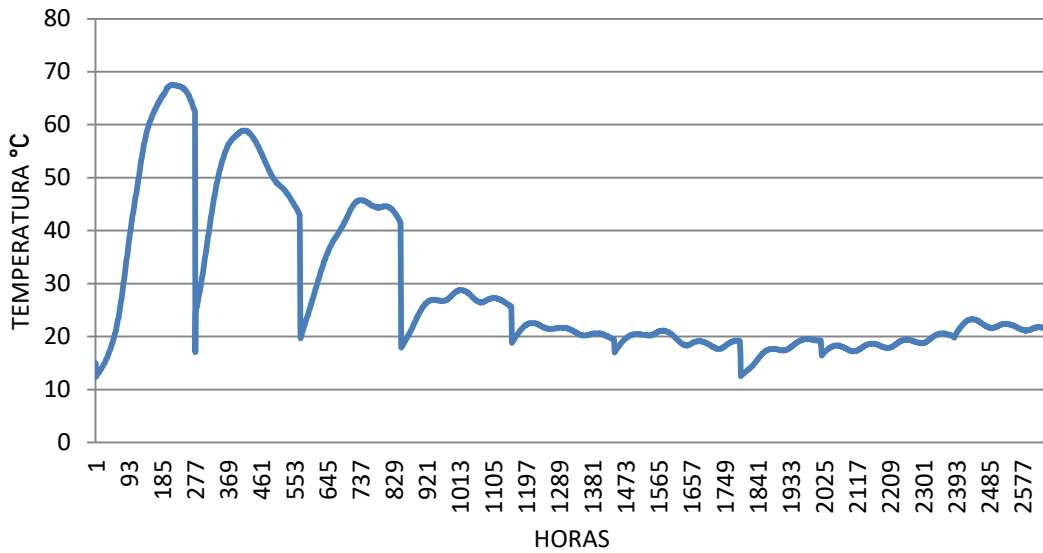
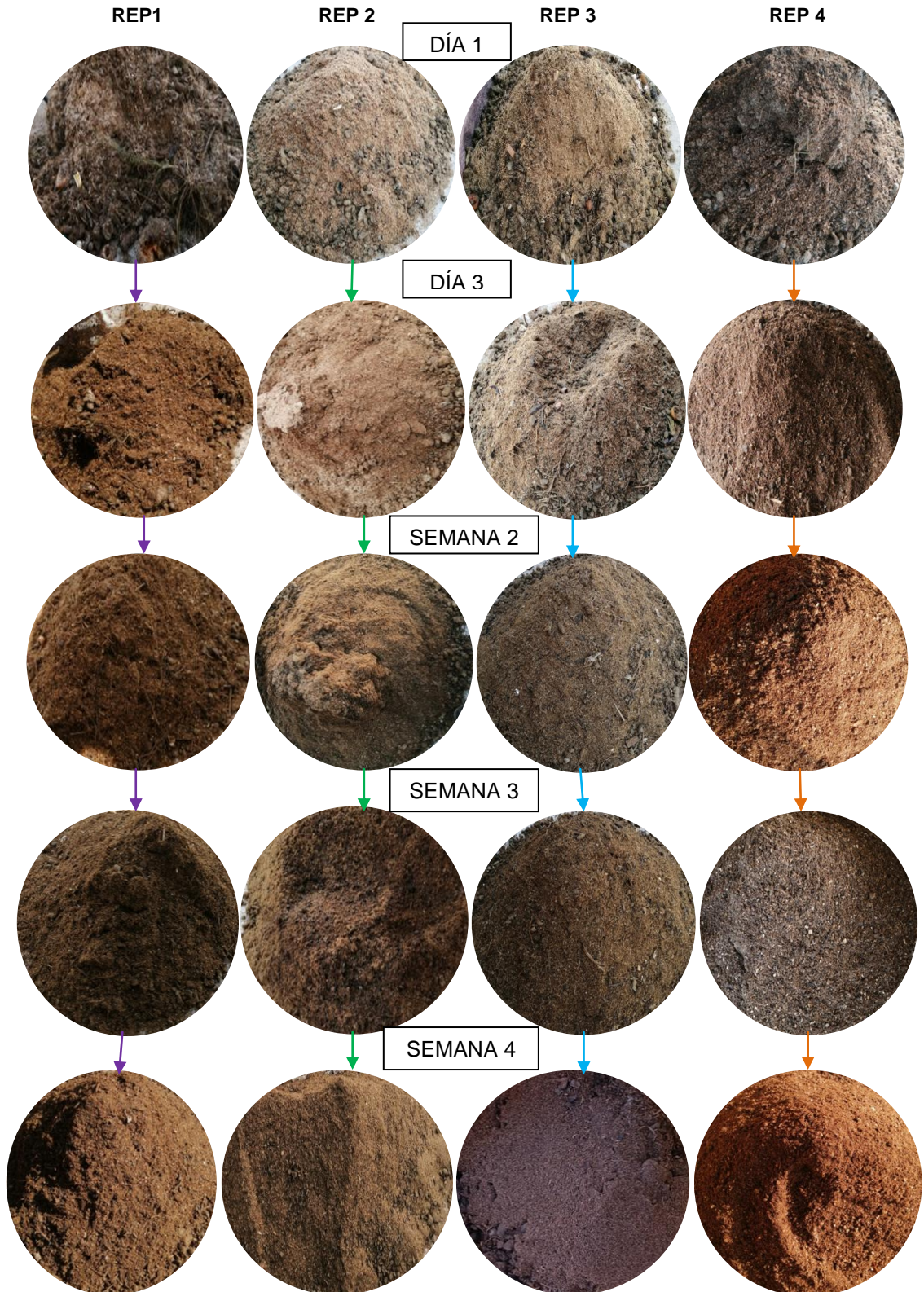


Gráfico 11. Temperatura promedio de la REP4 durante el pc de heces caninas y aserrín



1.4. Evaluacion organoleptica

Se puede observar el cambio de las características físicas de las 4 repeticiones, la disminución del tamaño de partícula fue evidente, desde el día 1 hasta la semana 4, donde se obtuvo un compost de características similares a tierra húmeda.



1.5 Elaboración de las pilas de compost de heces caninas y aserrín



1.6 Elaboración de las pilas de compost de heces caninas y aserrín

