



UNIVERSIDAD JUÁREZ AUTÓNOMA DE TABASCO
División Académica de Ciencias Biológicas
“Estudio en la duda. Acción en la fe”



**“VERMICOMPOSTA SUSTENTABLE BAJO CONDICIONES DEL
TRÓPICO HÚMEDO: UNA EVALUACIÓN DE EMISIONES
DE GASES DE EFECTO INVERNADERO Y
ANÁLISIS ECONÓMICO”**

Trabajo recepcional, en la modalidad de:

Tesis de Maestría

Para obtener el grado de:

Maestría en Ciencias Ambientales

Presenta:

Mayra Cristell Pérez Ramírez

Directores:

Dr. José Ramón Laines Canepa
Dra. Icela Dagmar Barcelo Quintal

Villahermosa, Tabasco, México

Febrero, 2023



**UNIVERSIDAD JUÁREZ
AUTÓNOMA DE TABASCO**

"ESTUDIO EN LA DUDA. ACCIÓN EN LA FE"



**DIVISIÓN ACADÉMICA DE CIENCIAS BIOLÓGICAS
DIRECCIÓN**

Villahermosa, Tab., a 05 de Diciembre de 2022

ASUNTO: Autorización de Modalidad de Titulación

**C. LIC. MARIBEL VALENCIA THOMPSON
JEFE DEL DEPTO. DE CERTIFICACIÓN Y TITULACION
DIRECCIÓN DE SERVICIOS ESCOLARES
P R E S E N T E**

Por este conducto y de acuerdo a la solicitud correspondiente por parte del interesado, informo a usted, que en base al reglamento de titulación vigente en esta Universidad, ésta Dirección a mi cargo, autoriza a la **C. MAYRA CRISTELL PÉREZ RAMÍREZ** egresada de la Maestría en **CIENCIAS AMBIENTALES** de la División Académica de **CIENCIAS BIOLÓGICAS** la opción de titularse bajo la modalidad de Tesis de Maestría denominado: **"VERMICOMPOSTA SUSTENTABLE BAJO CONDICIONES DEL TRÓPICO HÚMEDO: UNA EVALUACIÓN DE EMISIONES DE GASES DE EFECTO INVERNADERO Y ANÁLISIS ECONÓMICO"**.

Sin otro particular, aprovecho la ocasión para saludarle afectuosamente.

A T E N T A M E N T E


**DR. ARTURO GARRIDO MORA
DIRECTOR DE LA DIVISIÓN ACADÉMICA
DE CIENCIAS BIOLÓGICAS**

**U.J.A.T.
DIVISIÓN ACADÉMICA
DE CIENCIAS BIOLÓGICAS**



DIRECCIÓN

C.c.p. - Expediente Alumno de la División Académica
C.c.p.- Interesado



**UNIVERSIDAD JUÁREZ
AUTÓNOMA DE TABASCO**

“ESTUDIO EN LA DUDA. ACCIÓN EN LA FE”



DIVISIÓN ACADÉMICA DE CIENCIAS BIOLÓGICAS

DICIEMBRE 05 DE 2022

**C. MAYRA CRISTELL PÉREZ RAMÍREZ
PAS. DE LA MAESTRÍA EN CIENCIAS AMBIENTALES
P R E S E N T E**

En virtud de haber cumplido con lo establecido en los Arts. 80 al 85 del Cap. III del Reglamento de titulación de esta Universidad, tengo a bien comunicarle que se le autoriza la impresión de su Trabajo Recepcional, en la Modalidad de Tesis de Maestría en Ciencias Ambientales titulado: **“VERMICOMPOSTA SUSTENTABLE BAJO CONDICIONES DEL TRÓPICO HÚMEDO: UNA EVALUACIÓN DE EMISIONES DE GASES DE EFECTO INVERNADERO Y ANÁLISIS ECONÓMICO”**, asesorado por el Dr. José Ramón Laines Canepa y Icela Dagmar Barceló Quintal, sobre el cual sustentará su Examen de Grado, cuyo jurado está integrado por la Dra. Carlina Zequeira Larios, M. en C. Verónica Hernández Suárez, Dr. José Ramón Laines Canepa, MCA. José Aurelio Sosa Olivier y Dr. Rudy Solís Silvan.

Por lo cual puede proceder a concluir con los trámites finales para fijar la fecha de examen.

Sin otro particular, me es grato enviarle un cordial saludo.

**A T E N T A M E N T E
ESTUDIO EN LA DUDA. ACCIÓN EN LA FE**

**DR. ARTURO GARRIDO MORA
DIRECTOR**

**U.J.A.T.
DIVISIÓN ACADÉMICA
DE CIENCIAS BIOLÓGICAS**



DIRECCIÓN

C.c.p.- Expediente del Alumno.
C.c.p.- Archivo



CARTA AUTORIZACIÓN

El que suscribe, autoriza por medio del presente escrito a la Universidad Juárez Autónoma de Tabasco para que utilice tanto física como digitalmente el Trabajo Recepcional en la modalidad de Tesis de Maestría denominado: **“VERMICOMPOSTA SUSTENTABLE BAJO CONDICIONES DEL TRÓPICO HÚMEDO: UNA EVALUACIÓN DE EMISIONES DE GASES DE EFECTO INVERNADERO Y ANÁLISIS ECONÓMICO”**, de la cual soy autor y titular de los Derechos de Autor.

La finalidad del uso por parte de la Universidad Juárez Autónoma de Tabasco el Trabajo Recepcional antes mencionada, será única y exclusivamente para difusión, educación y sin fines de lucro; autorización que se hace de manera enunciativa más no limitativa para subirla a la Red Abierta de Bibliotecas Digitales (RABID) y a cualquier otra red académica con las que la Universidad tenga relación institucional.

Por lo antes manifestado, libero a la Universidad Juárez Autónoma de Tabasco de cualquier reclamación legal que pudiera ejercer respecto al uso y manipulación de la tesis mencionada y para los fines estipulados en éste documento.

Se firma la presente autorización en la ciudad de Villahermosa, Tabasco el día 05 de noviembre del dos mil veintidós.

AUTORIZO



MAYRA CRISTELL PÉREZ RAMÍREZ



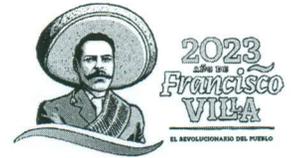
UNIVERSIDAD JUÁREZ
AUTÓNOMA DE TABASCO

"ESTUDIO EN LA DUDA. ACCIÓN EN LA FE"



División Académica
de Ciencias Biológicas.

Dirección.



Villahermosa, Tabasco a 15 de febrero de 2023

C. MAYRA CRISTELL PÉREZ RAMÍREZ
EST. DE LA MAESTRÍA EN CIENCIAS AMBIENTALES
PRESENTE

En cumplimiento de los lineamientos de la Universidad, y por instrucciones de la Dirección de Posgrado, se implementó la revisión de los documentos recepcionales (tesis), a través de la plataforma Turnitin iThenticate para evitar el plagio e incrementar la calidad en los procesos académicos y de investigación en esta División Académica. Esta revisión se realizó en correspondencia con el Código de Ética de la Universidad, el Reglamento General de Estudios de Posgrado, el Código Institucional de Ética para la Investigación y con los requerimientos para los posgrados en el SNP-CONACYT.

Por este conducto, hago de su conocimiento las observaciones y el reporte de originalidad de su documento de tesis. Con el objetivo de fortalecer y enriquecer el programa de posgrado, el responsable del programa realizó la revisión del documento en la plataforma iThenticate, obteniendo el reporte de originalidad, el índice de similitud y emitió las siguientes sugerencias y recomendaciones para dar seguimiento en el documento de tesis del proyecto de investigación: **"Vermicomposta sustentable bajo condiciones del trópico húmedo: una evaluación de emisiones de gases de efecto invernadero y análisis económico"**.

OBSERVACIONES:

1. **El índice de similitud obtenido fue de 08%**, el cual se ubica dentro del estándar de tolerancia de acuerdo a las Políticas y Lineamientos para el uso y manejo del Software Antiplagio de la UJAT. Se demuestra el nivel de originalidad del documento y la investigación.

KM. 0.5 CARR. VILLAHERMOSA-CÁRDENAS ENTRONQUE A BOSQUES DE SALOYA

Tel. (993) 358-1500 Ext. 6400 y 6401, e-mail: dirección.dacbiol@ujat.mx



Usar papel reciclado economiza energía, evita contaminación y despilfarro de agua ayuda a conservar los bosques



UNIVERSIDAD JUÁREZ
AUTÓNOMA DE TABASCO

"ESTUDIO EN LA DUDA. ACCIÓN EN LA FE"



División Académica
de Ciencias Biológicas.

Dirección.



2. Aun que el índice de similitud obtenido indica coincidencias, éstas se refieren a frases cortas en las secciones de antecedentes y métodos. Lo anterior no demerita el trabajo recepcional, por el contrario, se confirma su originalidad. Sin embargo, **se recomienda revisar las oraciones identificadas con similitud con las fuentes 4) y 6) taranga.uis.edu.co y hdl.handle.net (documentos de tesis de otras universidades), así como con la fuente 7) de www.scielo.org.mx que hace referencia a un artículo científico de la revista Terra Latinoamericana (vol.30 no.4). La sustentante debe ajustar los párrafos coincidentes a una redacción propia, y aplicar una mayor síntesis de la información, previo a la impresión final de su documento.**
3. **Se adjunta el informe de originalidad de la tesis** obtenido a través de la herramienta Turnitin iThenticate.
4. Finalmente, se le solicita a la C. Mayra Cristell Pérez Ramírez, integrar en la versión final de tesis, este oficio y el informe de originalidad con el porcentaje de similitud de Turnitin iThenticate.

Sin otro particular al cual referirme, aprovecho la oportunidad para enviarle un cordial saludo.

ATENTAMENTE
"ESTUDIO EN LA DUDA. ACCIÓN EN LA FE"

DR. ARTURO GARRIDO MORA
DIRECTOR DACBIOL

U.J.A.T.
DIVISIÓN ACADÉMICA
DE CIENCIAS BIOLÓGICAS



DIRECCIÓN

C.C.P.

Dr. José Ramón Laines Canepa. Director de Tesis.
Archivo

KM. 0.5 CARR. VILLAHERMOSA-CÁRDENAS ENTRONQUE A BOSQUES DE SALOYA
Tel. (993) 358-1500 Ext. 6400 y 6401, e-mail: direccion.dacbiol@ujat.mx

Usar papel reciclado economiza energía, evita contaminación y desperdicio de agua ayuda a conservar los bosques

Vermicomposta sustentable bajo condiciones del trópico húmedo: Una evaluación de emisiones de gases de efecto invernadero y análisis económico

INFORME DE ORIGINALIDAD

8%

ÍNDICE DE SIMILITUD

FUENTES PRIMARIAS

1	biblioteca.semarnat.gob.mx Internet	234 palabras — 1%
2	www.coursehero.com Internet	201 palabras — 1%
3	biblioteca.unirioja.es Internet	198 palabras — 1%
4	noesis.uis.edu.co Internet	121 palabras — 1%
5	(12-17-13) http://200.77.231.100/work/normas/nmx/2007/nmx-ff-109-scfi-2008.pdf Internet	92 palabras — < 1%
6	hdl.handle.net Internet	85 palabras — < 1%
7	www.scielo.org.mx Internet	78 palabras — < 1%
8	repositorio.espe.edu.ec Internet	64 palabras — < 1%

DEDICATORIA

A Dios...

A mis padres

Mario Humberto Pérez Bolaina †

María Lourdes Ramírez Benito

A mi esposo

Israel Avila-Lázaro

A mi hijo

Mario Avila Pérez

A mis hermanos

Carlos Alberto Pérez Ramírez

Mario Humberto Pérez Ramírez

Con todo mi amor

AGRADECIMIENTO

Agradezco a Dios por el don de la vida, por todas las pruebas y experiencias que me permitió vivir en todo este proceso de posgrado y poder llegar a estas instancias de mi existencia.

Al Dr. José Manuel Piña Gutiérrez por las facilidades otorgadas en el trabajo de investigación.

A mi director de tesis de la UJAT, Dr. José Ramón Laines Canepa por los apoyos otorgados, revisiones y facilidades para pulir de la mejor manera este trabajo, gracias por compartir todos sus conocimientos, pero sobre todo por su valiosa amistad.

A la Dra. Carolina Zequeira Larios por sus comentarios, correcciones y aportaciones que me ayudaron a mejorar este trabajo y por la calidad de ser humano que es.

Al sínodo conformado por la Dra. Carolina Zequeira Larios, Dr. José Ramón Laines Canepa, M.C.R.N Verónica Hernández Suarez, M.C.A Aurelio Sosa Olivier y Dr. Rudy Solís Silván por su paciencia en la revisiones y correcciones de este trabajo de investigación.

A la Dra. Icela Dagmar Barceló Quintal de la Universidad Autónoma Metropolitana Azcapotzalco por aceptarme en la estancia de investigación y darme todas las facilidades en el Laboratorio de Química y Fisicoquímica Ambiental.

Al centro de Acopio y Tratamiento de Residuos (CATRE), a la División Académica de Ciencias Biológicas (DACBiol), por todos los amigos que me dejo estar en este maravillo equipo de trabajo en especial, a Misael, Shayla y Carlos aguilera, por brindarme su apoyo incondicional en todo momento. A los profesores Israel, Víctor y José Aurelio por compartir sus conocimientos en las prácticas de laboratorio.

Al CONACYT, por el apoyo económico otorgado durante el desarrollo de mis estudios de posgrado

A todas la personas que creyeron en mi para poder realizar y culminar este posgrado y que de una manera forman parte de esto y a los que no confiaron y no me impulsaron les agradezco porque me han ayudado a superar mis retos

Finalmente reitero mis agradecimientos a toda mi familia que son uno de los pilares más importantes en mi vida, en especial a mi esposo Israel Avila lázaro que siempre me ha apoyado en todas mis decisiones y todos los días me impulsa hacer mejor persona.

Gracias...

Universidad Juárez Autónoma de Tabasco.
México.

CONTENIDO

I. INTRODUCCIÓN	1
II. JUSTIFICACIÓN	3
III. ANTECEDENTES	4
IV. OBJETIVO GENERAL	6
IV.1 Objetivos específicos	6
V. MATERIALES Y MÉTODO	7
V.1 Área de estudio	7
V.2 Colecta de la excreta de borrego para pre-composteo	7
V.3 Acondicionamiento del área para el pre- composteo	9
V.4 Proceso de pre-composteo	9
V.5 Parámetros de control del proceso de pre-composteo en campo	11
V.6 Parámetros de control del proceso de pre-composteo en el laboratorio	13
V.7 Estabilización de la relación C/N de la pre- composta de borrego	22
V.8 Aplicación del sistema de Vermicompostaje	24
V.9 Calculo estequiométrico de las emisiones de CO ₂ de la excreta de borrego.....	30
V.10 Viabilidad financiera de la producción de vermicomposta	32
VI. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	38
VI.1 Generación de excreta de borrego	38
VI.2 Caracterización inicial de la excreta de borrego.....	39
VI.3 Parámetros de control del proceso de pre-composteo de la excreta de borrego en campo	41
VI.4 Parámetros de control del proceso de pre-composteo de la excreta de borrego en laboratorio	42
VI.5 Caracterización inicial de la paja	52
VI.6 Parámetros de control del proceso de pre-composteo de la mezcla de excreta de borrego- paja en laboratorio	53
VI.7 Caracterización inicial de la mezcla de excreta de borrego-paja-vegetal	62
VI.8 Calidad y tipo de la composta de acuerdo a la NMX-AA-180-SCFI-2018 (Secretaría de Comercio y Fomento Industrial, 2018).....	63
VI.9 Parámetros de control del proceso de vermicompostaje en campo	70

VI.10	Parámetros de control del proceso de pre-composteo en laboratorio	71
VI.11	Análisis estadístico.....	77
VI.12.	Emisiones de CO ₂ de la excreta de borrego	87
VI.13	Fase I. Anteproyecto	90
VI.14.	Fase II. Evaluación económica del proyecto	94
VII.	CONCLUSIONES.....	98
VIII.	REFERENCIAS.....	100
IX.	ANEXOS	108
IX.1	ANEXO FOTOGRAFICO.....	109
IX.2	ANEXO DE PRODUCTIVIDAD ACADEMICA.....	114

México.

CONTENIDO DE FIGURAS

Figura 1. Imagen satelital del rancho el rodeo.....	7
Figura 2. Corral de borrego	8
Figura 3. Recolecta de excreta.....	8
Figura 4. Pesado de muestra.....	8
Figura 5. Metodo de cuarteo.....	8
Figura 6. Cuneros para pre - composteo	9
Figura 7. Pesaje de la excreta de borrego.....	10
Figura 8. Homogenización en el cunero.....	10
Figura 9. Prueba de capacidad de campo	10
Figura 10. Composta apilada	10
Figura 11. Temperatura ambiente.....	11
Figura 12. Temperatura en la pila de composta.....	11
Figura 13. Técnica del puño	12
Figura 14. Riego por aspersión en la pileta.....	12
Figura 15. Método de Aireación manual.....	12
Figura 16. Horno modelo FE-2093D	13
Figura 17. Secado de la excreta de borrego.....	13
Figura 18. Molienda de muestra	14
Figura 19. Muestras etiquetadas	14
Figura 20. Determinación de pH.....	14
Figura 21. Determinación de conductividad eléctrica.....	15
Figura 22. <i>Pesado de muestra</i>	16
Figura 23. <i>Determinación Cenizas</i>	16
Figura 24. <i>Muestras calcinadas</i>	16
Figura 25. Digestión de muestras	17
Figura 26. Adición de NaOH.....	18
Figura 27. Destilación en un matraz Erlenmeyer	18
Figura 28. Titulación con H ₂ SO ₄ al 0.05 N	18
Figura 29. Solución titulada	18
Figura 30. Evaporización	20
Figura 31. Muestras preparadas.....	20
Figura 32. Lectura de muestras espectrofotómetro.....	20
Figura 33. Muestras en las centrifuga	22
Figura 34. Aplicación del carbón activado.....	22
Figura 35. Lectura de las muestras HANNA®.....	22
Figura 36 Pre – composteo de excreta de borrego.....	23
Figura 37 Pre – composteo de excreta de borrego y paja.....	23
Figura 38 Pre – composteo de excreta de borrego, paja y vegetales	23
Figura 39 Cuneros para vermicompost aje.....	24
Figura 40 Cuneros acondicionados y con malla plástica	24
Figura 41 Selección de lombrices juveniles	26
Figura 42 Pesaje de las lombrices.....	26
Figura 43 Pesaje del sustrato para vermicompostaje	26
Figura 44 Sustrato.....	27
Figura 45 Siembra del inculo.....	27

Figura 46 Vermicama.....	27
Figura 47 Agitador orbital.....	28
Figura 48 Precipitación de AH.....	28
Figura 49 Extracción de AH y AF.....	28
Figura 50 Muestras con $K_2Cr_2O_7$ y H_2SO_4	29
Figura 51 Muestras diluidas.....	29
Figura 52 Lectura de muestras en el fotómetro.....	29
Figura 53 Diagrama de flujo de toma de decisión.....	37
Figura 54 Comportamiento de temperatura en el pre- composteo.....	41
Figura 55 Humedad del proceso de pre- composteo a los 90 días.....	42
Figura 56 <i>Comportamiento del pH del pre-composteo</i>	43
Figura 57 Comportamiento de la CE a los 90 días.....	44
Figura 58 Comportamiento de Ceniza del pre- composteo.....	45
Figura 59 Comportamiento de MO y CO a los 90 días.....	46
Figura 60. Comportamiento de N en el proceso de pre- compostaje.....	47
Figura 61 Grafico del comportamiento de la Relación C/N a los 90 días del proceso.....	49
Figura 62 Comportamiento del P en el pre-composteo.....	50
Figura 63 Grafica del comportamiento del K en el pre-composteo.....	51
Figura 64 Humedad del proceso de pre- composteo a los 45 días.....	53
Figura 65 Comportamiento del pH del pre-composteo.....	54
Figura 66 Comportamiento de la CE a los 45 días.....	55
Figura 67 Comportamiento de Ceniza del pre- composteo.....	56
Figura 68 Comportamiento de MO y CO a los 45 días.....	57
Figura 69 Comportamiento de N en el proceso de pre- compostaje.....	58
Figura 70 Comportamiento de la Relación C/N a los 45 días del proceso.....	59
Figura 71 Comportamiento del P en el pre-composteo.....	60
Figura 72 Comportamiento del K en el pre-composteo.....	61
Figura 73 Comportamiento de la temperatura en el proceso de vermicomposta.....	70
Figura 74 Comportamiento de Ceniza en el proceso de cada tratamiento.....	71
Figura 75 Comportamiento del CO en el proceso de vermicompostaje.....	72
Figura 76 Comportamiento de P en el proceso de vermicompostaje.....	73
Figura 77 Comportamiento del K en el proceso de vermicompostaje.....	74
Figura 78 Comportamiento de la concentración de CO en AH en el proceso de vermicompostaje.....	75
Figura 79 Comportamiento de la concentración de CO en AF en el proceso de vermicompostaje.....	76
Figura 80 Análisis estadístico del NT en los tratamientos.....	77
Figura 81 Análisis estadístico de MO en los tratamientos.....	79
Figura 82 Análisis estadístico de la relación C/N en los tratamientos.....	80
Figura 83 Análisis estadístico de la humedad en los tratamientos.....	81
Figura 84 Análisis estadístico del pH en los tratamientos.....	83
Figura 85 Análisis estadístico de la CE en los tratamientos.....	85
Figura 86 Toma de decisión con base en resultados.....	97
Figura 87 Sembrado de lombrices en las unidades experimentales.....	110
Figura 88 muestreo y preparación de muestras.....	111
Figura 89 monitoreo de lombrices.....	112

Figura 90 Presentación en 4to congreso nacional AMICA	113
--	-----

CONTENIDO DE TABLAS

Tabla 1 Descripción de tratamientos y unidades experimentales por número de cuneros	25
Tabla 2 Generación de excreta de borrego por corral	38
Tabla 3 Características iniciales de la mezcla de excreta de borrego	39
Tabla 4 Características iniciales de la paja	52
Tabla 5 Características iniciales de la mezcla	62
Tabla 6 Especificaciones para la composta terminada con base en la NMX AA 180 SCFI 2018	63
Tabla 7 Valores finales de las pre-compostas.....	64
Tabla 8 Especificaciones por tipo de composta terminada.....	65
Tabla 9 Valoración de la pre-composta de excreta de borrego.....	66
Tabla 10 Valoración de la pre-composta de excreta de borrego – paja	67
Tabla 11 Valoración de la pre-composta de excreta de borrego – paja	68
Tabla 12 Valoración de la pre-composta de excreta de borrego - paja - vegetal.....	69
Tabla 13 Formulas químicas del proceso inicial y final del vermicompostaje.....	87
Tabla 14 Estimación de Emisiones de CO ₂ del proceso de vermicompostaje	88
Tabla 15 Naturaleza del proyecto	90
Tabla 16 Horizonte del proyecto.....	91
Tabla 17 Financiamiento del proyecto	91
Tabla 18 Determinación de ingresos.....	92
Tabla 19 Proyección de flujos de efectivo.....	93
Tabla 20 Resultados VPN.....	94
Tabla 21 Resultados TIR	95
Tabla 22 Resultados IR	95
Tabla 23 Resultados C/B	96

CONTENIDO DE ECUACIONES

[1] Porcentaje de humedad	13
[2] Porcentaje de ceniza	15
[3] Porcentaje de Materia Orgánica	16
[4] Porcentaje Carbono Orgánico	16
[5] Porcentaje Nitrógeno Total	19
[6] Relación Carbono/Nitrogeno	19
[7] Porcentaje de Fósforo	21
[8] Porcentaje de Potasio	22
[9] Formula química Masa de CO ₂ de Tchobanoglous et al. 1998.....	31
[10] Masa de CO ₂	31
[11] Volumen de CO ₂	31
[12] Emisión de CO ₂	31
[13] Valor Presente Neto	34
[14] Tasa del Índice de Rendimiento	35
[15] Índice de Rendimiento	35

I. INTRODUCCIÓN

Las excretas de los animales manejados inadecuadamente generan impactos negativos ambientales y económicos a nivel mundial. La Organización de las Naciones Unidas para la alimentación y la agricultura (FAO, por sus siglas en inglés) reporta que la descomposición de estos residuos sin ningún tratamiento emite gases de efecto invernadero (GEI) y son un problema para la salud humana. Según datos de Steinfeld et al., (2009) se estima que el 18 % de las emisiones de GEI provienen del ganado. La aplicación de la excreta en las tierras de cultivos ha sido una alternativa para la reducción de fertilizantes químicos por sus altos costos. Antes de su aplicación, las excretas deben ser tratadas para estabilizar la fracción orgánica (Gerber et al., 2013). Basque Centre for Climate Change (Pardo, Moral, Aguilera, & del Prado, 2015) reporta que el proceso de compostaje y vermicompostaje generan GEI, sin embargo, estos son menores si los comparamos con los mismos residuos sin tratar. Agroproyectos S.C., (2013) reporta que en México las áreas rurales suburbanas y urbanas el vermicompostaje es una buena alternativa de proyecto productivo, al convertir los residuos orgánicos en utilidades económicas. Para la agricultura general el humus de lombriz puede ser comercializado este por su origen natural y su inocuidad lo hace factible para ser elaborado, además de su riqueza nutricional que aporta a los cultivos y plantas (Astudillo, 2012).

A nivel mundial se han desarrollado diversos estudios de investigación sobre la sustentabilidad del vermicompostaje. Sharma & Garg, (2018) realizaron un estudio de vermicompostaje con diferentes mezclas (paja de arroz, estiércol de vaca y desechos de papel) empleando *Eisenia Foetida*, lo cual obtuvieron mayor contenido de nutrientes y metales pesados en el vermicompost que en el pre- composteo y una estabilización de la relación C/N al final del proceso. En china Yang, Li, Zang, & Zhang, (2017) investigaron las emisiones gaseosas de vermicompostaje con residuos agrícolas y un tratamiento de compostaje termofílico, como resultado el vermicompostaje obtuvo menos emisiones de NH_3 (12.3% de $\text{NH}_3\text{-N}$ del nitrógeno) y el total de gases de efecto invernadero (8.1 kg de CO_2e /t de MS) que el compostaje termófilo. Komakech, Zurbrügg, Miito, Wanyama, & Vinnerås, (2016) evaluaron el impacto ambiental y el potencial económico del vermicompostaje midiendo las emisiones gaseosas generadas reportando 10.8, 62.3 y 12.8 g/ton de residuos orgánicos para metano (CH_4), óxido nitroso (N_2O) y amoníaco (NH_3), respectivamente, siendo una tecnología limpia y sostenible. En la Universidad de Copenhague, Dinamarca evaluaron la eficacia del vermicompostaje para reducir las pérdidas de

nitrógeno y GEI en comparación con compostaje termófilo, lo cual reportan que el vermicompostaje redujo significativamente la pérdida de nitrógeno en un 10-20%, redujo las emisiones de metano en un 32% y 16% en comparación con el compostaje termofílico (Nigussie, Kuyper, Bruun, & de Neergaard, 2016). Lalander, Komakech, & Vinnerås, (2015) reportan una evaluación de vermicompostaje de bajo mantenimiento como sistema de manejo de desechos de estiércol y alimentos para pequeños agricultores, obteniendo una reducción de material de 45.9% y la tasa de conversión de residuos a biomasa fue de 3.5% teniendo un potencial de actuar como un incentivo económico para mejorar el manejo del estiércol, con un retorno de la inversión (ROI por sus siglas en inglés) cercano y más del 200% dependiendo de la cantidad de estiércol en los centros urbanos con alta prevalencia de animales. A pesar de los avances en la investigación, hasta ahora, sólo se han realizado pocos estudios para examinar la emisión de gases de efecto invernadero y su análisis económico durante el proceso de vermicompostaje y compostaje. El objetivo de este trabajo es evaluar un sistema de vermicompostaje bajo condiciones del trópico húmedo, considerando la emisión de gases de efecto invernadero e indicadores económicos como variables de evaluación. Los resultados de este trabajo contribuirán para que las instituciones aborden las necesidades de los agricultores en las nuevas tendencias de la agricultura orgánica promoviendo una alternativa del manejo de las excretas de los animales y obteniendo un beneficio económico.

II. JUSTIFICACIÓN

El uso de residuos orgánicos en las comunidades rurales es una práctica antigua y frecuente, buscando con ello mejorar el contenido de materia orgánica del suelo para mantener la fertilidad de este mismo. Sin embargo, la aplicación de estos residuos, y en la mayoría de los casos no contempla ningún manejo previo, generando así daños ambientales y económicos.

El presente proyecto de investigación es importante para el aprovechamiento de las excretas de borrego, presenta una serie de beneficios en diferentes ámbitos:

Desde el punto de vista ambiental, el vermicompostaje es una alternativa de tratamiento para disminuir las GEI, de igual forma se cierra el ciclo biológico de la materia orgánica obteniendo como producto final un abono de alta calidad que puede ser usado para las plantas o acondicionamiento del suelo entre otros beneficios.

Desde el punto de vista económico, es una biotecnología viable, que no requiere grandes gastos de inversión inicial, al convertir los residuos orgánicos en utilidades económicas.

Técnicamente es aplicable, no se necesita grandes espacios para llevar a cabo este proceso, puestos que los equipos y análisis son básicos para controlar pH, temperatura y humedad para la obtención de un buen vermicompost. Lo que hace único a esta tecnología aplicada son las condiciones climáticas de la zona, los cuales permiten una mejor producción de lombrices en ciertas temporadas.

Desde el punto de vista social, el implementar esta biotecnología en sistemas de producción agrícola, beneficia a las instituciones para abordar las necesidades de los agricultores, con una opción de manejo adecuado de los residuos orgánicos, valorizándolos para su utilización, al igual que se obtienen abonos y fertilizantes orgánicos para sus propios cultivos, y también con una oportunidad de negocio al poder vender los subproductos y generar una entrada de economía directa.

III. ANTECEDENTES

La investigación está cada vez más orientada a utilizar técnicas agronómicas y sustentables, para mejorar la productividad en términos de cantidad y calidad de productos (Edgerton, 2009) promoviendo, al mismo tiempo, la conservación de los recursos naturales (Zhao et al., 2018), la protección del sistema del suelo y la reducción del impacto ambiental (O'Connor et al., 2018).

A nivel mundial se han reportado diversos estudios del proceso de vermicompostaje con diferentes sustratos y condiciones, a continuación, se describen algunos de ellos.

Muscolo, Papalia, Settineri, Mallamaci, & Jeske-Kaczanowska, (2018) realizaron un experimento de compostaje, para evaluar la madurez y la calidad del compost a partir de cuatro combinaciones y proporciones de residuos vegetales y residuos de oliva, durante 120 días. Como resultados ellos reportan que todos los compost tuvieron un porcentaje similar de reducción de la relación C/N y todos ellos lograron un grado de madurez aceptable. Sin embargo, el carbono orgánico total fue mayor en el C2 (90% de residuos de aceite de oliva+ 10% de paja) con 57.62 %, por el contrario, el nitrógeno total fue mayor (10 %) en el C3 (10 % paja + 80% hojas vegetales + 10 % de estiércol). Ellos concluyen que la calidad de los compost está vinculada principalmente a la composición química de la materia prima.

Khatua et al., (2018) determinaron la estabilidad y madurez del vermicompost, utilizaron como residuo tallo de banano (BS) enriquecido con estiércol de vaca (CD) en diferentes proporciones utilizando lombriz *Eisenia foetida*. El análisis químico por ICP-AES mostró un aumento gradual en los nutrientes de las plantas (P, Ca, K, Mg, Fe) hasta 60 días de vermicompostaje en todos los tratamientos. El tratamiento BS2CD1 (2 parte de residuos de tallos de banano: 1 parte de estiércol de vaca) tuvo el CO más alto de 493 g kg⁻¹ a 0 día y disminuyó a 383 g kg⁻¹ a los 40 días y finalmente alcanzó 332 g kg⁻¹ a los 60 días. El porcentaje de disminución de CO en control, los tratamientos con BS2CD1, BS1CD1 (1 parte de residuos de tallos de banano: 1 parte de estiércol de vaca) y BS1CD2 1 parte de residuos de tallos de banano: 2 parte de estiércol de vaca) fueron 28%, 29%, 31% y 32% respectivamente al final del vermicompostaje en la etapa final. que la etapa inicial. Esto indica una extensa mineralización de residuos iniciales con liberación de CO₂ debido a la actividad microbiana durante biodegradación de la materia orgánica.

Lv, Zhang, Cui, & Yin, (2018) evaluaron las emisiones de gases de efecto invernadero (CO₂, CH₄ y N₂O) durante la bioestabilización de lodos de depuración en diferentes relaciones C/N con/sin *Eisenia foetida*, reportando una disminución en el vermicompostaje de 15 % y en el

control 8 % Por lo tanto, el vermicompostaje podría promover la estabilización de materias orgánicas frescas a través de la interacción entre lombrices y microorganismos. El contenido de amoníaco en vermicompostaje mostró una tendencia a la baja de (0.86~2.28g kg⁻¹) a (0.27~0.53 g kg⁻¹). Sin embargo, el contenido de nitrato aumentó enormemente de 0.14~0.61 g kg⁻¹ a 5.46~6.35 g kg⁻¹ durante este período lo que indica un buen efecto de nitrificación. El CO₂ se observó en el día 7 y VI (12:1) tuvo el valor más alto de (687.8 mg/d). A partir de entonces, el valor de CO₂ disminuyó gradualmente hasta el final del experimento, con respecto al CH₄ la emisión total de vermicompostaje fue inferior en comparación con el tratamiento de control en todas las tres relaciones C/N esto se debe a la aireación constante del proceso.

Pérez-Godínez, Lagunes-Zarate, Corona-Hernández, & Barajas-Aceves, (2017) evaluaron cuatro estiércoles de zoológico aplicando dos métodos (a)compostaje tradicional, (b)pre-compostaje bokashi durante 1 mes, seguido del vermicompostaje durante 3 meses, reportan que los valores de permanencia y potencial de reproducción de *Eisenia foetida* fueron más altos usando el método (a) (98.7- 88% y 31.85 – 16.27% respectivamente). Los valores de, conductividad eléctrica, capacidad de intercambio catiónico(CEC), carbón orgánico (CO), nitrógeno total (NT) y pH mostraron que ambos tratamientos alcanzaron las normas de vermicompost (4mS cm⁻¹, 40 Cmol kg⁻¹, 1- 4%, - 20 % 8.5 respectivamente) sin embargo los índices de madurez indicaron que el método (b) seguida del vermicompostaje se obtuvieron los valores más alto (98.7 -70.7 % N_T, 97.67- 96.65 % CEC, y 2.7-1.97% CO respectivamente).

Komakech et al., (2016) en África, Kampala investigaron el desempeño ambiental del sistema vermicompost por medición de (GEI) generadas por el sistema. Comparándolo con otros sistemas de manejo de estiércol. Lo cual reportan para el vermicompost 10.8, 62.3 y 12.8 g/ton para metano, óxido nitroso y amoníaco, respectivamente, Las altas emisiones de óxido nitroso observadas probablemente se debieron a la alta densidad de las lombrices en la unidad. La metodología análisis de ciclo de vida (LCA) mostró satisfactorio rendimiento de vermicompostaje en términos de calentamiento global y potencial de eutrofización puesto que de igual forma el abono animal reduce el costo de fertilizante, además de proporcionar otros beneficios.

IV. OBJETIVO GENERAL

Evaluar un sistema de vermicompostaje bajo condiciones del trópico húmedo mediante la estimación de emisiones de gases de efecto invernadero e indicadores económicos.

Objetivos específicos

IV.1.1 Pre- compostear excreta de borrego para vermicompostaje.

IV.1.2 Monitorear el proceso de vermicompostaje con Eisenia Foetida.

IV.1.3 Calcular estequiométricamente las emisiones de CO₂ de la excreta de borrego.

IV.1.4 Determinar la viabilidad financiera de la producción de vermicomposta.

V. MATERIALES Y MÉTODO

Área de estudio

El estudio se realizó en el rancho el “Rodeo”. Ubicado en la ranchería Aquiles Serdán, en el municipio de Jalapa, Tabasco. El rancho cuenta con una producción de ganado vacuno, ovino y aves ponedoras. La Figura 1, muestra la imagen satelital del rancho, ubicado en las coordenadas N - 17.844261 y O -92.816922.

Figura 1.

Imagen satelital del rancho el rodeo



Colecta de la excreta de borrego para pre-composteo

La muestra utilizada en el proceso de pre-composteo fue colectada de cada cama formada en los corrales con el estiércol y orín desechados por los borregos sobre un piso de concreto durante un periodo de un mes. La muestra que se analizó, se formó de la mezcla de muestras representativas de cada corral obtenida mediante el método de cuarteo de acuerdo a la norma NMX-AA-15-1985 (Secretaría de Comercio y Fomento Industrial, 1985). Consistió en dividir en cuartos las muestras hasta obtener una muestra representativa, que para este caso fue de 100 kilogramos (Figuras 2,3,4,5).

Figura 2.

Corral de borrego



Figura 3.

Recolecta de excreta



Figura 4.

Pesado de muestra



Figura 5.

Metodo de cuarteo



Acondicionamiento del área para el pre- composteo

Para realizar el proceso de pre- composteo se construyeron dos cuneros de material de concreto de 1.47 x 1.22 x 0.70 m estos consisten en un sistema abierto, tipo zanja que permite mantener la humedad del sustrato (Figura 6).

Figura 6.

Cuneros para pre - composteo



Proceso de pre-composteo

Una vez obtenida la muestra representativa de la excreta de borrego se sometió a una estabilización (pre- composteo), con la finalidad de conseguir las características requeridas para la supervivencia de las lombrices durante el vermicompostaje de acuerdo con la norma NMX-FF-109-SCFI-2008 (Secretaria de Comercio y Fomento Industrial, 2008).

Los 100 kg de muestra se vaciaron en los cuneros, homogeneizándolo instantáneamente. Para conocer la cantidad de agua que se agregaría, se realizó la prueba de capacidad de campo de acuerdo la NOM-021-RECNAT-2000 (Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, 2002). Se apiló en forma de pirámide con la finalidad de conservar las propiedades del sustrato y alcanzar los primeros días temperaturas cercanas a los 60 °C de acuerdo con la NADF-020-AMBT-2011 (Secretaria del Medio Ambiente y Recursos Naturales, 2012)(Figura 7,8,9,10).

Figura 7.

Pesaje de la excreta de borrego



Figura 8.

Homogenización en el cunero



Figura 9.

Prueba de capacidad de campo



Figura 10.

Composta apilada



Parámetros de control del proceso de pre-composteo en campo

V.1.1 Temperatura (T)

La medición de temperatura en la pila de pre-composteo se efectuó utilizando un termómetro de mercurio con escala de 0 a 100 °C. Consistió en hacer tres mediciones (una la parte superior de la pila, otra en medio y la última en la parte inferior). Para conocer la temperatura ambiente, se utilizó un termómetro infrarrojo marca Hanna® HI 99556, Las mediciones se realizaron tres veces a la semana por un tiempo de 90 días (Figura 11 y 12).

Figura 11.

Temperatura ambiente



Figura 12.

Temperatura en la pila de composta



V.1.2 Humedad

Se aplicó la técnica del puño. Consiste, en tomar una porción del sustrato del pre-composteo, apretándolo con la mano y observando cuantas gotas salen después de que se ha apretado. La humedad correcta debe estar entre 45 y 70% (equivale 5 gotas) (Figura 13).

Si la humedad no se encuentra entre los límites anteriormente mencionados, se humectaba la pre-composta mediante el riego por aspersión, procurando que la masa del sustrato absorbiera el agua evitando así el pasaje rápido del líquido y la formación de barro en la parte inferior de la pila (Instituto Nacional de Innovación y Transferencia Tecnológica Agropecuaria (INTA), (2019)).

El volumen de agua utilizado mediante el riego se medía con un vaso de precipitado de 100 mL, antes de ser vaciado en una bomba de aspersión (Figura 14). Esto se llevó a cabo tres veces a la semana por un tiempo de 90 días (Díaz, 2002).

Figura 13.

Técnica del puño



Figura 14.

Riego por aspersión en la pileta



V.1.3 Homogenización del sustrato

La homogenización se llevó a cabo removiendo el sustrato de cada pila con una pala, procurando al término de ésta, formar una pila de una altura de 0.70 m. Esto permite un manejo favorable en el movimiento del sustrato (Díaz, 2002). Esto se llevó a cabo tres veces por semana durante 90 días (Figura 15).

Figura 15.

Método de Aireación manual



Parámetros de control del proceso de pre-composteo en el laboratorio

V.1.4 Contenido de Humedad

Para determinar el contenido de humedad, se utilizó la NMX-AA-016-1984 (Secretaría de Comercio y Fomento Industrial, 1984). La muestra fue secada en un horno Felisa®, durante 24 horas, a una temperatura de 105 ± 5 °C, pasado ese tiempo se colocaron en un desecador durante 15 minutos. Se pesaron en la balanza analítica y se registró la masa.

El porcentaje de humedad se calculó empleando la fórmula de la ecuación 1.

$$\% H = \frac{(PB+PHHL) - (PB+PSBHL)}{(PB+PHHL) - PB} * 100 \quad [1]$$

Donde:

%H = es el contenido de humedad gravimétrico expresado en porcentaje (%).

PB = es el peso del bote con tapa (g).

PHHL = es el peso húmedo del humus de lombriz (g).

PB + PHHL = es el peso del bote más peso húmedo del humus de lombriz (g).

PB + PSBHL = es el peso del bote más peso seco del humus de lombriz (g).

Después de pesadas las muestras, se molieron manualmente, se homogeneizaron y tamizaron a través de una malla de 1.0 mm de diámetro, con el propósito de utilizarlas en las demás determinaciones (Figura 16,17,18,19).

Figura 16.

Horno modelo FE-2093D



Figura 17.

Secado de la excreta de borrego



Figura 18.

Molienda de muestra



Figura 19.

Muestras etiquetadas



V.1.5 Determinación del pH

La determinación de pH se realizó de acuerdo con la técnica AS-02 de la NOM-021-RECNAT-2000 (Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, 2002). Se pesó 5 g de cada muestra colocándolo en un vaso precipitado, se le adicionó 25 mL de agua destilada y se agitaron durante 10 minutos. Se calibró el potenciómetro con la solución reguladora pH 7, después se enjuagó el electrodo con agua destilada y se introdujo en la muestra, anotando el valor de pH cuando la lectura ya se había estabilizado (Figura 20).

Figura 20.

Determinación de pH



V.1.6 *Determinación de Conductividad Eléctrica (CE)*

La determinación de la conductividad eléctrica se realizó de acuerdo al método Soriano y Pons establecido en la técnica AS-18 de la NOM-021-RECNAT-2000 (Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, 2002). Se pesó 5 g de cada muestra colocándolo en un vaso precipitado y se le adicionó 25 mL de agua destilada, posteriormente se agitaron durante 10 minutos. Se introdujo el electrodo en la muestra, anotando la CE cuando la lectura ya se había

Figura 21.

Determinación de conductividad eléctrica



estabilizado (Figura 21).

V.1.7 *Determinación de Cenizas (C), Materia Orgánica (MO) y carbón orgánico (CO)*

La determinación de materia orgánica se evaluó a través del contenido de carbono orgánico total con el método de la NMX-FF-109-SCFI-2008 (Secretaria de Comercio y Fomento Industrial, 2008). Se pesó 1 g de muestra y se colocó en un crisol de porcelana previamente secado y tarado. Se calentó en la mufla elevando la temperatura paulatinamente hasta llevarla a 550 °C por 2 h Se dejó enfriar en un desecador por 20 min. Pasado este tiempo se pesó en una balanza analítica AND HR-200 (Figura 22,23,24).

Las cenizas, materia y carbón orgánicos se calculan con las siguientes Ecuaciones:

Cenizas (C)

$$\text{Cenizas (\%)} = \frac{(\text{PCC} - \text{PC})}{\text{muestra (g)}} * 100 \quad [2]$$

Donde:

PCC = es el peso del crisol con cenizas

PC = es el peso del crisol

100 = es para referirlo a porcentaje

Materia Orgánica (MO)

$$\% \text{ MO} = (100) - (\% \text{ cenizas}) \quad [3]$$

Donde:

% MO = es la materia orgánica expresada en porcentaje.

% Cenizas = es la ceniza calculada en la determinación anterior

Carbono orgánico (CO)

$$\% \text{ CO} = \frac{\% \text{ MO}}{1.724} \quad [4]$$

Donde:

MO = es la materia orgánica calculada a partir del % de cenizas.

1.724 = es el factor Van Benmelen

% CO = es el porcentaje de carbono orgánico.

Figura 22.

Pesado de muestra



Figura 23.

Determinación Cenizas



Figura 24.

Muestras calcinadas



V.1.8 *Determinación de Nitrógeno (N)*

La determinación de nitrógeno se llevó a cabo de acuerdo con lo descrito en la determinación de Nitrógeno total en el suelo mediante el método semi micro KJELDAHL. Consiste en tres pasos: 1) Digestión, en un matraz Kjeldahl, se depositó 0.1 g de muestra, 1.1 g de catalizador K_2SO_4 (sulfato de potasio) y 3 mL de ácido sulfúrico concentrado (H_2SO_4), con la finalidad de lavar las paredes del matraz se agitó manualmente. El matraz Kjeldahl, se colocó en un equipo de digestión a 350 °C. Cuando la solución torna a color verde esmeralda se procedió a subir la temperatura a 600 °C, esperando que el cuello del matraz se limpie, una vez ocurrido esto, se disminuyó la temperatura a 350 °C nuevamente y se dejó durante una hora (Figura 25).

Figura 25.

Digestión de muestras



2) Destilación, consiste en agregar 10 mL de agua destilada al matraz Kjeldahl que contenía la muestra digerida, agitando manualmente y colocando el contenido del matraz Kjeldahl en un matraz micro- Kjeldahl. Posteriormente se hizo reaccionar el contenido en el matraz micro Kjeldahl con 10 mL de hidróxido de sodio (NaOH) al 40% mediante un embudo colocado en la parte superior del equipo de destilación. Se inyectó un flujo de vapor producido por el calentamiento de agua destilada a 400 °C mediante una mantilla, a través del matraz micro Kjeldahl que reaccionaba con el contenido de este produciendo un vapor que era conducido a través de un tubo de destilación donde se condensaba, y el condensado se recolectaba en un matraz Erlenmeyer de 125 mL colocado en la salida del tubo de destilación que contenía 10 mL de ácido bórico como indicador hasta una cantidad de 50 mL de muestra (Figura 26 y 27).

Figura 26.

Adición de NaOH



Figura 27.

Destilación en un matraz Erlenmeyer



3) Titulación, en una microbureta de 10 mL contenida con ácido sulfúrico (H_2SO_4) a 0.05 N, se agrega lentamente al matraz Erlenmeyer (que contiene el destilado) y este se mantiene en movimientos giratorios. El punto de equivalencia de la titulación ocurrió cuando la solución vira de verde a rosado y se determina el gasto (Figuras 28 y 29).

Figura 28.

Titulación con H_2SO_4 al 0.05 N



Figura 29.

Solución titulada



El % de N en la muestra se calculó de acuerdo con la ecuación 5.

$$\% N = \frac{(V - n)(0.05)(14)}{(P)(10)} \quad [5]$$

Donde:

V = volumen de H₂SO₄ para titular la muestra (ml)

n = normalidad exacta del H₂SO₄.

0.05 = Es la normalidad del ácido clorhídrico consumido en mL.

14 = peso miliequivalente del N (mg).

P = peso de la muestra (g).

10 = factor para convertir a porcentaje (100/1000).

V.1.9 Relación carbono/Nitrógeno (C/N)

La relación C/N esta en función del % MO. obtenida de acuerdo a la constante de Jackson y % NT, con base en la NMX-AA-067-1985 (secretaria de Comercio y Fomento Industrial, 1985).

Para determinar el CO se multiplica el % de MO x 0.58 donde:

0.58 = es la constante dada por Jackson. P dada por Jackson o lo tanto, la ecuación para determinar la relación C/N es:

$$(C/N) = \frac{(\%C.O)}{(\%N)} \quad [6]$$

Dónde:

% C.O = % Carbono orgánico obtenido.

% N = % Nitrógeno total obtenido.

V.1.10 Determinación de Fósforo (P)

El fósforo, se determinó de acuerdo al método amarillo vanadato molibdato descrito por Rodríguez Fuentes & Rodríguez Absi, (2002). Las muestras se colocaron en crisoles, se introdujeron a una mufla marca Scorpion Scientific® a una temperatura de 550 °C durante una hora, concluido este tiempo las muestras fueron llevadas a la estufa y se mantuvieron a 105 °C durante 20 minutos con la finalidad de reducir la temperatura. Las muestras previamente enfriadas en un desecador durante 20 minutos fueron depositadas en vasos de precipitado de 100 mL procurando lavar los crisoles con agua destilada para obtener el total de la muestra. Se añadió 2 mL de ácido clorhídrico (HCl) a los vasos de precipitado y se agitaron manualmente para ser puestas sobre parrillas de calentamiento de marca Thermo Scientific® CIMAREC a 130 °C hasta que la muestra líquida se evaporara. Se agregó 25 mL de HCl 1 N para después filtrarlas, una vez filtradas se tomaron 2 mL de las mismas y se aforaron en matraces de 100 mL agregándoles 10 mL de vanadato. Se efectuó la lectura de absorbancia a 470 nm (nanómetros) en un espectrofotómetro marca Thermo Scientific® Genesys 10S UV-VIS. (Figura 30,31 y 32).

Figura 30.

Evaporización



Figura 31.

Muestras preparadas



Figura 32.

*Lectura de muestras
espectrofotómetro*



Posteriormente el contenido de fósforo se determinó con la ecuación 7.

$$CRM \% P = \frac{(Fd1)(Fd2)(\text{Concentración de la muestra en } \frac{mg}{kg})}{10000} \quad [7]$$

Dónde

CRM = es concentración real de la muestra

Fd1 = es el factor de dilución 1

Fd2 = es el factor de dilución 2

10000 = es el factor que transforma los mg/kg en valores de porcentaje.

V.1.11 *Determinación de Potasio (K)*

El potasio, se determinó de acuerdo con el método Determinación de potasio en fotómetro HANNA. Las muestras se colocaron en tubos de centrifuga, se les adicionó 50 mL de agua destilada y se llevaron a una centrifuga marca HERMLE® Z400 a 3500 revoluciones por min (rpm) durante cinco min, al finalizar el proceso el sobrenadante se colocó en vasos de precipitado de 100 mL y se les adicionó un gr de carbón activado dejándolo reposar durante 24 h. Una vez transcurridas las 24 h las muestras fueron filtradas con una bomba de vacío, se tomaron 2 de mL muestra y se aforó en 48 mL de agua destilada. Las muestras fueron leídas en un fotómetro para el análisis de nutrientes HANNA® HI 83225 utilizando reactivo A HI93750A-0 y reactivo B HI93750B-0 (Figura 33,34 y 35).

Figura 33.

*Muestras en las
centrifuga*



Figura 34.

*Aplicación del carbón
activado*



Figura 35.

*Lectura de las
muestras HANNA®*



El contenido de potasio fue determinado mediante la ecuación 8.

$$K \% = \frac{(Fd1)(Fd2)(Concentración\ de\ a\ muestra\ en\ mg)}{10000} \quad [8]$$

Dónde

Fd1 = es el factor de dilución 1

Fd2 = es el factor de dilución 2

10000 = es el factor que transforma los mg. en valores de porcentaje.

Estabilización de la relación C/N de la pre-composta de borrego

Después de un tiempo de 45 d, se realizó una prueba de viabilidad para la supervivencia de las lombrices en la pre-composta de borrego. Esta prueba permite de manera empírica conocer si el material tiene una relación C/N adecuada y está listo para que las lombrices realicen la degradación del material orgánico (González-Rosales, Nieto-Garibay, Murillo-Amador, Ramírez-Serrano, & Villavicencio-Floriani, 2019). Como la prueba de supervivencia de las lombrices en la pre-composta de borrego fue negativa, se realizaron dos mezclas buscando estabilizar la relación C/N: a) una mezcla que contenían excreta de borrego y paja, b) excreta de borrego, paja y vegetales. Debido a que, en la primera mezcla, la prueba de viabilidad las lombrices fueron

negativa (Las lombrices no se adaptaron a la mezcla), se composteo durante un tiempo de 45 d. Como la segunda mezcla permitió la adaptabilidad y supervivencia de las lombrices, se procedió a realizar el vermicompostaje inmediatamente. A cada mezcla, se le realizaron los parámetros en base a la norma NMX-FF-109-SCFI-2008 (Secretaría de Comercio y Fomento Industrial, 2008) con la finalidad de monitorear las características del compostaje durante el proceso (Figura 36, 37 y 38).

Figura 36

*Pre – composteo de excreta
de borrego*



Figura 37

*Pre – composteo de excreta
de borrego y paja*



Figura 38

*Pre – composteo de excreta
de borrego, paja y vegetales*



Aplicación del sistema de Vermicompostaje

V.1.12 Cuneros para vermicompostaje

Para realizar el proceso de vermicompostaje se construyeron cuatro cuneros de material de concreto de 1.55 x 1.22 x 0.68 m con fondo de cemento. Cada cunero fue dividido en cuatro partes de 60 x 50 cm, para delimitar las divisiones en cada cunero se utilizó madera tipo triplay, y malla mosquitero para evitar la introducción de ratas, sapos, pájaros y otros animales que se alimentan de lombrices (Figura 39 y 40).

Figura 39

Cuneros para vermicompostaje



Figura 40

Cuneros acondicionados y con malla plástica



V.1.13 Diseño experimental

Se empleó un diseño al azar, donde se evaluaron cuatro tratamientos con tres repeticiones, 12 unidades experimentales (UE). Para comparar el efecto del peso de las lombrices en el sustrato entre los tratamientos, se realizó un análisis de varianza (ANOVA), con comparación de medias (Tukey). La Tabla 1, muestra la aleatorización de los tratamientos que se utilizaron en el diseño experimental.

Tabla 1

Descripción de tratamientos y unidades experimentales por número de cuneros

EBL	EBPL	EBPVL	C
1	3	4	5
6	12	7	9
15	14	11	13

EBL: Excreta de borrego, inóculo de lombriz.

EBPL: Excreta de borrego y paja, inóculo de lombriz

EBPV: Excreta de borrego, paja y vegetales, inóculo de lombriz

C: Control, excreta de borrego sin inóculo de lombriz.

Las variables de respuesta que se evaluaron fueron: conductividad eléctrica (CE), potencial de hidrógeno (pH), carbono orgánico (CO), materia orgánica (MO), cenizas (C) nitrógeno total (NT), fósforo (P), potasio (K), relación carbono/nitrógeno (C/N), sustancias húmicas (SH). La duración del muestreo fue de 3 meses.

V.1.14 Lombrices para el vermicompostaje

Para el vermicompostaje se utilizó la lombriz roja californiana, *Eisenia Foetida*, obtenida de la empresa HUMECOL SA de CV, ubicada en el Rancho Laguna del Fresno, Maravatío, Michoacán.

V.1.15 Preparación del proceso

Las lombrices que se utilizaron fueron seleccionadas en la etapa juvenil. Se pesaron 35.50 g de lombrices, 5 kg de sustrato de cada tratamiento (Kui et al., 2013). Los tratamientos del grupo control consistieron en agregar a los cuneros el respectivo residuo orgánico, pero sin agregar lombrices. El vermicompostaje experimental tuvo una duración de 3 meses, manteniendo una humedad aproximada del 80 % de la capacidad de campo (Figura 41,42 y 43).

Figura 41

Selección de lombrices juveniles



Figura 42

Pesaje de las lombrices



Figura 43

Pesaje del sustrato para vermicompostaje



V.1.16 Preparación de la vermicama para vermicomposta

La preparación de la vermicama se llevó a cabo de la siguiente manera, primero se colocó una capa del sustrato, seguida de un pliego de material a condicionante (papel), y por último se sembró el inóculo de lombrices (35.50 g) que llevaron a cabo el proceso de vermicompostaje y se cubrió con malla mosquitero (Figuras 44, 45 y 46).

Figura 44

Sustrato



Figura 45

Siembra del inóculo



Figura 46

Vermicama



V.1.17 Monitoreo del proceso de vermicompostaje

Para el monitoreo de vermicompostaje se realizaron las mismas determinaciones realizadas en el proceso de pre- composteo.

Se agregó la determinación de sustancias húmicas. A continuación, se detalla la metodología.

V.1.18 Sustancias Húmicas (SH)

Las sustancias húmicas, se determinaron de acuerdo con el método de Extracción y fraccionamiento de sustancias húmicas. Las muestras se colaron en un matraz de 250 mL y se le adicionaron 160 mL de la mezcla extractora 1: Pirofosfato de sodio ($\text{Na}_4\text{P}_2\text{O}_7\cdot\text{H}_2\text{O}$) 0.1 M. 2: Hidróxido de Sodio (NaOH) 0.1M. Se colocó en un agitador orbital por 10 min y se dejó reposar por 24 h. Una vez transcurridas las 24 h las muestras fueron filtradas con un embudo con la finalidad de separar el sobre nadante (SH) del sólido. Se tomaron 50 mL de las muestras filtradas para precipitar los ácidos húmicos (AH), se agregaron 3 mL o más de ácido sulfúrico (H_2SO_4) concentrado, se agitó manualmente hasta bajar el pH a 1.5. Posteriormente se llevaron a una centrifuga marca HERMLE® Z400 a 2500 revoluciones por minuto (rpm) durante cinco min, al finalizar el proceso el precipitado de la muestra (SH), se le adicionó NaOH y se colocó en recipientes de 50 mL dejándolos en reposo. Al sobrante de esas mismas muestras se le agregaron

15 mL de NaOH a un volumen de 40 mL y se llevaron a la centrifuga a 2500 rpm durante cinco min. Al finalizar el proceso el sobrenadante se le adicionó 40 mL de agua destilada que son los ácidos fúlvicos (AF) y los sedimentos que quedaron en los viales se volvieron a centrifugar a 2500 rpm durante cinco min, al finalizar el proceso el sobrenadante se desechó y al sedimento se le agregaron 45 mL de NaOH que son los AH (Figuras 47,48 y 49)

Figura 47

Agitador orbital



Figura 48

Precipitación de AH

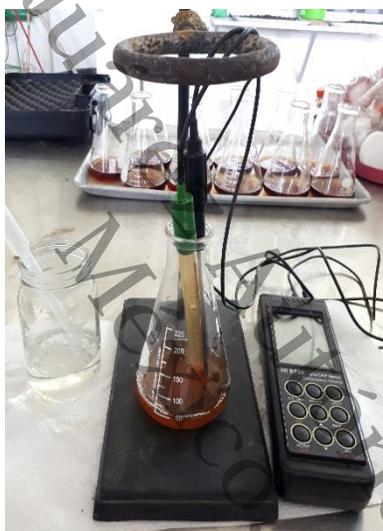


Figura 49

Extracción de AH y AF



V.1.19 Cuantificación del CO en la mezcla de (AH y AF) y en la separación de AH

Para la cuantificación del CO en las muestras se utilizó el método para combustión húmeda (Walkley y Black modificado). Se tomaron 1 mL de las muestras de sustancias húmicas y 1 mL de ácidos húmicos y se colocaron cada uno en viales de vidrio donde se les agregó 2 mL de dicromato de potasio ($K_2Cr_2O_7$) 1N a cada muestra. Cuidadosamente se les añadió 4 mL de H_2SO_4 concentrado, se agitó manualmente y se dejó reposar por 24 h. Una vez transcurridas las 24 h los viales donde estaban las muestras fueron vaciados a unos vasos precipitados donde se les agregó a cada uno 18 mL de agua destilada donde se obtuvo un volumen total de 25 mL. Se agitó manualmente durante cinco min y se efectuó la lectura de absorbancia a 590 nm (nanómetros) en un espectrofotómetro marca Thermo Scientific® Genesys 10S UV-VIS (Figura 50,51 y 52)

Figura 50

Muestras con

$K_2Cr_2O_7$ y H_2SO_4



Figura 51

Muestras diluidas



Figura 52

Lectura de muestras

en el fotómetro



Calculo estequiométrico de las emisiones de CO₂ de la excreta de borrego

Para el cálculo estequiométrico de CO₂ de la excreta de borrego, se tomó 1 muestra por separado al final del proceso de compostaje (C), y tres muestras al final de cada proceso de vermicompostaje (EBL; EBPL, EBPV).

V.1.20 Análisis elemental

Cada muestra se envió al Laboratorio de Análisis Elemental de la Unidad de Servicios de apoyo a la Investigación en la Facultad de Química de la UNAM, acreditado ante la EMA.

La determinación analítica del contenido de carbono, hidrógeno, nitrógeno y azufre de los RSU se llevó a cabo por triplicado. Se utilizó un Analizador Perkin Elmer® modelo PE 2400 que da información del contenido porcentual de carbono, hidrógeno, nitrógeno y azufre si están presente en la muestra. Para ello se pesó entre 1 y 3 mg de muestra y adicionalmente se fijaron los valores de los parámetros analíticos siguientes: tipo de programa utilizado, temperatura de la columna cromatográfica, así como temperaturas del reactor de combustión y tiempo de medición como se muestra a continuación:

- Gas acarreador/gas de referencia: Helio
- Temperatura de la columna cromatográfica: 82.2 °C
- Detector: Conductividad Térmica
- Presión: 116.2 mm Hg
- Temperatura del reactor de combustión: 975 °C
- Temperatura del reactor de reducción: 501 °C
- Programa analítico: CHNS
- Tiempo de análisis: 430 segundos
- Compuesto de calibración: Cistina, reactivo analítico marca Perkin Elmer®.

V.1.21 Obtención de la fórmula química

Para obtener la fórmula química, se realizó el recalcu del porcentaje de oxígeno presente en la muestra analizada, por diferencia al 100% de la suma de los porcentajes obtenidos para todos los demás elementos. Se obtuvieron las proporciones atómicas relativas de cada elemento dividiendo su porcentaje en peso entre su peso atómico. A partir de estas proporciones atómicas relativas se dedujeron las relaciones atómicas dividiendo cada uno de los valores entre el menor.

V.1.22 Determinación de la masa de CO₂

Se estimó la masa del CO₂ utilizando la fórmula química obtenida de acuerdo con la Ecuación 1 para residuos con azufre en su composición (Tchobanoglous et al. 1998).



La masa del CO₂, se determinó de acuerdo con la ecuación siguiente. Se utilizó como base 100 kg de residuos orgánicos.

$$Masa\ del\ CO_2\ (kg) = \left(\frac{Masa\ del\ CO_2\ final\ (kg)}{Masa\ del\ CO_2\ inicial\ (kg)} \right) (Residuo\ base\ (kg)) (fb) \quad [10]$$

V.1.23 Cálculo del volumen del CO₂

Se convirtió la masa del gas en volumen, aplicando la ecuación 11

$$Volumen\ del\ CO_2\ (m^3) = \frac{Masa\ del\ CO_2\ (kg)}{Densidad\ del\ CO_2\ (kg/m^3)} \quad [11]$$

Basado en el peso seco del material orgánico, se determinó en m³/kg la cantidad total teórica del CO₂ generado por peso unitario de cada tratamiento, usando 100 kg como base. De igual forma se determinó para el material húmedo

$$Emisiones\ de\ CO_2\ (m^3) = \frac{(Volumen\ del\ CO_2\ (m^3/kg))(1000\ (kg))}{base\ seca\ (kg)} \quad [12]$$

Viabilidad financiera de la producción de vermicomposta

Cuando se va a tomar la decisión de invertir en un proyecto, es necesario evaluar desde un punto de vista económico-financiero todas las variables que en éste intervienen, utilizando para esto diferentes herramientas económicas que permitan establecer qué tan rentable será o si generará al inversionista las ganancias suficientes para satisfacer el objetivo económico establecido previamente. Todos estos factores se han englobado en dos fases, la primera fase es la evaluación financiera del anteproyecto (Ochoa 2002). La segunda fase incluye la evaluación económica del proyecto.

V.1.24 Fase I. Anteproyecto

V.1.24.1 Definición de la información cualitativa

En este punto se consideró la naturaleza del proyecto, su horizonte, el financiamiento, la esencia, montos dispuestos a invertir y factores de riesgo bajo la visión de los inversionistas.

Se investigó información relacionada al proyecto derivada de otros estudios que impactaron la evaluación financiera del proyecto, como son porcentajes que ofrecen instituciones bancarias por la inversión, además de determinar los tiempos de proyección de la evaluación del proyecto.

V.1.24.2 Determinación del monto total de la inversión

La inversión es la etapa inicial de un proyecto, está conformada por el valor del terreno, equipos y mobiliarios. Activos diferidos ocasionados durante el anteproyecto (contratos y licencias). Gastos preoperativos de la construcción y se suma el capital de trabajo, mismo que para este proyecto se consideraron cinco meses de gastos de operación. Sumando estos rubros se obtuvo el monto total de la Inversión. La fuente de financiamiento fue del 100% con un solo inversionista.

V.1.24.3 Elaboración de estados financieros proyectados

Se consideró proyectar el estado financiero y el estado de resultados por un lapso de 5 años datos derivados del horizonte del proyecto.

V.1.24.3.1 Estado de Situación financiera

Se contempló para efectos del monto total de la inversión distribuida según los rubros que la componen, en el año cero. El capital de trabajo se consideró efectivo para este año. En los años

sucesivos se contemplaron como efectivo los ingresos derivados de las ventas pronosticadas a través de la investigación de mercado y en el rubro de activo fijo, la depreciación y amortización.

En el rubro de pasivo se consideraron los impuestos por pagar, producto de las proyecciones de ingresos y egresos en base a los porcentajes establecidos por la Ley. En el rubro de capital contable se consideró en el año cero la aportación del socio y la reinversión de utilidades. En el primer año se proyectó la utilidad, misma que va incrementando según las premisas de crecimiento pactadas para el proyecto. Se consideró la acumulación de las utilidades que van incrementando el total del capital durante el horizonte del proyecto.

V.1.24.3.2 Estado de Resultados

Se consideró una proyección de cinco años según requerimientos del inversionista. En el primer año las ventas se estimaron en base al estudio de mercado proporcionado en el presupuesto de ingresos. Los gastos de operación se estimaron en base al presupuesto de egresos, arrojando utilidades de operación neta, datos que se incrementaron gradualmente según las premisas de crecimiento tanto en ingresos como en egresos.

V.1.24.4 Proyección de flujos de efectivo del proyecto

Para efectos del balance general y evaluación financiera, se contempló un periodo de cinco años de proyección.

V.1.24.4.1 Presupuesto de efectivo para efectos del balance general

Se consideraron como entradas los montos correspondientes al capital de trabajo que es aportación inicial y los ingresos por ventas del primer periodo. Como salidas de efectivo se consideraron el monto de los gastos fijos y operativos, obteniendo por diferencia los flujos del primer periodo que fue el saldo inicial del siguiente periodo. Se siguió el mismo esquema de entradas y salidas donde se adicionaron los impuestos de ley. Para todos los periodos desde el segundo en adelante se consideró el incremento pactado con el inversionista.

V.1.24.4.2 Presupuesto de efectivo para efectos de la evaluación económica

Este se proyectó a cinco años. Se consideró en el primer periodo las ventas menos los costos variables y los costos fijos para obtener la utilidad o pérdida de operación, y la depreciación y amortización. A partir del segundo periodo se consideró descontar los impuestos de ley,

igualmente para los periodos sucesivos hasta el quinto periodo, donde se descontó el valor de rescate de los inmuebles y activos fijos del proyecto y el capital de trabajo, obteniendo los flujos netos de efectivo para desarrollar la evaluación económica del proyecto.

V.1.25 Fase II. Evaluación económica del proyecto

Con base en los flujos netos de efectivo obtenidos, se desarrolló la evaluación económica del proyecto de inversión.

V.1.25.1 Determinación del valor presente neto (VPN)

Aplicando los procedimientos y fórmulas descritas por Ramírez (2005), fue posible obtener todos los flujos de efectivo a valor presente neto, por el periodo de la evaluación del proyecto que son cinco años, utilizando como tasa de descuento, la tasa de rendimiento mínima aceptable (TREMA). La TREMA, que se determinó a partir del rendimiento requerido por el accionista consideró la tasa certificada de la tesorería de la federación (CETE) anual vigente más cinco puntos. Se suman los flujos de los periodos y se resta el monto de la inversión inicial, obteniendo el Valor Presente Neto del proyecto.

El VPN disminuye la inversión al Valor presente de los flujos de efectivo:

$$VPN = \left\{ \frac{FE1}{(1+i)^1} + \frac{FE2}{(1+i)^2} + \frac{FE3}{(1+i)^3} + \frac{FE4}{(1+i)^4} + \frac{FE5}{(1+i)^5} \right\} - I_0 \quad [13]$$

Donde:

FE=flujo efectivo de cada periodo

I₀= Inversión Inicial

i= Tasa de Descuento (CPC, Costo de Oportunidad, costo del dinero, TREMA)

V.1.25.2 Cálculo de la Tasa Interna de Rendimiento (TIR)

Es la tasa de descuento que iguala a cero el valor presente de los flujos de efectivo. Es conocida también como la tasa de rentabilidad, producto de la reinversión de los flujos netos de efectivo dentro de la operación propia del negocio o la tasa crítica de rentabilidad, cuando se compara con la tasa mínima de rendimiento requerida para un proyecto de inversión específico, siendo un elemento de juicio muy utilizado en la evaluación de proyectos de inversión. El criterio de aceptación es que la TIR sea mayor al costo de tener invertido el dinero en determinado proyecto

(CPC, TREMA, costo de oportunidad, costo de la fuente de financiamiento). La fórmula es la siguiente.

$$TIR = Y1 + \left\{ \frac{Y2 - Y1}{X2 - X1} \right\} * (Io - X1) \quad [14]$$

Donde:

Y1 = Tasa de Descuento menor

Y2 = Tasa de Descuento mayor

X1 = Sumatoria de los Flujos de Efectivo a valor presente utilizando Y1

X2 = Sumatoria de los flujos de efectivo a valor presente utilizando X2

Io = Inversión inicial

V.1.25.3 Cálculo del Índice de Rentabilidad (IR)

El IR, mide el rendimiento que genera cada peso invertido en el proyecto descontado el valor presente. Este se obtuvo dividiendo el valor presente de los flujos de efectivo futuros del proyecto entre el monto de la inversión inicial y se expresa en porcentaje. Para efectos del proyecto se consideraron los montos proyectados y se aplicó la fórmula que da el rendimiento en termino porcentual que permitirá justificar el rendimiento de la inversión del proyecto. La fórmula es la siguiente.

$$IR = 1 + \frac{VPN}{Io} \quad [15]$$

Donde:

VPN = Valor Presente Neto

Io = Inversión inicial

V.1.25.4 El índice Costo Beneficio/ (C/B)

El índice costo/beneficio también es un indicador que señala la utilidad que se obtiene con el costo que representa la inversión; es decir, que par cada peso invertido cuánto es lo que se gana para definir su viabilidad. Para calcular la relación C/B se realiza primero la suma de todos los beneficios descontados traídos al presente (ingresos), y se divide sobre la suma de los costos también descontados (egresos), La fórmula es la siguiente.

$$\text{Relación } C/B = \frac{\text{Costos incurridos}}{\text{Beneficios obtenidos}}$$

[16]

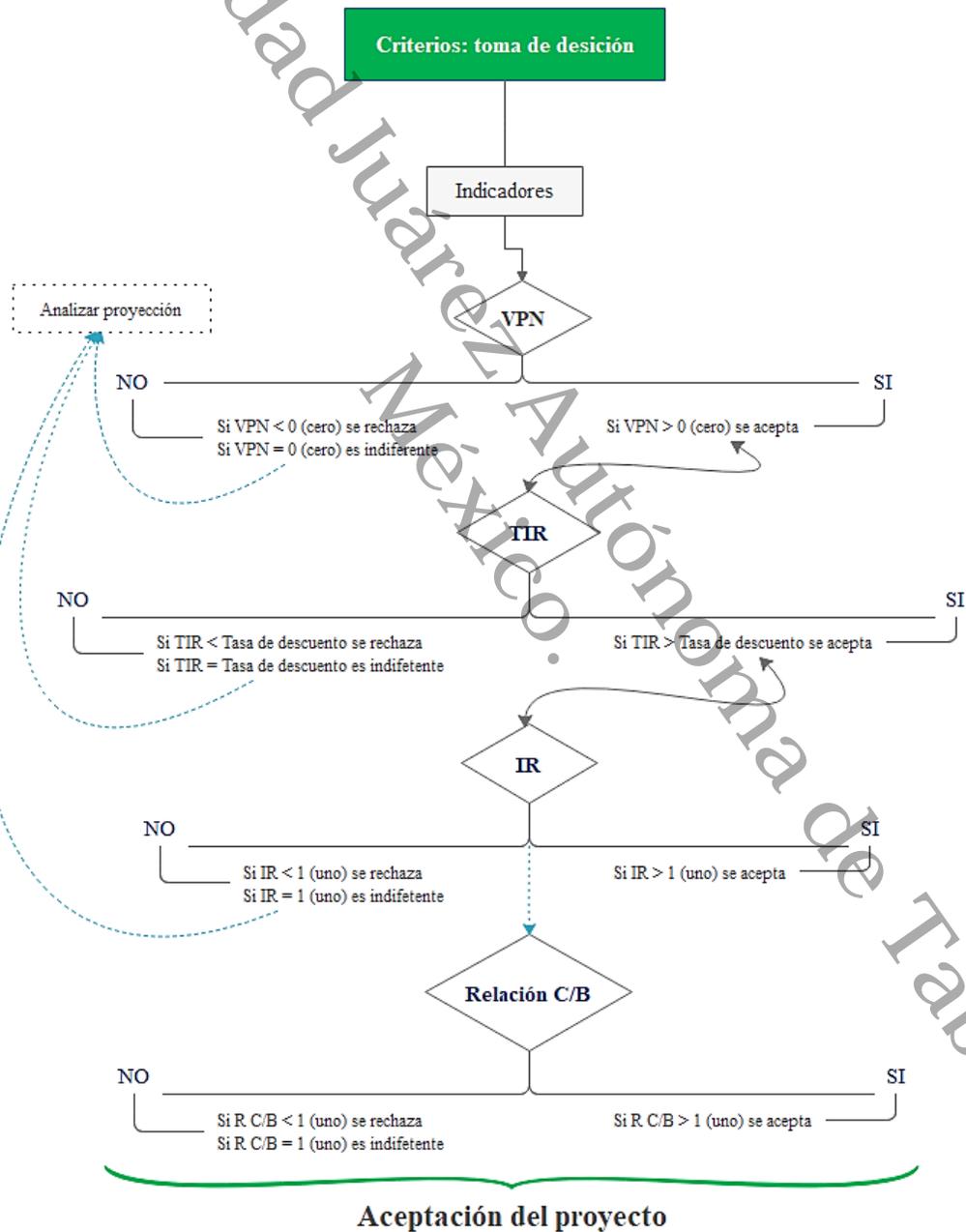
Universidad Juárez Autónoma de Tabasco.
México.

V.1.25.5 Criterios de toma de decisión para indicadores económicos

El siguiente diagrama muestra el flujo para la toma de decisión, si el proyecto se acepta o no, con base en diferentes criterios como indicadores (VPN, TIR, IR, relación C/B) (Figura 53).

Figura 53

Diagrama de flujo de toma de decisión



VI. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Generación de excreta de borrego

La Tabla 2, muestra la generación de excreta de borrego en cada corral. Los valores de generación son los acumulados durante un mes. Se observa la cantidad de borrego en cada corral y su respectiva talla. La generación mayor fue de 197.78 kg en el corral número 3, que tenía borregos de la talla chica y grande. La generación total de excreta fue de 1253.55 kg.

Tabla 2

Generación de excreta de borrego por corral

N.º de corral	Generación de excreta (kg)	Cantidad de borrego	Talla
1	79.34	30	M
2	60.72	13	M
3	197.78	25/15	CH/G
4	120.18	20	M
5	111.9	20	G
6	94.12	28	M
7	142.7	41	G
8	106.03	22	G
9	132.53	40	G
10	0	0	-
11	95.33	18	SEMENTALES
12	112.9	23	G
TOTAL	1253.55	295	

Caracterización inicial de la excreta de borrego

La Tabla 3, muestra las características iniciales de la mezcla de excretas de borrego. Se observa que la mezcla tiene un porcentaje promedio de humedad de 25.72, pH de 7.18, conductividad eléctrica (CE) de 9.44 dS/m, porcentaje de cenizas de 18.74, porcentaje de materia orgánica (MO) de 81.25, porcentaje de carbono orgánico (CO) de 47.13, porcentaje de nitrógeno (N) de 1.65 y una relación de C/N de 28.53.

Tabla 3

Características iniciales de la mezcla de excreta de borrego

Parámetro	Unidad	Muestras			
		1	2	3	Promedio
Humedad	%	26.04	25.38	25.7	25.72 ± 0.32
pH		7.19	7.22	7.15	7.18 ± 0.03
CE	dS/m	9.5	8.69	10.1	9.44 ± 0.73
CENIZAS	%	18.58	18.84	18.79	18.74± 0.13
MO	%	81.41	81.15	81.20	81.25 ± 0.13
CO	%	47.22	47.07	47.10	47.13 ± 0.07
NT	%	1.74	1.62	1.61	1.65 ± 0.07
C/N		27.31	29.04	29.24	28.53± 1.06

El pH inicial de este trabajo está por debajo de 8.81 de acuerdo a lo reportado por Cestonaro et al., (2015) en muestras de estiércol de borrego y de 8.96 obtenido por Costa et al., (2015) utilizando sustrato formado en las camas de un corral de borregos con cáscaras de arroz, orín y excreta de borrego. Makan, (2015) reporta valores de pH de 6.14, con excreta de borrego que está por debajo a los obtenido en este trabajo. La CE reportada por Costa et al., (2015) es más alta, con un valor de 12.76 dS/m, sin embargo, Cestonaro et al., (2015) obtuvo 7.44 mS/cm que están por debajo a lo obtenido en esta investigación. El porcentaje de CO de 47.13, obtenido en este trabajo es más alto a lo reportado por Cestonaro et al., (2015) y Costa et al., (2015) con porcentajes de 41.2 y 41.84 respectivamente. Sin embargo, Makan, (2015) obtuvo porcentajes similares con un valor de 48.66%. Cestonaro et al., (2015) y Costa et al., (2015) obtuvieron porcentajes de N de 1.73 y 1.50% respectivamente, muy parecidos a los de este trabajo con un valor de 1.65%. No obstante, Makan, (2015) reporta un porcentaje más alto de N (3.75%). El resultado de la relación C/N de 28.53 obtenida en esta investigación, es más alta a lo reportado por Makan, (2015) con un

valor de 12.97 y de 24 obtenida por Cestonaro et al., (2015). Resultado similar obtuvo Costa et al., (2015) con un valor de 28.

Universidad Juárez Autónoma de Tabasco.
México.

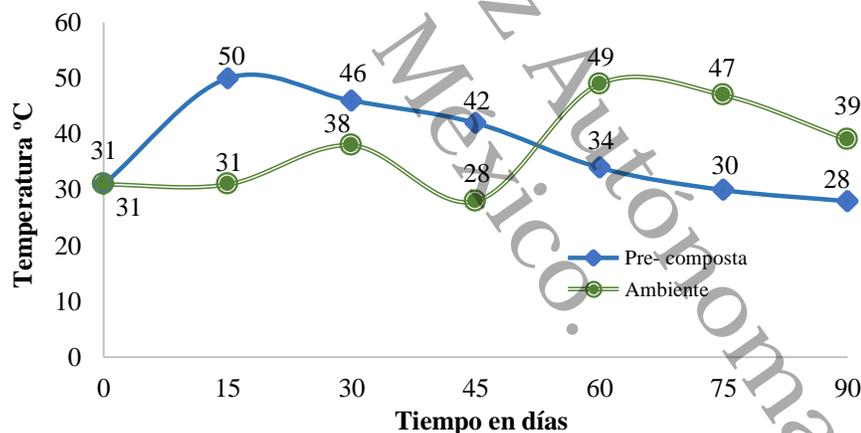
Parámetros de control del proceso de pre-composteo de la excreta de borrego en campo

VI.1.1 Temperatura

La Figura 54, muestra el comportamiento de la temperatura ambiente (Línea verde) y la temperatura del pre-composteo (Línea Azul). La temperatura máxima del pre-composteo alcanzada en los primeros 15 d fue de 50 °C. Esto se debe, a que durante este tiempo hubo suficiente sustrato orgánico como fuente de carbono y energía disponible y el mayor aceleramiento de la actividad metabólica microbiana, propiciando calor. Conforme pasa el tiempo, debido al agotamiento de compuestos fácilmente biodegradables se puede observar en la figura que la temperatura fue disminuyendo, alcanzando una estabilidad a los 90 d, con una temperatura promedio de 28 °C (Moreno Casco & Moral Herrero, 2008).

Figura 54

Comportamiento de temperatura en el pre- composteo



El periodo de tiempo corto de 15 d, en el comportamiento de la temperatura en fase termofílica durante esta investigación, es similar a lo reportado por Costa et al., (2015), que obtuvieron valores de temperatura termofílicas en un rango de tiempo de 10 y 25 d para diferentes procesos de compostaje con mezclas de excreta de borrego y excreta de ganado. Asimismo, Makan (2015) reportaron valores similares por encima de los 50 °C de temperatura a los 15 d utilizando excreta de borrego. Chen, Huang, Liu, Xie, & Abbas (2019), mantuvieron temperaturas de proceso de 50 °C durante los primeros 30 d de compostaje con mezcla de residuos de jardín y excreta de borrego. Leconte, Mazzarino, Satti, Iglesias, & Laos, (2009) mencionan que los periodos de tiempo corto se deben a una menor reproducción microbiana relacionada con la menor retención de agua y el área superficial específica para el ataque microbiano.

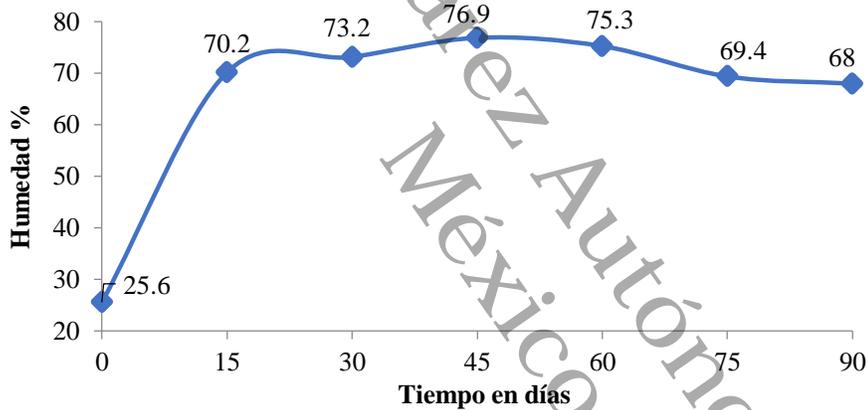
Parámetros de control del proceso de pre-composteo de la excreta de borrego en laboratorio

VI.1.2 Humedad

En la Figura 55, se muestra la humedad en el proceso del pre-composteo en un tiempo de 90 d. Se observa que la humedad se mantuvo en un porcentaje del 70 %. Puesto que la presencia del agua es necesaria para las necesidades de los microorganismos, ya que es el medio de transporte de sustancias y nutrientes, por lo tanto, debe ser cuidada y mantenida en los niveles adecuados (50-70 %)(Moreno Casco & Moral Herrero, 2008).

Figura 55

Humedad del proceso de pre-composteo a los 90 días



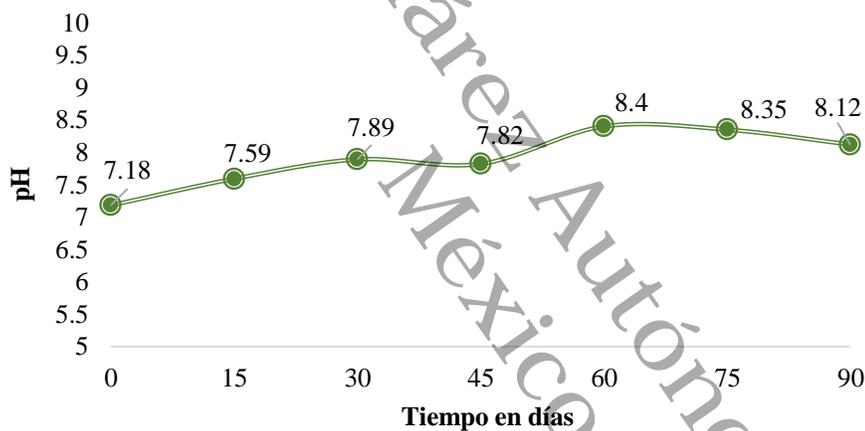
El porcentaje de humedad de esta investigación es similar a lo reportado por Makan, (2015) que mantuvieron el contenido de humedad en un rango óptimo de 55-70 %. Al final del proceso de pre-compostaje obtuvieron 68.95 % utilizando excreta de borrego.

VI.1.3 pH

En la Figura 56, se muestran los resultados del comportamiento de pH del pre composteo. Se observa que el pH máximo de 8.4 fue alcanzado a los 60 d de pre-composteo. Esto se debe, a la pérdida de los ácidos orgánicos y la generación de amoníaco procedente de la descomposición de las proteínas (Sánchez-Monedero, Roig, Paredes, & Bernal, 2001). Se observa que a los 90 d se obtuvo un pH de 8.12, lo cual indica un síntoma de una buena descomposición (Moreno Casco & Moral Herrero, 2008).

Figura 56

Comportamiento del pH del pre-composteo



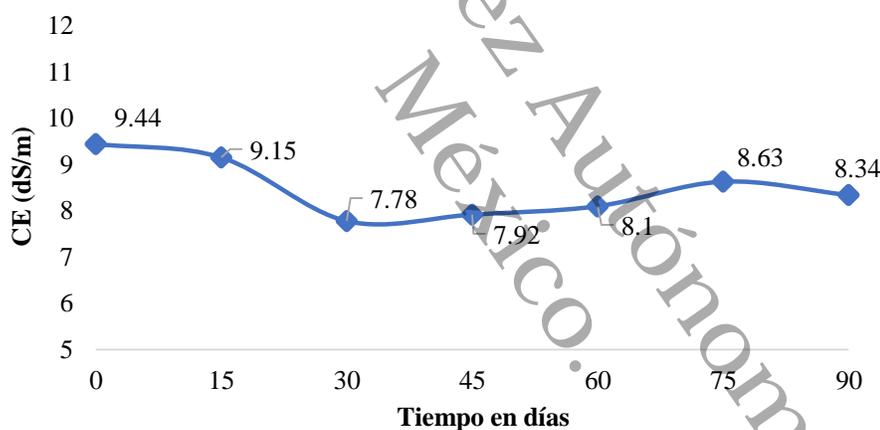
La fase termófila donde el pH alcanzó un incremento gradual de 8.4 durante este trabajo es similar a lo reportado por Makan, (2015) que obtuvieron valores de pH de 8.11 utilizando excreta de borrego. Sin embargo, Chen et al., (2019) obtuvieron en un compostaje con mezcla de residuos de jardín y excreta de borrego, valores de pH cercanos a la neutralidad de 7.54. Moreno Casco & Moral Herrero, (2008) menciona que los niveles de pH se estabilizan en valores cercanos a la neutralidad, esta fase se debe a los compuestos húmicos que tienen propiedades de tampón. Conforme pasa el tiempo, la degradación orgánica se inhibe a pH bajos.

VI.1.4 Conductividad Eléctrica

En la Figura 57, se muestra el comportamiento de la CE del proceso de pre-composteo a los 90 d. Se observa que en el inicio del proceso fue de 9.44 dS/m. Está se determina por la naturaleza y composición del material de partida, fundamentalmente por su concentración de sales y la presencia de iones amonio o nitrato (Sánchez-Monedero et al., 2001). Sin embargo, hubo un descenso a los 30 d de 7.78 dS/m, esto se entiende, que cuando ocurre a veces un descenso de la CE durante el proceso, puede deberse a fenómenos de lixiviación provocados por la humectación de la masa. Obteniendo al final del proceso 8.34 dS/m, que generalmente se debe a la mineralización de la materia orgánica (Moreno Casco & Moral Herrero, 2008).

Figura 57

Comportamiento de la CE a los 90 días



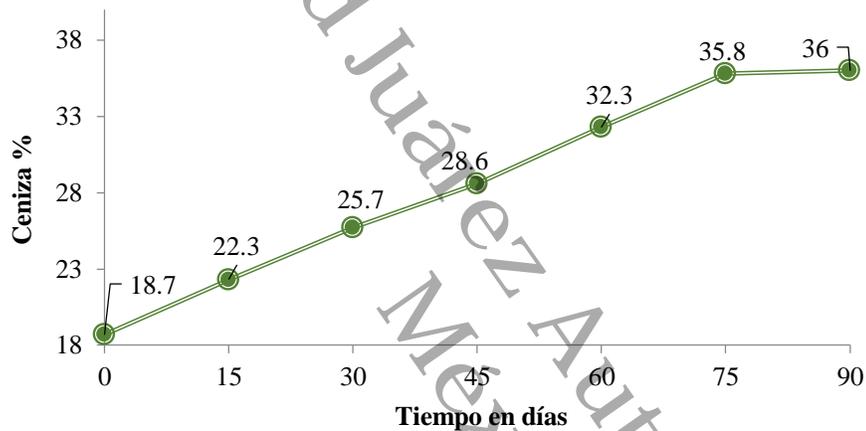
El valor de CE obtenido al final de esta esta investigación (8.34 dS/m) está por arriba a lo reportado por Chen et al., (2019) donde utilizaron una mezcla de residuos de jardín y excreta de borrego y Makan, (2015) usando como sustrato la excreta de borrego, obteniendo valores de CE de 1.87 y 3.84 mS/cm respectivamente.

VI.1.5 Cenizas

La Figura 58, muestra los resultados del comportamiento de ceniza en el tiempo. Se observa un inicio de 18.74 % y a partir de los 15 d hay una ligera tendencia de incremento obteniendo al final del proceso 36.03 % de cenizas. Esto puede atribuirse a una mayor mineralización debido a la actividad microbiana.

Figura 58

Comportamiento de Ceniza del pre- composteo

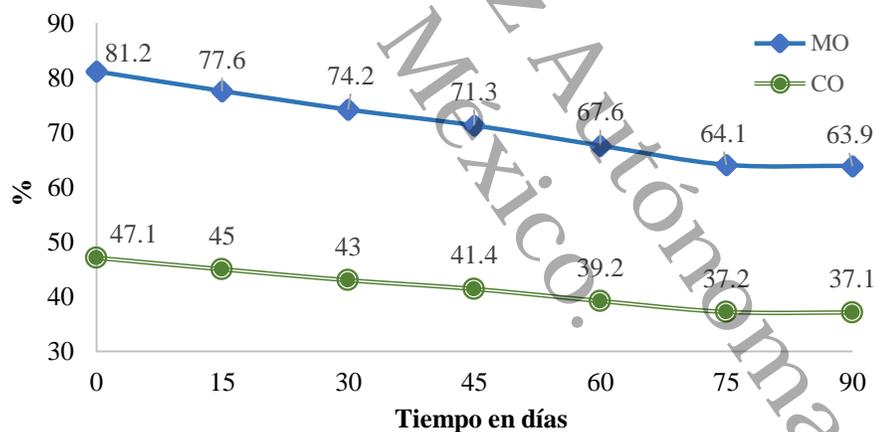


VI.1.6 Materia y Carbono orgánicos

En la figura 59, se muestra los % de MO y CO en el proceso de pre-composteo. El contenido de MO es fundamental pues se considera como el primer factor para determinar su calidad agronómica (Kiehl, 1985). Por lo consiguiente, en la figura se muestra un inicio de 81.2 % de MO y conforme pasa el tiempo fue en decremento, obteniendo al final del proceso 63.9 %. De igual manera, en la figura también se muestra el % de CO con un inicio de 47.1 % disminuyendo a través del tiempo y obteniendo al final a los 90 d 37.1 % de CO. La disminución de estos dos parámetros a través del tiempo se debe a la mineralización de la materia orgánica y a la consiguiente pérdida de carbono en forma de anhídrido carbónico (Moreno Casco & Moral Herrero, 2008)

Figura 59

Comportamiento de MO y CO a los 90 días



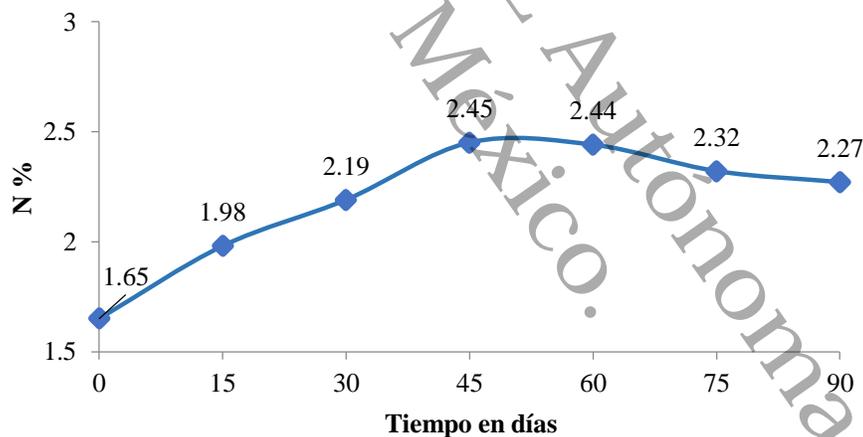
Los porcentajes de MO Y CO obtenidos en esta investigación, están por encima a lo reportado por Makan, (2015) de 26.09 y 13.04 respectivamente usando excreta de borrego. La velocidad de transformación de estos dos parámetros depende de su naturaleza física y química y de los microorganismos que intervienen en el proceso (Michel, Pecchia, Rigot, & Keener, 2004).

VI.1.7 Nitrógeno

En la Figura 60, se muestra el comportamiento de N del proceso de pre-composteo. El nitrógeno es un elemento esencial para la reproducción celular debido a la naturaleza proteica del protoplasma (Díaz, Madejón, Cabrera, Jiménez, & De Bertoldi, 2004). En la figura se observa que en el d 45 se obtiene el valor más alto de N con 2.45 %, por lo tanto, la concentración de N depende fundamentalmente de la naturaleza del material empleado y de la degradación de la materia orgánica, sin embargo, hubo una disminución en los días 75 y 90 con 2.32% y 2.27% respectivamente., Esto se debe a que la concentración de N sufre leves oscilaciones teniendo perdidas por volatilización de amoniaco durante el proceso (Ren, Schuchardt, Shen, Li, & Li, 2010).

Figura 60.

Comportamiento de N en el proceso de pre- compostaje



El porcentaje de N de este trabajo está por arriba a lo reportado por Chen et al., (2019) donde obtuvieron un inicio de 1.97 % de N teniendo una disminución a través del tiempo y obteniendo al final de su proceso 1.43 % de N utilizando una mezcla de residuos de jardín y excreta de borrego, esta disminución de N se debe a que en el proceso de compostaje normalmente aumenta la concentración de nutrientes debido a la disminución de la masa y la concentración de N es volatilizado, así, en los compost finales se obtienen valores similares a los iniciales (Moreno Casco & Moral Herrero, 2008). Sin embargo, Costa et al., (2015) reportaron porcentajes por arriba de lo obtenido en esta investigación (2.27 %), donde obtuvieron un inicio de 2.72 % y al final del proceso 3.44 % de N, En general, las pérdidas o el aumento del contenido de N en el proceso está

relacionado con las características de residuos utilizados (Velasco-Velasco, Parkinson, & Kuri, 2011), la frecuencia de giro y las condiciones ambientales (Parkinson, Gibbs, Burchett, & Misselbrook, 2004).

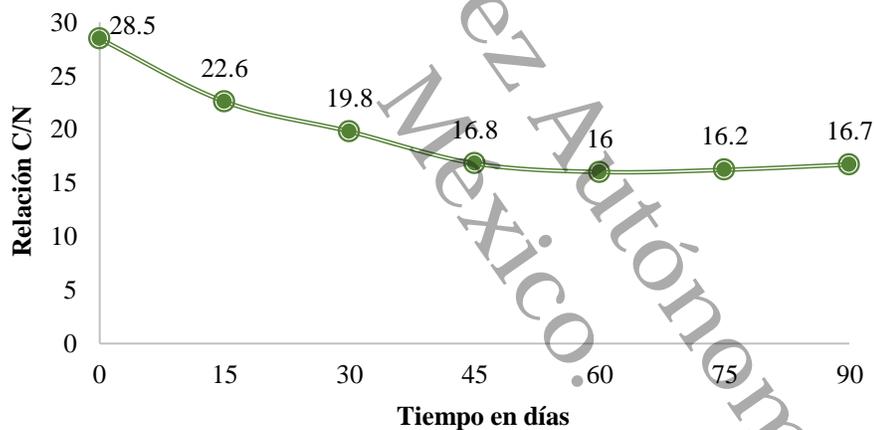
Universidad Juárez Autónoma de Tabasco.
México.

VI.1.8 Relación C/N

La figura 61, muestra el comportamiento respecto al tiempo de la relación C/N en el proceso. En la Figura se observa una relación C/N inicial de 28.5, ya que para un correcto compostaje los microorganismos utilizan 30 partes de C por cada una de N; por esta razón se considera que el intervalo de C/N óptimo para el proceso es de 25-35 (Jhorar, Phogat, & Malik, 1991). Sin embargo, conforme pasa el tiempo la relación C/N va descendiendo, pero a partir del día 45 se encuentra una estabilización de 16.8 manteniendo esta relación hasta los 90 días. Zhu, (2006) consideran que un compost es suficientemente estable o maduro cuando $C/N < 20$ aunque esta es una condición necesaria pero no suficiente.

Figura 61

Grafico del comportamiento de la Relación C/N a los 90 días del proceso



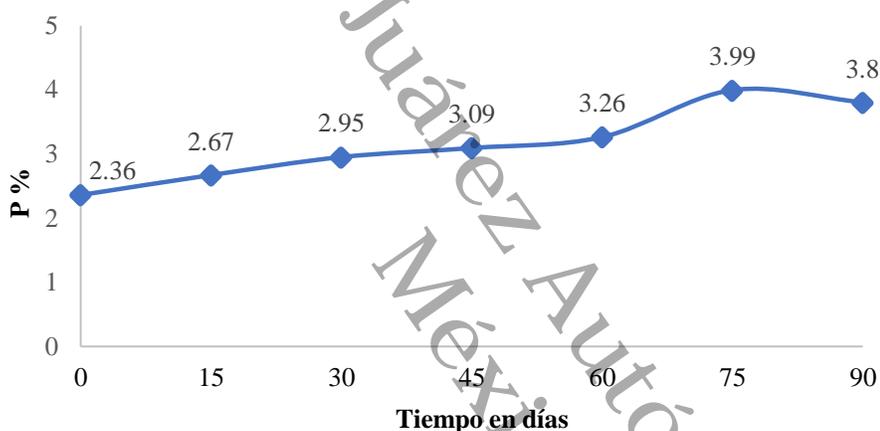
La relación C/N inicial de esta investigación está por arriba a lo reportado por Costa et al., (2015) de 21.91 y estaba en el rango de valores óptimos para compostaje (Adhikari, Barrington, Martinez, & King, 2008). Sin embargo, la relación C/N fue continuamente decreciendo y obtuvieron al final del experimento (día 52) 8.13 usando excreta de borrego.

VI.1.9 Fósforo

En la figura 62, se presentan los valores de la concentración de P disponible en el proceso de pre-composteo. Se observa que el porcentaje más alto de 3.99 % de P se presentó a los 75 d, esto se debe a la disponibilidad de los elementos nutritivos que posee el sustrato a compostear y aunque el P es un nutriente importante debe estar presente en condiciones mínimas para que el proceso se lleve a cabo de manera correcta (Moreno Casco & Moral Herrero, 2008).

Figura 62

Comportamiento del P en el pre-composteo



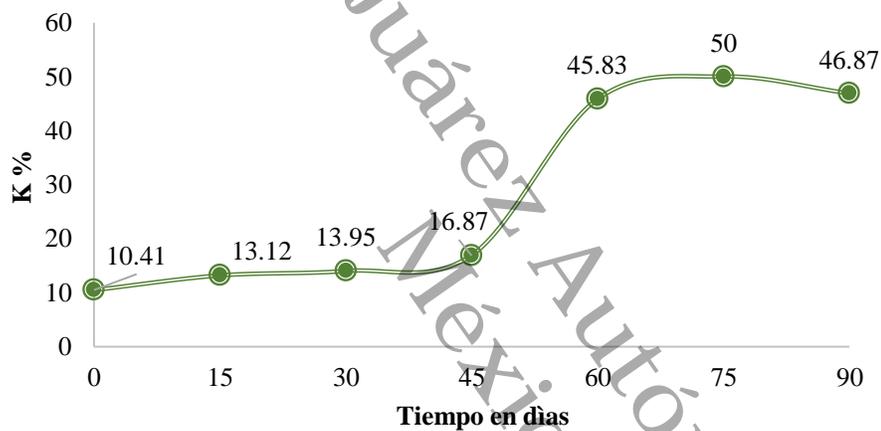
El % de P que se encuentra disponible en este trabajo es más alto comparado con los resultados de Makan, (2015) donde obtuvieron 0.91% usando excreta de borrego y Costa et al., (2015) donde reportaron 1.05 % usando excreta de borrego. Se comprueba que, en general, entre el inicio y el final del proceso se produce un aumento de las concentraciones de nutrientes, debido a la pérdida de la materia orgánica de la masa a compostar (Díaz et al., 2004).

VI.1.10 Potasio

La figura 63, muestran los resultados en porcentajes de K en los 90 d. Se observa un incremento considerable a partir de los 60 d de 45.83%, esto se debe que el K juega un papel vital en la síntesis de proteínas y de carbohidratos (FAO, 2013), sin embargo, la presencia de cantidades mayores a las estrictamente necesarias podría ser tóxica para los microorganismos implicados en el compostaje (Moreno Casco & Moral Herrero, 2008).

Figura 63

Grafica del comportamiento del K en el pre-composteo



Los valores descritos en esta investigación son mucho más altos a los reportados por Costa et al., (2015) y Makan, (2015) con porcentajes de 4.02 y 0.72 respectivamente, utilizando excreta de borrego. Moreno Casco & Moral Herrero, (2008) menciona que el P y el K son esenciales a nivel metabólico y la mayoría de estos elementos se encuentran en niveles tolerables en los sustratos.

Caracterización inicial de la paja

La Tabla 4, muestra las características iniciales de la paja. Se observa, que la muestra tiene un porcentaje promedio de cenizas de 5.94, de materia orgánica (MO) de 94.21, de carbono orgánico (CO) de 54.55, de nitrógeno (N) de 0.76 y una relación de C/N de 74.81.

Tabla 4

Características iniciales de la paja

Muestras	%				C/N
	Cenizas	MO	CO	N	
1	4.69	95.3	55.28	0.71	77.85
2	9.34	90.65	52.61	0.75	70.14
3	3.78	94.21	55.8	0.73	76.81
Promedio	5.94±2.98	94.05 ± 2.98	54.55 ± 1.72	0.76± 0.35	74.81± 4.10

La MO inicial de este trabajo está por debajo a lo reportado por Kulikowska & Sindrewicz, (2018) con un valor de 98.01 % en muestras de paja de cebada. El porcentaje de CO de 54.55 reportado en este trabajo, es más alto al 52.2 obtenido por Kulikowska & Sindrewicz, (2018), y al 34.03 de Cao, Gao, Li, & Tian, (2019) en muestras de paja. El resultado de N de 0.76 % obtenido en esta investigación es más bajo a lo reportado por Kulikowska & Sindrewicz, (2018) y Cao et al., (2019), con valores de 1.01 % y de 2.03 % respectivamente y similar a Wu et al., (2019) que reportan resultados de 0.65 % usando como sustrato la paja de arroz.

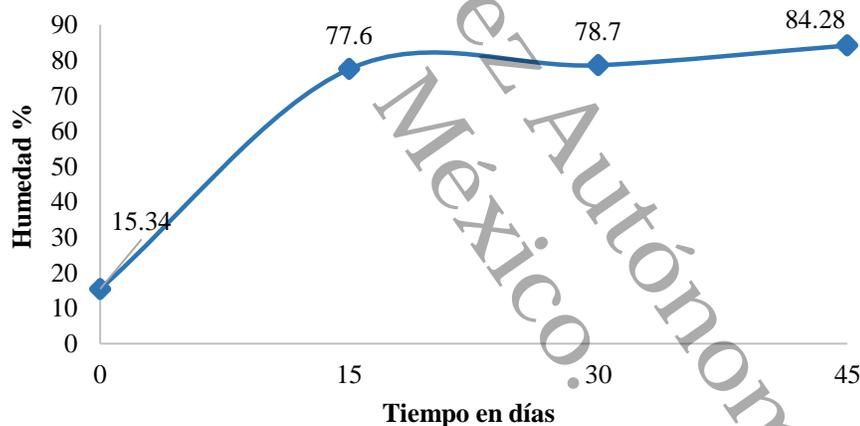
Parámetros de control del proceso de pre-composteo de la mezcla de excreta de borrego- paja en laboratorio

VI.1.11 Humedad

En la Figura 64, se muestra el porcentaje de la humedad para la mezcla de la excreta de borrego y paja durante el proceso del pre-composteo en un tiempo de 45 d. Se observa que la humedad a los 15 d fue de 77.6 %, con un incremento desde el inicio de 4.15 % por día. Sin embargo, los resultados de humedad se mantienen con un incremento de 0.22 % por d, desde el d 15 hasta el 45. Moreno Casco & Moral Herrero, (2008) mencionan que la presencia de humedad favorece la colonización microbiana para cada fase del proceso.

Figura 64

Humedad del proceso de pre- composteo a los 45 días



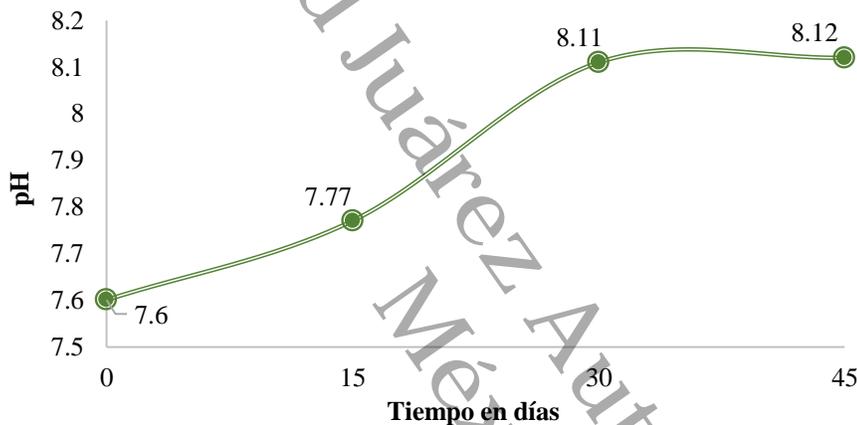
El porcentaje de humedad de esta investigación es mayor a lo reportado por Wu et al., (2019) que ajustaron el contenido de humedad en un rango óptimo de 60-65 % utilizando una mezcla de estiércol con paja de arroz.

VI.1.12 pH

La Figura 65, muestran los resultados del comportamiento de pH de la mezcla en el pre-composteo. Se observa un incremento a través del tiempo, obteniendo al final del proceso un valor de 8.12. regularmente los procesos con la aireación adecuada conducen a productos finales con un pH de 7 y 8 valores más bajos son indicativos de fenómenos anaeróbicos (Suler & Finstein, 1977).

Figura 65

Comportamiento del pH del pre-composteo



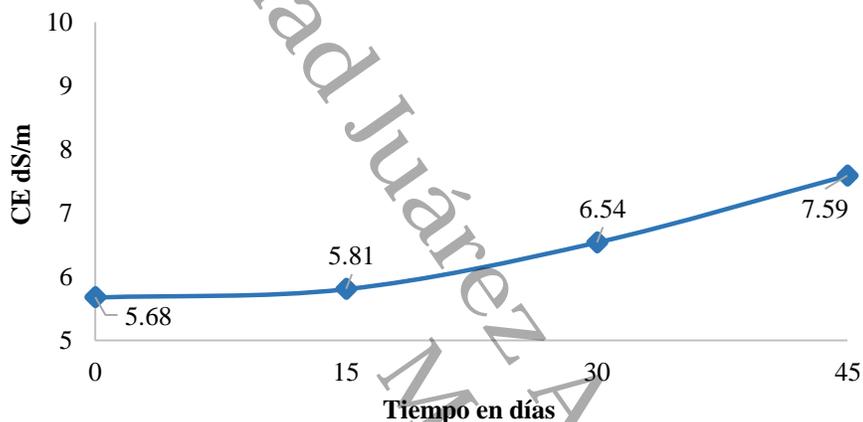
El nivel de pH final de este trabajo de 8.12 es más bajo a lo reportado por Wu et al., (2019) que obtuvieron valores de 9 y esto está asociado con la descomposición de ácidos orgánicos por microorganismos, así como por la liberación de NH_3 de la mineralización de nitrógeno orgánico (Liu, Xu, Li, & Xu, 2011).

VI.1.13 Conductividad Eléctrica

En la Figura 66, se muestra el comportamiento de la CE del proceso de pre-composteo en la mezcla a los 45 d. Se puede observar un aumento desde 5.68 dS/m al inicio hasta 7.56 dS/m al final del proceso.

Figura 66

Comportamiento de la CE a los 45 días



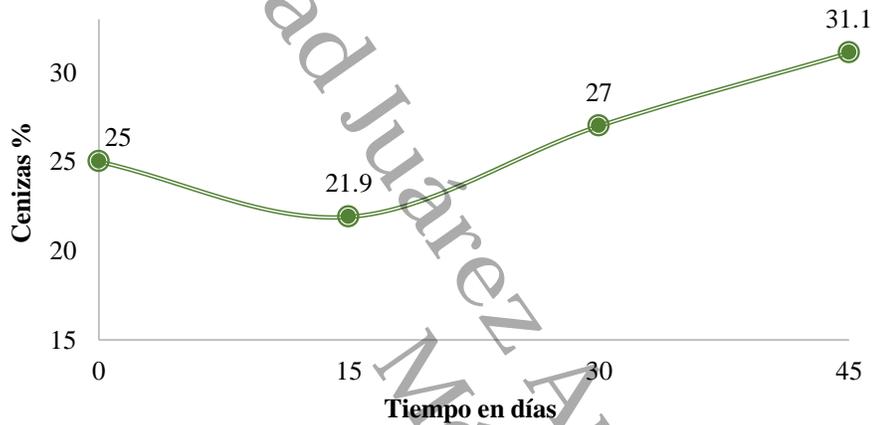
El valor de CE obtenido al final de esta esta investigación (7.59 dS/m) es más alto a 4 ms/cm reportado por Wu et al., (2019) que utilizaron una mezcla de residuos de estiércol de vaca con paja de arroz. Sánchez-Monedero et al., (2001), comenta que este aumento en el proceso de pre-compostaje comúnmente se debe a la mineralización de nutrientes y Chan, Selvam, & Wong, (2016), a la descomposición del complejo de la materia orgánica.

VI.1.14 Cenizas

La Figura 67, muestra los resultados del comportamiento de ceniza durante el proceso. Se observa un inicio de 25 %, y a los 15 días una disminución hasta 21.9 % para terminar al final del proceso con 31.1 % de cenizas.

Figura 67

Comportamiento de Ceniza del pre- composteo

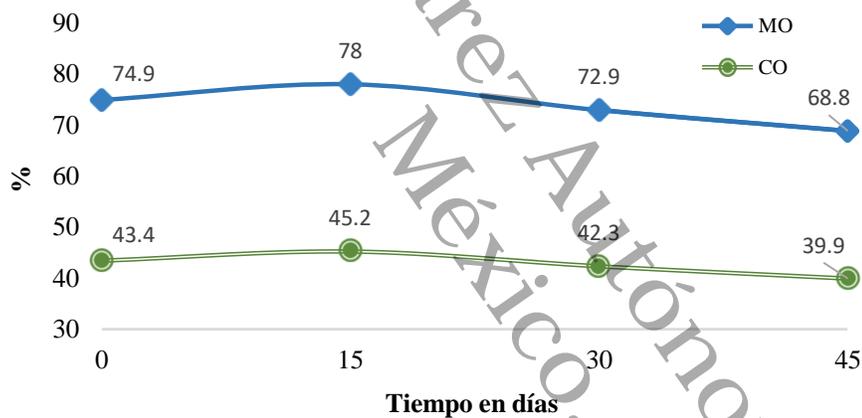


VI.1.15 *Materia y Carbono orgánicos*

En la Figura 68, se muestran los % de MO y CO en el proceso de pre-composteo. Se observan un inicio de 74.9 % de MO y conforme pasa el tiempo desciende al final del proceso con un valor de 68.8 %. De igual manera, en la Figura 68 se muestra el % de CO con un inicio de 43.4 % disminuyendo a través del tiempo y obteniendo a los 45 d 39.9 % de CO. Este descenso en los parámetros transcurre en dos etapas, primero en el rápido decrecimiento de los carbohidratos y segundo que las ligninas se van degradando lentamente y/o transformando en compuestos húmicos (Castaldi, Alberti, Merella, & Melis, 2005).

Figura 68

Comportamiento de MO y CO a los 45 días



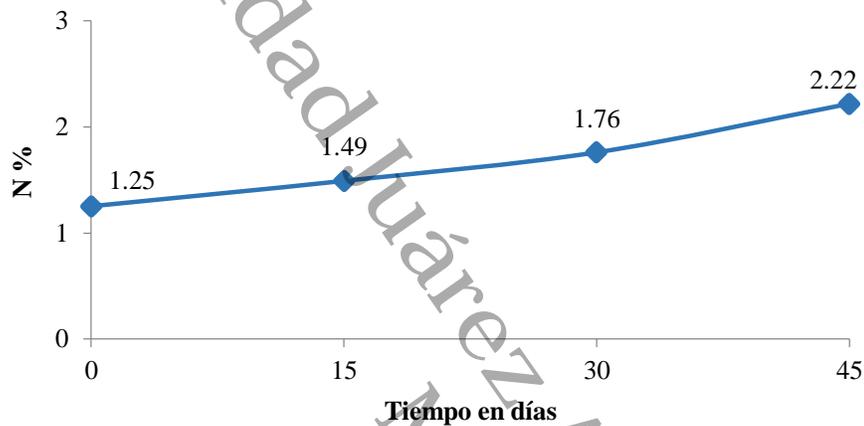
Los porcentajes de MO y CO obtenidos en esta investigación, son similares a lo reportado Wu et al., (2019) con valores de 60 y 38 % respectivamente. La velocidad de transformación de estos dos parámetros depende de su naturaleza física y química y de los microorganismos que intervienen en el proceso (Michel et al., 2004).

VI.1.16 Nitrógeno

En la Figura 69, se muestra el comportamiento del N en el proceso de pre-composteo. En la Figura siguiente, se observa un inicio de 1.25 % con un incremento al final de 2.22 % de N.

Figura 69

Comportamiento de N en el proceso de pre- compostaje



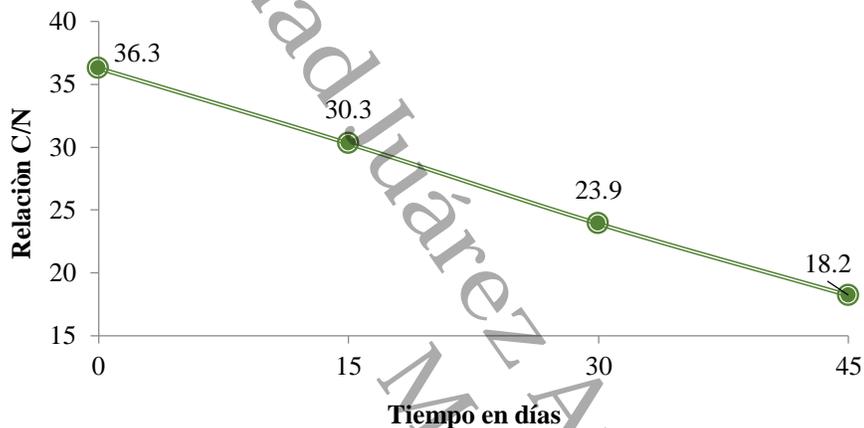
El porcentaje de N de este trabajo está por debajo a lo reportado por Wu et al., (2019) que obtuvieron un inicio de 1.90 % de N y un al final de su proceso 2.73 % de N. En general, las pérdidas o el aumento del contenido de N en el proceso están relacionados con las características de residuos utilizados (Velasco-Velasco et al., 2011).

VI.1.17 *Relación C/N*

En la Figura 70, se muestra el comportamiento de la relación C/N en el Pre-composteo de la mezcla con respecto al tiempo. Se observa un descenso en la relación C/N de 36.3 al inicio hasta 18.2 al final.

Figura 70

Comportamiento de la Relación C/N a los 45 días del proceso



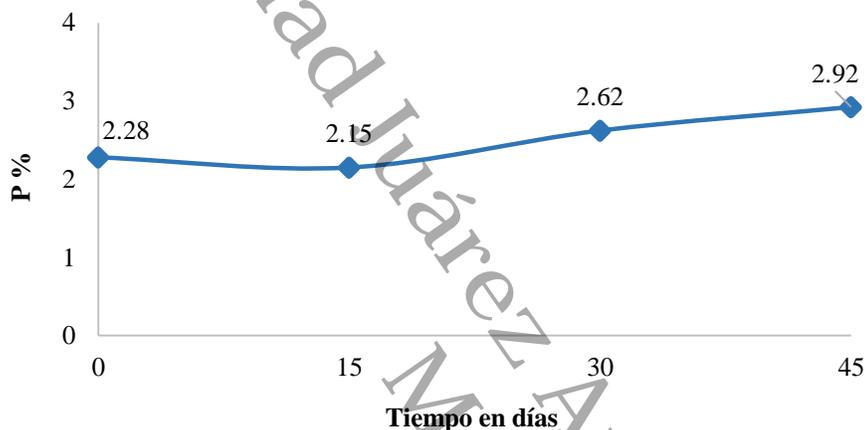
La relación C/N inicial de esta investigación es mayor a 21.91 y 8.13 reportado por Costa et al., (2015) al inicio y final respectivamente durante 52 días de proceso. Rangos de valores óptimos para compostaje según Adhikari et al., (2008).

VI.1.18 Fósforo

En la Figura 71, se muestran los valores de la concentración de P disponible en el proceso de pre-composteo. Se puede observar un aumento desde 2.28 % al inicio hasta 2.92 % al final del proceso.

Figura 71

Comportamiento del P en el pre-composteo



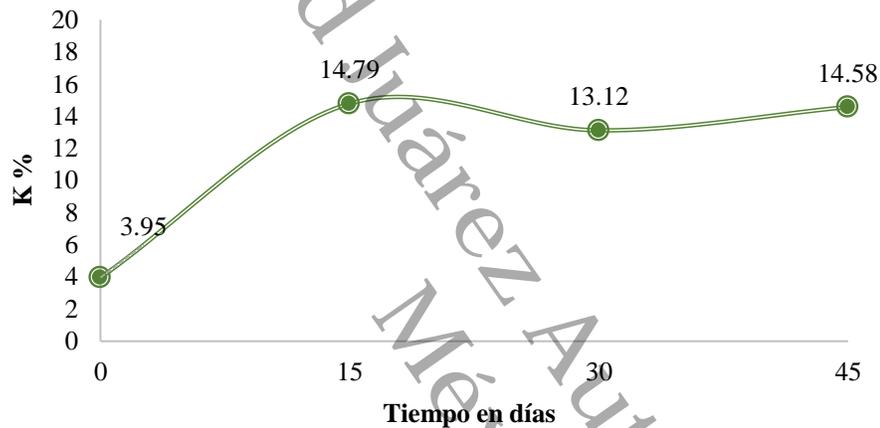
El valor de P obtenido al final de esta investigación (2.92 %) es más alto a 0.57 % reportado por Wu et al., (2019) que utilizaron una mezcla de residuos de estiércol de vaca y paja de arroz. Moreno Casco & Moral Herrero, (2008) mencionan que los cambios en el proceso se deben a la disponibilidad de los elementos nutritivos que posee el sustrato a compostear y aunque el P es un nutriente importante debe estar presente en condiciones mínimas para que el proceso se lleve a cabo de manera correcta.

VI.1.19 Potasio

La Figura 72, muestran los resultados en porcentajes de K en el proceso. Se observa que el porcentaje de K a los 15 d fue de 14.79, con un incremento desde el inicio de 0.72 % por día. sin embargo, los resultados se mantuvieron con un incremento por día de 0.007 % desde el d 15 hasta el final del proceso.

Figura 72

Comportamiento del K en el pre-composteo



El porcentaje final de K de este trabajo es mayor a 2.69 % y 6.75 % reportado por Wu et al., (2019) y Cao et al., (2019) respectivamente.

Caracterización inicial de la mezcla de excreta de borrego-paja-vegetal

En este apartado, sólo se presenta la caracterización inicial de la mezcla mencionada. No se presentan los valores del análisis de control en campo y laboratorio debido a que se realizó la prueba de viabilidad a la mezcla y se pudo observar que las lombrices se adaptaron y sobrevivieron.

La Tabla 5, muestra las características iniciales de la mezcla de excreta de borrego paja y vegetales. Se observa, que la muestra tiene un porcentaje promedio de materia orgánica (MO) de 63.99, de carbono orgánico (CO) de 37.12, de nitrógeno (N) de 2.71, un (pH) de 7.94, una (CE) de 7.92 y una relación de C/N de 74.81.

Tabla 5

Características iniciales de la mezcla

Parámetro	Unidad	Muestras			
		1	2	3	Promedio
Humedad	%	45.5	44.9	45.7	45.4 ± 0.42
pH		7.9	7.9	7.9	7.9 ± 0.04
CE	dS/m	7.9	7.9	7.9	7.9 ± 0.02
Cenizas	%	35.6	36.0	36.2	36.0 ± 0.30
MO	%	64.3	63.9	63.7	63.9 ± 0.24
CO	%	37.3	37.1	36.9	37.1 ± 0.17
NT	%	2.7	2.7	2.6	2.7 ± 0.03
C/N		13.6	13.5	13.8	13.6 ± 0.13

Calidad y tipo de la composta de acuerdo a la NMX-AA-180-SCFI-2018 (Secretaría de Comercio y Fomento Industrial, 2018)

La Tabla 6, establece las especificaciones de los parámetros que debe cumplir una composta terminada.

Tabla 6

Especificaciones para la composta terminada con base en la NMX AA 180 SCFI 2018

Parámetro	Rango
Humedad	25% - 45 % en peso
pH	6.7 - 8.5
Conductividad eléctrica	0.5 dS/m - 12 dS/m
Materia orgánica	≥ 20 % MS
Carbono orgánico total	Mínimo 10 %
Nitrógeno total	1 % - 3 % MS
Relación C/N	15 - 25
Granulometría	≤ 30 mm
Fitotoxicidad (Índice de Germinación, IG)	IG ≥ 80 %
Temperatura	25 °C – 50 °C
Color	Marrón o pardo oscuro, Similar al café o chocolate oscuro
Olor	Agradable a tierra húmeda de bosque (monte). Quedan excluidos: amoniacal, pudrición, H ₂ S (Huevo podrido), ácidos grasos volátiles (Vomito) y excremento
Adsorción de humedad	75 % - 200 % Preferencial ≥ 100 %

La Tabla 7, muestran los valores finales de los parámetros para cada pre-composteo anteriormente descrito. Es importante aclarar que se usa el termino de pre-composteo porque es previo al proceso de vermicompostaje. Sin embargo, el tratamiento se ha realizado para que sea considerada como una composta normal.

Tabla 7

Valores finales de las pre-compostas

Parámetro	EB	EBP	EBPV
Humedad (%)	68.08	84.28	45.42
pH	8.12	8.12	7.94
Conductividad eléctrica (dS/m)	8.34	7.59	7.92
Materia orgánica (%)	63.9	68.8	63.99
Carbono orgánico total (%)	37.1	39.9	37.12
Nitrógeno total (%)	2.27	2.22	2.71
Relación C/N (%)	16.7	18.2	13.67
Granulometría	-	-	-
Fitotoxicidad (Índice de Germinación, IG)	-	-	-
Temperatura (°C)	28	28	28
Color	Pardo oscuro	Marrón	Pardo oscuro
Olor	Tierra húmeda	Monte	Tierra húmeda
Adsorción de humedad (%)	-	-	-

La Tabla 8, muestran las especificaciones donde se establecen tres tipos de compostas (Tipo I, II, y Tipo III) y se definen con base a los valores de los parámetros presentados en la Tabla 7.

Tabla 8

Especificaciones por tipo de composta terminada

Parámetros	Valoración de Tipo de composta		
	I	II	III
Humedad (%)	25 % - 35 %		< 35 % - 45 %
pH	6.7 – 8.5		
Conductividad eléctrica (dS/m)	0.5 dS/m - ≤ 4 dS/m	4 dS/m - ≤ 8 dS/m	8 dS/m ≤ - 12 dS/m
Materia orgánica (%)	≥ 50 %	30 % - 50 %	20 % - 30 %
Carbono orgánico total (%)	Mínimo 10 % debe indicarse en la etiqueta el resultado del último análisis realizado		
Nitrógeno total (%)	3 %	2 %	1 %
Relación C/N (%)	15 - ≤ 20		20 ≤ 25
Macronutrientes primarios Fósforo (P), Potasio (K) en (%MS)	De 1 % a 3% en cualquiera de ellos y su suma ≤ 7%: debe portar la leyenda “Composta – mejorador de suelo orgánico” si cualquiera excede 3 % o la suma es mayor a 7% debe portar la leyenda “Fertilizante orgánico” y se debe indicar las cantidades para cada macronutriente.		
Granulometría	≤ 10 mm		10 mm ≤ 30 mm
Fitotoxicidad (Índice de Germinación, IG)	IG > 90%	IG 85% a 90%	IG 80% a 85%
Temperatura medida a una profundidad ≥ 50 cm	25 % °C – 35 °C		36 °C – 50 °C

La Tabla 9, muestra los resultados del cotejo de los valores del pre-composteo de excreta de borrego con los valores establecidos en la norma antes mencionada en la Tabla 8. El signo ✓ indica los valores que cumple la composta de excreta de borrego. Se observan valores que cumplen rangos de los tres tipos de composta de la Norma. Sin embargo, la mayoría de los parámetros están establecidos en la composta de tipo III.

Tabla 9

Valoración de la pre-composta de excreta de borrego

Parámetros	Valores	Valoración de Tipo de composta		
		I	II	III
Humedad (%)	68.08			✓
pH	8.12			✓
Conductividad eléctrica (dS/m)	8.34			✓
Materia orgánica (%)	63.9	✓		
Carbono orgánico total (%)	37.1			✓
Nitrógeno total (%)	2.27	✓		
Relación C/N (%)	16.7	✓		
Macronutrientes primarios Fósforo (P), Potasio (K) en (%MS)	3.8 46.87		"Fertilizante orgánico"	
Granulometría			-	-
Fitotoxicidad (Índice de Germinación, IG)		-	-	-
Temperatura medida a una profundidad \geq 50 cm	28 °C		✓	

La Tabla 10, muestra los resultados del cotejo de los valores de mezcla de excreta de borrego - paja con las especificaciones del tipo de composta. El signo ✓ indica los valores que cumple la composta antes mencionada. Se observan valores que cumplen rangos de los tres tipos de composta de la Norma. Sin embargo, la mayoría de los parámetros están establecidos en la composta de tipo II y III.

Tabla 10

Valoración de la pre-composta de excreta de borrego – paja

Parámetros	Valores	Valoración de Tipo de composta		
		I	II	III
Humedad (%)	84.28			✓
pH	8.12			✓
Conductividad eléctrica (dS/m)	7.59		✓	
Materia orgánica (%)	68.8	✓		
Carbono orgánico total (%)	39.9			✓
Nitrógeno total (%)	2.22	✓		
Relación C/N (%)	18.2	✓		
Macronutrientes primarios Fósforo (P), Potasio (K) en (%MS)	2.92 14.58		“Fertilizante orgánico”	
Granulometría			-	-
Fitotoxicidad (Índice de Germinación, IG)		-	-	-
Temperatura medida a una profundidad \geq 50 cm	28 °C		✓	

La Tabla 11, muestra los resultados del cotejo de los valores de mezcla de excreta de borrego - paja con las especificaciones del tipo de composta. El signo ✓ indica los valores que cumple la composta antes mencionada. Se observan valores que cumplen rangos de los tres tipos de composta de la Norma. Sin embargo, la mayoría de los parámetros están establecidos en la composta de tipo II y III.

Tabla 11

Valoración de la pre-composta de excreta de borrego – paja

Parámetros	Valores	Valoración de Tipo de composta		
		I	II	III
Humedad (%)	84.28			✓
pH	8.12			✓
Conductividad eléctrica (dS/m)	7.59		✓	
Materia orgánica (%)	68.8	✓		
Carbono orgánico total (%)	39.9			✓
Nitrógeno total (%)	2.22	✓		
Relación C/N (%)	18.2	✓		
Macronutrientes primarios Fósforo (P), Potasio (K) en (%MS)	2.92 14.58		"Fertilizante orgánico"	
Granulometría			-	-
Fitotoxicidad (Índice de Germinación, IG)		-	-	-
Temperatura medida a una profundidad \geq 50 cm	28 °C		✓	

La Tabla 12, muestran los resultados del cotejo de los valores del pre-composteo de la mezcla excreta de borrego-paja-vegetal con las especificaciones del tipo de composta. Se observa que los resultados de la mezcla corresponden a la composta tipo III, sin embargo, también se observa que el valor de la conductividad eléctrica está dentro de los valores de la composta tipo II.

Tabla 12

Valoración de la pre-composta de excreta de borrego - paja - vegetal

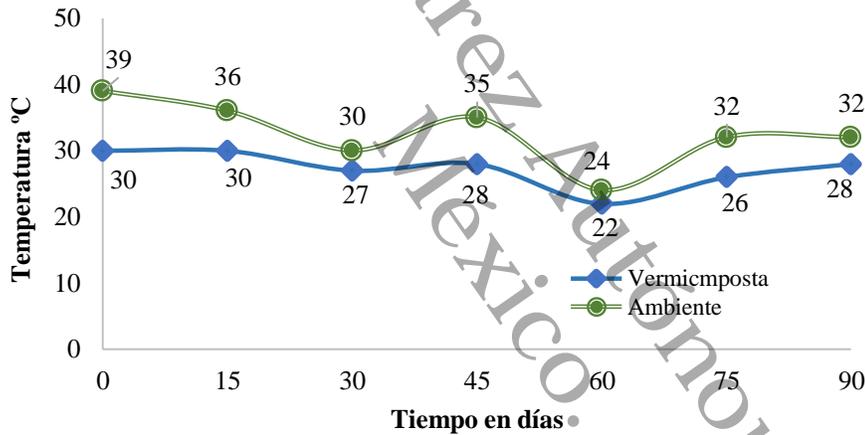
Parámetros	Valores	Valoración de Tipo de composta		
		I	II	III
Humedad (%)	45.42			✓
pH	7.94			✓
Conductividad eléctrica (dS/m)	7.92		✓	
Materia orgánica (%)	63.99	✓		
Carbono orgánico total (%)	37.12			✓
Nitrógeno total (%)	2.71	✓		
Relación C/N (%)	13.67	✓		
Macronutrientes primarios Fósforo (P), Potasio (K) en (%MS)	3.14 21.87		"Fertilizante orgánico"	
Granulometría		-	-	-
Fitotoxicidad (Índice de Germinación, IG)			-	-
Temperatura medida a una profundidad ≥ 50 cm			✓	

Parámetros de control del proceso de vermicompostaje en campo

VI.1.20 Temperatura

La Figura 73, muestra el comportamiento de la temperatura ambiente (Línea verde) y la temperatura promedio de cada cunero utilizado en el proceso de vermicompostaje (Línea Azul). La temperatura máxima de vermicompostaje alcanzada en los primeros 15 días fue de 30 °C. Conforme pasa el tiempo y debido al agotamiento de los sustratos que conformaban las mezclas en cada cunero (compuestos fácilmente biodegradables) se observa que la temperatura fue disminuyendo, hasta alcanzar una temperatura promedio estable de 28 °C a los 90 días.

Figura 73 Comportamiento de la temperatura en el proceso de vermicompostaje



Los resultados obtenidos en esta investigación son similares a lo reportado por Khatua et al., (2018) que obtuvieron en todo su proceso un rango de temperatura entre 24 - 28 °C, en mezclas de excreta de borrego y tallos de banana. Asimismo, Gong et al., (2018) reportaron valores de temperatura de 24 - 29 °C en mezclas de residuos orgánicos y hojas secas. Domínguez, (2004), menciona que los sistemas de vermicompostaje deben llevarse a cabo a temperaturas comprendidas entre los 10 - 35 °C, sin embargo, la temperatura óptima de desarrollo de la lombriz *Eisenia foetida* es de 25 °C.

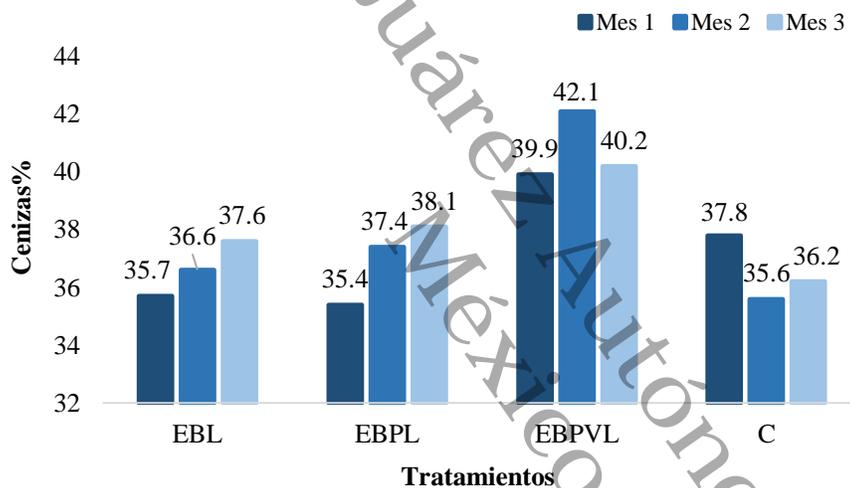
Parámetros de control del proceso de pre-composteo en laboratorio

VI.1.21 Cenizas

La Figura 74, muestra los resultados de ceniza durante el proceso vermicompostaje en un tiempo de tres meses. Se observa que en el primer mes los tratamientos EBPVL y el C tuvieron los porcentajes de cenizas más altos de 39.9 y 37.8 respectivamente. Al final, los resultados de ceniza más alto fueron para EBPVL con 42.1 % y 40.2 % en los meses dos y tres respectivamente.

Figura 74

Comportamiento de Ceniza en el proceso de cada tratamiento



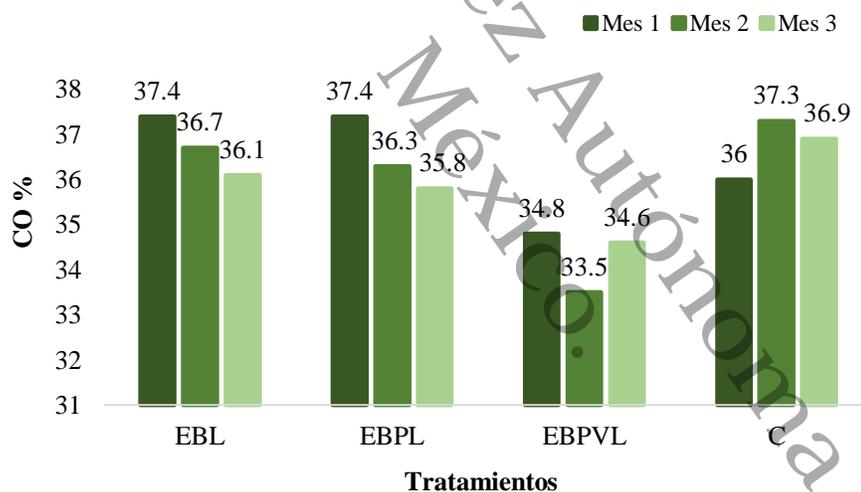
El porcentaje de ceniza obtenido en esta investigación en el tratamiento EBPVL al final del proceso de 40.2, es similar a lo reportado por Cestonaro et al., (2017) con un porcentaje de 41.2 en mezclas de lechos de borrego a base de cáscaras de arroz con estiércol de ganado a una proporción de 50:50. De igual forma los tratamientos EBL, EBPL y C con porcentajes de 37.6, 38.1 y 36.2 respectivamente son similares al porcentaje de 39.4 mostrado en el mismo estudio, pero en una mezcla con una proporción de 25:75.

VI.1.22 *Carbono orgánico*

En la Figura 75, se muestran los porcentajes de CO para cada mes. Se observa que los porcentajes más alto de CO fueron de 37.4 y 37.3 para los tratamientos EBL, EBPL y C durante los meses uno y dos respectivamente. Es importante notar que hubo un tratamiento con valores menores a 35 % durante los tres meses (EBPVL). Romero, Salido, Cifuentes, Fernández, & Nogales, (2006) menciona que el residuo se mineraliza, por lo que los valores de CO disminuyen apreciablemente. El grado de disminución es variable en un rango entre un 10 % - 55 %, dependiendo fundamentalmente de la naturaleza del residuo orgánico, su biodegradabilidad, densidad de población de las lombrices y duración del proceso.

Figura 75

Comportamiento del CO en el proceso de vermicompostaje



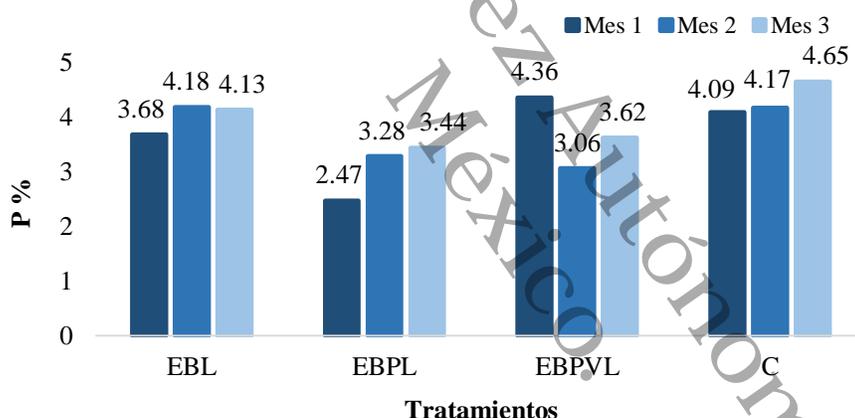
El porcentaje final de CO de todos los tratamientos de este trabajo es menor a 40.9 % reportado por Sharma & Garg, (2018) en residuos de estiércol de vaca y paja de arroz en proporciones de 50:50. Cestonaro et al., (2017) obtuvieron porcentajes de 32 % en mezclas de lechos de borrego a base de cáscaras de arroz con estiércol de ganado a una proporción de 75:25 respectivamente valor menor a lo obtenido en esta investigación.

VI.1.23 Fósforo

La Figura 76, muestra el porcentaje de P de cada tratamiento para cada mes. Se observa, que los porcentajes más alto de P en el primer mes fueron de 4.36 y 4.09 en los tratamientos EBPVL y C respectivamente. Sin embargo, se puede observar que los porcentajes aumentaron al final de proceso en el tratamiento C con 4.65 %, seguido del tratamiento EBL con 4.13 % y EBPVL con 3.62 %. El tratamiento EBPL, se mantuvo con valores menores a 4 % durante los tres meses. Las concentraciones de nutrientes de los residuos orgánicos tienden a aumentar durante el proceso de vermicompostaje, estos son más apreciables para el P, debido a la mineralización de la materia orgánica contenida en los residuos orgánicos (Atiyeh, Domínguez, Subler, & Edwards, 2000).

Figura 76

Comportamiento de P en el proceso de vermicompostaje



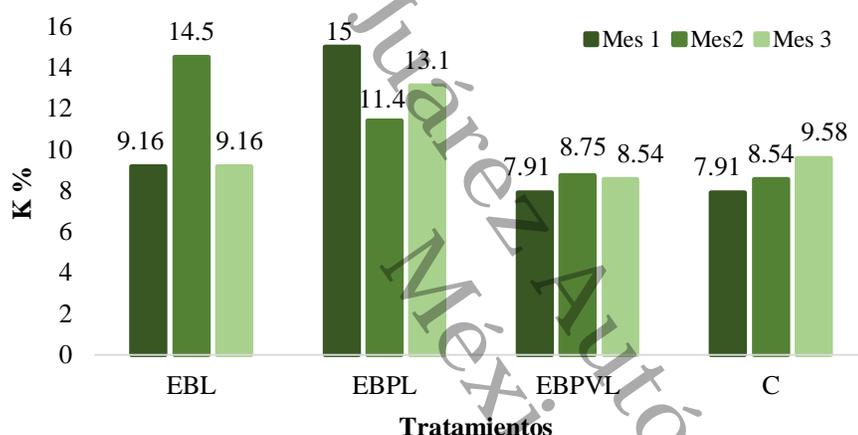
Los resultados de esta investigación muestran valores mayores a 0.55 % de P reportado por Khatua et al., (2018) que utilizaron mezclas de residuos de tallos de plátano y estiércol de vaca y a lo reportado por Devi & Khwairakpam, (2020) que obtuvieron valores de 1.07 % de P en mezclas de excreta de vaca y hojas secas en proporciones de 50:50 respectivamente. El tratamiento EBPL al inicio del proceso de 2.47 % es similar a lo reportado por Karmegam, Vijayan, Prakash, & John Paul, (2019) con un porcentaje de 2.43 en mezclas de excreta de ovino, papel y hojas secas a una proporción de 50:25:25 respectivamente. Baggie, Rowell, Robinson, & Warren, (2005) mencionan, que el aumento del P se atribuye a la acción directa de las enzimas intestinales de la lombriz *Eisenia foetida* y a la mineralización de la materia orgánica en el proceso.

VI.1.24 **Potasio**

En la Figura 77, se muestran los porcentajes de K por mes. Se observa que los porcentajes más altos de K fueron de 15.0 y 14.5 en los tratamientos EBPL y EBL durante los meses uno y dos respectivamente. El tratamiento EBPVL presentó valores menores a 9 % en todos los meses. La mineralización libera más nutrientes disponibles para las plantas en el vermicompostaje (Yadav & Garg, 2019).

Figura 77

Comportamiento del K en el proceso de vermicompostaje



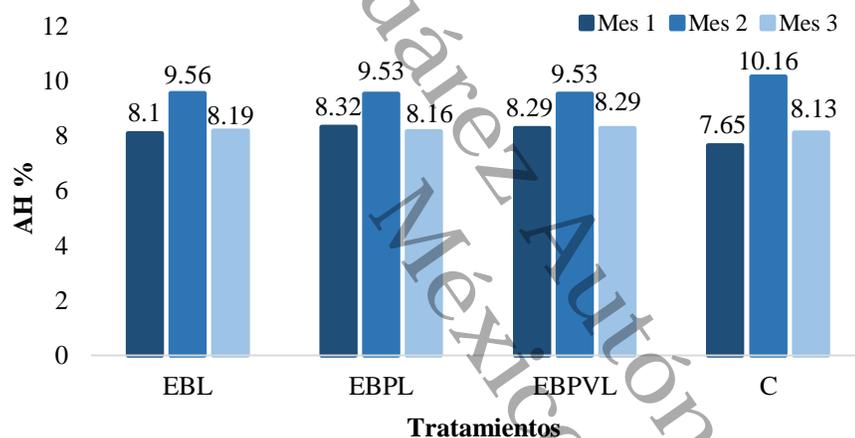
Los porcentajes finales de este trabajo presentan valores mayores a lo reportado por Devi & Khwairakpam, (2020) y Karmegam et al., (2019) con valores de 3.88 % y 2.74 % en mezclas de excreta de vaca y hojas secas en proporciones de 50:50 y de excreta de ovino, papel y hojas secas en proporción de 50:25:25 respectivamente. Garg & Gupta, (2011) mencionan, que el uso de excretas de animales en el proceso de vermicompostaje permite la obtención de concentraciones mayores de N, P y K y una estabilización óptima del residuo.

VI.1.25 Ácidos húmicos

La Figura 78, muestra el porcentaje de la concentración de CO en AH en el proceso de vermicompostaje durante tres meses. Se observa, que los porcentajes que se muestran estables en la concentración CO en AH se obtuvieron en el segundo mes en los tratamientos EBL, EBPL y EBPVL con porcentajes de 9.56, 9.53 y 9.53 respectivamente. Sin embargo, el tratamiento C con 10.16 % fue el más alto. El tratamiento EBPVL con 8.29 % fue el que obtuvo una mayor concentración al final del proceso en comparación a los demás tratamientos.

Figura 78

Comportamiento de la concentración de CO en AH en el proceso de vermicompostaje



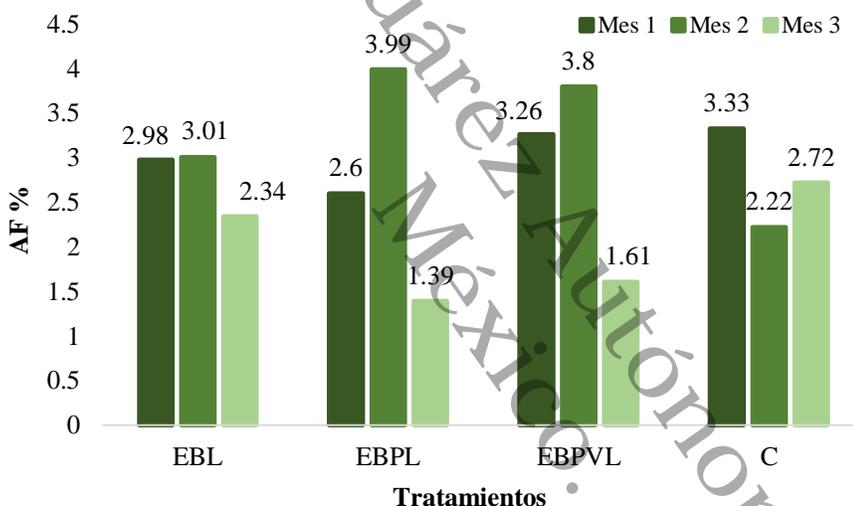
Los resultados de esta investigación muestran valores menores a 13.01 % y 10.54 % de CO en AH reportado por Hanc, Enev, Hrebeckova, Klucakova, & Pekar, (2019) y Gong et al., (2018) en residuos de excreta de caballo y en mezclas de residuos orgánicos y hojas secas respectivamente.

VI.1.26 Ácidos fúlvicos

En la Figura 79, se muestra el porcentaje de la concentración de CO en AF en el proceso de vermicompostaje en un tiempo de tres meses. Se observa que la concentración más alta en todo el proceso se obtuvo en el tratamiento EBPL con 3.99 % en el segundo mes. Al final los tratamientos con valores altos fueron el C y EBL con 2.72 % y 2.34 % respectivamente. Los tratamientos EBPVL y EBPL obtuvieron los porcentajes con valores bajos de 1.61 y 1.39 respectivamente.

Figura 79

Comportamiento de la concentración de CO en AF en el proceso de vermicompostaje



Los resultados del porcentaje de la concentración CO en AF de esta investigación en los tratamientos EBL y C al final del proceso con porcentajes de 2.34 y 2.72 respectivamente, son similares a lo reportado por Cestonaro et al., (2017) con un porcentaje de 2.40 en mezclas de lechos de borrego a base de cáscaras de arroz con estiércol de ganado a una proporción de 50:50.

Análisis estadístico

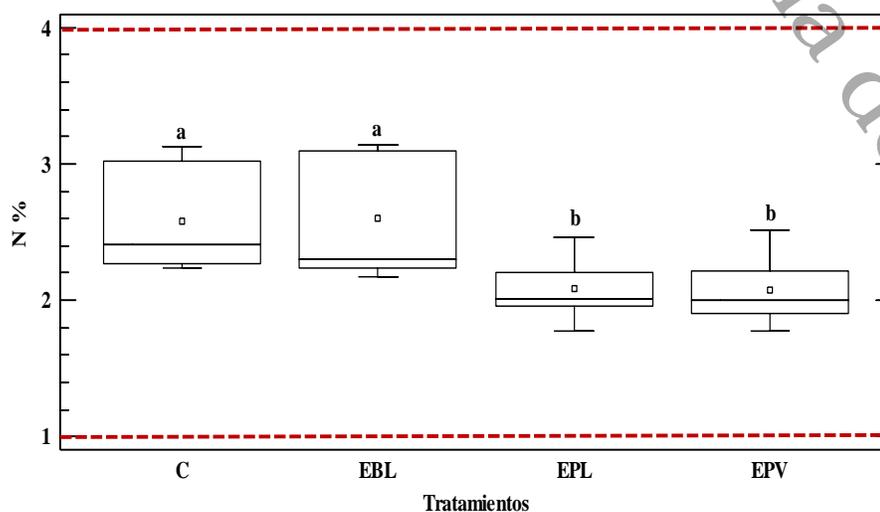
A continuación, se expondrán el análisis estadístico de los parámetros que son referenciados en la NMX-AA-180-SCFI-2018 (Secretaría de Comercio y Fomento Industrial, 2018) para cada tratamiento y que establecen la diferencia en la calidad entre ellos.

VI.1.27 Nitrógeno total

Los datos de NT no presentaron un comportamiento normal, por lo tanto, en la Figura 80 se muestra el análisis de la prueba no paramétrica de KK de una vía para NT. Se observa que existen diferencias altamente significativas ($P < 0.001$) entre los promedios de la variable NT de los diferentes tratamientos evaluados (C, EBL, EBPL, EBPVL) con un 95% de confianza. El contraste múltiple de medianas de Mann Whitney, indica con letras diferentes diferencias significativas entre tratamientos ($P < 0.05$). Los tratamientos que mostraron los porcentajes medianos con valores altos de NT fueron el C y EBL con 2.41 (QInf: 2.24 y QSup: 3.1) y 2.30 (QInf: 2.17 y QSup: 3.13) respectivamente. Los porcentajes medianos con valores menores de NT se observaron en los tratamientos EBPL y EBPVL con 2.00 (QInf: 1.78 y QSup: 2.45) y 2.01 (QInf: 1.77 y QSup: 2.50) respectivamente. La NMX-AA-180-SCFI-2018 establece un porcentaje con especificaciones de calidad desde 1 – 4. Los porcentajes obtenidos en esta investigación en cada uno de los tratamientos cumplen con este parámetro de calidad.

Figura 80

Análisis estadístico del NT en los tratamientos



Los resultados de esta investigación muestran valores por debajo a 2.67 % de NT reportado por Devi & Khwairakpam, (2020) en mezclas de excreta de vaca y hojas secas en proporciones de 50:50 respectivamente. El tratamiento EBL con un porcentaje final de 2.30 es similar a lo reportado por Hanc et al., (2019) con un porcentaje de 2.29 en residuos de excreta de caballo. Ananthavalli, Ramadas, John Paul, Karunai Selvi, & Karmegam, (2019) reporta 1.60 % de NT en mezclas de algas con excretas de vaca a una proporción 50:50 respectivamente, valor por debajo a lo obtenido en este trabajo. Hobson, Frederickson, & Dise, (2005) mencionan que la disminución del contenido de nitrógeno después del vermicompostaje se debe a la tasa de crecimiento de la lombriz *Eisenia foetida* que consume una mayor cantidad de nitrógeno y un proceso de desnitrificación más rápido en el sistema digestivo de la lombriz.

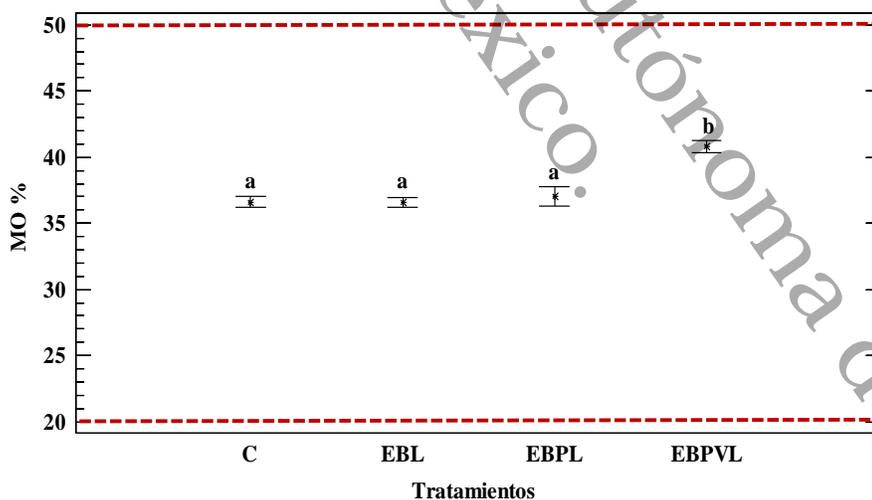
Universidad Juárez Autónoma de Tabasco.
México.

VI.1.28 *Materia orgánica*

La Figura 81, muestra el análisis de varianza de una vía para los porcentajes de MO. Se observa que existen diferencias altamente significativas ($P < 0.001$) entre los promedios de la variable MO de los diferentes tratamientos evaluados (C, EBL, EBPL, EBPVL) con un 95% de confianza. El contraste múltiple de medias de Tukey, indica con letras diferentes diferencias significativas entre tratamientos ($P < 0.05$). El tratamiento que muestra los valores promedios más alto de MO fue EBPVL con 40.7 ± 1.38 , seguido del tratamiento EBPL con 37.02 ± 2.18 . y al final los tratamientos C y EBL con 36.60 ± 1.18 y 36.54 ± 1.11 respectivamente. La NMX-AA-180-SCFI-2018 establece especificaciones de calidad para la MO un rango de 20 – 50 %. Todos los tratamientos de esta investigación cumplen con este parámetro. Benitez, Sainz, & Nogales, (2005) comenta que mantener estabilizada la materia orgánica permite una mayor eficiencia en la construcción de complejos capaces de resistir la desnaturalización de las enzimas.

Figura 81

Análisis estadístico de MO en los tratamientos



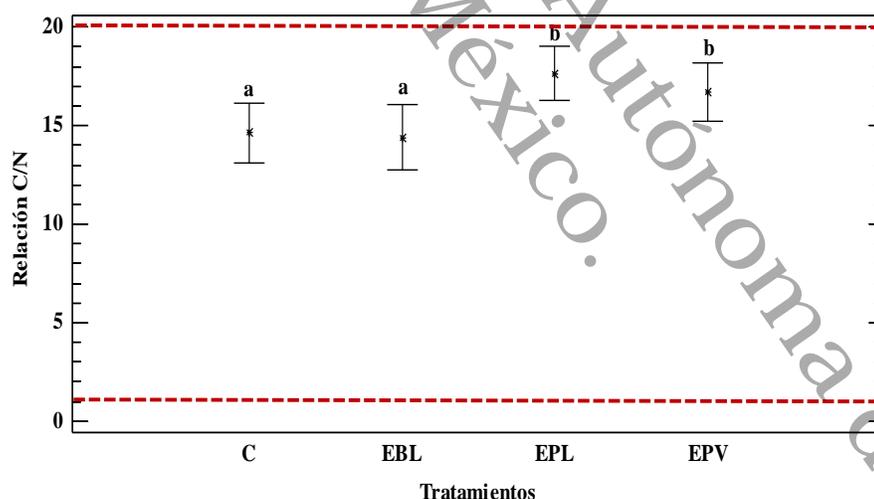
Los porcentajes finales de MO de todos tratamientos de esta investigación presentan valores menores al 70 % de MO reportado por Li et al., (2020) en mezclas de residuos de frutas y verduras. Karmegam et al., (2019) reportan resultados de 51.6 % en mezclas de excreta de ovino, papel y hojas secas a una proporción de 50:25:25 respectivamente, valor por debajo a los resultados obtenidos en los tratamientos de este trabajo.

VI.1.29 Relación C/N

La Figura 82, muestran el análisis de varianza de una vía para la relación C/N. Se observa que existen diferencias altamente significativas ($P < 0.001$) entre los promedios de la variable relación C/N de los diferentes tratamientos evaluados (C, EBL, EBPL, EBPVL) con un 95% de confianza. El contraste múltiple de medias de Tukey, indica con letras diferentes diferencias significativas entre tratamientos ($P < 0.05$). Los tratamientos que muestran los valores promedios más altos de relación C/N fueron EBPL y EBPVL con 17.65 ± 1.80 y 16.70 ± 1.89 respectivamente. Los valores más bajo de relación C/N se observaron en los tratamientos EBL y C con 14.41 ± 2.14 y 14.64 ± 1.98 respectivamente. La NMX-AA-180-SCFI-2018 establece especificaciones de calidad en una relación de ≤ 20 . Todos los tratamientos de esta investigación cumplen con este parámetro.

Figura 82

Análisis estadístico de la relación C/N en los tratamientos



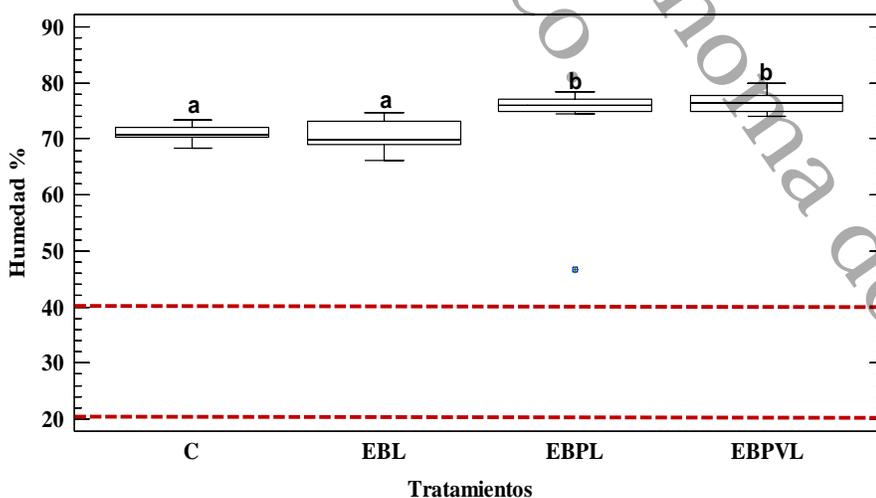
La relación C/N obtenido en esta investigación en el tratamiento EBPVL de 16.70, es similar a 16.76 reportado por Hanc et al., (2019) en residuos de excreta de caballo. De igual forma los tratamientos EBL y C con una relación de 14.41 y 14.64 respectivamente son similares a la relación C/N de 14 reportado por Ananthavalli et al., (2019) en mezclas de algas con excretas de vaca a una proporción 50:50.

VI.1.30 *Humedad*

Los datos de la humedad no presentaron un comportamiento normal. La Figura 83, muestra el análisis Kruskal Wallis de una vía para la humedad. Se observa que existen diferencias altamente significativas ($P < 0.001$) entre los promedios de la variable humedad de los diferentes tratamientos evaluados (C, EBL, EBPL, EBPVL) con un 95% de confianza. El contraste múltiple de medianas de Mann Whitney, indica con letras diferentes diferencias significativas entre tratamientos ($P < 0.05$). Los tratamientos que mostraron valores altos de humedad fueron EBPVL y EBPL con medianas de 76.43 (QInf: 74.94 y QSup: 77.74) y 76.08 (QInf: 75.0 y QSup: 77.02) respectivamente. Los porcentajes con valores menores de humedad se obtuvieron en los tratamientos C y EBL con medianas de 70.73 (QInf: 70.3 y QSup: 72.01) y 69.93 (QInf: 68.92 y QSup: 73.18) respectivamente. Los intervalos de humedad del material en el proceso de vermicompostaje pueden variar en un rango del 60 % - 90 %, siendo el rango óptimo del 70 % - 80 %. Sin embargo, la NMX-AA-180-SCFI-2018 indica que el porcentaje de humedad que se debe de cumplir en la vermicomposta terminada es en un rango de 20 – 40 de humedad.

Figura 83

Análisis estadístico de la humedad en los tratamientos



El porcentaje de humedad al final del proceso de los tratamientos BPVL y EBPL de esta investigación son similares a lo reportado por Cestonaro et al., (2017) que reportan un porcentaje de humedad de 75% al final de su proceso utilizando mezclas de lechos de borrego a base de cáscaras de arroz con estiércol de ganado. Gong et al., (2018) obtuvieron resultados similares a

los tratamientos C y EBL con un porcentaje de humedad de 65 – 70. Los resultados de los porcentajes de humedad al final del proceso no cumplen con las especificaciones de la norma antes mencionada para este parámetro. Sin embargo, es importante que durante la estabilización de la materia orgánica se logren los rangos establecidos en la presente norma.

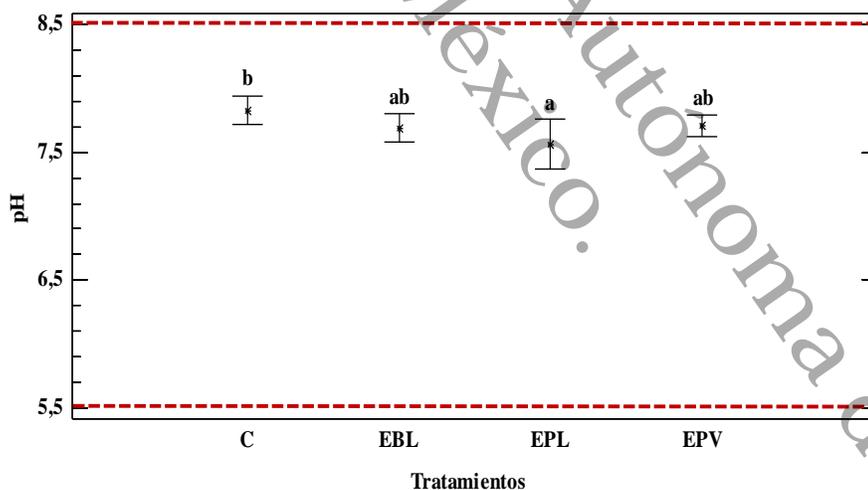
Universidad Juárez Autónoma de Tabasco.
México.

VI.1.31 pH

En la Figura 84, se muestra el análisis de varianza de una vía para el pH. Se observa que existen diferencias significativas ($P < 0.05$) entre los promedios de la variable pH de los diferentes tratamientos evaluados (C, EBL, EBPL, EBPVL) con un 95% de confianza. El contraste múltiple de medias de Tukey, indica con letras diferentes diferencias significativas entre tratamientos. El tratamiento que mostró el valor promedio más alcalino de pH fue el C con 7.83 ± 0.148 , seguido por los tratamientos EBPVL y EBL con promedios de 7.71 ± 0.108 y 7.69 ± 0.146 respectivamente. El valor promedio más bajo de alcalinidad se observó en el tratamiento EBPL con $7.56.0 \pm 0.250$. La NMX-AA-180-SCFI-2018 establece un rango con especificaciones de calidad desde 5.5 – 8.53. Los valores obtenidos en el presente trabajo en cada uno de los tratamientos cumplen con este parámetro de calidad. Sin embargo, es importante señalar que EBPL se acerca más al pH neutro.

Figura 84

Análisis estadístico del pH en los tratamientos



Los porcentajes finales de pH de todos los tratamientos de este trabajo presentan valores menores a lo reportado por Li et al., (2020) y Gong et al., (2018) con valores de 8.34 y 8.12 en mezclas de residuos de frutas y verduras y mezclas de hojarasca con residuos de bambú respectivamente. Cestonaro et al., (2017) reportan resultados de 7.1 en mezclas de lechos de borrego a base de cáscaras de arroz con estiércol de ganado a una proporción de 75:25 respectivamente, valor por debajo a los resultados obtenidos en los tratamientos de esta investigación. La disminución del pH durante el proceso de vermicompostaje se le atribuye a la

síntesis de ácidos orgánicos y a la producción de compuestos fenólicos, así como a la reducción de compuestos orgánicos nitrogenados fácilmente degradables (Hanc & Chadimova, 2014)(Hanc & Chadimova, 2014).

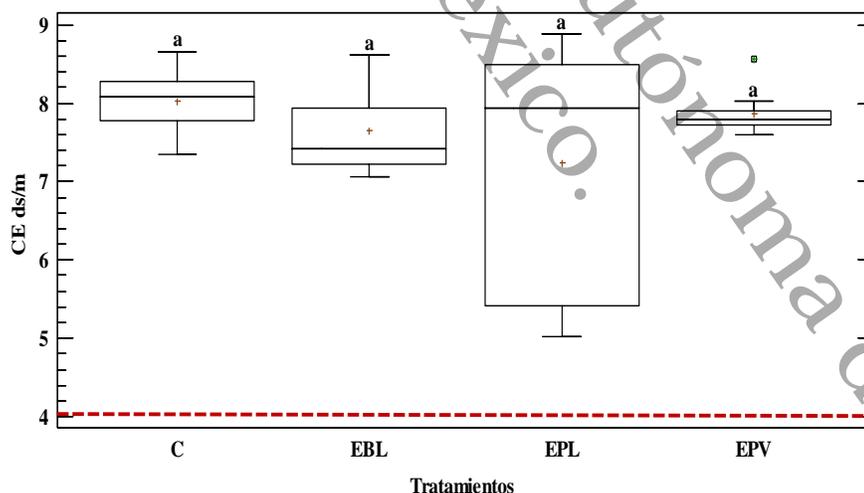
Universidad Juárez Autónoma de Tabasco.
México.

VI.1.32 Conductividad eléctrica

Los datos de CE no presentaron un comportamiento normal, por lo tanto, en la Figura 85, se muestra el análisis de Kruskal Wallis de una vía para CE. Se observa que no existen diferencias significativas ($P > 0.005$) entre los promedios de la variable CE de los diferentes tratamientos evaluados (C, EBL, EBPL, EBPVL) con un 95% de confianza. El contraste múltiple de medianas de Mann Whitney, indica con letras diferentes diferencias significativas entre tratamientos ($P < 0.05$). Existe una ligera tendencia en el tratamiento C que obtuvo el valor promedio más alto de 8.09 dS/m (QInf: 7.36 y QSup: 8.63). La CE para el tratamiento EBPL con una mediana de 7.24 dS/m (QInf: 6.82 y QSup: 7.65) fue el valor que más se acercó a los valores establecidos por la norma. La NMX-AA-180-SCFI-2018 (Secretaría de Comercio y Fomento Industrial, 2018) establece valores con especificaciones de calidad de ≤ 4 dS/m para CE. Los porcentajes obtenidos en esta investigación en cada uno de los tratamientos no cumplen con este parámetro de calidad.

Figura 85

Análisis estadístico de la CE en los tratamientos



Los resultados de esta investigación muestran valores por arriba de 1.02 dS/m y 3.89 dS/m de CE reportado por Li et al., (2020) en mezclas de residuos de frutas y verduras y Devi & Khwairakpam, (2020), en mezclas de excreta de vaca y hojas secas en proporciones de 50:50 respectivamente. Hanc & Chadimova, (2014) mencionan una tendencia de aumento en la CE durante el proceso de vermicompostaje debido a la degradación de la materia orgánica y la

liberación de sales. Sin embargo, otros estudios han mostrado una tendencia decreciente para la CE (Domínguez, Gómez-Brandón, Martínez-Cordeiro, & Lores, 2018).

Universidad Juárez Autónoma de Tabasco.
México.

. Emisiones de CO₂ de la excreta de borrego

La Tabla 13, muestran las fórmulas químicas balanceadas al inicio y final de cada tratamiento (C, EBL, EBPL y EBPV) de cada proceso de digestión aerobia (Compostaje y vermicompostaje). Se observa en los resultados finales que el tratamiento EBPV obtuvo los valores más bajos para cada constante que los otros tratamientos (184 CO₂, 137 H₂O, 16 NH₃ y 2 SO₄) respectivamente.

Tabla 13

Formulas químicas del proceso inicial y final del vermicompostaje

Tratamiento	Fórmula química	Fórmula química después del proceso aerobio
C	2C ₂₅₇ H ₄₁₁ O ₁₆₇ N ₁₂ S	514CO ₂ +375H ₂ O+24NH ₃ +2SO ₄
EBL	2C ₁₁₁ H ₁₉₉ O ₈₀ N ₁₁ S	222CO ₂ +166H ₂ O+22NH ₃ +2SO ₄
EBPL	2C ₁₀₁ H ₁₈₆ O ₈₄ N ₁₀ S	216CO ₂ +156H ₂ O+20NH ₃ +2SO ₄
EBPV	2C ₉₂ H ₁₆₁ O ₆₆ N ₈ S	184CO ₂ +137H ₂ O+16NH ₃ +2SO ₄

La Tabla 14, muestra las cantidades de masa inicial y final de CO₂ de cada tratamiento, la masa total, volumen y emisiones de CO₂ estimados con base en las fórmulas químicas estequiométricas mostradas en la tabla anterior. Se observa que el resultado del tratamiento C tiene el valor más alto de masa en el CO₂ con 107.11 kg, seguido del tratamiento EBL con 30.31 kg. Los tratamientos EBPL y EBPV tienen resultados similares con valores más bajos de 23.45 kg y 23.13 kg respectivamente.

Tabla 14*Estimación de Emisiones de CO₂ del proceso de vermicompostaje*

Tratamiento	Masa del CO ₂ inicial (kg)	Masa del CO ₂ final (kg)	Masa del CO ₂ (kg)	Volumen CO ₂ (m ³)	Emisiones CO ₂ (m ³ /ton)
C	12746.98	22620.63	107.11*	54.15	729.03*
EBL	6000.11	9770.00	30.31**	15.32	509.56**
EBPL	6001.80	9505.94	23.45***	11.86	495.65***
EBPV	4935.01	8097.66	23.13****	11.69	496.07****

Residuo base: 100 kg; Densidad del CO₂: 1.98 kg/m³

*fb:0.6036; 1000 kg; 74.28 kg (Fracción seca)

**fb: 0.1861; 1000 kg; 30.07 kg (Fracción seca)

***fb:0.1481; 1000 kg; 23.92 kg (Fracción seca)

****fb:0.1409; 1000 kg; 23.57 kg (Fracción seca)

Los resultados finales de la estimación de las emisiones masticas del CO₂ para cada uno de los tratamientos del presentan trabajo (C, EBL, EBPL y EBPV) son mayores que muestra 649.44 mg de CO₂ g⁻¹ en residuos orgánicos (*Lupinus montanus* Kunth) sin tratamiento presentados por Ortiz et al., (2012) 1735 mg de CO₂ g⁻¹ en residuos orgánicos de estiércol de cerdo y paja reportado por Aira et al., (2007)

Los tratamientos EBL, EBPL y EBPV redujo 72, 78 y 71 % la masa de CO₂ (Compostaje – vermicompostaje) en comparación al 28 % de masa de CO₂ (474.62 mg de CO₂ g⁻¹) reducidas con compostaje reportado por de Ortiz et al., (2012). Y menores al 85 % reportado por Aira et al., (2007) en un proceso de vermicompostaje.

Los tratamientos (C, EBL, EBPL y EBPV) de 1735 mg de CO₂ g⁻¹ reportados por Los tratamientos EBL, EBPL y EBPV fueron más altos en comparación a 250 mg de CO₂ g⁻¹ obtenido por Aira et al., (2007) , La actividad de los microorganismos que intervienen al inicio del proceso es máxima, como consecuencia de tener a su alcance gran cantidad de compuestos fácilmente biodegradables procedentes de los materiales orgánicos de partida (Acosta et al., 2006). Ayuso et al. (1996), indican que mientras más estable es la materia orgánica, la emisión de CO₂ y la actividad microbiana son menores ya que existe menos material de fácil descomposición lo que impide la

degradación por parte de los microorganismos. Los resultados demuestran que las lombrices incitan a los microorganismos para usar reservas de carbono por ello al inicio del proceso hay mayor desprendimiento de CO₂ y con respecto al tiempo se obtiene una mayor mineralización, una baja actividad microbiana y menos producción de CO₂. de acuerdo por Aira et al., (2007) que menciona que las lombrices no solo producen cambios cuantitativos en la biomasa y en la actividad de las poblaciones microbianas, sino que también modifican la diversidad funcional de la comunidad microbiana.

México.

Fase I. Anteproyecto

Para realizar la evaluación económica se llevan a cabo varios pasos que se describen a continuación.

VI.1.33 Definición de la información cualitativa

VI.1.33.1 Naturaleza del proyecto

La Tabla 15, muestra la naturaleza del proyecto. Se establece que el proyecto se llevó a cabo en el rancho el rodeo. El producto en este proyecto es un paquete tecnológico de un proceso de vermicomposta, cuyo resultado (vermicomposta), será utilizado en el mejoramiento de diferentes cultivos desarrollados en el rancho del propietario.

Tabla 15

Naturaleza del proyecto

Giro	Comercial y servicios
Producto o servicio	Paquete tecnológico de Vermicomposta
Ubicación	"Rancho el Rodeo"
Número de empleados	1
Forma de comercialización	Autoconsumo
Fuente de financiamiento	Propietario

VI.1.33.2 Horizonte del proyecto

La Tabla 16, muestra el horizonte, los años de vida útil económica del proyecto. Se observa la proyección del incremento porcentual anual en gastos variables, fijos y de inventarios. El impuesto sobre la renta (ISR) se determinó por medio de la ley con un valor de 30 %. El reparto de utilidades (PTU) se consideró el 10% de las ganancias totales que se generó en el proyecto en el ejercicio correspondiente del año en curso.

Tabla 16*Horizonte del proyecto*

Descripción	Valor	Unidades
Tiempo para proyectar	5	años
incremento anual en ventas	3	%
Incremento anual en gastos variables	5	%
Incremento anual en gastos fijos	5	%
Incremento anual de inventarios	10	%
Depreciación anual de activos fijos		%
Mobiliario	10	%
Equipo	20	%
Amortización de bienes intangibles		
Tasa ISR ponderada para el año cero del proyecto	30	%
Tasa porcentual de PTU	10	%

VI.1.33.3 Financiamiento del proyecto

En la Tabla 17, se muestran las fuentes de financiamiento del proyecto y las tasas de inversión de banca múltiple. Se observa un financiamiento del 100 % con un solo inversionista. La utilidad en precio de venta es de un 60 %. La tasa anual CETES se consideró en un 7.02 %. A partir del rendimiento requerido por el accionista la TREMA se estableció en 11.37 %.

Tabla 17*Financiamiento del proyecto*

Fuentes de financiamiento	%
Inversión propia	100 %
Inversión Socio Capitalista, donación, aportación familiar	0.0 %
Total, de financiamiento debe ser 100%	-----
Tasas de inversión de banca múltiple	-----
Mesa de dinero	3.45
Inversión fija	2.05
% de utilidad en precio de venta (sobre los costos)	60
Tasa anual CETES base para la evaluación	7.02
Puntos de resguardo de inversión	4.47
Tasa de descuento de la inversión (TREMA)	11.37 %

VI.1.34 Determinación del monto total de la inversión

VI.1.34.1 Inversión

En la Tabla 24 (anexo), se muestran detalladamente los rubros de inversión que determinan el monto total de la inversión. Se observa que el monto total de mobiliario y del equipo de trabajo fueron \$101,380.70 y \$ 21,643.00 respectivamente. El capital de trabajo fue de \$48,317.60, obteniendo un total de inversión inicial de \$171,341.20.

VI.1.35 Presupuesto del proyecto

VI.1.35.1 Proyección de ingresos anuales.

La Tabla 18, muestra el % de ganancia, % de variaciones por mes, el precio unitario del producto y las ventas. Se considera una venta total de una unidad por año. El precio promedio unitario de \$208,609.44.

Tabla 18

Proyección de ingresos anuales

Cedula de ingresos	Año 0	Año 1	Año 2	Año 3	Año 4	Año 5
Venta al Público	\$208,609.44	\$214,867.72	\$221,313.75	\$227,953.17	\$234,791.76	\$241,835.52
Total, Ingresos	\$208,609.44	\$214,867.72	\$221,313.75	\$227,953.17	\$234,791.76	\$241,835.52

VI.1.36 *Proyección de flujos de efectivo del proyecto*

VI.1.36.1 **Presupuesto de efectivo para efectos del balance general**

La Tabla 19, muestra el balance general considerando la proyección a cinco años. Se observa un flujo efectivo para el primer año de \$74,706.20 incrementando sucesivamente hasta obtener el último año \$435,493.32.

Tabla 19

Proyección de flujos de efectivo

Cuentas	Año 0	Año 1	Año 2	Año 3	Año 4	Año 5
Saldo inicial	\$171,341.20	\$74,706.20	\$145,383.53	\$216,838.08	\$289,034.70	\$361,934.24
Mas:						
Ventas		\$205,609.44	\$211,777.72	\$218,131.05	\$224,674.99	\$231,415.24
Efectivo disponible	\$171,341.20	\$280,315.64	\$357,161.26	\$434,969.14	\$513,709.68	\$593,349.47
Menos:						
Salidas de Efectivo						
Gastos fijos	\$95,400.00	\$95,400.00	\$100,170.00	\$105,178.50	\$110,437.43	\$115,959.30
Gastos Variables	\$1,235.00	\$1,235.00	\$1,296.75	\$1,361.59	\$1,429.67	\$1,501.15
ISR		\$28,722.83	\$29,142.32	\$29,545.77	\$29,931.27	\$30,296.78
PTU		\$9,574.28	\$9,714.11	\$9,848.59	\$9,977.09	\$10,098.93
Total, salidas	\$96,635.00	\$134,932.11	\$140,323.17	\$145,934.44	\$151,775.45	\$157,856.15
Flujo Efvo. para Balance	\$74,706.20	\$145,383.53	\$216,838.08	\$289,034.70	\$361,934.24	\$435,493.32

. Fase II. Evaluación económica del proyecto

VI.1.37 Determinación del valor presente neto (VPN)

La Tabla 20, muestra los valores de los flujos a valor presente. Se observa que el VPN proyectado a cinco años fue de \$832,707.47.

Tabla 20

Resultados VPN

Periodos	Flujo	Flujo Acumulado	Flujos a VP
1	\$145,383.53	\$145,383.53	\$130,541.02
2	\$216,838.08	\$362,221.62	\$174,823.22
3	\$289,034.70	\$651,256.31	\$209,240.29
4	\$361,934.24	\$1,013,190.55	\$235,264.71
5	\$435,493.32	\$1,448,683.87	\$254,179.43
Sumas de los flujos de efectivo a valor presente			\$1,004,048.67
Valor Presente Neto (VPN)			\$832,707.47

Los resultados de este proyecto son positivos. Se puede observar que se alcanza una recuperación del monto de la inversión inicial a valores actuales. Se genera un beneficio extra de \$832,707.47.

VI.1.38 Cálculo de la Tasa Interna de Rendimiento (TIR)

En la Tabla 21, se muestran la suma de los flujos de efectivo a valor presente, el VPN, la TREMA y la TIR. Se observa que la TIR, toma como referencia la tasa de descuento (TREMA). Dando como resultado una TIR de 92%.

Tomando en cuenta el criterio de decisión mostrado en el diagrama de flujo, se observa que la TIR es $>$ a la tasa de oportunidad del inversionista (TREMA), por lo tanto, el proyecto es viable bajo este criterio.

Tabla 21*Resultados TIR*

Periodos	Flujo	Flujo Acumulado	Flujos a VP
1	\$145,383.53	\$145,383.53	\$130,541.02
2	\$216,838.08	\$362,221.62	\$174,823.22
3	\$289,034.70	\$651,256.31	\$209,240.29
4	\$361,934.24	\$1,013,190.55	\$235,264.71
5	\$435,493.32	\$1,448,683.87	\$254,179.43
Sumas de los flujos de efectivo a VP			\$1,004,048.67
Valor Presente Neto (VPN)			\$832,707.47
Tasa de Descuento (TREMA)			11.37%
Tasa Interna de Retorno (TIR)			92 %

VI.1.39 Indicé de Rentabilidad (IR)

La Tabla 22, muestra la suma de los flujos de efectivo a valor presente, el VPN, la TREMA, la TIR y la IR. Se observa que el IR es 5.86.

Tabla 22*Resultados IR*

Periodos	Flujo	Flujo Acumulado	Flujos a VP
1	\$145,383.53	\$145,383.53	\$130,541.02
2	\$216,838.08	\$362,221.62	\$174,823.22
3	\$289,034.70	\$651,256.31	\$209,240.29
4	\$361,934.24	\$1,013,190.55	\$235,264.71
5	\$435,493.32	\$1,448,683.87	\$254,179.43
Sumas de los flujos de efectivo a VP			\$1,004,048.67
Valor Presente Neto (VPN)			\$832,707.47
Tasa de Descuento (TREMA)			11.37%
Tasa Interna de Retorno (TIR)			92 %
Indicé de Rentabilidad (IR)			5.86

Tomando en cuenta el criterio de decisión mostrado en el diagrama de flujo, se observa que la IR es $>$ que 1 se acepta el proyecto y se considera que por cada peso invertido a valor presente el inversionista recupera 4.86 extra.

VI.1.40 *Relación Costo Beneficio (C/B)*

En la Tabla 23, se muestran el total de los ingresos y egresos traídos a valor presente. Se observa que los ingresos a VP son de 1,037,616.99 y los egresos a VP es de \$506,684.15 obteniendo una relación C/B de 2.05.

Tabla 23

Resultados C/B

Periodos	Ingresos		Egresos	
	Flujo	Flujo a VP	Flujo	Flujo a VP
0	\$205,609.44	\$205,609.44	\$96,635.00	\$96,635.00
1	\$211,777.72	\$190,156.89	\$101,466.75	\$91,107.79
2	\$218,131.05	\$175,865.67	\$106,540.09	\$85,896.73
3	\$224,674.99	\$162,648.50	\$111,867.09	\$80,983.71
4	\$231,415.24	\$150,424.67	\$117,460.45	\$76,351.71
5	\$261,988.48	\$152,911.83	\$129,714.88	\$75,709.21
	Ingreso a VP	\$1,037,616.99	Ingreso a VP	\$506,684.15
		Relación C/B		2.05

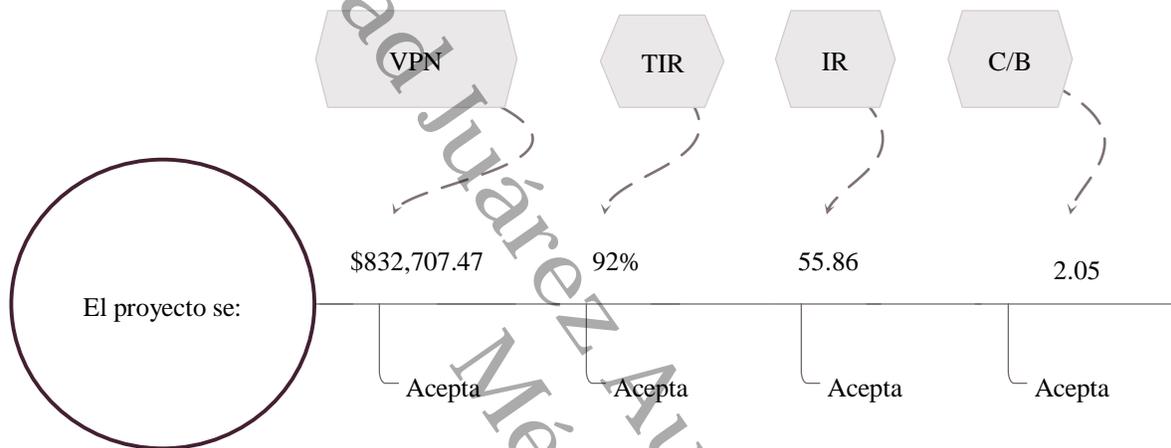
Como la relación C/B es > 1 se observa que los beneficios del proyecto superan los costos, por consiguiente, el proyecto es aceptable.

VI.1.41 Toma de decisión en base a los criterios de los indicadores

La Figura 86, muestran los valores de VPN, TIR, IR y la relación C/B del proyecto. Se observa que el VPN es de \$832,707.47, TIR 92%, IR 5.86 y la relación C/B 2.05. Los resultados demuestran en base a los criterios que el proyecto es viable, rentable y aceptable.

Figura 86

Toma de decisión con base en resultados



VII. CONCLUSIONES

De acuerdo con los resultados obtenidos en este proyecto de investigación, se determinan las siguientes conclusiones.

En un Sistema de vermicompostaje donde se utilicen excretas de animales es necesario considerar un pre-composteo para estabilizar los parámetros más importantes, cuidando la relación C/N antes de ingresar las lombrices, se recomienda realizar una prueba de viabilidad para las lombrices.

En el monitoreo del proceso del vermicompostaje se debe controlar la humedad, y la temperatura ya que estos parámetros en campo influyen en la reproducción de las lombrices *Eisenia Foetida* y se prolonga el tiempo de maduración del producto final.

Con respecto a la norma NMX-AA-180-SCFI-2018, las mezclas EBP y EBPV se consideran compostas tipo II y III. La mezcla EB se considera composta tipo III; además todos los tratamientos de vermicompostaje (EBPL, EBPVL, EBL y C), cumplen con las especificaciones referenciadas en la norma. El tratamiento EBPL fue el que mejor se apego a los estándares establecidos en la misma.

Se puede confirmar que en el proceso de vermicompostaje bajo condiciones controladas se logra reducir emisiones de gases de efecto invernadero. Para esta investigación, la menor estimación de la emisión másica de CO₂ fue en el tratamiento EBPVL.

Se concluye que el proyecto de vermicompostaje es viable, rentable y aceptable para los datos encontrados y con base a los criterios establecidos en la toma de decisiones mediante los indicadores económicos VNP, TIR, IR y C/B. Sin embargo, se recomienda incrementar el estudio de acuerdo con las condiciones y necesidades del proyecto.

Con respecto al tiempo, se recomienda utilizar una talla de lombriz juvenil ya que aceleran el proceso de degradación y se logra obtener un vermicompostaje de calidad en menor tiempo.

además las condiciones del clima son importantes por tanto los parámetros deben ser monitoreados diariamente

Se considera importante hacer mezclas de acuerdo a la relación C/N del material orgánico para que las lombrices puedan tener una condición estable y obtener una vermicomposta de calidad en un tiempo considerable

Se puede concluir que con los resultados del presente trabajo son relevantes debido a que aportan datos sobre las emisiones de gases de efecto invernadero y el análisis económico durante el proceso de vermicompostaje de acuerdo con otras investigación similares.

Universidad Juárez Autónoma de Tabasco.
México.

VIII. REFERENCIAS

- Adhikari, B. K., Barrington, S., Martinez, J., & King, S. (2008). Characterization of food waste and bulking agents for composting. *Waste Management*, 28(5), 795–804. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2007.08.018>
- Agroproyectos S.C. (2013). Proyecto de Lombricomposta - Agroproyectos. Retrieved June 4, 2020, from <https://www.agroproyectos.org/proyecto-de-lombricomposta/>
- Ananthavalli, R., Ramadas, V., John Paul, J. A., Karunai Selvi, B., & Karmegam, N. (2019). Seaweeds as bioresources for vermicompost production using the earthworm, *Perionyx excavatus* (Perrier). *Bioresource Technology*, 275(December 2018), 394–401. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2018.12.091>
- Astudillo, R. A. (2012). *Estudio de Prefactibilidad Técnico-Económica del Diseño de una Planta de Lombricultura en Base A Residuos Orgánicos para la Producción de Abono para la Industria de Viveros. Memoria. Universidad de Chile.* Universidad de Chile. <https://doi.org/10.19641/j.cnki.42-1290/f.2012.03.022>
- Atiyeh, R. M., Domínguez, J., Subler, S., & Edwards, C. A. (2000). Changes in biochemical properties of cow manure during processing by earthworms (*Eisenia andrei*, Bouche) and the effects on seedling growth. *Pedobiologia*, 44(6), 709–724. [https://doi.org/10.1078/S0031-4056\(04\)70084-0](https://doi.org/10.1078/S0031-4056(04)70084-0)
- Baggie, I., Rowell, D. L., Robinson, J. S., & Warren, G. P. (2005). Decomposition and phosphorus release from organic residues as affected by residue quality and added inorganic phosphorus. *Agroforestry Systems*, 63(2), 125–131. <https://doi.org/10.1007/s10457-004-5131-5>
- Benitez, E., Sainz, H., & Nogales, R. (2005). Hydrolytic enzyme activities of extracted humic substances during the vermicomposting of a lignocellulosic olive waste. *Bioresource Technology*, 96(7), 785–790. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2004.08.010>
- Cao, Y., Gao, Y., Li, J., & Tian, Y. (2019). Straw composts, gypsum and their mixtures enhance tomato yields under continuous saline water irrigation. *Agricultural Water Management*, 223(April), 105721. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2019.105721>
- Castaldi, P., Alberti, G., Merella, R., & Melis, P. (2005). Study of the organic matter evolution during municipal solid waste composting aimed at identifying suitable parameters for the evaluation of compost maturity. *Waste Management*, 25(2 SPEC. ISS.), 209–213. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2004.12.011>

- Cestonaro, T., Costa, M. S. S. de M., Costa, L. A. de M., Pereira, D. C., Rozatti, M. A. T., & Martins, M. F. L. (2017). Addition of cattle manure to sheep bedding allows vermicomposting process and improves vermicompost quality. *Waste Management*, *61*, 165–170. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2017.01.024>
- Cestonaro, T., Costa, M. S. S. de M., Costa, L. A. de M., Rozatti, M. A. T., Pereira, D. C., Lorin, H. E. F., & Carneiro, L. J. (2015). The anaerobic co-digestion of sheep bedding and $\geq 50\%$ cattle manure increases biogas production and improves biofertilizer quality. *Waste Management*, *46*, 612–618. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2015.08.040>
- Chan, M. T., Selvam, A., & Wong, J. W. C. (2016). Reducing nitrogen loss and salinity during “struvite” food waste composting by zeolite amendment. *Bioresource Technology*, *200*, 838–844. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2015.10.093>
- Chen, M., Huang, Y., Liu, H., Xie, S., & Abbas, F. (2019). Impact of different nitrogen source on the compost quality and greenhouse gas emissions during composting of garden waste. *Process Safety and Environmental Protection*, *124*, 326–335. <https://doi.org/10.1016/j.psep.2019.03.006>
- Costa, M. S. S. D. M., Cestonaro, T., Costa, L. A. D. M., Rozatti, M. A. T., Carneiro, L. J., Pereira, D. C., & Lorin, H. E. F. (2015). Improving the nutrient content of sheep bedding compost by adding cattle manure. *Journal of Cleaner Production*, *86*, 9–14. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2014.08.093>
- Devi, C., & Khwairakpam, M. (2020). Feasibility of vermicomposting for the management of terrestrial weed *Ageratum conyzoides* using earthworm species *Eisenia fetida*. *Environmental Technology and Innovation*, *18*, 100696. <https://doi.org/10.1016/j.eti.2020.100696>
- Diaz, E. (2002). Guia de Lombricultura. *ADEX La Rioja – Abril Del*. Retrieved from <http://www.biblioteca.org.ar/libros/88761.pdf>
- Díaz, M. J., Madejón, E., Cabrera, F., Jiménez, L., & De Bertoldi, M. (2004). Using a second-order polynomial model to determine the optimum vinasse/grape marc ratio for in-vessel composting. *Compost Science and Utilization*, *12*(3), 273–279. <https://doi.org/10.1080/1065657X.2004.10702192>
- Domínguez, J. (2004). State-of-the-Art and New Perspectives on Vermicomposting Research. *Earthworm Ecology*, (March 2004), 401–424. <https://doi.org/10.1201/9781420039719.ch20>
- Domínguez, J., Gómez-Brandón, M., Martínez-Cordeiro, H., & Lores, M. (2018). Bioconversion

- of Scotch broom into a high-quality organic fertiliser: Vermicomposting as a sustainable option. *Waste Management and Research*, 36(11), 1092–1099. <https://doi.org/10.1177/0734242X18797176>
- Edgerton, M. D. (2009). Increasing crop productivity to meet global needs for feed, food, and fuel. *Plant Physiology*, 149(1), 7–13. <https://doi.org/10.1104/pp.108.130195>
- FAO. (2013). *Manual de compostaje del agricultor. Oficina Regional de la FAO para América Latina y el Caribe*. Retrieved from <http://www.fao.org/3/a-i3388s.pdf>
- Garg, V. K., & Gupta, R. (2011). Optimization of cow dung spiked pre-consumer processing vegetable waste for vermicomposting using *Eisenia fetida*. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 74(1), 19–24. <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2010.09.015>
- Gerber, P. J., Steinfeld, H., Henderson, B., Mottet, A., Opio, C., Dijkman, J., ... Tempio, G. (2013). *Enfrentando el cambio climático a través de la ganadería. Una evaluación global de las emisiones y oportunidades de mitigación*. (FAO, Ed.), FAO (Organizaci). FAO.
- Gong, X., Cai, L., Li, S., Chang, S. X., Sun, X., & An, Z. (2018). Bamboo biochar amendment improves the growth and reproduction of *Eisenia fetida* and the quality of green waste vermicompost. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 156(December 2017), 197–204. <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2018.03.023>
- González-Rosales, G., Nieto-Garibay, A., Murillo-Amador, B., Ramírez-Serrano, R., & Villavicencio-Floriani, E. . (2019). *Lombricomposta. Guía Para Su Elaboracion*. (Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste, Ed.), Trillas.
- Hanc, A., & Chadimova, Z. (2014). Nutrient recovery from apple pomace waste by vermicomposting technology. *Bioresource Technology*, 168, 240–244. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2014.02.031>
- Hanc, A., Enev, V., Hrebeckova, T., Klucakova, M., & Pekar, M. (2019). Characterization of humic acids in a continuous-feeding vermicomposting system with horse manure. *Waste Management*, 99, 1–11. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2019.08.032>
- Hobson, A. M., Frederickson, J., & Dise, N. B. (2005). CH₄ and N₂O from mechanically turned windrow and vermicomposting systems following in-vessel pre-treatment. *Waste Management*, 25(4 SPEC. ISS.), 345–352. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2005.02.015>
- Instituto Nacional de Innovación y Transferencia Tecnológica Agropecuaria (INTA). (2019). Tema: Manejo y conservación de suelos. medidas de adaptación al cambio climático.

- Jhorar, B. S., Phogat, V., & Malik, R. S. (1991). Kinetics of Composting Rice Straw with Glue Waste at Different Carbon: Nitrogen Ratios in a Semiarid Environment. *Arid Soil Research and Rehabilitation*, 5(4), 297–306. <https://doi.org/10.1080/15324989109381289>
- Karmegam, N., Vijayan, P., Prakash, M., & John Paul, J. A. (2019). Vermicomposting of paper industry sludge with cowdung and green manure plants using *Eisenia fetida*: A viable option for cleaner and enriched vermicompost production. *Journal of Cleaner Production*, 228, 718–728. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.04.313>
- Khatua, C., Sengupta, S., Krishna Balla, V., Kundu, B., Chakraborti, A., & Tripathi, S. (2018). Dynamics of organic matter decomposition during vermicomposting of banana stem waste using *Eisenia fetida*. *Waste Management*, 79, 287–295. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2018.07.043>
- Kiehl, E. J. (1985). *FERTILIZANTES ORGÁNICOS*. Editora Agronomica Ceres Ltda. Sao Paulo: Editora Agronomica Ceres Ltda. Retrieved from <https://www.editoraceres.com.br/detalheLivro.php?id=15>
- Komakech, A. J., Zurbrügg, C., Miito, G. J., Wanyama, J., & Vinnerås, B. (2016). Environmental impact from vermicomposting of organic waste in Kampala, Uganda. *Journal of Environmental Management*, 181, 395–402. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2016.06.028>
- Kulikowska, D., & Sindrewicz, S. (2018). Effect of barley straw and coniferous bark on humification process during sewage sludge composting. *Waste Management*, 79, 207–213. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2018.07.042>
- Lalander, C. H., Komakech, A. J., & Vinnerås, B. (2015). Vermicomposting as manure management strategy for urban small-holder animal farms - Kampala case study. *Waste Management*, 39, 96–103. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2015.02.009>
- Leconte, M. C., Mazzarino, M. J., Satti, P., Iglesias, M. C., & Laos, F. (2009). Co-composting rice hulls and/or sawdust with poultry manure in NE Argentina. *Waste Management*, 29(9), 2446–2453. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2009.04.006>
- Li, W., Bhat, S. A., Li, J., Cui, G., Wei, Y., Yamada, T., & Li, F. (2020). Effect of excess activated sludge on vermicomposting of fruit and vegetable waste by using novel vermireactor. *Bioresource Technology*, 302, 122816. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2020.122816>
- Liu, J., Xu, X. hong, Li, H. tao, & Xu, Y. (2011). Effect of microbiological inocula on chemical and physical properties and microbial community of cow manure compost. *Biomass and*

- Bioenergy*, 35(8), 3433–3439. <https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2011.03.042>
- Lv, B., Zhang, D., Cui, Y., & Yin, F. (2018). Effects of C/N ratio and earthworms on greenhouse gas emissions during vermicomposting of sewage sludge. *Bioresource Technology*, 268(August), 408–414. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2018.08.004>
- Makan, A. (2015). Windrow co-composting of natural casings waste with sheep manure and dead leaves. *Waste Management*, 42, 17–22. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2015.04.019>
- Michel, F. C., Pecchia, J. A., Rigot, J., & Keener, H. M. (2004). Mass and nutrient losses during the composting of dairy manure amended with sawdust or straw. *Compost Science and Utilization*, 12(4), 323–334. <https://doi.org/10.1080/1065657X.2004.10702201>
- Moreno Casco, J., & Moral Herrero, R. (2008). *Compostaje. Mundi-Prensa* (Mundi-Pren). Madrid, España: Mundi-Prensa.
- Muscolo, A., Papalia, T., Settineri, G., Mallamaci, C., & Jeske-Kaczanowska, A. (2018). Are raw materials or composting conditions and time that most influence the maturity and/or quality of composts? Comparison of obtained composts on soil properties. *Journal of Cleaner Production*, 195, 93–101. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.05.204>
- Nigussie, A., Kuypers, T. W., Bruun, S., & de Neergaard, A. (2016). Vermicomposting as a technology for reducing nitrogen losses and greenhouse gas emissions from small-scale composting. *Journal of Cleaner Production*, 139, 429–439. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.08.058>
- O'Connor, D., Peng, T., Zhang, J., Tsang, D. C. W., Alessi, D. S., Shen, Z., ... Hou, D. (2018). Biochar application for the remediation of heavy metal polluted land: A review of in situ field trials. *Science of the Total Environment*, 619–620, 815–826. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.11.132>
- Pardo, G., Moral, R., Aguilera, E., & del Prado, A. (2015). Gaseous emissions from management of solid waste: A systematic review. *Global Change Biology*, 21(3), 1313–1327. <https://doi.org/10.1111/gcb.12806>
- Parkinson, R., Gibbs, P., Burchett, S., & Misselbrook, T. (2004). Effect of turning regime and seasonal weather conditions on nitrogen and phosphorus losses during aerobic composting of cattle manure. *Bioresource Technology*, 91(2), 171–178. [https://doi.org/10.1016/S0960-8524\(03\)00174-3](https://doi.org/10.1016/S0960-8524(03)00174-3)
- Pérez-Godínez, E. A., Lagunes-Zarate, J., Corona-Hernández, J., & Barajas-Aceves, M. (2017).

- Growth and reproductive potential of *Eisenia foetida* (Sav) on various zoo animal dungs after two methods of pre-composting followed by vermicomposting. *Waste Management*, 64, 67–78. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2017.03.036>
- Ren, L., Schuchardt, F., Shen, Y., Li, G., & Li, C. (2010). Impact of struvite crystallization on nitrogen losses during composting of pig manure and cornstalk. *Waste Management*, 30(5), 885–892. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2009.08.006>
- Rodríguez Fuentes, H., & Rodríguez Absi, J. (2002). *Métodos de análisis de suelos y plantas: criterios de interpretación*. (Trillas, Ed.), Editorial Trillas SA de CV (1a Edición). Editorial Trillas SA de CV.
- Romero, E., Salido, A., Cifuentes, C., Fernández, J. D., & Nogales, R. (2006). Effect of vermicomposting process on pesticide sorption capability using agro-industrial wastes. *International Journal of Environmental Analytical Chemistry*, 86(3–4), 289–297. <https://doi.org/10.1080/03067310500249906>
- Sánchez-Monedero, M. A., Roig, A., Paredes, C., & Bernal, M. P. (2001). Nitrogen transformation during organic waste composting by the Rutgers system and its effects on pH, EC and maturity of the composting mixtures. *Bioresource Technology*, 78(3), 301–308. [https://doi.org/10.1016/S0960-8524\(01\)00031-1](https://doi.org/10.1016/S0960-8524(01)00031-1)
- Secretaría de Comercio y Fomento Industrial, (SCFI). (1984). NMX-AA-016-1984. Protección al ambiente-contaminación del suelo-residuos sólidos municipales-determinación de humedad. *Diario Oficial de La Federación*.
- Secretaría de Comercio y Fomento Industrial, (SCFI). NMX-AA-015-1985 Protección al ambiente - contaminación del suelo- residuos sólidos municipales- muestreo- método de cuarteo, Diario Oficial de la Federación § (1985).
- Secretaría de Comercio y Fomento Industrial, (SCFI). NMX-FF-109-SCFI-2007. Humus de lombriz (lombricomposta) - especificaciones y métodos de prueba, Diario Oficial de la Federación § (2008). Retrieved from <http://www.economia-nmx.gob.mx/normas/nmx/2007/nmx-ff-109-scfi-2008.pdf>
- Secretaría de Comercio y Fomento Industrial, (SCFI). NMX-AA-180-SCFI-2018. Que establece los métodos y procedimientos para el tratamiento aerobio de la fracción orgánica de los residuos sólidos urbanos y de manejo especial, así como la información comercial y de sus parámetros de calidad de los productos fi, Diario Oficial de la Federación § (2018).

- Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, (SEMARNAT). NOM-021-RECNAT-2000. Que establece las especificaciones de fertilidad, salinidad y clasificación de suelos. Estudios, muestreo y análisis., Diario Oficial de la Federación § (2002). Retrieved from http://dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=717582&fecha=31/12/2002
- Secretaria del Medio Ambiente y Recursos Naturales, (SEMARNAT). NADF-020-AMBT-2011. Norma Ambiental para el Distrito Federal. Requerimientos para la producción de composta a partir de la FORSU, agrícolas, pecuarios producida y/o distribuida en la ciudad., Diario Oficial de la Federación § (2012). Retrieved from <http://www.sedema.cdmx.gob.mx/sedema/images/archivos/sedema/leyes-reglamentos/normas/locales/NADF-020-AMBT-2011.pdf>
- Secretaria de Comercio y Fomento Industrial. (1985). NMX-AA-067-1985- Protección Al Ambiente-Contaminación Del Suelo-Residuos Sólidos Municipales-Determinación De La relación Carbono / Nitrógeno. Diario Oficial de La Federación.
- Sharma, K., & Garg, V. K. (2018). Comparative analysis of vermicompost quality produced from rice straw and paper waste employing earthworm *Eisenia fetida* (Sav.). *Bioresource Technology*, 250(November 2017), 708–715. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2017.11.101>
- Steinfeld, H., Gerber, P., Wassenaar, T., Castel, V., Rosales, M., & de Haan, C. (2009). *La larga sombra del ganado: problemas ambientales y opciones*. *Fao*.
- Suler, D. J., & Finstein, M. S. (1977). Effect of temperature, aeration, and moisture on CO₂ formation in bench scale, continuously thermophilic composting of solid waste. *Applied and Environmental Microbiology*, 33(2), 345–350. <https://doi.org/10.1128/AEM.33.2.345-350.1977>
- Velasco-Velasco, J., Parkinson, R., & Kuri, V. (2011). Ammonia emissions during vermicomposting of sheep manure. *Bioresource Technology*, 102(23), 10959–10964. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2011.09.047>
- Wu, Y., Chen, Y., Shaaban, M., Zhu, D., Hu, C., Chen, Z., & Wang, Y. (2019). Evaluation of microbial inoculants pretreatment in straw and manure co-composting process enhancement. *Journal of Cleaner Production*, 239, 118078. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.118078>
- Yadav, A., & Garg, V. K. (2019). Biotransformation of bakery industry sludge into valuable product using vermicomposting. *Bioresource Technology*, 274(October 2018), 512–517. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2018.12.023>

- Yang, F., Li, G., Zang, B., & Zhang, Z. (2017). The Maturity and CH₄, N₂O, NH₃ Emissions from Vermicomposting with Agricultural Waste. *Compost Science and Utilization*, 25(4), 262–271. <https://doi.org/10.1080/1065657X.2017.1329037>
- Zhao, B., O'Connor, D., Zhang, J., Peng, T., Shen, Z., Tsang, D. C. W., & Hou, D. (2018). Effect of pyrolysis temperature, heating rate, and residence time on rapeseed stem derived biochar. *Journal of Cleaner Production*, 174, 977–987. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.11.013>
- Zhu, N. (2006). Composting of high moisture content swine manure with corncob in a pilot-scale aerated static bin system. *Bioresource Technology*, 97(15), 1870–1875. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2005.08.011>

Universidad Juárez Autónoma de Tabasco.
México.

IX. ANEXOS

Universidad Juárez Autónoma de Tabasco.
México.

Universidad Juárez Autónoma de Tabasco.
México.

ANEXO DE TABLAS

Tabla 24
Inversión del proyecto

		Concepto	
Mobiliario			
	cimentación		\$21,925.70
	Albañilería		\$19,355.00
	Estructura		\$54,900.00
	Acabado		\$2,800.00
	Lombrices		\$2,400.00
		Total	101,380.7
Equipo de trabajo			
	Pala	\$168.00	
	Machete	\$70.00	
	Kit de palas Jardineras	\$150.00	
	Bomba de agua	\$350.00	
	Lima	\$20.00	
	Cubetas de plástico	\$100.00	
	Escobas	\$100.00	
	Jabón en polvo	\$15.00	
	Manguera	\$150.00	
	Camioneta	\$20,000.00	
	Caja de plástico	\$100.00	
	Botas	\$100.00	
	Guantes	\$70.00	
	Overol	\$250.00	
			\$21,643.00
Total		Total, Activo Fijo	\$123,023.70
Activos diferidos			
Anteproyecto			
	Estudio de mercado	\$0.00	
	Estudio Financiero	\$0.00	
	Otros	\$0.00	\$0.00
Contratos y licencias			
	Contrato CFE	\$0.00	
	Registro de la propiedad y NP***	\$0.00	
Gastos preoperativos (E. técnico)			
	Adquisición de local 24 Mt	\$0.00	
	Subtotal acondicionamiento	\$0.00	\$0.00
		Total, Activo Diferido	\$0.00
Capital de trabajo			
	Capital de Trabajo	\$48,317.60	\$48,317.60
Se consideran 6 meses de operación			
		Total, inversión	\$171,341.20

ANEXO FOTOGRAFICO

Figura 87

Sembrado de lombrices en las unidades experimentales



Figura 88

muestreo y preparación de muestras



Figura 89

monitoreo de lombrices



Figura 90

Presentación en 4to congreso nacional AMICA





Constancia a:

Mayra Cristell Pérez Ramírez, José Ramón Laines Canepa, Icela Dagmar Barceló Quintal, Víctor Manuel Villegas Cornelio e Israel Ávila Lázaro

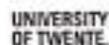
por la presentación del trabajo titulado:

PRE - COMPOSTEO DE EXCRETA DE BORREGO COMO SEMILLA PARA VERMICOMPOSTA

En el 4º Congreso de Ingeniería Ciencia y Gestión Ambiental y la 5th International Conference de Greening of the Industry Network celebrado en la Ciudad de México los días 28, 29 y 30 de octubre de 2019

Dra. Leonor Patricia Guerrero Hernández
Directora del Congreso
Presidenta de AMICA

Dra. Ma. Laura Franco-García
Co-Organizer
Coordinator of Greening of Industry Network



Universidad Juárez Autónoma de México



CONGRESO
DE INGENIERÍA, CIENCIA
Y GESTIÓN AMBIENTAL
AMICA



Greening - Industry
5th International
Conference
of Greening
of Industry
Network

Constancia a:

Israel Ávila Lázaro, Adriana Ruiz Álvarez,
José Ramón Laines Canepa, Víctor Manuel
Villegas Comelio, Mayra Cristell Pérez
Ramírez, Icela Dagmar Barceló Quintal

por la presentación del trabajo titulado:

CARACTERÍSTICAS FÍSICO-QUÍMICAS DE LA
VERMICOMPOSTA DE RESIDUOS NO
CONVENCIONALES PARA USO EN AGRICULTURA

En el 4º Congreso de Ingeniería Ciencia y Gestión Ambiental
y la 5th International Conference de Greening of the Industry Network
celebrado en la Ciudad de México los días 28, 29 y 30 de octubre de 2019

Dra. Leonor Patricia Güereca Hernández
Directora del Congreso
Presidenta de AMICA

Dra. Ma. Laura Franco-García
Co-Organizer
Coordinator of Greening of Industry Network



UNIVERSITY
OF TWENTE

Walmart
México y Centroamérica





28-30 de octubre, 2019
Instituto de Ingeniería de la UNAM
Ciudad de México, México

<http://www.congresoamica2019.com>

ID 642 PRE - COMPOSTEO DE EXCRETA DE BORREGO COMO SEMILLA PARA VERMICOMPOSTA.

Mayra Cristell Pérez Ramírez¹, José Ramón Lainez Canepa, Icela Dagmar Barcelo Quintal, Victor Manuel Villegas Cornelio, Israel Ávila Lázaro.

¹División Académica de Ciencias Biológicas, Universidad Juárez Autónoma de Tabasco, 0.5 Km carretera Villahermosa-Cárdenas, Villahermosa CP, 86150, Tabasco, México. Perezramirez29@hotmail.com

Abstract

Inadequate management of organic waste generates negative impacts worldwide. These generate greenhouse gases (GHG), however, these are smaller if compared with the same untreated waste. There are processes to take advantage of these wastes as composting and vermicomposting. The present study conducted a pre-composting process of excreta of Borrego, in order to know the time when the residue stabilizes. We determined the parameters of pH, electrical conductivity (CE), nitrogen (N), respect C/N, Phosphorus (P) and potassium (K), the process was carried out in a time of 90. It is reported that the Lamb excreta is not suitable for vermicomposting if used without any pre-treatment, it can be observed that at 90 days it stabilizes, pH, CE and C/N. Although the gradual increase of K is attributed to the diet of sheep, it is possible that the intake of this mineral does not help the stabilization process.

Keywords: manure, sheep, composting.

Introducción

Las excretas de los animales manejados inadecuadamente generan impactos negativos ambientales y económicos a nivel mundial. La Organización de las Naciones Unidas para la alimentación y la agricultura, (FAO por sus siglas en inglés) reporta que la descomposición de estos residuos sin ningún tratamiento emite gases de efecto invernadero (GEI) y son un problema para la salud humana. Según datos de la FAO (2006) se estima que el 18 % de las emisiones de GEI provienen del ganado. En los países desarrollados, la aplicación de la excreta en las tierras de cultivos es una alternativa para la reducción de fertilizantes químicos por sus altos costos. Antes de su aplicación, las excretas deben ser tratadas para estabilizar la fracción orgánica (FAO, 2013). A nivel mundial se han desarrollado diversos estudios de investigación sobre la sustentabilidad del compostaje y vermicompostaje. Sharma *et al.* (2018) realizó un estudio de vermicompostaje con diferentes mezclas (paja de arroz, estiércol de vaca y desechos de papel) empleando eisenia foetida, lo cual obtuvieron mayor contenido de nutrientes y metales pesados en el vermicompost que en el pre-composteo y una estabilización de la relación C/N al final del proceso. En china Fan Yanja *et al.* (2017) investigaron las emisiones gaseosas de vermicompostaje con residuos agrícolas y un tratamiento de compostaje termofílico, como resultado el vermicompostaje obtuvo menos emisiones de NH₃ (12.3% de NH₃-N del nitrógeno) y el total de gases de efecto invernadero (8.1 kg de CO₂-eq/t de MS) que el compostaje termofílico. El objetivo de este trabajo es evaluar el pre-composteo de excreta de borrego para un sistema de vermicompostaje en el trópico húmedo.