

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO
DIVISIÓN DE AGRONOMÍA
DEPARTAMENTO DE BOTÁNICA



Elaboración de Composta a Partir del Guishe de Lechuguilla
(*Agave lechuguilla* Torr.)

Por

ALONDRA SILVESTRE MARTÍNEZ

TESIS

Presentada como requisito parcial para obtener el título de:

INGENIERO EN AGROBIOLOGÍA

Buenavista, Saltillo, Coahuila, México

Marzo, 2022

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO
DIVISIÓN DE AGRONOMÍA
DEPARTAMENTO DE BOTÁNICA

Elaboración de Composta a Partir del Guishe de Lechuguilla
(*Agave lechuguilla* Torr.)

Por:

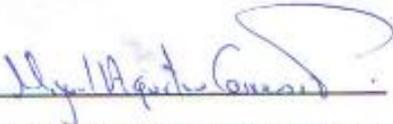
ALONDRA SILVESTRE MARTÍNEZ

TESIS

Presentada como requisito parcial para obtener el título de:

INGENIERO EN AGROBIOLOGÍA

Aprobada por el Comité de Asesoría:


Biol. Miguel Agustín Carranza Pérez
Asesor Principal Interno


Dr. David Castillo Quiroz
Asesor Principal Externo


Dr. Francisco Castillo Reyes
Coasesor


Dra. Silvia Yudith Martínez Amador
Coasesor


Dr. José Antonio González Fuentes
Coordinador de la División de Agronomía



Buenavista, Saltillo, Coahuila, México
Marzo, 2022

DECLARACIÓN DE NO PLAGIO

El autor quien es el responsable directo, jura bajo protesta de decir verdad que no se incurrió en plagio o conducta académicos incorrecta en los siguientes aspectos:

Reproducción de fragmentos o textos sin citar la fuente o autor original (corta y pega); reproducir un texto propio publicado anteriormente sin hacer referencia al documento original (auto plagio); comprar, robar o pedir prestados los datos o la tesis para presentarla como propia; omitir referencias bibliográficas o citar textualmente sin usar comillas; utilizar ideas o razonamientos de un autor sin citarlo, utilizar material digital como imágenes, videos, ilustraciones, graficas, mapas o datos sin citar el autor original y/o fuente, así mismo tengo conocimiento de que cualquier uso distinto de estos materiales como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por las autoridades correspondientes.

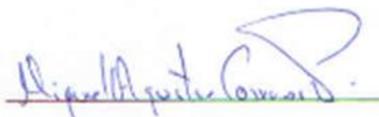
Por lo anterior me responsabilizo de las consecuencias de cualquier tipo de plagio en caso de existir y declaro que este trabajo es original.

C. Pasante



Alondra Silvestre Martínez

Asesor interno



Biol. Miguel Agustín Carranza
Pérez

Asesor externo



Dr. David Castillo Quiroz

AGRADECIMIENTOS

A Dios por darme la vida, salud y representar siempre mi refugio y guía. Agradezco por sus constantes bendiciones, las personas que puso en mi camino., por los buenos y malos momentos en mi vida., porque en cada uno me dejo una enseñanza.

A la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro mi Alma Terra Mater por acogerme y ser parte de ella, a sus instalaciones, prácticas y adquirir conocimientos que me permitieran desarrollarme académicamente.

Al Departamento de Botánica por brindarme buenos maestros que ayudaron en mi formación académica y reforzaron mis valores.

Al INIFAP C.E. Saltillo por haberme recibido y darme la oportunidad de realizar mi tesis., siempre mostrando su apoyo y disposición ante cualquier duda o situación.

Dr. David Castillo Quiroz por permitirme formar parte de este proyecto de investigación para la realización de mi tesis, por su paciencia, compromiso y brindarme parte de su tiempo asesorándome, ampliar mis conocimientos y siempre aconsejándome ir más allá. Muchísimas gracias.

Dr. Francisco Castillo Reyes por su amabilidad, compromiso y estar a la disposición en este trabajo de investigación ayudándome en el proceso y despejando dudas.

Biol. Miguel Agustín Carranza y la Dra. Silvia Yudith Martínez Amador por ser mis asesores internos, más que unos docentes y sus atinadas observaciones.

A mis compañeros de la carrera de Agrobiología, en especial a Nanglis López, Criselda Aranda, Yuritzi Vásquez, David González, Marisol Gómez y José de la Paz.

Por su apoyo, amistad, consejos e inolvidables momentos llenos de aprendizajes y alegrías.

DEDICATORIA

A mis padres

Cristina Martínez Acosta Y Joel Silvestre Cadenas.

Por acompañarme y apoyarme en cada etapa de mi vida hasta culminar mis estudios, hacerme creer que podía lograr todo lo que quisiera con amor, esfuerzo y dedicación. Que aun en mis caídas siempre sobraron sus palabras de aliento que me hacían levantarme con más fuerza, por eso y más eternamente gracias.

A mi hija

Lilith Alejandra Barbosa Silvestre

Porque llego a mi vida para darle sentido, mi mayor motivación e inspiración para terminar lo que un día empecé.

A mi esposo

Juan Pablo Barbosa Gómez

Por ser mi compañero de vida, estar presente en esta etapa de mi vida, por su cariño, amor y motivarme a que sería posible.

A mis abuelitos paternos

*Jesús Silvestre Olvera Y
Luisa Cadenas*

Por su amor y los consejos que me dieron pensando en que lo iba a lograr.

A mis abuelitos maternos

*Genaro Martínez García
Ma. Luisa Acosta Herrera*

Por ser como los segundos padres para mi hija, por su apoyo para culminar mis estudios y sus consejos tan sabios llenos de amor.

A mis hermanos

Carlos Joel y Rebeca

Por su apoyo, comprensión y darme un consejo cuando más lo necesite

A mis familiares

Por su cariño, sus consejos, motivación y apoyo constante cuando lo necesité en especial a mi tía Nico, Carmen, Genaro, Marlen y mis Suegros.

ÍNDICE GENERAL

AGRADECIMIENTOS.....	iii
DEDICATORIA.....	iv
SUMMARY.....	xi
I. INTRODUCCIÓN.....	1
1.1 OBJETIVOS.....	3
1.1.1 Objetivo general.....	3
1.1.2 Objetivos específicos.....	3
1.2 Hipótesis.....	3
II. REVISIÓN DE LITERATURA.....	4
2.1 Clasificación taxonómica de la lechuguilla (<i>Agave lechuguilla</i> Torr.).....	4
2.2 Descripción de la lechuguilla (<i>Agave lechuguilla</i> Torr.).....	5
2.3 Distribución Geográfica.....	7
2.4 Estados productores de la lechuguilla (<i>Agave lechuguilla</i> Torr.) en México.....	8
2.5 Importancia ecológica, social y económica de (<i>Agave lechuguilla</i> Torr.).....	9
2.6 Recolección, extracción y aprovechamiento de la fibra de la especie.....	11
2.7 El guishe de la lechuguilla (<i>Agave lechuguilla</i> Torr.).....	12
2.8 Usos actuales y potenciales del guishe de <i>Agave lechuguilla</i> Torr.....	13
2.9 Conceptos y definiciones de compostaje.....	14
2.9.1 ¿Qué es la composta?.....	15
2.9.2 Higienización.....	16
2.9.3 Nutrientes.....	16
2.9.4 Nitrógeno.....	17
2.9.5 Carbono.....	17
2.9.6 Suelo.....	17
2.9.7 Capacidad de intercambio catiónico.....	18
2.10. Criterios de la calidad de la composta (Parámetros).....	18
2.10.1 <i>Tamaño de la Partícula</i>	18
2.10.2 <i>Humedad</i>	19

2.10.3 Oxígeno o aireación	19
2.10.4 Potencial de hidrogeno (pH).....	20
2.10.5 Temperatura.....	20
2.11 Fases del composataje	21
2.11.1 Fase Mesófila o de Latencia (10°C - 40 °C):	21
2.11.2 Fase Termófila (40°C - 70 °C).....	21
2.11.3 Fase de Enfriamiento y Maduración.....	22
2.12 Dinámica microbiana del compostaje.....	22
2.13 Tipos y materia prima para el compostaje.....	23
2.14 Tipos de compostaje	25
2.14.1 Compostaje tradicional.....	25
2.14.2. Lombricomposta o Vermicompostaje (Composta de lombrices)	26
2.15 Sistemas de compostaje.....	27
2.15.1 Compostaje en el sitio	27
2.15.2 Compostaje de hileras.....	27
2.15.3 Compostaje de pilas estáticas aireadas	27
2.16 Degradación de la materia orgánica durante el proceso de compostaje	28
2.17 Beneficios de la composta.....	28
2.18 Calidad y madurez de la composta.....	29
MATERIALES Y MÉTODOS	31
3.1 Área de estudio	31
3.2 Materia prima	31
3.3 Pretratamiento de la materia prima.....	32
3.4. Preparación de las mezclas en torno a la relación de C/N	33
3.5 Cálculo de la cantidad de los materiales orgánicos a compostar	35
3.6 Proceso del Compostaje.....	39
3.6.1 Estudio de compostaje	39
3.6.2 Aplicación y monitoreo de la humedad en las mezclas.....	41
3.6.3 Oxigenación.....	41
3.6.4 Registro de la temperatura de las mezclas	42
3.7 Diseño experimental	44
RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	45

4.1 Análisis físicos y químicos de la composta obtenida	45
4.1.2 Potencial de Hidrogeno (pH) en las mezclas	46
4.1.3 Conductividad eléctrica (CE)	47
4.1.4 Relación Carbono-Nitrógeno (C/N)	48
4.1.5 Materia Orgánica (MO)	49
4.1.5 Carbono Orgánico (CO)	49
4.1.6 Nitrógeno Total	49
4.1.7 Potasio (K)	50
4.1.8 Calcio (Ca)	50
4.1.9 Magnesio (Mg)	51
4.1.10 Fósforo (P)	51
CONCLUSIÓN	53
LITERATURA CITADA	54

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1. Clasificación taxonómica de la lechuguilla (<i>Agave lechuguilla</i> Torr.)	4
Cuadro 2. Estados productores de la fibra de lechuguilla (<i>Agave lechuguilla</i> Torr.) en el noreste de México.	9
Cuadro 3. Permisos de aprovechamiento de la lechuguilla (<i>Agave lechuguilla</i> Torr.) en Coahuila, Nuevo León, San Luis Potosí y Zacatecas.	13
Cuadro 4. Resultados de los análisis físicos y químicos de cuatro materiales a compostar.	34
Cuadro 5. Resultados obtenidos para la relación Carbono/ Nitrógeno (C/N) de los residuos a compostar.....	35
Cuadro 6. Relación C/N y cantidad de residuos por mezcla en el tratamiento 1.....	36
Cuadro 7. Relación C/N y cantidad de residuos por mezcla en el tratamiento 2.	37
Cuadro 8. Relación C/N y cantidad de residuos por mezcla en el tratamiento 3.	38
Cuadro 9. Relación C/N y cantidad de residuo en el tratamiento 4 (Testigo).	38
Cuadro 10. Relación C/N de cada una de las mezclas a compostar.....	39
Cuadro 11. Resultados de los análisis físicos y químicos de la composta en los cuatro tratamientos.....	45

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Depósito clandestino de guishe de (<i>Agave lechuguilla</i> Torr.) a las afueras del Ejido Cosme, municipio de Ramos Arizpe, Coah.....	2
Figura 2. Aspecto general de la lechuguilla (<i>Agave lechuguilla</i> Torr.) municipio de General Cepeda, Coah. Foto David Castillo Quiroz	6
Figura 3. Distribución de la lechuguilla (<i>Agave lechuguilla</i> Torr.) en el desierto Chihuahuense. Fuente; Castillo, 2019.....	7
Figura 4. Principales estados productores de fibra de lechuguilla (<i>Agave lechuguilla</i> Torr.) en México. Fuente: Elaboración propia.....	8
Figura 5. Corte del cogollo de la lechuguilla (<i>Agave lechuguilla</i> Torr.) en el Ejido Cosme en el municipio de Ramos Arizpe, Coahuila	11
Figura 6. Extracción de la fibra de la lechuguilla (<i>Agave lechuguilla</i> Torr.) con el método de tallado a máquina. En la imagen de la derecha nótese los grandes volúmenes de guishe después del proceso de desfibrado	12
Figura 7. Frecuencia porcentual de materiales de enmienda utilizados para el compostaje de biorresiduos reportados en 74 estudios.	25
Figura 8. Triturado del guishe con un molino agrícola para forraje.....	32
Figura 9. Corte del contenedor	40
Figura 10. Forrado al interior del contenedor	40
Figura 11. Pesado de la cantidad de muestras requeridas	40
Figura 12. Guishe+ Estiercol vacuno + Esquilmo de Frijol	42
Figura 13. Guishe + Estiercol caprino + Esquilmo de Frijol.....	42
Figura 14. Guishe + Esquilmo de Frijol.....	43
Figura 15. Guishe (Testitgo).....	43
Figura 16. Composta final Guishe+Estiercol vacuno + Esquilmo de Frijol	43
Figura 17. Composta final Guishe+ Estiercol Caprino + Esquilmo de Frijol	43
Figura 18. Composta final Guishe + Esquilmo de Frijol	44
Figura 19. Composta final Guishe (Testigo).....	44
Figura 20. Valores de pH en cada uno de los tratamientos evaluados.....	46

RESUMEN

La lechuguilla (*Agave lechuguilla* Torr.) es un recurso forestal no maderable que se utiliza para la obtención de fibra natural. Para su extracción se utiliza el desfibrado mecánico, después del tallado se desecha el 85% de la materia prima colectada, generando gran cantidad de residuos llamados localmente “guishe”. Dicha biomasa actualmente no tiene un uso por parte de los pobladores de la región, la cual incineran o esparcen en tiraderos clandestinos sobre el terreno, lo cual propicia fuertes problemas de contaminación al ambiente e intoxicación del ganado que la consume. Actualmente no existen referencias sobre estudios de la utilización del guishe para la elaboración de compostas por lo que la presente investigación sería la primera en su tipo. El objetivo de la presente investigación fue desarrollar una metodología para la elaboración de composta a partir del guishe de lechuguilla (*Agave lechuguilla* Torr.) y tres residuos biológicos. Se evaluaron cuatro mezclas, Tratamiento 1.- Guishe + Esquilmo de frijol + Estiércol caprino, 2.- Guishe + Esquilmo de frijol + Estiércol de vaca, 3.- Guishe + Esquilmo de frijol y 4.- Testigo (Guishe) con una relación C/N inicial adecuada con tres repeticiones. El estudio sobre el compostaje se realizó a nivel piloto, a pequeña escala, en reactores de plástico con capacidad de 20 L, con un peso inicial de las mezclas de 1.250 kg por unidad experimental y se realizó en el vivero del Campo Experimental Saltillo-INIFAP. El estudio se estableció en junio de 2020 y fue monitoreado durante 144 días; al final del proceso de composteo de cada tratamiento se realizaron los análisis físicos y químicos correspondientes y se calculó la relación de C/N final. Las características físicas y químicas y la relación de carbono nitrógeno C/N en las compostas obtenidas están dentro de los estándares de la literatura especializada, solo el pH y la Conductividad eléctrica, se encuentran fuera de los parámetros óptimos.

Palabras clave: *Agave lechuguilla*, guishe, composta, zonas áridas.

SUMMARY

Lechuguilla (*Agave lechuguilla* Torr.) Is a non-timber forest resource that is used to obtain natural fiber. For its extraction, mechanical shredding is used, after this process 85% of the collected raw material is discarded, generating a large amount of waste locally named "guishe". Said biomass is currently not used by the inhabitants of the region, which they incinerate or spread in clandestine dumps on the ground, which causes serious problems of contamination to the environment and intoxication of the livestock that consume it. Currently there are no references on studies of the use of guishe to obtain compost, so this research would be the first of its kind. The objective of this research was to develop a methodology for the elaboration of compost from the lechuguilla stew *A. lechuguilla* and three biological residues. Four treatments were evaluated 1.- Guishe + Crop residues of bean + Goat manure. 2.- Guishe + Crop residues of bean + Cow manure, 3.- Guishe + crop residues of bean and 4.- Control (Guishe alone) with three repetitions. The study on composting was carried out at a pilot level, in plastic reactors with a capacity of 20 L, with an initial weight of the mixtures of 1,250 kg per experimental unit, and was carried out in the Experimental Field nursery Saltillo-INIFAP. The study was established in June 2020 and was monitored for 145 days; the samples of the compost resulting from each treatment, the corresponding physical and chemical analyzes were carried out and the final C/N ratio was calculated. The physical and chemical characteristics and the carbon nitrogen C/N ratio in the compost obtained are within the standards of the specialized literature, only the pH and the EC are outside the optimal parameters.

Key Words: *Agave lechuguilla*, guishe, compost, arid zone

I. INTRODUCCIÓN

Una de las principales actividades económicas de los habitantes del área rural en el noreste de México es la recolección y la comercialización de los recursos forestales no maderables de zonas áridas y semiáridas, los cuales juegan un papel importante como fuente de empleo, autoconsumo y comercialización de la materia prima (Castillo, 2005). Dentro de las principales especies económicamente importantes que el productor aprovecha en el norte del país destacan en orden de importancia: la candelilla (*Euphorbia antisiphilitica* Zucc.), lechuguilla (*Agave lechuguilla* Torr.), cortadillo (*Nolina cespitifera* Trel.), orégano (*Lippia graveolens* HBK) maguey (*Agave salmiana* Otto Ex. Salm-Dick). (Martínez, 2013); entre ellas destaca la lechuguilla *Agave lechuguilla* Torr. Asparagaceae (Tropicos, 2020). El aprovechamiento de esta especie contribuye con importantes beneficios socioeconómicos para los pobladores del área rural, dado a que la extracción de la fibra ha sido una actividad de subsistencia familiar por más de siete décadas y representa para los productores empleos directos (Castillo *et al.*, 2013). El principal uso de la fibra es la fabricación de cepillos industriales, también se utiliza como materia prima para la elaboración de diversos utensilios domésticos como cepillos, cordelería, estropajos, entre otros, elaborados tanto en empresas nacionales, como a nivel internacional (Castillo *et al.*, 2011).

La fibra de la lechuguilla se obtiene del cogollo, que está integrado por las hojas más tiernas de la planta, agrupadas al centro de la misma (Narcia *et al.*, 2012) para obtener esta materia prima, los productores utilizan dos métodos, el tallado manual y el mecánico, este último es el más eficiente (Castillo *et al.*, 2005).

Después del proceso del beneficio y transformación de la materia prima para la extracción de la fibra para su comercialización, se generan grandes volúmenes

de residuos conocidos localmente como guishe, este subproducto actualmente no tiene un uso para los recolectores, por lo cual acumulan dicho residuo y lo incineran, o lo arrojan a campo abierto, lo cual propicia un problema grave de contaminación ambiental y del suelo, además del deterioro del ecosistema donde se deposita (Figura 1).



Figura 1. Depósito clandestino de guishe de (*Agave lechuguilla* Torr.) a las afueras del Ejido Cosme, municipio de Ramos Arizpe, Coah.

Según permisos otorgados por la Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT, 2018), reporta que solo para el estado de Coahuila, se autorizaron 22,174.1 ton de cogollo de *A. lechuguilla*, de ellos se estima que se obtienen 3, 326.15 ton de fibra y 18,847.98 ton corresponden al guishe; por los datos mostrados, se puede considerar al guishe como un desecho abundante y que actualmente no tiene utilidad para los habitantes del área rural y que podrían ser una fuente potencial para la elaboración de compostas.

Por lo anterior, la presente investigación pretende el aprovechamiento integral de *A. lechuguilla*, es decir buscar nuevas alternativas a la extracción de la fibra como es el aprovechamiento del guishe para transformar este subproducto generado por el tallado de *A. lechuguilla*; una de ellas es la elaboración de compostas, que podrían ser utilizadas como fertilizante orgánico, para mejorar las propiedades físicas y químicas del suelo, incrementar la fertilidad del suelo, rendimiento de

cultivo y para la producción masiva de planta en vivero en sustitución de sustratos comerciales; paralelamente sería una oportunidad de mejoramiento de la calidad de vida de los pobladores de las zonas áridas y semiáridas. Cabe hacer mención, que no existen reportes para la elaboración de compostas a partir de esta materia prima, por lo que la presente investigación sería la primera en su tipo.

1.1 OBJETIVOS

1.1.1 Objetivo general

Desarrollar una metodología para la elaboración de compostas a partir del guishe de la lechuguilla (*Agave lechuguilla* Torr.) y tres residuos biológicos.

1.1.2 Objetivos específicos

- Caracterizar la composta obtenida mediante la evaluación de parámetros físicos y químicos.
- Comparar las características físico-químicas de las diferentes mezclas.
- Determinar la relación C/N de la composta de cada una de las mezclas

1.2 Hipótesis

Ho: Los residuos orgánicos: Guishe + Esquilmo de frijol + Estiércol caprino; Guishe + Esquilmo de frijol + Estiércol de vaca; Guishe + Esquilmo de frijol y Guishe solo utilizados en el proceso de compostaje no contribuyen en la obtención de una composta, ni tienen una óptima relación de C/N.

Ha: Los residuos orgánicos: Guishe + Esquilmo de frijol + Estiércol caprino; Guishe + Esquilmo de frijol + Estiércol de vaca; Guishe + Esquilmo de frijol y Guishe solo, utilizado en el proceso de compostaje contribuyen a la obtención de una composta, y tienen una óptima relación de C/N.

II. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1 Clasificación taxonómica de la lechuguilla (*Agave lechuguilla* Torr.)

Esta especie *Agave lechuguilla* Torr. fué descrita por John Torrey en el año de 1859 Rep. U.S. Mex. Bound citado en Tropicos, 2020, es el nombre aceptado de una especie dentro del género *Agave* Familia: Asparagaceae (Tropicos, 2020). Su registro se deriva de World Checklist of Selected Plant Families (WCSP) con datos suministrados el 2012-03-23, que lo reporta como un nombre aceptado (registro 293940⁷). La clasificación taxonómica completa se muestra en el Cuadro 1.

Cuadro 1. Clasificación taxonómica de la lechuguilla (*Agave lechuguilla* Torr.)

Categoría taxonómica	Taxón
Reino:	Plantae
División	Magnoliophyta
Clase	Equisetopsida C. Agardh
Subclase	Magnoliidae Novák ex Takht.
Superorden	Lilianaes Takht.
Orden	Asparagales Link
Familia:	Asparagaceae Juss
Género	<i>Agave</i> L.
Especie	<i>lechuguilla</i> Torr., 1859
Nombre común	Lechuguilla, Tampico fiber

Fuente: Tropicos, 2020

La sinonimia aceptada para *Agave lechuguilla* según Plant List (2013) son:

Agave poselgeri Salm-Dyck WCSP 2012-03-23

Agave heteracantha Jacobi WCSP 2012-03-23

Agave lophantha var. *tamaulipasana* A. Berger WCSP 2012-03-23

Agave multilineata Baker WCSP 2012-03-23

Agave univittata var. *tamaulipasana* (A. Berger) Jacobson WCSP 2012-03-23

2.2 Descripción de la lechuguilla (*Agave lechuguilla* Torr.)

Es una planta perenne, monocárpica, pequeña, acaulescente (sin tallo aparente). Sus hojas comúnmente son llamadas “pencas”, son suculentas fuertes, rígidas, endurecidas y muy afiladas con hojas dispuestas en espiral en forma de rosetas; la planta mide de 30 a 70 cm de alto y 40 a 60 cm de ancho; las hojas se forman en una yema apical situada al centro de la planta, de forma cónica, enrolladas sobre un eje central el cual está formado por las hojas más jóvenes con menor lignificación que las hojas maduras, esta estructura recibe comúnmente el nombre de cogollo (Lozano, 1988). Figura 2. Las hojas maduras varían entre 25-50 cm de largo por 2.5-4 cm de ancho, generalmente de 25- 50 cm de largo por 2.5- 4 cm de ancho, lanceoladas–lineales, de color verde ligero a amarillo–verdoso, en su mayoría ascendentes a erectas, algunas veces falcadamente, la parte apical cóncava, y profundamente convexa en la base, algunas veces con manchas verdosas, rígidas, el margen continuo y recto, de color café ligero a gris, fácilmente desprendible cuando la hoja está seca; El margen con espinas típicamente curvas, de 2–5 mm de largo, cafés o en su mayor parte gris, de 1.5–3 cm de separado, y de 8-20 en el margen de la hoja. Espina en el ápice de la hoja fuertemente cónica a subulada, de 1.5–4 cm de largo, grisácea, la ranura corta encima de la base, abierta o cerrada; Inflorescencia, es un escapo de 2.5–3.5 m de altura, por lo general glauco, las flores cortas pediceladas en pares o tercios, rara vez en longitud de (2–15 cm), panículas con muchas o pocas flores laterales ascendentes; Sus flores de 30–45 mm de largo, amarillas o por lo común teñidas de colores rojos o púrpura; Ovario de 15 a 22 mm de largo, fusiforme, redondamente angulado, estrecho en el cuello; tubo de 2.5–4 mm de largo, poco

profundo, abierto; Tépalos desiguales, lineales, de 13–20 mm de largo ascendentes, involutos alrededor de los filamentos, los exteriores sobre bordes y en el interior de la base, gruesamente encapuchado; Filamentos de 25–40 mm de largo, extendidos; Anteras de 15–20 mm de largo; Fruto una cápsula dehiscente oblonga o piriforme color café o negra, de 18–25 mm de largo y 11–18 mm de ancho, corta pedicelada o sésil, redonda y con un corto pico en el ápice, glauca; Semillas de 4.5–6 mm de largo y 3.5–4.5 mm de ancho con un pequeño hilo o muesca y pocas estrías aladas alrededor del lado curvo. Sus raíces son largas, fibrosas y delgadas, parten de un tallo subterráneo denominado rizoma; se desarrollan a una profundidad entre 8-12 cm en el suelo, esta característica, facilita a sus raíces, la absorción de agua de lluvia, que por lo regular es escasa y superficial, características de los ecosistemas áridos donde habita esta especie (García, 2007; Nobel y Quero, 1986; Gentry, 1982).



Figura 2. Aspecto general de la lechuguilla (*Agave lechuguilla* Torr.) municipio de General Cepeda, Coah. Foto David Castillo Quiroz.

2.3 Distribución Geográfica

La lechuguilla (*Agave lechuguilla* Torr.) es la planta más común y el taxón más abundante en el matorral rosetófilo del Desierto Chihuahuense, posee el mayor número de individuos en poblaciones naturales, en comparación con aproximadamente otras 140 especies silvestres del género *Agave*; cubre grandes extensiones en las zonas áridas del norte de México y el sur de los Estados Unidos (Castillo *et al.*, 2011; Nobel y Quero, 1986; Gentry, 1982). Este taxón presenta un rango mayor de distribución geográfica de las especies nativas del género *Agave*; alcanza una superficie en el país cercana a los 17.5 millones de hectáreas (Martínez *et al.*, 2014). (Figura 3.).

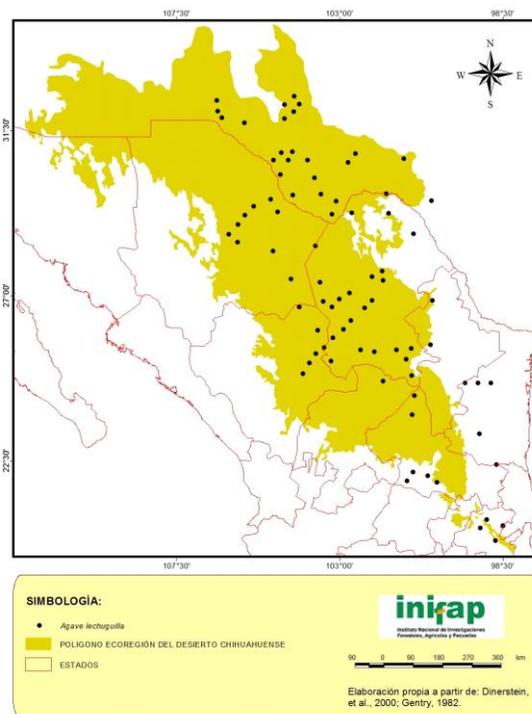


Figura 3. Distribución de la lechuguilla (*Agave lechuguilla* Torr.) en el Desierto Chihuahuense. Fuente; Castillo, 2019.

Se distribuye dentro del matorral xerófilo a través del Desierto Chihuahuense en la parte norte y noreste del país, abarca los estados de Coahuila, Chihuahua,

Nuevo León, Durango, San Luis Potosí, Tamaulipas y Zacatecas, y en el centro y sur de los estados de Querétaro, Hidalgo, y parte de Oaxaca en menor superficie (Castillo *et al.*, 2011; Gentry, 1982), dado que estos Estados poseen las condiciones edafoclimáticas que les permiten que habite y se desarrolle en forma espontánea. A toda esta región se le conoce como altiplanicie mexicana (Gentry, 1982; Nobel y Quero, 1986). Se localiza en altitudes que van desde los 1000 a 2400 m.s.n.m. (Castillo, 2019).

2.4 Estados productores de la lechuguilla (*Agave lechuguilla* Torr.) en México.

Según registros de SEMARNAT (2010), mencionan que el aprovechamiento de la lechuguilla se realiza principalmente en siete estados de la República Mexicana, en orden de importancia son: Tamaulipas, Zacatecas, Nuevo León, San Luis Potosí, Coahuila, Hidalgo y Durango (Figura 4), generalmente a esta región se le conoce como Región Ixtlera (Sheldon, 1980), llamada así, porque tradicionalmente la población rural se ha dedicado por generaciones a la recolección, extracción y comercialización del ixtle de la lechuguilla.

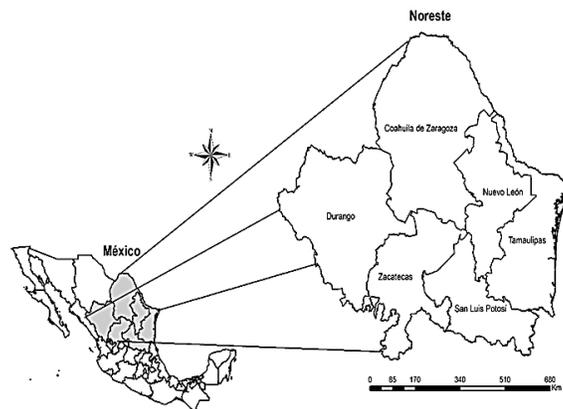


Figura 4. Principales estados productores de fibra de lechuguilla (*Agave lechuguilla* Torr.) en México. Fuente: Elaboración propia.

En el Cuadro 2 se muestra los estados con registros de aprovechamiento y los principales municipios productores de la fibra de lechuguilla.

Cuadro 2. Estados productores de la fibra de lechuguilla (*Agave lechuguilla* Torr.) en el noreste de México.

Estados	Municipios con registros de aprovechamientos de lechuguilla.
Coahuila	Ramos Arizpe, Parras, General Cepeda, Saltillo, Viesca, Torreón.
Nuevo León	Dr. Arroyo, Galeana, Aramberri, Mina, Mier y Noriega, Iturbide, Rayones y Villa de García
Zacatecas	Mazapil, Concepción del Oro y Pinos.
San Luis Potosí	Guadalcazar, Matehuala, Villa de Guadalupe, Villa Hidalgo, Real de Catorce, Venegas, Venado, Cedral, Charcas, Villa de la Paz, Villa de Arista, Santo Domingo
Durango	Mapimí, Nazas, Cuencamé, Lerdo, Simón Bolívar, San Juan de Guadalupe, Tlahualilo, Peñón Blanco, San Pedro del Gallo, Santa Clara, Rodeo y San Luis del Cordero.
Tamaulipas	Jaumave, Miquihuana, Tula y Bustamante.

Fuente: Elaboración propia con datos de SEMARNAT, 2008 y 2016.

2.5 Importancia ecológica, social y económica de (*Agave lechuguilla* Torr.)

Reyes-Agüero *et al.*, 2000 menciona que *A. lechuguilla* constituye un valioso recurso ecológico que tiene varias funciones importantes, que además de la formación, conservación y retención del suelo, tiene un papel muy eficaz contra el impacto de los procesos erosivos.

El aprovechamiento de *A. lechuguilla* contribuye con importantes beneficios socioeconómicos a los pobladores del área rural de las zonas áridas y

semiáridas, ya que la extracción de la fibra ha constituido una actividad de subsistencia familiar por más de siete décadas y ha generado empleos directos para los recolectores (Castillo, *et al.*, 2013). Por su importancia, su potencial industrial y su amplia área de distribución en el país, ha representado por generaciones una alternativa de subsistencia y un elemento imprescindible para los habitantes rurales de las regiones áridas y semiáridas de México (Castillo *et al.*, 2005; Reyes-Agüero *et al.*, 2000; Berlanga *et al.*, 1992); además de las ventajas que significa la comercialización de la materia prima que de ella se obtiene (Castillo *et al.*, 2011), cuya transformación derivan en diversos productos como cepillos para uso industrial, domestico, entre otros; su mercado principal es el internacional, de tal forma que el 93 % de la producción de fibra es de calidad de exportación, principalmente a los Estados Unidos de América, los países Bajos, Suiza y Honduras, entre otros (Castillo *et al.*, 2011), donde México es el único exportador de la fibra. Entre 2003 y 2007 se registraron ventas de 350 mil dólares, (Castillo *et al.*, 2011; SEMARNAT, 2010).

La extracción de la fibra de lechuguilla está ligada con actividades como la agricultura de temporal, la ganadería, y el aprovechamiento de otro recursos forestales no maderables como la candelilla (*Euphorbia antisyphilitica* Zucc.), orégano (*Lippia graveolens* HBK.) pero en algunos casos, es comúnmente la única fuente de ingresos económicos para los productores de las regiones áridas y semiáridas del país (Berlanga *et al.*, 1992), dado que los cultivos agrícolas bajo este sistema de producción son de bajo rendimiento debido a la errática distribución y a la poca cantidad de las lluvias, que difícilmente satisface los requerimientos hídricos de los cultivos básicos.

Recientemente, el aprovechamiento *A. lechuguilla*, está relacionado con altos índices de marginación, por ello es necesario buscar nuevas alternativas a la extracción de fibra, lo que sería una oportunidad de mejoramiento de la calidad de vida de los pobladores de las zonas áridas y semiáridas, donde se desarrolla

esta especie (Carmona *et al.*, 2017), entre ellas está la elaboración de compostas y la obtención de biomoléculas con valor agregado.

2.6 Recolección, extracción y aprovechamiento de la fibra de la especie

Su aprovechamiento está regulado por la Norma Oficial Mexicana NOM-008-RECNAT-1996 (SEMARNAT, 1996); Esta norma solo permite el corte del cogollo y no las hojas laterales, y es obligatoria para los productores o comercializadores que realicen la recolección, transporte y almacenamiento de cogollos e ixtle de la lechuguilla en poblaciones naturales.

La fibra de lechuguilla con fines comerciales se obtiene del cogollo (Figura 5) formado por las hojas más tiernas de la planta, que se encuentran agrupadas al centro de ésta, y del cual se obtiene la fibra de mayor calidad y valor comercial, donde poseen una menor lignificación en comparación con las hojas laterales. No obstante, en algunas regiones de México solo se tallan las hojas de la parte externa de la roseta, por lo que se obtiene fibra de menor calidad (Narcia *et al.*, 2012). La mayor parte de los productores de la lechuguilla en el estado de Coahuila obtienen la fibra del cogollo; sin embargo, algunos de ellos también tallan las hojas laterales para obtener fibra más dura, la cual es utilizada para la elaboración de cepillos domésticos para autoconsumo y para venta, sin embargo, esta producción se desarrolla a menor escala (Castillo *et al.*, 2005).



Figura 5. Corte del cogollo de la lechuguilla (*Agave lechuguilla* Torr.) en el Ejido Cosme en el municipio de Ramos Arizpe, Coahuila.

2.7 El guishe de la lechuguilla (*Agave lechuguilla* Torr.)

Después del proceso de beneficio y transformación de la materia prima para la obtención de la fibra (ixtle) para su comercialización, se generan grandes cantidades de residuos o subproductos (Figura 6), conocidos por los productores bajo el nombre de guishe (Castillo *et al.*, 2005). El guishe representa el 85% del peso fresco total del peso del cogollo (Morreeuw *et al.*, 2021) y el 15% corresponde a la fibra dicho subproducto actualmente no tiene utilidad para los habitantes del área rural, por lo que, acumulan en tiraderos clandestinos e incineran provocando graves problemas de contaminación al suelo y del aire.



Figura 6. Extracción de la fibra de la lechuguilla (*Agave lechuguilla* Torr.) con el método de tallado a máquina. En la imagen de la derecha nótese los grandes volúmenes de guishe después del proceso de desfibrado.

Según los permisos otorgados por la Secretaria del Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT, 2018) para el aprovechamiento del cogollo de *A. lechuguilla* para cuatro estados del norte de México (Cuadro 3), muestra los volúmenes de guishe generados después del tallado del cogollo.

Cuadro 3. Permisos de aprovechamiento de la lechuguilla (*Agave lechuguilla* Torr.) en Coahuila, Nuevo León, San Luis Potosí y Zacatecas.

Estado	Superficie por aprovechar	Volumen a aprovechar de cogollos (ton)	Volumen de fibra por año (ton)	Volumen de guishe total (Ton)
Coahuila	119468.6	22,174.1	3,326.11	18,847.98
Nuevo León	19870.1	582.3	87.3	487.95
San Luis Potosí	55944.2	589.0	88.35	500.65
Zacatecas	23535.7	694.6	104.19	590.41
			Total	20,426.99

Fuente: SEMARNAT, 2018.

Como se observa en el Cuadro 3, se registra un total de 20, 426. 99 ton de guishe en cuatro estados del norte de México, sin embargo, se tendría que agregar el volumen de guishe de otros estados productores de fibra como son: Chihuahua, Tamaulipas, Durango e Hidalgo. Solo para el estado de Coahuila, se autorizaron la colecta de 22,174.1 ton de cogollo *A. lechuguilla*, de ellos se estima que se obtienen 3,326.11 ton de fibra y realizado la conversión del 85% del guishe estaría en una cifra aproximada de 18,847.98 ton; por los datos mostrados, el guishe se puede considerar como un subproducto abundante y que actualmente no tiene utilidad para los recolectores de la lechuguilla y dado a los problemas que representa el guishe para los productores es necesario buscar alternativas para aprovechar la mayor cantidad posible de los residuos generados, una de ellas y el cual es el objetivo de la presente investigación es la elaboración de composta a partir del guishe de *A. lechuguilla*.

2.8 Usos actuales y potenciales del guishe de *Agave lechuguilla* Torr.

En la literatura se menciona que se han realizado varios estudios para determinar la composición química de la lechuguilla (Hernández *et al.*, 2005; Gregorio-

Jáuregui *et al.*, 2008 y De la Cerda, 2012), en ellos se ha encontrado que contienen compuestos naturales conocidos como saponinas que tienen el potencial para la elaboración de jabones, fuente de esteroides, para la elaboración de cortisona (antiinflamatorio), e incluso estrógeno y progesterona; también se han utilizado como removedores de cobre (Cu) presentes en fuentes de agua, reduciendo así la toxicidad que puede causar este metal en los seres vivos (Alcázar-Medina *et al.*, 2014).

Así mismo, varios estudios han mostrado el interés en la lechuguilla por ser una especie con alto contenido de carbohidratos celulosa (62-79.8%), 3-6% hemicelulosa y 15.3% de lignina (Guillot *et al.*, 2008 y Vieira *et al.*, 2002); es por ello que representa una fuente sustentable de materia prima con potencial para la producción de etanol de segunda generación (2G) (Castillo *et al.*, 2014; Morales *et al.*, 2014), donde el bioetanol producido podría ser una opción viable para la sustitución gradual de los combustibles fósiles (Castillo *et al.*, 2014). El “guishe” de la lechuguilla se visualiza como una fuente potencial para la extracción de biocombustibles de 2G, en años recientes se han desarrollado procesos de producción de biocombustibles líquidos (etanol y butanol) y gaseosos (hidrógeno) a partir del guishe de *A. lechuguilla* (Ortiz-Méndez *et al.*, 2017; Díaz-Blanco *et al.*, 2018; Ríos-González *et al.*, 2018; Oliva-Rodríguez *et al.*, 2019; Morales-Martínez *et al.*, 2020). Por otro lado, se ha encontrado que biomoléculas como el timol, carvacrol y otros flavonoides (derivados de metabolitos secundarios) presentes en el guishe funcionan como agentes antimicrobianos (antifúngicos y bactericidas) naturales (De la Cerda, 2012).

2.9 Conceptos y definiciones de compostaje

El compostaje es una forma importante de reciclar elementos biológicos residuales de actividades realizadas por el hombre como la agricultura,

agroindustria, la ganadería y el aprovechamiento de recursos forestales maderables y no maderables y que pueden ser empleados para la generación de nuevas tecnologías, como el uso de compostas o sustratos utilizando materiales obtenidos de manera local (Monroy y Viniegra, 1990).

El compostaje es un proceso biológico aerobio controlado por temperatura y humedad en donde los microorganismos a través de sus mecanismos metabólicos desintegran, descomponen y digieren residuos vegetales y animales transformándolos de manera orgánica a inorgánica para obtener un producto final conocido como composta o abono orgánico (Roman *et al.*, 2015).

2.9.1 ¿Qué es la composta?

La composta es un material orgánico de color marrón-café oscuro de textura terrosa libre de microorganismos patógenos y de olores desagradables consecuencia de la acción microbiana controlada cuyo resultado es un producto final estabilizado que se obtiene a través de un proceso de fermentación a partir de la descomposición de residuos o materiales orgánicos de diferentes orígenes, generados por las actividades tradicionales del ser humano, tales como pastos, hojas, subproductos agrícolas (rastrajos, cascaras), subproductos maderables (aserrín y virutas), podas, estiércoles, entre otros; que se pueden elaborar por separado, o hacer combinaciones de acuerdo a la disponibilidad de la materia prima (Villar, 2017; SAGARPA, 2009; De Luna y Vázquez, 2009). Dichos residuos no deben ser esparcidos al suelo de manera directa dado a que su descomposición no controlada y su toxicidad pueden generar efectos perjudiciales, debido a que tienen materia orgánica no estabilizada, por lo que presentan un elevado nivel de fitotoxicidad y alto contenido de agentes patógenos (virus, bacterias, hongos y parásitos), perjudiciales para los seres humanos, animales y plantas (Villar, 2017).

La composta es un proceso el cual se realiza por diferentes microorganismos (bacterias y hongos) bajo condiciones aerobias, que aporta nutrientes y características semejantes al suelo, el cual puede ser utilizado como fertilizante orgánico, mejorar las propiedades físicas y químicas del suelo, además es un aporte de materia orgánica que podría remplazar la utilización de fertilizantes químicos, dado que este material suministra una fuente de nutrientes de lenta liberación que la planta requiere (Junta de Andalucía, 2000; Águila y Leold, 2020; Román *et al.*, 2015; Picó, 2002).

Por otro lado, (Maçik *et al.*, 2020) mencionan que la composta es un abono orgánico que contiene microorganismos que facilitan la disponibilidad de nutrientes necesarios para la planta, liberan fitohormonas y sustancias supresoras de fitopatógenos; es decir, con la incorporación de microorganismos benéficos y sustancias naturales que estimulan el desarrollo de dichos microorganismos, los cuales proporcionan un equilibrio en la red trófica del suelo, lo que resulta en cultivos más sanos y resistentes a factores bióticos y abióticos (Belda, 2013). De modo que la composta es la forma más apropiada de utilizar la materia orgánica, de realizar una reposición balanceada de nutrientes y, asimismo, un método que provee una enorme cantidad de macro y microorganismos que equilibran la red trófica en el suelo (Portalfruticola.com, 2019).

2.9.2 Higienización

Técnica que reduce el número de patógenos aceptables para la salud pública, puede realizarse sobre substratos y con diferentes procedimientos ya sea con agentes químicos o tratamientos térmicos (Universidad de Navarra, 2020).

2.9.3 Nutrientes

Elementos indispensables para la estructura de los órganos y procesos fisiológicos en la planta como son el crecimiento, vigor, floración, etc. los cuales son requeridos en cantidades específicas para obtener un mejor rendimiento. El carbono, oxígeno e hidrógeno, componen la mayor parte del peso seco de las plantas, estos elementos proceden del CO₂ atmosférico y del agua. Les siguen en importancia el nitrógeno, potasio, calcio, magnesio, fósforo y azufre que son absorbidos del suelo (Infoagro, 2017).

2.9.4 Nitrógeno

Elemento natural que se encuentra en la biomasa de los organismos, además de ser indispensable para la nutrición y procesos vitales de los seres vivos. Este pasa de un ecosistema a otro siendo las bacterias las principales fijadoras a través de una interconversión inorgánica (atmósfera) a orgánica (biósfera) dando paso al ciclo del nitrógeno (López y Alamillo, 2021).

2.9.5 Carbono

El carbono es un elemento, su mayor reserva está presente en la superficie e influye en las propiedades químicas del suelo aumentando la Capacidad de Intercambio Catiónico (CIC) y solubilidad de nutrientes; en propiedades biológicas brinda una fuente de energía para organismos heterótrofos (Martínez *et al.*, 2008).

2.9.6 Suelo

Es una delgada capa sobre la corteza terrestre de material que proviene de la desintegración y/o alteración, física y/o química de las rocas y de los residuos de actividades de los seres vivos que sobre ellas se asientan (Crespo, 2004).

2.9.7 Capacidad de intercambio catiónico

Propiedad química que define la cantidad total de cargas negativas presentes en las partículas del suelo que puede retener, a mayor valor habrá más retención e intercambio de nutrientes (Intagri, 2015).

2.10. Criterios de la calidad de la composta (Parámetros)

La materia orgánica para la elaboración de la composta debe estar integrada por una buena conexión entre sólidos, aireación y la humedad que permitan el constante intercambio de las sustancias para lograr una composta de calidad (SAGARPA, 2009).

2.10.1 Tamaño de la Partícula

El tamaño de la partícula inicial facilitará o dificultará la acción de los microorganismos, si el espacio expuesto es mayor será más difícil que los microorganismos cubran la superficie para descomponerla, por otra parte si es demasiado pequeña (<1 mm) puede originar problemas de compactación del sustrato provocando dificultad de oxigenación y de este modo condiciones no aptas para la proliferación microbiana, es por esto que el tamaño ideal de partícula oscila entre 1 mm a 5 mm (Barbaro *et al.*, 2019; Morales- Maldonado y Casanova-Lugo, 2015). Un tamaño pequeño de la partícula infiere mayor superficie de contacto y por ende, fermentaciones más rápidas y homogéneas.

2.10.2 Humedad

La humedad es el parámetro más importante para que se lleve a cabo el proceso de descomposición, los valores oscilan entre 50 a 60 % y requieren de menor o mayor humedad según la mezcla de materiales a compostar por su alto o bajo contenido en fibras (Rodríguez, 2009). El agua facilita la movilización de sustancias dentro de la pila de composteo dejando de forma más accesible los nutrientes de materiales orgánicos para los microorganismos (EPA, 2017). Si la humedad es escasa, los microorganismos no sobreviven o incluso no podrían iniciar el proceso, sin embargo, si llega a ser excesiva se ahoga la microbiota dando paso a una fermentación anaeróbica que produce olores desagradables debido a falta de aireación y los componentes que resultan de este suelen ser ácidos, es decir totalmente diferentes a la composta. Por lo tanto, el mayor nivel de humedad se requiere durante la fase inicial de la descomposición (SAGARPA, 2009).

2.10.3 Oxígeno o aireación

El compostaje es un proceso aerobio, por lo cual se debe mantener una aireación óptima para la respiración de los microorganismos, liberando al mismo tiempo, dióxido de carbono (CO_2) a la atmosfera. El oxígeno es un parámetro importante en un proceso aeróbico para mantener la aireación, no permite la compactación del material y ayuda a que los microorganismos puedan realizar la respiración aeróbica, cuando la aireación este por debajo del 5 % provoca que no tenga una buena evaporación del agua, aumente la humedad y por ende una anaerobiosis, en cambio, si la aireación es excesiva se reduce la temperatura y las células de los microorganismos se deshidratan motivo por el cual podrían dejar de realizar sus funciones correctamente (Moreno y Moral, 2008; Román *et al.*, 2015); al disminuir el tiempo de aireación y fuentes de carbono influye en el aumento de nitrógeno final en el producto del abono orgánico (Carolla *et al.*, 2009).

2.10.4 Potencial de hidrogeno (pH).

El término indica la concentración de iones hidrógeno en una disolución. Se refiere a una medida de la acidez de la disolución, se expresa frecuentemente en una escala de 1 a 14, considerándose 7 un valor neutral, el número indica que tan ácido (1-6) o básico (8-14) se encuentra el sustrato o solución acuosa (Rivera *et al.*, 2018). El pH tiene una influencia directa en el compostaje debido a su acción sobre la dinámica de los procesos microbianos. El crecimiento de microorganismos influye según el pH del sustrato (Velasco- Velasco *et al.*, 2004). Según Moreno y Moral, 2008 mencionan que las bacterias se desarrollan y son tolerantes en pH con rangos de 6 y 7.5 en tanto que los hongos sus valores oscilan de 5.5 y 8, cuando los valores son < 6 decae la población microbiana y consigo la degradación de residuos, lo mismo pasa con 9> atribuido a que el nitrógeno se ha convertido en amonio.

2.10.5 Temperatura

Es importante tener en cuenta el rango ideal de temperatura de manera que los microorganismos puedan realizar sus actividades de manera óptima, cabe mencionar que si la composta presenta bajas temperaturas los microorganismos retardan su proceso lo que provocaría condiciones anaeróbicas, es decir descomposición y consigo olores desagradables aunque esto va acompañado de los parámetros anteriores, sin embargo, la actividad microbiana produce un incremento en la temperatura (SAGARPA, 2009), atribuido a las oxidaciones exotérmicas; si presentan temperaturas apropiadas ayudan a la esterilización de la composta y eliminar semillas o malezas principalmente.

La variación de temperatura y según el valor será un indicador de que el proceso de compostaje se esté llevando a cabo, la magnitud de degradación de la materia

orgánica y cuando el producto sea estabilizado, para conocer estas variaciones se dividen en tres fases:

2.11 Fases del compostaje

2.11.1 Fase Mesófila o de Latencia (10°C - 40 °C):

En esta fase inicia el proceso de compostaje y se identifica por la presencia de microorganismos (hongos y bacterias) aptos para vivir en temperatura ambiente hasta 40 °C, en este punto inicia la degradación de compuestos simples como los lípidos, proteínas y carbonos simples que los microorganismos utilizan como fuente de energía, aquí la materia orgánica se vuelve ácida (Pachón y Vargas, 2015). Mientras tanto, los microorganismos (*Bacillus* y *Thermus*) degradan las cadenas más sencillas como azúcares, aminoácidos, compuestos solubles y se multiplican rápidamente (Alvarez de la Puente, 2010).

2.11.2 Fase Termófila (40°C - 70 °C)

En esta etapa hay un incremento considerable de temperatura alcanzando valores muy altos en rangos de 40 °C - 55 °C como mínimo. Los microorganismos aquí presentes degradan las moléculas más complejas como celulosa, lignina y proteínas, dándose una gran producción de CO₂ generando una esterilización de esporas, larvas de insectos, patógenos y microorganismos no deseables con ayuda de temperaturas altas en un rango máximo de 68 °C - 70 °C (Pachón y Vargas, 2015; Jain & Kalamdhad, 2019).

2.11.3 Fase de Enfriamiento y Maduración

La temperatura será menor a 70 °C bajando paulatinamente dando paso a la entrada de la fase de enfriamiento que ocurre a temperaturas <40°C por la acción de microorganismos como *Aspergillus* y *Mucor* (Álvarez de la Puente, 2010).

Hasta estabilizarse con la temperatura ambiente del lugar donde se estableció el trabajo, una vez terminados los nutrientes de donde los microorganismos termófilos obtuvieron su energía estos decrecen hasta desaparecer. A pesar de eso conforme la temperatura se estabiliza los microorganismos reaparecen degradando las moléculas de materia orgánica, poco a poco su población baja produciéndose un producto final estable o bien la humificación de la composta (Pachón y Vargas, 2015).

2.12 Dinámica microbiana del compostaje

En el compostaje se da una dinámica microbiana de interacción, degradación y transformación de residuos. El proceso inicia cuando un conjunto de microorganismos se encuentran en una pila o sistema de compostaje comenzando a colonizar los residuos de los cuales obtendrán su fuente de energía, conforme transcurre el proceso según las condiciones de temperatura, humedad, oxígeno, pH y disponibilidad de nutrientes se van reproduciendo, aumentando su población y consigu acelerando la descomposición, sin embargo solo van sobreviviendo los más aptos. Los microorganismos presentes más comunes en este sistema son las bacterias, actinomicetos y hongos que actúan sobre sustratos orgánicos (Ramos y Zúñiga, 2008).

Las bacterias son de las más dominantes y con mayor población en todas las fases a excepción de la fase de maduración, gracias a su fácil crecimiento,

propagación, tolerancia a temperaturas variables y capacidad metabólica de degradar una amplia gama de compuestos orgánicos (Moreno y Moral, 2008; Laich, 2011); dentro de este grupo destacan: *Enterobacter*, *Bacillus*, *Micrococcus*, *Pseudomonas*, *Arthrobacter*, *Proteus*, *Morganella* y *Escherichia* (Escobar *et al.*, 2012a; Escobar *et al.*, 2012b).

Mientras tanto, la función de los actinomicetos la mayoría de sus especies son tolerables a altas temperaturas su capacidad enzimática es capaz de degradar compuestos químicamente complejos como la celulosa y lignina (Laich, 2011). Las especies presentes más comunes son: *Nocardia* sp. y *Streptomyces* sp. (Escobar *et al.*, 2012a; Escobar *et al.*, 2012b).

Por otra parte, los hongos (filamentosos) y levaduras están más aptos para degradar compuestos de difícil degradación por su capacidad lignocelulolítica, además de ayudar a degradar y solubilizar compuestos orgánicos e inorgánicos. Entre este grupo se encuentran los géneros *Aspergillus*, *Cladosporium*, *Penicillium* y *Rhizopus* (Moreno y Moral, 2008).

2.13 Tipos y materia prima para el compostaje

Una composta requiere el suministro de residuos orgánicos; existen una gran variedad de materiales a compostar, estos incluyen subproductos agrícolas (arroz, trigo, cebada, maíz, caña de azúcar, cascarillas) desechos del ganado (estiércol), materiales residuales para la preparación de alimentos (frutas, verduras, cascaras de huevo, entre otros) y residuos forestales como restos de árboles, aserrín, ramas y hojas caídas, estos últimos contienen grandes cantidades de celulosa y lignina que se descomponen parcialmente en la pila de compostaje y que continúan mineralizándose después que se aplica al suelo (SAGARPA, 2009) y residuos vegetales (pastos).

Todos estos residuos orgánicos mencionados en el párrafo anterior, presentan relaciones carbono-nitrógeno (C/N) muy diversas. La relación (C/N) es un parámetro que influye en la velocidad del proceso de descomposición, si la relación es alta de 40/1 será lenta, por lo tanto, es necesario aplicar nitrógeno adicional para acelerar el proceso, como es el caso de los esquilmos o residuos derivados de la agricultura y para subproductos forestales y agroindustriales. En comparación cuando existe en una relación C/N baja, revela que el material posee un alto contenido de nitrógeno y en el proceso de descomposición se pierde nitrógeno en forma de amoníaco (nitrógeno amoniacal) sobre todo cuando la temperatura se eleva y el pH es bajo. Por lo anterior, es conveniente mezclar materiales con altas y bajas relaciones de C/N para que el nitrógeno liberado por los materiales de baja relación de C/N pueda ser utilizada por los materiales de altas relaciones de C/N, y de esta forma los materiales se complementan desde el punto de vista de una composición más rápida (SAGARPA, 2009).

Es importante señalar que los microorganismos asimilan 30 partes en peso de carbono por una parte de nitrógeno, para la síntesis de proteínas y generar energía, por lo tanto, se recomienda que los materiales para compostar tengan una relación de C/N teóricamente óptimo para el compostaje de un residuo es de 30/1 rango de variación de 25 a 35 (SAGARPA,2009; Jhorar *et al.*, 1991).

En la Figura 7 se muestra la proporción de algunos materiales acondicionadores a compostar (Soto-Paz *et al.*, 2017).

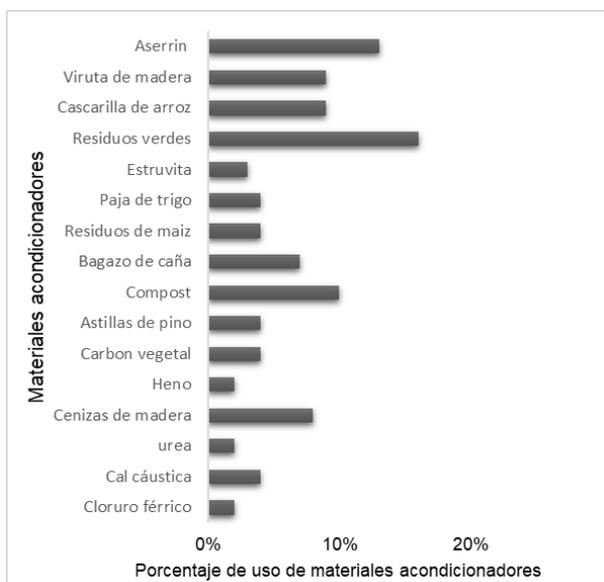


Figura 7. Frecuencia porcentual de materiales de enmienda utilizados para el compostaje de biorresiduos reportados en 74 estudios.

Fuente: Soto- Paz *et al.*, 2017.

Existen materiales que dadas sus propiedades químicas no pueden ser degradados en una composta por lo anterior, se debe evitar el uso de materiales no biodegradables como residuos que contengan plaguicidas o algún producto toxico, vidrio, plástico, aluminio, metales, alambre, fibras sintéticas, cenizas frescas, productos de derivados lácteos, restos de animales, huesos de pescado y productos que contengan grasa (SAGARPA, 2009; Picó, 2002).

2.14 Tipos de compostaje

Existen dos principales técnicas de compostaje que son: el compostaje tradicional y la vermicomposta o también llamado lombricultivo (Romero-Conrado *et al.*, 2017).

2.14.1 Compostaje tradicional

En el compostaje tradicional se obtiene a partir de una proporción equilibrada de materias primas con relación a materiales orgánicos ricos en carbono (paja, madera triturada etc.), nitrógeno (materia verde y estiércoles), minerales (ceniza o harina de rocas), materia orgánica y la propia tierra de la finca., se produce un proceso de fermentación aeróbica, con un apropiado control de la temperatura y humedad en el que se realiza un número determinado de volteos para la adecuada oxigenación y control de la temperatura. Con un mismo tipo de materias primas iniciales, el proceso puede demorar entre cuatro meses (6 volteos) y un año (un volteo). La forma del sustrato también es muy importante para aprovechar las condiciones climatológicas que se presenten en el sitio de composteo: en condiciones húmedas, de forma triangular; y en situaciones relativamente secas, rectangular (Portalfruticola.com, 2019).

2.14.2. Lombricomposta o Vermicompostaje (Composta de lombrices)

Tratamiento de residuos para la obtención de abonos orgánicos en un proceso de biooxidación en el cual se agregan lombrices californianas (*Eisenia foetida* (Savigny)) en una mezcla de sustrato y restos vegetales para que a través de su intestino realicen procesos de fragmentación, asimilación y síntesis de compuestos orgánicos en conjunto con microorganismos para acelerar su degradación y mineralización obteniendo un producto final estabilizado de textura fina conocido como humus utilizado para la fertilización de cultivos (Arévalo, 2017; Villegas-Cornelio y Laínez, 2017).

El producto obtenido resulta en un Vermicompostaje es de mayor calidad en comparación a la composta, ayudando a la germinación de las plantas y resultando más fácil la asimilación de nutrientes por estas; sin embargo, puede resultar más costoso en comparación a la composta tradicional por la adición de las lombrices y a causa de que las temperaturas no deben ser tan altas existe la

posibilidad de que germinen en el proceso semillas no deseables (FERTIBOX, 2019).

2.15 Sistemas de compostaje

2.15.1 Compostaje en el sitio

Dirigido para compostar pequeñas cantidades de restos de comida y recortes de césped, en grandes cantidades no es apto para volúmenes grandes (Epa, 2017)

2.15.2 Compostaje de hileras

Este sistema de compostaje es ideal para grandes volúmenes de desperdicios en comunidades, restaurantes o comercios generadores de residuos de origen orgánico aireadas de manera manual o mecánico. En climas cálidos será necesario cubrir las hileras para evitar problemas de evaporación, sin embargo, este sistema soporta climas fríos, es capaz de mantener su temperatura al centro de la pila de compostaje. Para este sistema se deberá tomar en consideración su ubicación, control de olores y análisis de bacterias y metales pesados por la colecta de material proveniente de distintas fuentes (Epa, 2017).

2.15.3 Compostaje de pilas estáticas aireadas

Sistema utilizado para grandes sistemas de colecta de material desde comunidades o granjas, resulta rápido a compostar. Los desechos se colocan en una pila estática y el método de aireación será mediante la aplicación de capas de astillas de madera para que el aire pueda penetrar en la pila o sistemas de tuberías y ventiladores, pero este sistema no puede procesar carne, huesos, derivados de animales o grasas procesadas (Epa, 2017).

2.16 Degradación de la materia orgánica durante el proceso de compostaje

Según Baptista *et al.*, 2012, existe diferencia en el compostaje a escala de laboratorio y sistemas a gran escala principalmente en el tiempo para obtener un producto final y por otro lado es mayor el rendimiento a pequeña escala que a gran escala debido a la influencia sometida de factores como la humedad, temperatura y tamaño de la partícula, por su capacidad de retener mayor humedad en comparación con el material seco que resulta más difícil de humedecer (Wright, 2016).

2.17 Beneficios de la composta

Una composta mejora las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo como textura, conductividad eléctrica (C.E.), estructura estable, porosidad, retención de agua, densidad; propiedades químicas como capacidad de intercambio catiónico (CIC), pH, elementos esenciales para la planta (nutrientes) y propiedades desde el punto de vista biológico como el establecimiento y aumento de biodiversidad de microorganismos en el suelo (Soto-Paz, 2017; SAGARPA, 2009). No obstante, la calidad del producto obtenido estará en función y variación según los residuos originales utilizados durante el proceso de compostaje.

En los abonos orgánicos se encuentran bacterias que ayudan en la nutrición de las plantas, de tal manera que los nutrientes se encuentren de forma más asimilable para estas y así mismo se pueda mejorar la sanidad, el crecimiento y el desarrollo de cultivos (Duque y Gilmar, 2019; SAGARPA, 2009), en cambio una composta que sea aplicada cuando aún no ha madurado provoca pudrición de la raíz de la planta o cultivo o bien toxicidad (Pico, 2002).

Una composta de calidad puede tener propiedades supresoras o de amortiguamiento contra enfermedades patológicas presentes en el suelo y transmitidas a la planta como lo es *Lepidium sativum*, *Rhizoctonia solani* y *Sclerotinia minor* respectivamente, esto se atribuye cuando existe un considerable número de bacterias, microorganismos y actividad catabólica presentes en la composta (Pane *et al.*, 2019). La microbiota supresora puede encontrarse en un rango extenso si se utilizan materiales verdes o resulta con especies más específicas como ocurre al utilizar residuos domésticos con estiércol de vaca (Corato, 2019).

La composta se puede mezclar con algún fertilizante de origen inorgánico para que en conjunto exista un óptimo balance de nutrientes esenciales para la planta y de esa forma disminuir la dependencia de fertilizantes minerales, con esto no sólo contribuye a disminuir los costos de producción, debido a los altos costos de los fertilizantes químicos, sino que además se genera menos problemas de contaminación al suelo y a los mantos acuíferos (Abreu *et al.*, 2018).

2.18 Calidad y madurez de la composta

La calidad del producto final de una composta se determina desde distintas perspectivas, según la estabilidad y madurez microbiológica (Soto-Paz *et al.*, 2017).

Los estándares de calidad de la composta varían en función de cada país y para los fines que se van a utilizar, algunos estándares de calidad se miden a través de análisis microbiológicos (Bernal *et al.*, 2017).

Algunos indicadores de que la composta esté lista, es que los materiales que se usaron no se puedan distinguir y su temperatura no aumente, es decir se mantenga estable (Águila y Leold, 2020). Según Dickerson (2005), una composta

madura es un producto estabilizado y saneado de compostaje que contiene nutrientes en formas fácilmente disponibles por las plantas, tiene un aspecto de tierra suelta, ligeramente húmeda, que no mancha al contacto con las manos, es de color marrón oscuro o negro, de olor agradable y temperatura similar a la ambiental, donde los residuos iniciales no son reconocibles y la degradación posterior se hace imperceptible.

MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 Área de estudio

La presente investigación se llevó a cabo en el vivero del Campo Experimental Saltillo del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP) localizado en la carretera Saltillo-Zacatecas km 8.5, Colonia Hacienda de Buenavista, Saltillo, Coahuila, ubicado en las siguientes coordenadas geográficas 25° 20' 38.29" Latitud Norte y 101° 01' 59.12" Longitud Oeste y a una elevación de 1815 m.

3.2 Materia prima

Para el proceso de compostaje en este estudio se realizó una combinación de residuos orgánicos vegetales y animales. Las fuentes vegetales fueron 1. Guishe deshidratado de *Agave lechuguilla* Torr., recolectado en el ejido Cosme, municipio de Ramos Arizpe, Coahuila ubicado en las siguientes coordenadas geográficas 25° 52' 03.7" Norte, 101° 19' 50.0" Oeste y 2.- Esquimo de frijol, dicho residuo se obtuvo después del proceso del trillado con una maquinaria trilladora accionada por la toma de fuerza de un tractor en el Campo Experimental Saltillo-INIFAP en Saltillo, Coahuila, y las fuentes animales fueron 3.- Estiércol vacuno (nutrición a base de rastrojo y alimento balanceado) proporcionado por el establo de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro y 4.- Estiércol caprino (alimentación basada en vegetación arbustiva nativa) colectado en el Ejido La Angostura en el municipio de Saltillo, Coahuila.

3.3 Pretratamiento de la materia prima

La actividad microbiana está estrechamente relacionada con el tamaño de la partícula de la materia prima a compostar, dado que el tamaño reducido de la partícula facilita la superficie de contacto, el acceso y desarrollo óptimo de los microorganismos al sustrato, con ello, se logra una descomposición óptima del material; para el pretratamiento realizado al guishe de lechuguilla deshidratado se utilizó con un molino agrícola para forraje (Figura 8) accionado con motor a gasolina, con este implemento se logró reducir la dimensión del material a compostar para alcanzar un tamaño de partícula promedio <5 cm.



Figura 8. Triturado del guishe con un molino agrícola para forraje.

Para el caso del pretratamiento del esquilmo del frijol, el material se cortó con ayuda de tijeras para jardín para alcanzar una dimensión promedio de las partículas de <5 cm, mientras tanto, para el estiércol de cabra y de bovino se trituraron en forma manual con la ayuda de un mazo golpeando las heces secas de mayor dimensión, hasta alcanzar un tamaño de las partículas promedio menores a 5 cm.

3.4. Preparación de las mezclas en torno a la relación de C/N

Uno de los parámetros de mayor importancia para que el proceso de compostaje funcione adecuadamente y de manera eficiente, es el valor inicial de la relación de carbono y nitrógeno de cada uno de los componentes de la materia orgánica que se mezcla para la obtención de una composta de calidad; por lo anterior y previo al proceso del compostaje en este estudio se procedió a la determinación de la relación C/N inicial de los cuatro biorresiduos a compostar: 1.- Guishe de lechuguilla, 2.- Esquilmo de frijol, 3.- Estiércol vacuno y 4.- Estiércol caprino. Para lo cual, se tomaron muestras de aproximadamente 1.0 kg de cada subproducto y se colocaron en bolsas de polietileno transparente etiquetada con el nombre del subproducto y fecha; las muestras se llevaron al laboratorio (Green Lab, 2017) en la ciudad de Saltillo, Coah., para la realización de los análisis físico y químicos correspondientes de cada uno de los materiales (Cuadro 4).

Cuadro 4. Resultados de los análisis físicos y químicos de cuatro materiales a compostar.

Determinación	Estiércol vacuno	Estiércol caprino	Esquilmo de frijol	Guishe	Método
PH	8.15	7.33	7.94	9.3	Extracto de agua 1:5, potenciométrico
Conductividad eléctrica	6.3 dS m ⁻¹	2.6 dS m ⁻¹	1.0 dS m ⁻¹	3.4 dS m ⁻¹	Extracto en agua 1:5, conductímetro
Humedad	6.35 %	4.15 %	1.88 %	0.85 %	Gravimétrico
Cenizas	24.52 %	27.97 %	9.99 %	74.35 %	Gravimétrico
Densidad aparente	0.173 g/cm ³	0.251 g/cm ³	0.032 g/cm ³	0.172 g/cm ³	Método del cilindro, Boodt
Materia orgánica	75.22 %	60.63 %	48.29 %	61.12 %	Walkey & Black
Carbono orgánico	38.54 %	35.17 %	28.01 %	35.45 %	Walkey & Black
Nitrógeno total	1.40 %	3.27 %	0.55 %	3.52 %	Digestión Kjeidahi
Fosforo (P₂ O₅)	0.90 %	0.72 %	0.38 %	1.14 %	Espectrofotometría UV
Potasio (k₂ O)	2.34 %	2.82 %	0.34 %	0.12 %	Espectrofotometría de absorción Atómica
Calcio (Ca)	2.58 %	3.08 %	0.68 %	0.17 %	
Magnesio (Mg)	0.70 %	0.54 %	0.22 %	0.12 %	
Sodio (Na)	0.88 %	0.43 %	0.092 %	0.082 %	
Hierro (Fe)	287.52 ppm	300.25 ppm	195.75 ppm	0.48 ppm	
Manganeso (Mn)	155.15 ppm	137.14 ppm	86.64 ppm	14.35 ppm	
Zinc (Zn)	52.24 ppm	34.20 ppm	23.99 ppm	3.23 ppm	
Cobre (Cu)	16.52 ppm	16.01 ppm	12.88 ppm	1.05 ppm	
Boro (B)	25.49 ppm	14.94 ppm	10.14 ppm	2.48 ppm	

Para realizar el cálculo de la relación inicial C/N de los biorresiduos a compostar se tomó el valor del contenido de carbono orgánico (CO) y el nitrógeno total (NT) obtenidos de los análisis (Cuadro 2) mediante la siguiente fórmula: $C/N = CO/NT$, y los resultados se muestran en el Cuadro 5.

Cuadro 5. Resultados obtenidos para la relación Carbono/ Nitrógeno (C/N) de los residuos a compostar

Residuos	Relación (C/N)
Guishe	10/1
Esquilmo de frijol	50 /1
Estiércol vacuno	27/1
Estiércol caprino	11/1

Los resultados obtenidos en el Cuadro 4 mostraron que el guishe presentó una relación C/N= 10/1, el esquilmo de frijol C/N= 50 /1, estiércol vacuno una relación C/N= 27/1 y estiércol caprino C/N= 11/1, estos valores fueron de utilidad para llevar a cabo un balance en el proceso de compostaje en los residuos.

3.5 Cálculo de la cantidad de los materiales orgánicos a compostar

Previo al inicio del compostaje se determinó el peso de los biorresiduos a compostar en relación a la capacidad del reactor (1.250 kg) que corresponde al 100 % de la mezcla.

Para obtener un balance adecuado de la relación C/N en las mezclas antes del proceso de compostaje de cada uno de los residuos y con el propósito de equilibrar la relación de C/N de los subproductos con baja relación como fue el caso del guishe (10/1) y el estiércol caprino (11/1) se adicionaron dos residuos con alta contenido de carbono como el esquilmo de frijol (50/1) y estiércol vacuno (25/1) para facilitar la acción de los microorganismos en el proceso de compostaje.

Para realizar el cálculo del balance adecuado en la relación C/N en cada de las mezclas se realizó según la metodología propuesta por Escobar *et al.*, 2012, para este estudio se consideró un peso total de 1.250 kg por reactor que corresponde

al 100 % de la mezcla. Se tomó un peso 0.500 kg del residuo de interés (guishe), 0.500 kg de esquilmo de frijol y 0.250 kg de estiércol de cabra.

Previo al inicio de mezclas a utilizar se realizó el cálculo de la cantidad de residuo a utilizar por tratamiento Cuadro 6:

Cuadro 6. Relación C/N y cantidad de residuos por mezcla en el tratamiento 1.

Tratamiento 1	Relación inicial de C/N	Cantidad
Guishe (G)	10 /1	0.500 kg
Esquilmo de frijol (EF)	50 /1	0.500 kg
Estiércol caprino (EC)	11 /1	0.250 kg
	Total	1.250 kg

A continuación, se realizó el cálculo del porcentaje para cada uno de los residuos mediante una regla de tres simple:

Guishe (G)	Esquilmo de Frijol (EF)	Estiércol caprino (EC)
1.250 kg----- 100 %	1.250 kg----- 100 %	1.250 kg----- 100 %
0.500 kg----- X	0.500 kg----- X	0.250 kg----- X
$100 \times 0.500 / 1.250 = 40 \%$	$100 \times 0.500 / 1.250 = 40 \%$	$100 \times 0.250 / 1.250 = 20 \%$

El resultado del cálculo del porcentaje se divide entre 100 y se multiplica por la relación C/N inicial de cada residuo.

(G) $40 / 100 = 0.4 \times 10 = 4$

(F) $40 / 100 = 0.4 \times 50 = 20$

(EC) $20 / 100 = 0.2 \times 11 = 2$

Con los resultados obtenidos se suman y el resultado final corresponderá a la relación C/N final de la mezcla a compostar del Tratamiento 1.

Suma 4+20+2 → relación C/N= **26/1**

En el Cuadro 7 se observa la relación c/n de cada uno de los sustratos en el tratamiento 2.

Cuadro 7. Relación C/N y cantidad de residuos por mezcla en el tratamiento 2.

Tratamiento 2	Relación inicial de C/N	Cantidad
Guishe (G)	10 /1	0.500 kg
Esquilmo de frijol (EF)	50 /1	0.500 kg
Estiércol vacuno (EV)	25 /1	0.250 kg
	Total	1.250 kg

Guishe (G)	Esquilmo de frijol (EF)	Estiércol vacuno (EV)
1.250 kg----- 100 % 0.500 kg----- X	1.250 kg----- 100 % 0.500 kg----- X	1.250 kg----- 100 % 0.250 kg----- X
100 x 0.500% 1.250 = 40 %	100 x 0.500% 1.250 = 40 %	100 x 0.250% 1.250 = 20 %

(G) $40/100 = 0.4 \times 10 = 4$

(F) $40/100 = 0.4 \times 50 = 20$

(EV) $20 /100 = 0.2 \times 25 = 5$

Suma= 4+20+5 → relación C/N = **29 /1**

En el Cuadro 8 se observa la relación C/N de cada uno de los sustratos en el tratamiento 3.

1.250 kg----- 100 % 0.625 kg----- X	1.250 kg----- 100 % 0.625 kg----- X
100 x .500 % 1.250 = 50 %	100 x .500 % 1.250 = 50 %

Cuadro 8. Relacion C/N y cantidad de residuos por mezcla en el tratamiento 3.

Tratamiento 3	Relación inicial de C/N	Cantidad
Guishe (G)	10 /1	0.625 kg
Esquilmo de frijol (EF)	50 /1	0.625 kg
	Total	1.250 kg

(G) $50/100 = 0.5 \times 10 = 5$

(F) $50 /100 = 0.5 \times 50 = 25$

Suma= $5+ 25 \rightarrow$ relación C/N= **30/1**

En el caso del Tratamiento 4 no se realizó ninguna operación debido a que fue el Testigo y representa al 100 % de la cantidad por reactor y la misma relación C/N inicial. (Cuadro 9).

Cuadro 9. Relación C/N y cantidad de residuo en el tratamiento 4 (Testigo).

Tratamiento 4	Relación C/N del material	Cantidad
Guishe (G)	10 /1	1.250 kg

Con esta metodología se obtuvieron el valor de la relación C/N de cada una de las mezclas (Tratamientos) Cuadro 10. La cantidad de cada uno de los residuos se registró su peso en una balanza digital y posteriormente se llevó a los reactores.

Cuadro 10. Relación C/N de cada una de las mezclas a compostar.

Tratamientos mezclas	Relación de C/N
Tratamiento 1 = G+EF+EC	26/1
Tratamiento 2 = G+EF+EV	29/1
Tratamiento 3 = G+EF	30/1
Tratamiento 4 = G solo Testigo	10/1

Donde:

G+EF+EC= Guishe, Esquilmo de frijol, Estiércol caprino

G+EF+EV= Guishe, Esquilmo de frijol, Estiércol vacuno

G+EF: Guishe, Esquilmo de frijol

G= Guishe

Los resultados obtenidos en la relación C/N de cada uno de los subproductos en este estudio están dentro del rango recomendado por (SAGARPA, 2009; Castillo *et al.*, 2002) donde indica que los materiales a compostar deben tener una relación C/N de 30/1, con un rango de variación de 25 a 35. Solo en el guishe presentó una relación baja de 10/1, esto indica que a menor relación C/N se volatiliza mucho nitrógeno (Castillo *et al.*, 2002).

3.6 Proceso del Compostaje

3.6.1 Estudio de compostaje

Se realizó a nivel piloto, es decir, a pequeña escala en reactores de plástico con capacidad de 20 L. El recipiente se cortó en la parte superior (Figura 9) y para llevar un mejor control del proceso del compostaje se colocó dentro del mismo una bolsa de polietileno de color negro de 60 X 60 cm (Figura 10).



Figura 9. Corte del contenedor.



Figura 10. Forrado al interior del contenedor.

Una vez realizado el cálculo de la relación C/N y de la cantidad de cada uno de los residuos requeridos se pesaron cada una de las cantidades requeridas en una báscula digital (Figura 11) y se etiquetaron en función de los tratamientos y repeticiones; los reactores durante el proceso del compostaje se mantuvieron cubiertos para evitar la acción directa de los rayos solares e impedir la deshidratación del sustrato, la captación de agua de lluvia y se distribuyeron estratégicamente dentro del vivero equipado con malla sombra y con malla ciclónica, además de una fuente permanente de agua.



Figura 11. Pesado de la cantidad de muestras requeridas.

3.6.2 Aplicación y monitoreo de la humedad en las mezclas

Para iniciar el proceso de compostaje en cada una de las mezclas se les añadió agua de grifo con ayuda de una regadera para jardín con el propósito de hidratar las mezclas en los reactores, dado que la humedad es un requisito indispensable para la realización del proceso adecuado de la descomposición en el reactor ya que la humedad en las mezclas permite la movilidad de los microorganismos, transporte de nutrientes y el movimiento de oxígeno para conservar las condiciones aerobias (Kulikowska y Gusiatin, 2015). El porcentaje de humedad recomendado para el proceso de compostaje está entre el 50 y 70% (SAGARPA, 2009) y para realizar el cálculo del porcentaje de óptimo de la humedad en este estudio se tomó un puño de mezcla y se comprimió con la mano, dejando escurrir solo unas pocas gotas de agua entre los dedos eso indica de una manera empírica que el porcentaje de humedad estuviera dentro de ese rango. El monitoreo de la humedad en el reactor se realizó cada 24 horas, la humedad en las mezclas se controló agregando agua de la llave aplicados con una regadera de jardín para humedecer las mezclas con el propósito que siempre estuvieran dentro del rango óptimo (50 y 70%).

3.6.3 Oxigenación

Con el propósito de garantizar una buena oxigenación y suministrar oxígeno para la realización del metabolismo aeróbico se mantuvo una aireación adecuada para permitir la respiración de los microorganismos y evitar que las mezclas tuvieran exceso de humedad y se compactaran y llevar el control de la temperatura, se realizaron volteos en forma manual en cada una de las mezclas dentro de los reactores. Por lo regular, se realizaron después de la aplicación de los riegos, y posteriormente se realizaron cada siete días.

3.6.4 Registro de la temperatura de las mezclas

Es importante realizar el registro de la temperatura de la composta principalmente en las primeras dos semanas, debido a que la temperatura se incrementa sustancialmente por la alta actividad microbiológica. Al igual que la humedad se realizó un registro de la temperatura cada 24 horas con la ayuda de un termómetro de laboratorio expresado en °C, la lectura se tomó en la parte media de cada uno de los reactores. La temperatura al inicio del compostaje se registró en una temperatura ambiente de 26 °C, en la primera semana la temperatura en las compostas fue entre 27°C y 28 °C. Después las temperaturas variaron entre los 29°C y 30°C durante dos semanas hasta la estabilización en la semana cuatro que su máxima temperatura se registró entre 31°C y 33 °C., estas últimas temperaturas se mantuvieron tres días y con el paso de los días fueron decayendo hasta quedar en una temperatura promedio entre 25 °C

En la Figura 12, 13, 14 se muestran los diferentes tratamientos durante el proceso de compostaje, como se puede ver tuvieron la presencia de algunos cuerpos fructíferos de hongos setados y filamentosos a excepción de la Figura 15 donde no hubo presencia de ningún microorganismo.



Figura 12. Guishe+ Estiércol vacuno + Esquilmo de Frijol.



Figura 13. Guishe + Estiércol caprino + Esquilmo de Frijol.



Figura 14. Guishe + Esquilmo de Frijol.



Figura 15. Guishe (Testigo).

El periodo de evaluación del proceso de compostaje del guishe de *A. lechuguilla* fue de 144 días, aproximadamente 5 meses. Al final del proceso de compostaje en este estudio se tomó una muestra compuesta (Figura 16, 17, 18 y 19) de cada uno de los tratamientos y se realizó la caracterización fisicoquímica en laboratorio y la determinación de la Relación C/N final de las compostas.



Figura 17. Composta final Guishe + Esquilmo de Frijol + Estiércol vacuno.



Figura 16. Composta final Guishe + Estiércol Caprino + Esquilmo de Frijol.



Figura 19. Composta final Guishe + Esquilmo de Frijol.



Figura 18. Composta final Guishe (Testigo).

3.7 Diseño experimental

El presente estudio se estableció bajo un diseño experimental completamente al azar con cuatro tratamientos y con tres repeticiones por tratamiento.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 Análisis físicos y químicos de la composta obtenida

Al terminar el proceso del compostaje en este estudio se realizaron análisis físicos y químicos y se determinó la relación C/N de la composta que se muestran en el Cuadro 11.

Cuadro 11. Resultados de los análisis físicos y químicos de la composta en los cuatro tratamientos.

Variables	T1 G+EF+EC	T2 G+EF+EV	T3 G+F	T4 G
pH	9.75	9.69	9.84	10.50
Conductividad eléctrica	7.6 dS m ⁻¹	8.0 dS m ⁻¹	7.8 dS m ⁻¹	6.4 dS m ⁻¹
Humedad	2.55 %	5.40 %	3.50 %	4.05 %
Cenizas	54.77 %	44.27 %	47.75 %	63.33 %
Relación C/N	20	18	20	14
Materia orgánica	70.62 %	67.91 %	63.83 %	65.19 %
Carbono orgánico	40.96 %	39.39 %	37.03 %	37.81 %
Nitrógeno total	2.03 %	2.10 %	1.82 %	2.59 %
Fosforo (P₂ O₅)	1.83 %	1.64 %	1.72 %	1.42 %
Potasio (k₂ O)	4.95 %	4.40 %	4.10 %	3.21 %
Calcio (Ca)	3.56 %	3.54 %	3.37 %	2.78 %
Magnesio (Mg)	0.83 %	0.75 %	0.69 %	0.56 %
Sodio (Na)	0.37 %	0.45 %	0.43 %	0.28 %
Hierro (Fe)	381.10 ppm	346.82 ppm	298.62 ppm	357.26 ppm
Manganeso (Mn)	388.64 ppm	249.52 ppm	279.61 ppm	14.35 ppm
Zinc (Zn)	262.15 ppm	60.45 ppm	240.79 ppm	188.47 ppm
Cobre (Cu)	39.67 ppm	35.47 ppm	34.96 ppm	25.74 ppm
Boro (B)	101.57 ppm	75.26 ppm	94.28 ppm	81.33 ppm

4.1.2 Potencial de Hidrogeno (pH) en las mezclas

En la mayor parte de las especies cultivadas en sustratos se desarrollan en rangos de pH entre 5.5 y 6.3 (Abad *et al.*, 2001). Al final del proceso de compostaje en este estudio, el pH varió entre 9.66 y 10.50 dependiendo de las mezclas utilizadas. En la Figura 20 se muestra de manera gráfica los valores obtenidos para cada uno de los tratamientos registrando los siguientes valores: T1= 9.5, T2= 9.66, T3= 9.84 y T4 10.50 considerados estos como alcalinos, estos valores son similares al valor de 9.1 mencionado por Iñiguez *et al.* (2005) para composta de bagazo de *Agave tequilana* Weber. El contenido de pH de la composta en este estudio podría atribuirse a los pequeños cristales de oxalato de calcio, comúnmente, presentes en la biomasa de *Agave* (Pérez-Pimienta *et al.*, 2016) y debido a la generación de carbonato de calcio, como resultado de la combinación de carbonato (producto de la liberación del CO₂ y el agua) con el calcio del residuo en proceso de descomposición (Bucher, 2008). El pH influye en la asimilación de los nutrientes por las plantas, la capacidad de intercambio catiónico y la actividad biológica (Crespo, 2011).

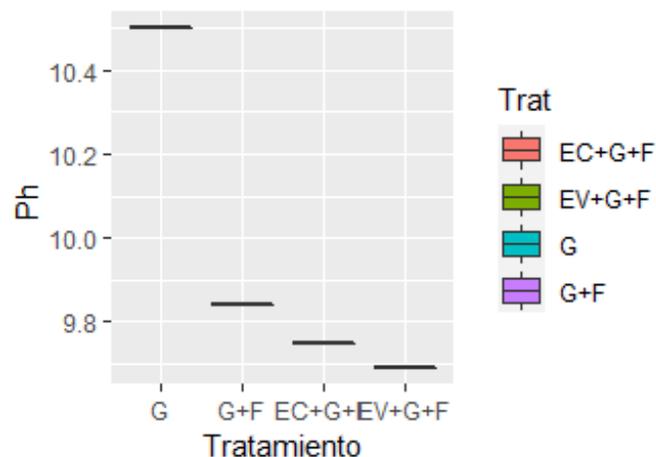


Figura 20. Valores de pH en cada uno de los tratamientos evaluados.

Cuando el pH en una mezcla es alto, como los resultados en este estudio, se puede corregir mediante la adición de azufre, sulfato ferroso, sulfato de aluminio u otros componentes azufrados (Barbaro *et al.*, 2019).

4.1.3 Conductividad eléctrica (CE)

La conductividad eléctrica (CE) es una variable que estima la salinidad y está relacionada con la concentración de sales disueltas y es un parámetro importante que indica el contenido de las sales solubles en una composta (Masaguer y Benito 2008) y la unidad de medición de la CE es dS/m (deciSiemens, por metro) a mayor CE, mayor es la concentración de sales. Es importante mencionar que se debe considerar la naturaleza y la composición de los residuos de origen (previos al compostaje), ya que ésta determina la proporción de los iones y, por lo tanto, el valor de la CE (Bueno *et al.*, 2008. Según Crespo (2011) la CE comúnmente tiende a incrementar durante el proceso del compostaje a causa de la mineralización de la materia orgánica, por lo que genera una liberación de iones o incremento de la concentración de nutrientes.

Al final del proceso de compostaje en este estudio según los análisis de laboratorio se tuvieron los siguientes valores: T1= 7.6 dS m⁻¹, T2= 8.0 dS m⁻¹, T3= 7.8 dS m⁻¹ y T4= 6.4 dS m⁻¹). El T2 fue el que presentó la mayor CE con 8.0 dS m⁻¹, observando estos valores, las compostas obtenidas en este estudio se consideran salinas, valores muy por encima del límite establecido de 1 dSm⁻¹ (1+5 v/v), propuesto por (Barbaro *et al.*, 2014) para cultivos tradicionales. Realizando una comparación con los análisis iniciales de cada uno de los residuos se puede observar que las mezclas al final del proceso de composteo la CE se incrementó, debido a la mineralización de la materia orgánica, esto coincide con lo mencionado por Crespo (2011) donde afirma que la CE a menudo tiende a incrementar durante el proceso del compostaje. En relación a los resultados de la CE de las compostas obtenidas en este estudio muestran altos contenidos de CE en comparación a los reportados por Crespo (2011) donde

obtuvo 1.5 dS/m^{-1} para el bagazo de *Agave tequilana*, este valor posiblemente fue influido a que el *Agave* fue sometido a varios procesos hasta la obtención del tequila, picado de las cabezas o piñas de las plantas, calentamiento, enjuague, exprimido y fermentación de la materia prima, y finalmente por un lado el tequila y el residuo como del bagazo.

El alto contenido de CE dificulta la absorción de agua por las raíces de las plantas de cultivos tradicionales y, por lo tanto, podrían disminuir el desarrollo de las plantas debido a desbalances nutricionales y/o efectos fitotóxicos (Barbaro *et al.*, 2014), de modo que, en ocasiones, en este tipo de composta sólo prosperan las especies resistente a los altos contenidos de salinidad. Las compostas obtenidas en este estudio superaron el límite antes mencionado, sin embargo, se podrían utilizar en la producción de planta en vivero de especies forrajeras de zonas áridas y semiáridas que toleran altos contenidos de salinidad en el suelo (Villanueva y Hernández, 2001), por ejemplo, la costilla de vaca (*Atriplex canescens* (Pursh) Nutt.) (Castillo *et al.*, 2021), *Eucaliptus* (Sallessens *et al.*, 2015) y *Cupressus arizonica* (Guerrero *et al.*, 2002) y la coquia (*Kochia scoparia* (L.) Roth) ésta última, tolera condiciones de salinidad por encima de los 10 dS/m^{-1} (Anaya, 1995) contenido superior a los resultados obtenidos en las compostas en este estudio, pero si se quieren utilizar para la producción de otras plantas que no toleran altos contenidos de salinidad, se podría corregir o disminuir el contenido mediante lixiviación en las mezclas previas al composteo, (Bueno *et al.*, 2008).

4.1.4 Relación Carbono-Nitrógeno (C/N)

El valor de la relación de C/N en una composta se refiere a la relación de C/N de la materia orgánica estable del suelo (Crespo, 2011). Los valores obtenidos de la relación de C/N al término del proceso de compostaje de las diferentes mezclas evaluadas en este estudio, variaron entre 14/1 y 20/1 (T1 = 20, T2= 18, T3= 20 y

T4 = 14). Existen referencias como Sullivan y Miller, 2005 donde mencionan que la relación de C/N en una composta debe variar entre 10/1 (cerca al humus) y 15/1, a su vez, Moral y Muro (2008), mencionan que una composta madura debe oscilar entre 15-20 > 15. Los resultados en este estudio coinciden con los reportes anteriores, por lo cual, bajo estos parámetros, la composta en este estudio está dentro de los valores de referencia reportados en la literatura.

4.1.5 Materia Orgánica (MO).

La MO en una composta indica el porcentaje de la materia seca que permanece como materia orgánica tras el proceso de compostaje, y debe tener un rango entre 30 a 60%. El porcentaje de MO en este estudio fueron: T1= 70.62 %, T2= 67.91 %, T3= 63.83 % y T4= 65.19 %, solo el T= 1 fue ligeramente superior a 60%. Sin embargo, están dentro de los rangos reportados por (NRAES, 1999),

4.1.5 Carbono Orgánico (CO).

La concentración de carbono orgánico total de una composta es un indicador de la concentración de MO (Masaguer y Benito, 2008). La composta en este estudio alcanzó los siguientes valores T1= 40.96 %, T2= 39.39. T3= 37.03 y T4= 37.81, contenidos superiores a lo reportado por Crespo (2011) con 26.61%, y por Jiménez (2010) con 26.1% para compostaje de *Agave*.

4.1.6 Nitrógeno Total

La concentración de nitrógeno en una composta es muy variable, y esta depende de la materia prima inicial en el proceso de compostaje: su contenido según Moral y Muro (2008) puede oscilar entre el 1%, hasta 4.4%. Las compostas en este estudio mostraron valores que variaron entre 1.85 a 2.59 %, valores muy similares a los reportados por Iñiguez *et al.* (2005) y Jiménez (2010) de 1.0%, y

de 2.0 % respectivamente en estudios para la elaboración de compostas de bagazo de *Agave*. Según Soto y Meléndez (2003), en relación a los requerimientos de nitrógeno para que una composta se encuentre en su rango óptimo debe tener de 0.15- 1.5 % para ser comercialmente aceptable debe contener más del 2 % de N. Los resultados de las compostas obtenidas en este estudio demuestran que en todos los tratamientos se encuentran en el rango de nitrógeno óptimo reportados en la literatura mencionada anteriormente.

4.1.7 Potasio (K)

Las concentraciones de K en las compostas pueden variar según los materiales de origen por ejemplo Cooperband, 2002 menciona índices entre 0.5 a 1.4 % y 0.3–2.5% para compostas de residuos vegetales y residuos municipales mezclados con biosólidos respectivamente. Este elemento es altamente móvil en todos los niveles de las plantas, tanto en las células como en los tejidos, en consecuencia, según He *et al.* (2001) una parte de este elemento en las plantas puede perderse en el proceso del compostaje. Las compostas de estudio tuvieron las siguientes concentraciones T1=4.95 %, T2= 4.40 %, T3= 4.10%, y T4= 3.21%. Los valores obtenidos en este estudio fueron superiores a los registrados por Iñiguez *et al.* (2005) y Jiménez (2010) con concentraciones de 0.2% y 0.4% para compostas de bagazo de *Agave* respectivamente y ligeramente superiores a lo reportado por Cooperband, 2002 para residuos municipales mezclados con biosólidos (2.5 %).

4.1.8 Calcio (Ca)

La concentración de Ca según He *et al.* (2001) en una composta puede oscilar entre 2.1 y 7.5% y esta concentración está en función de las mezclas iniciales previas al compostaje. Según los resultados en este estudio se registraron valores: T1=3.56%, T2= 3.54%, T3=3.37% y T4= 2.78%, los cuales están dentro de los rangos mencionados por He *et al.* (2001) y los reportados por Cooperband (2002) de 2.4 – 6.5 % para residuos municipales mezclados con biosólidos.

4.1.9 Magnesio (Mg)

Las concentraciones de Mg de las compostas en este estudio fueron: T1= 0.83%, T2= 0.75%, T3= 0.69% y T4= 0.56% similares a lo reportado por Jiménez (2010) que obtuvo el 0.60%. para compostas a base de bagazo de *Agave*.

4.1.10 Fósforo (P)

Las concentraciones de P en la composta generalmente fluctúan entre 0.04 y 2.3 % (Tittarelli *et al.*, 2007) mencionan que la composta debe contener entre 0.6 y 2.0% de este elemento. Las compostas obtenidas en este estudio, presentaron valores entre 1.42 y 1.83 %, valores más altos a los reportados por Iñiguez *et al.* (2005) y Jiménez (2010) con valores de 0.1% y 0.3% respectivamente para el bagazo de *Agave*; sin embargo, las compostas en este estudio están dentro del rango señalado por Tittarelli *et al.*, 2007 (0.6 y 2.0%) y menores a lo reportado por Dalsell *et al.*, 1991 y Trinidad, 1999 donde reportan concentraciones de 2.42 y 2.10 para este elemento.

Con relación a los micronutrientes de cada uno de los tratamientos según los análisis de laboratorio se presentan los siguientes resultados: para el sodio (Na) T1= 0.37%, T2= 0.45 %, T3= 0.45 %, T4= 0.28 % estos valores fueron relativamente semejantes a los reportados por Jiménez (2010) para composta de bagazo de *Agave* donde obtuvo un valor de 0.15 %. Para el elemento hierro (Fe) los contenidos encontrados en este estudio fueron: T1= 381.10 ppm, T2= 346.82 ppm, T3= 298.62 ppm, T4= 357.26 ppm valores muy por debajo a los reportados por Crespo (2011) para la composta obtenida de bagazo de maguey tequilero (3,872.78 ppm). Los valores de manganeso (Mn) dieron por resultado T1= 388.64 ppm, T2= 249.52 ppm, T3= 279.61 ppm, T4= 14.35 ppm, muy por encima de los reportado por Crespo (2011) con 113 ppm. Con respecto al elemento Zinc (Zn) se tuvieron valores de T1= 262.15 ppm, T2= 60.45 ppm, T3= 240.79 ppm y T4= 188.47 ppm, valores muy semejantes a lo reportado por Jiménez (2010) con 193 ppm.

Con relación al micronutriente Cu en este estudio se encontraron los siguientes resultados T1= 39.67 %, T2= 25.47%, T3= 34.96% 25.74%, muy similares a los reportados por Crespo, 2011 con 25.94 ppm para el bagazo de maguey tequilero.

CONCLUSIÓN

Las características físicas y químicas en las compostas obtenidas ubicaron dentro de los estándares de la literatura especializada, solo el pH y la CE, están de fuera de los parámetros, por lo que es necesario reducir los valores de estos dos parámetros para que los nutrientes se encuentren disponibles y que no existan problemas de toxicidad por sales en las plantas.

La relación de carbono nitrógeno C/N de las compostas en este estudio están dentro de los valores de referencia reportados en la literatura.

El guishe de lechuguilla es una fuente potencial para la elaboración de composta, debido al volumen generado después del aprovechamiento para la obtención de la fibra, con el aprovechamiento de este residuo, además de disminuir el grado de contaminación a la atmosfera y al suelo, se convierte en un sustrato adecuado para fines agronómicos ya sea en cultivos, huertos y la producción de planta en vivero o bien para venta de composta generando un ingreso extra a los pobladores.

LITERATURA CITADA

- Abad, M., P. Noguera, and S. Burés. 2001. National inventory of organic wastes for use as growing media for ornamental potted plant production: case study in Spain. *Bioresource Technology* 77(2):197-200
- Abreu, C.E., Araujo, C.E., Rodríguez J.S.L., Valdivia, A. A.L., Fuentes A.L., Pérez, H.Y. (2018). Efecto de la aplicación combinada de fertilizante químico y humus de lombriz en *Capsicum annum*. *Centro Agrícola*. Vol.45 No.1 52-61, http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S025357852018000100007
- Águila, M. K., y Mc. Leold, B. C. (2020). Compostera básica para el hogar. Instituto de Investigaciones Agropecuarias (INIA). Disponible *En:* <http://biblioteca.inia.cl/medios/biblioteca/informativos/NR40965.pdf>.
- Alcázar-Medina, F., Proal-Nájera, J., Gallardo-Velázquez, T., Cháirez-Hernández, I., Antileo-Hernández, C., Alvarado-de la Peña, A. (2014). Aplicación de extractos de lechuguilla (*Agave lechuguilla* Torr.) en la remoción de cobre (II) en modelos de agua por aglomeración esférica. *Revista Mexicana de Ingeniería Química*, 13 (2), 605-617.
- Álvarez de la Puente, J.M. (2010). Manual de Compostaje para Agricultura Ecológica. Consejería de Agricultura y Pesca. Junta de Andalucía. 6-7. DOI: 10.13140/RG.2.2.20182.24647
- Anaya, G.M. (1995). *Kochia scoparia* L. Chrad (coquia) una opción forrajera para zonas áridas y semiáridas. FAO. 77 P.
- Arévalo, C.C. (2017). Determinación de las cantidades de carbono y nitrógeno Presentes en Lombricomposta producido a partir de dos diferentes sustratos (Material vegetal y estiércol de caballo). Tesis de Licenciatura.

Universidad Distrital Francisco José De Caldas Facultad de Ciencias y Educación. Distrito Capital, Bogotá, Colombia. 1-47 pp.
<https://www.doccity.com/es/arevalo-castro-carlos-elisio-2017/5410159/>

Baptista, M., Silveira, A & Antunes, F. (2012). Theoretical analysis of the kinetic performance of laboratory- and full-scale composting systems. *Waste Management & Research*, 30(7), 700–707.
DOI: <https://doi.org/10.1177/0734242X11433528>

Barbaro, L., Karlanian, M., Rizzo, P. y Riera, N. (2019). Caracterización de diferentes compost para su uso como componente de sustrato. *Chilean J. Agric, Anim. Sci., ex Agro-Ciencia* 35 (2). 126-136.
<https://scielo.conicyt.cl/pdf/chjaasc/v35n2/0719-3890-chjaasc-00309.pdf>

Belda S. J.E. (2013). Estimulación de suelos e hidropónicos “supresores” de enfermedades, mediante su enriquecimiento biológico. *En; III Jornadas Internacionales sobre feromonas, atrayentes, trampas y control biológico.*
https://www.phytoma.com/images/254_feromonas_supresores.pdf

Berlanga R., C.A., M. García, V. y L.A. González, L. (1992). Técnicas para el establecimiento y manejo de una plantación de lechuguilla. Folleto divulgativo No. 1. SARH-INIFAP-CIRNE. Campo Experimental “La Saucedá” Saltillo, Coahuila, México.8 p.

Bernal, M. P., Soommer, S. G., Chadwick, Ch., Qing, Ch., Guoxue, L., Frederick C y Michel, J. 2017. Capítulo tres: enfoques actuales y tendencias futuras en los criterios de calidad del compost para beneficios agronómicos, ambientales y de salud humana. *Avances en Agronomía* 144, 143-233.
<https://doi.org/10.1016/bs.agron.2017.03.002>

Bucher, A. (2008). Recyclingstoffe im Garte (CD-ROM), Srip Gaternbau. Institut fur Gatenbau. Fachhochschule Weihenstephan, Germany, 124 p.

- Bueno M. P., Díaz B. M.J. y Cabrera C. F. (2008). Capítulo 4. Factores que afectan al proceso de Compostaje. Aedos. Moreno C.J. Moral H. R. (Edit. Cient.) Barcelona, España.
<https://digital.csic.es/bitstream/10261/20837/3/Factores%20que%20afectan%20al%20proceso%20de%20compostaje.pdf>
- Carmona J.E., Morales-Martínez, T.K., Mussatto S.I., Castillo-Quiroz D., Ríos-González L.J. (2017). Chemical, structural and functional properties of lechuguilla (*Agave lechuguilla* Torr.) *Revista Mexicana de Ciencias Forestales* 8, 1–16.
- Carolla, C; Sánchez, R y Montiel, E. (2009). Modelo de superficie de respuesta que permite inferir concentración de nitrógeno en “compost” producido a partir de desechos orgánicos. *Revista Ingeniería E Investigación*, 29(3):128-133. Recuperado en 10 de abril de 2020. http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S012056092009000300021&lng=es&tlng=es.
- Castillo Q. D, O. Mares A. y E. E. Villavicencio G. (2011). Lechuguilla (*Agave lechuguilla* Torr.) planta suculenta de importancia económica y social de las zonas áridas y semiáridas de México. Volumen 8 / No. 2. *Boletín de la Sociedad Latinoamericana y del Caribe de Cactáceas y otras Suculentas*. 6-9 pp.
- Castillo Q. D., Sáenz R.J.T., Narcia V.M., y Vázquez R. J.A. (2013). Physical and mechanical properties of *Agave lechuguilla* Torr. fiber under plantations of five provenances. *Mexican Journal of Forest Sciences*. 4(19): 78-90.
- Castillo, A., Eresue M., Rodríguez L., Rugama J.A. (2002). Manejo integrado de la fertilidad de los suelos en Nicaragua, Managua, Nicaragua. 130 p.
- Castillo, Q. D., R. C. A. Berlanga y P. A. Cano. (2005). Recolección, extracción y uso de la fibra de lechuguilla (*Agave lechuguilla* Torr.) en el estado de

Coahuila. CIR Noreste Centro. INIFAP. Publicación Especial 6. Saltillo, Coah., México. 13 p.

Castillo, Q.D. (2019). Factores edafoclimáticos que influyen en el crecimiento de cogollos de lechuguilla (*Agave lechuguilla* Torr. para la producción de bioetanol de segunda generación. Tesis de doctorado, Facultad de Ciencias Químicas. Universidad Autónoma de Coahuila. 123 p.

Castillo, Q.D., Gutiérrez L. R., Ávila F. D. Y., Castillo R. F., Sáenz C. J.E. (2021). *Atriplex canescens* (Pursh) Nutt. una especie multifuncional de las zonas semiáridas de Norteamérica: una revisión. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*. Vol. 12 (67). 25 p. <https://cienciasforestales.inifap.gob.mx/index.php/forestales/article/view/821/2655>

Castillo-Quiroz, D., O. U. Martínez-Burciaga, L. J. Ríos-González, J. A. Rodríguez-de la Garza, T. K. Morales-Martínez, F. Castillo-Reyes y D. Y. Ávila-Flores. (2014). Determinación de área potenciales para plantaciones de *Agave lechuguilla* Torr. para la producción de etanol. *Revista Acta Química Mexicana* 3(12): 3-11. www.actaquimicamexicana.uadec.mx/?p=416

Cooperband, L. (2002). The art and science of composting: A resource for farmers and compost producers. Manual of the Center for Integrated Agricultural Systems, University of Madison- Wisconsin. U.S.A.

Corato, U. (2019). Use of omic approaches for characterizing microbiota from suppressive compost to control soil-borne plant pathogens. *Archives of Phytopathology and Plant Protection*, 52: 757-775. DOI: <https://doi.org/10.1080/03235408.2018.1554199>

Crespo, G. M.R. (2011). Proceso de compostaje de bagazo de agave tequilero, a gran escala y uso de la composta para el cultivo de *Agave tequilana*. Tesis de Doctorado. Universidad de Guadalajara. 202 p.

- Crespo, V. C. (2004). Mecánica de suelos y cimentaciones. México: Limusa.
https://books.google.com.mx/books?id=Db2SQbBHVPQC&pg=PA18&dq=definicion+de+suelo&hl=es&sa=X&ved=2ahUKEwir_KK6tonyAhUKrJ4KH WU6AnAQ6AEwAXoECAsQAg#v=onepage&q=definicion%20de%20suelo&f=false
- Dalzell, H. W., & Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. (1991). Manejo del suelo: Producción y uso del compostaje y ambientes tropicales y subtropicales. Roma: FAO. Roma Italia
- De la Cerda, S.P.C (2012). Caracterización y aprovechamiento del residuo del tallado de *Agave lechuguilla* Torrey. (guishe). Tesis de Licenciatura. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. 53 p.
<http://repositorio.uaaan.mx:8080/xmlui/bitstream/handle/123456789/514/62480.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- De Luna, V, A; Vázquez, A, E. (2009). Elaboración de Abonos Orgánicos. Centro Universitario de Ciencias Biológicas y Agropecuarias. Universidad de Guadalajara. pp 4-12.
- Díaz-Blanco, D. I., J. R. de La Cruz, J. C. López L., T K. Morales M., E. Ruiz, L J. Ríos G., I. Romero and E. Castro. (2018). Optimization of dilute acid pretreatment of *Agave lechuguilla* and ethanol production by co-fermentation with *Escherichia coli* MM160. *Industrial Crops Products* 114: 154-163. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2018.01.074>
- Dickerson, G W. (2005). Backyard composting. Guide H-110. New Mexico State University.
- Duque, H y Gilmar, A. (2019). Elaboración de compost mediante la utilización de sustancias aceleradoras (yogurt, levadura, melaza, jugo de caña de azúcar) para la descomposición de los sustratos orgánicos. Quevedo. UTEQ. 74 p.
<http://repositorio.uteq.edu.ec/handle/43000/3838>

- EPA. United States Environmental Protection Agency. (2017). Types of Composting and Understanding the Process. <https://www.epa.gov/sustainable-management-food/types-composting-and-understanding-process>.
- Escobar, E. N., Mora, D. J. y Romero, J. N. (2012)a. Identificación de poblaciones microbianas en compost de residuos orgánicos de fincas cafeteras de Cundinamarca. *Boletín Científico, Centro de Museos, Museo de Historia Natural*. 16 (1), 75-88. <http://www.scielo.org.co/pdf/bccm/v16n1/v16n1a06.pdf>.
- Escobar, F., Sánchez P. J., y Azero, A. M. (2012)b. Evaluación del proceso de compostaje con diferentes tipos de mezclas basadas en la relación C/N y la adición de preparados biodinámicos en la Granja Modelo Pairumani. *Acta Nova*, 5(3), 390-410.
- FERTIBOX, Análisis Agrícolas. (2019). Compost y Vermicompost: ¿En qué se diferencian?. <https://www.fertibox.net/single-post/compost-vermicompost>
- García, M. A. (2007). Los agaves de México. *Ciencias* 87. 15- 23 pp. <http://www.revistaciencias.unam.mx/images/stories/Articles/87/02/Los%20agaves%20de%20Mexico.pdf>
- Gentry H. S. (1982). *Agaves of Continental North American*. The University of Arizona Press. Tucson. 670 p.
- Green Lab. (2017). Laboratorio de Análisis Agrícolas. <http://analisisgreenlab.com.mx/>.
- Gregorio- Jáuregui, K.M., Cano-Cabrera J.C., Iliná A. y Martínez-Hernández J.L. (2008). Perspectivas biotecnológicas de la lechuguilla (*Agave lechuguilla*) Fitoquímicos sobresalientes del semidesierto mexicano 13, 179-182.

- Guerrero, F. Gastó J.M, and Hernández A. 2002. Use of pine bark and sewage sludge compost as component of substrates for *Pinus pinea* and *Cupressus arizonica* production. *Journal Plant Nutrition* 25 (1): 129-141
- Guillot, O.D., P. Van der M., E, Laguna J. y J.A. Rosello P. (2008). El Genero Agave L. en la flora alóctona Valenciana. www.floramontiberics.org (6 de enero de 2013).
- He, Z., Yang, X., Kahn, B. A., Stofella, P. J. and Calvert, D. V. (2001). Plant nutrition benefits of phosphorus, potassium, calcium, magnesium and micronutrients from compost utilization. In: compost utilization in horticultural cropping systems. Stofella, P. J. and Kahn, B. A. (Eds.). Lewis Publishers, Boca Ratón, FL. 307-320 pp.
- Hernández S.R., E.C. Lugo C., L. Díaz J. y S. Villanueva. (2005). Extracción y cuantificación indirecta de las saponinas de *Agave lechuguilla* Torrey. e-Gnosis (online), Vol. 3, Art. 11. 9 p.
- <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S104996441930204X>
- Infoagro. (2017). Los nutrientes presentes en el suelo. <https://mexico.infoagro.com/nutrientes-presentes-en-el-suelo/>
- Íñiguez G., Acosta N., Martínez L., Parra J. y González O. (2005). Utilización de subproductos de la industria tequilera. Parte 7. Compostaje de bagazo de Agave y vinazas tequileras. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*. Vol. 21 No.1 37-50. <http://www.scielo.org.mx/pdf/rica/v21n1/0188-4999-rica-21-01-37.pdf>
- Intagri (2015). La capacidad de intercambio catiónico del suelo. Recuperado el 4 de Agosto de 2021, de <https://www.intagri.com/articulos/suelos/la-capacidad-de-intercambio-cationico-del-suelo>.
- Jain, M.S. & Kalamdhad A.S. (2019). Drum composting of nitrogen-rich *Hydrilla verticillata* with carbon-rich agents: Effects on composting physics and

kinetics. *Journal of Environmental Management*, 231:770-779. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2018.10.111>.

Jhorar, B.S., V. Phogat y E. Malik. (1991). Kinetics of composting trice Straw with glue waste at different C/N ratios in semiarid environment. *Arid Soil. Rest. Rehabil.*5:297-306.

Jiménez, M. J. (2010). Aprovechamiento de biosólidos de la industria tequilera para la elaboración de composta de bagazo de agave. Tesis de maestría. Centro Universitario de Ciencias Biológicas y Agropecuarias. Zapopan Jalisco. 69 pág.

Juárez, D. S., López, M. L. F., Sánchez-Robles, J. H., de la Cerda Suárez, P. C., Charles, A. V. R., & Jiménez, I. D. (2014). Variability of saponins concentration in guishe collected in different geographical areas and weather conditions. *Journal of Chemistry*. 2(2), 105-115. 2

Junta de Andalucía. (2000). Empresa de Gestión Medio Ambiental. Consejería de Medio Ambiente. Investigación y Desarrollo Tecnológico de Procesos de Compostaje y Aplicación del Compost en los sectores Agrícola y Forestal. https://www.juntadeandalucia.es/medioambiente/web/Bloques_Tematicos/Calidad_Ambiental/Gestion_De_Los_Residuos_Solidos/compost/dipticoID_98_00.pdf

Kulikowska, D. y Z. Gusiatin. (2015). Sewage sludge composting in a two-stage system: Carbon and nitrogen transformations and potential ecological risk assessment. *Waste Manag.* 38, 312-320. Doi: 10.1016/j.wasman.2014.12.019

Laich, F. (2011). El papel de los microorganismos en el proceso de compostaje. Jornada Técnica: Fertilidad y Calidad del Suelo. Instituto Canario de Investigaciones Agrarias (ICIA). <https://www.icia.es/biomusa/pt/jornadas-y-actividades-pt/jornada-tecnica-sobre-calidad-y-fertilidad-del-suelo-pt/65-el-papel-de-los-microorganismos-en-el-proceso-de->

de-interes-comercial-de-las-zonas-aridas-de-mexico-martin-martinez-salvador.html

- Martínez, H. E., Fuentes, E. J. y Acevedo, H. E. (2008). Carbono orgánico y propiedades del suelo. *Revista de la Ciencia del Suelo y Nutrición vegetal*, 8(1), 68-96. <https://dx.doi.org/10.4067/S0718-27912008000100006>
- Masaguer R.A. y Benito M. C. (2008). Evaluación de la calidad del compost, 285-304. En: J. Moreno Casco y R. Moral Herrero (eds.). *Compostaje*. Ediciones Mundi-Prensa, España. 570 p
- Monroy H. O. y Viniegra G. G. (1990). *Biotecnología para el Aprovechamiento de los Desperdicios Orgánicos*. AGT. Editor, S.A. Progreso 202- planta alta. México D. F.
- Moral H.R. y J. Muro E. (2008). Manejo, deificación y gestión agronómica del compost. 351-378 p. En: J, Moreno Casco y R. Moral Herrero (eds.) *Compostaje*. Ediciones Mundi Prensa, España. 570 p.
- Morales M., T. K., J. Ríos G. L., J. A. Rodríguez de la G., Y. Garza G. y D. Castillo Q. (2014). Potencial del Agave lechuguilla como cultivo energético. *Revista Ciencia cierta* 10: 13-15. www.cienciacierta.uadec.mx/2014/12/12/potencial-del-agave-lechuguillacomo-cultivo-bioenergetico-en-mexico/.
- Morales-Maldonado, E.R y Casanova-Lugo, F. (2015). Mezclas de sustratos orgánicos e inorgánicos. *Agronomía Mesoamericana* 26 (2), 1-11. DOI 10.15517/AM.V26I2.19331
- Morales-Martínez, T.K., Medina-Morales M.A., Ortiz-Cruz A.L., Rodríguez-De la Garza J.A., Moreno-Dávila M., López-Badillo C.M., Ríos-González L. (2020). Consolidated bioprocessing of hydrogen production from agave

biomass by *Clostridium acetobutylicum* and bovine ruminal fluid. *Int. J. Hydrogen Energy*, 45, 13707–13716.

Moreno, C., J. y Moral, H. R. (2008). *Compostaje*. Mundi Prensa. https://books.google.com.pe/books?id=IWYJAQAAQBAJ&printsec=frontcover&hl=es&source=gbs_ge_summary_r&cad=0#v=onepage&q&f=false

Morreeuw, Z.P. Castillo-Quiroz D., Ríos-González L.J., Martínez-Rincón R., Estrada N., Melchor- Martínez E.M., N. Iqbal H.M., Parra-Saldívar R., Reyes A.G. (2021). High Throughput Profiling of Flavonoid Abundance in *Agave lechuguilla* Residue-Valorizing under Explored Mexican Plant. *Plants*, 10(4), 695; <https://doi.org/10.3390/plants10040695>

Narcia, V.M., D. Castillo Q., J.A. Vázquez R. y C.A. Berlanga R. (2012). Turno Técnico de la lechuguilla (*Agave lechuguilla* Torr.) en el noreste de México. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales* Vol.3 Núm. 81-88 p.

Natural Resource, Agriculture and Engineering Service (NRAES). 1999. Field guide to onfarm composting. Ithaca, New York, U.S.A. 118 p.

Nobel P.S. y Quero E. (1986). Environmental productivity indices for a Chihuahuan Desert CAM plant, *Agave lechuguilla*. *Ecology*. 67(1): 1-11.

Oliva-Rodríguez, A.G., Quintero J., Medina-Morales M.A., Morales-Martínez T.K., Rodríguez-De la Garza J.A., Moreno-Dávila M., Aroca G., Ríos González L.J. (2019). Clostridium strain selection for co-culture with *Bacillus subtilis* for butanol production from agave hydrolysates. *Bioresources Technology*. 275, 410–415.

Ortíz Méndez, O., Morales Martínez, T., Ríos González, L., Rodríguez de la Garza, J., Quintero, J., y Aroca, G. (2019). Producción de bioetanol a partir de biomasa de *Agave lechuguilla* pretratada por autohidrólisis. *Revista Mexicana De Ingeniería Química*, 16 (2), 467-476. <https://doi.org/10.24275/rmiq/Alim825>

- Pachón, A. M. E y Vargas M. A. D. (2015). Revisión sobre el estudio de la dinámica de los microorganismos presentes en el compostaje de subproductos de la caña de azúcar. Tesis Postgrado Universidad Libre Seccional Pereira Facultad de Ciencias de la Salud, Microbiología. 31 p. <https://repository.unilibre.edu.co/bitstream/handle/10901/16164/REVISI%C3%93N%20SOBRE%20EL%20ESTUDIO%20DE%20LA%20DIN%C3%81MICA.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Pane, C., Spaccini, R., Piccolo, A., Celano, G., Zaccardelli, M. (2019). Disease suppressiveness of agricultural greenwaste composts as related to chemical and bio-based properties shaped by different on-farm composting methods. *Biological Control*, 137.
- Pérez-Pimienta, J.A., Poggi-Varaldo H.M., Ponce-Noyola T., Ramos-Valdivia A.C., Chávez-Carvayar J.A., Stavila V., Blake A. (2016). Fractional pretreatment of raw and calcium oxalate-extracted agave bagasse using ionic liquid and alkaline hydrogen peroxide. *Biomass and Bioenergy* Volume 91 48-55. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0961953416301404>
- Picó, A. G. (2002). Composta. Servicio de Extensión Agrícola, Colegio de Ciencias Agrícolas. 1-7 pp. Colegio de Ciencias Agrícolas, Puerto Rico. Disponible en: <http://agricultura.uprm.edu/calentamiento/pdf/composta.pdf>. [Última consulta: 15 de Abril de 2020].
- Plant List. (2013).The Plant List. A working list of all plant species. <http://www.theplantlist.org/tpl1.1/record/kew-293940>
- Portalfruticola.com (2019). Compostaje: Tipos de compost que existen y sus diferencias. <https://www.portalfruticola.com/noticias/2019/07/10/compostaje-tipos-de-compost-que-existen-y-sus-diferencias/>

- Ramos, V.E., y Zúñiga, D.D. (2008). Efecto de la humedad, temperatura y ph del suelo en la actividad microbiana a nivel de laboratorio. *Ecología Aplicada*, 7(1,2) 124-130
- Reyes- Agüero., J.A., Aguirre R., J. R., Peña V. C. B. (2000). Biología y Aprovechamiento de *Agave lechuguilla* Torrey *Boletín de la Sociedad Botánica de México*, Núm. 67 75-88 pp.
- Ríos-González, L.J., Morales-Martínez T.K., Hernández-Enríquez G.G., Rodríguez-de la Garza J.A., Moreno-Dávila M. (2018). Hydrogen Production by Anaerobic Digestion from *Agave lechuguilla* Hydrolysates. *Bioresources* 13 (4) 7766-7779
- Rivera, E., Sánchez M. y Domínguez H. (2018). pH como factor de crecimiento en plantas. Vol. 4- N.º Especial. 101-105 pp. <https://revistas.utp.ac.pa/index.php/ric/article/view/1829/2639>
- Rodríguez, S. M. (2009). Manual de Compostaje. Madrid, España. 10. Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino. 20. <https://revistas.utp.ac.pa/index.php/ric/article/view/1829/2639>
- Román, P., Martínez, M, M; Pantoja A. (2015). Farmer´s compost handbook experiences in Latin America. Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO). Regional Office for Latin America and the Caribbean Santiago. 1-96. <http://www.fao.org/3/a-i3388s.pdf>
- Romero-Conrado, A., Suárez-Agudelo, E.A., Macías-Jiménez, M.A, Gómez-Charris, Y., Lozano-Avarza, L.P. (2017). Diseño experimental para la obtención de compost apto para uso agrícola a partir de lodo papelerero Kraft. *Revista Espacios*. Vol. 38 (Nº 28) 1-14.
- Sallessen F., Rizzo P.F., Riera N., Dalla T. V., Crespo D.F. y Pathaver V. Crespo D.F. y Pathaver P.S. (2015). Efecto del compost de guano agrícola en la

producción de clones híbridos de *Eucaliptus grandis* y *Eucaliptus camaldulenses*. *Ciencia del Suelo*. 33(2) 221-228.

Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (SAGARPA). (2009). Estudio orientado a identificar los mercados y canales de comercialización internacionales para la oferta de productos de ixtle con valor agregado. 388 p.

Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT). (1996). Norma Oficial Mexicana NOM-008-RECNAT-1996. <http://www.semarnat.gob.mx/marcojuridico/nrec/008-recnat-1996.shtml>.

Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT). (2010). Fichas de información comercial de productos forestales. Comisión Nacional Forestal y Fondos Mixtos para la Investigación, el Desarrollo y la Innovación Tecnológica Forestal. México, D.F. 13 p.

Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT). (2018). Permisos de aprovechamiento vigentes lechuguilla, comunicación personal.

Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT). (2016). Anuario Estadístico de la Producción Forestal 2016. <https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/282951/2016.pdf>

Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales. (SEMARNAT). (2008). Permisos Vigentes para aprovechamiento de recursos forestales No Maderables.

Sheldon S. (1980). Ethnobotany of *Agave lechuguilla* and *Yucca carnerosana* in Mexico's Zona Ixtlera. *Economic Botany*, 34(4): 376-379.

Soto, G y Meléndez, G. (2004). Como medir la calidad de los abonos organicos. Manejo Integrado de plagas y agroecología (Hoja técnica no. 48). 72, 91-97. <http://orton.catie.ac.cr/repdoc/A1909e/A1909e.pdf>

- Soto-Paz, J., Oviedo-Ocaña, R., Torres-Lozada, P., Marmolejo-Rebellón, F. y Manyoma-Velásquez, C. (2017). Compostaje de biorresiduos: Tendencias de investigación y pertinencia en países en desarrollo. *DYNA*, 84 (203): 334-342. DOI: 10.15446/dyna.v84n203.61549
- Sullivan D.M. & Miller R.O. (2005). Propiedades cualitativas, medición y variabilidad del compost. Capítulo 4. 95-117. En: Stoffella P.J. & Kahn B. A
- Tittarelli, F., Petruzzelli, G., Pezzaeossa, B., Civilini, A., Benedetti, A and Sequi, P. (2007). Chapter 7 Quality and agronomic use of compost. *Waste Management Series* 8 119-157. [https://doi.org/10.1016/S1478-7482\(07\)80010-8](https://doi.org/10.1016/S1478-7482(07)80010-8)
- Trinidad Santos, A. (1999). *El papel de los abonos orgánicos en la productividad de los suelos*. Symposium Internacional. Montecillo, Estado de México. Recuperado de: https://www.ciaorganico.net/documypublic/513_librosagronicos.blogspot.com-Elaboracion_de_composta.pdf
- Tropicos.org. (2020). *Agave lechuguilla*. Missouri Botanical Garden. <https://www.tropicos.org/name/Search?autocomplete=Agave%20lechuguilla>
- Universidad de Navarra (2020). Higienización Clínica *Universidad de Navarra*. <https://www.cun.es/diccionario-medico/terminos/higienizacion>.
- Velasco-Velasco, J., Figueroa-Sandoval B., Ferrera-Cerrato R., Trinidad-Santos A., Gallegos Sánchez J. (2004). CO₂ y dinámica de poblaciones microbianas en composta de estiércol y paja con aireación. *Terra Latinoamericana*, 22 (3). Pág. 307-316. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=57322307>
- Vieira, M., Heinze, T., Antonio-Cruz, R y Mendoza- Martinez, A. (2002). Cellulose derivatives from cellulosic material isolated from *Agave lechuguilla* and

fourcroydes. Cellulose. *Springer link* 9, 203–212.
<https://doi.org/10.1023/A:1020158128506>.

Villanueva, D.J. y Hernández R.A. 2001. Opciones productivas para sitios con problemas de sales en la zona media Potosina. INIFAP. Centro de investigación Regional del Noreste, Campo Experimental Palma de la Cruz. 21 p. <http://www.inifapcirne.gob.mx/Biblioteca/Publicaciones/758.pdf>

Villar, C.I. (2017). Estudio de la dinámica microbiana durante la fase de maduración del compostaje de residuos orgánicos, Vermicompostaje como alternativa de tratamiento. Tesis de doctorado. Universidad de Vigo.

Villegas- Cornelio, V. M y Laines, C. J. (2017). Vermicompostaje: I Avance y estrategias en el tratamiento de residuos sólidos orgánicos. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*. 8 (2).
<https://doi.org/10.29312/remexca.v8i2.59>

Wright, D.J. 2016. Arid House (Agave Potting Mixes).
<http://www.aridhouse.plus.com/cultivation.html>