



Benemérita Universidad Autónoma de Puebla

Facultad de Ingeniería Química

**“Factibilidad del uso de residuos del Nogal para compostaje en el
Municipio de San Nicolás de los Ranchos, Puebla”**

Tesis Profesional

**Que para obtener Título de:
Licenciatura en Ingeniería Ambiental**

Presenta:

Dulce Marina Sánchez Solís

Directora de Tesis:

Dra. Janette Arriola Morales

Co-directora de Tesis:

Maribel Castillo Morales

Puebla, Pue. Febrero 2023

Tabla de contenido

Resumen.....	1
Planteamiento de Problema	1
Justificación	2
Objetivos	3
Objetivo general.....	3
Objetivos específicos.....	3
Hipótesis.....	3
Marco Teórico	4
San Nicolás de los Ranchos	4
Ubicación.....	4
Hidrología y Tipo de suelo.....	4
Población	4
Economía.....	5
Producción de Nuez de Castilla	5
Nogal común (<i>Juglans regia L.</i>)	6
Tamaño promedio de la proyección sobre el suelo	7
Productividad del Nogal	7
Nuez de Castilla (Fruto).....	8
Compuestos en la cascara de la nuez de castilla (Mesocarpio).....	9
Compuestos en la cascara de la nuez de castilla (Endocarpio).....	12
Compuestos en la cascara de la nuez de castilla (Tegumento).....	13
Comercio de la nuez de Castilla	14
Capas de la Nuez (Mesocarpio y Endocarpio).....	14
Residuos orgánicos.....	16
Compostaje	17
Parámetros del compostaje	17
Factores variables en el compostaje	18
Técnicas de Compostaje.....	20
Beneficios del compostaje y del “Compost”	22
Aplicaciones.....	23
Metodología.....	24
Primera etapa: Búsqueda de información del Municipio y sus actividades económicas.	24

Segunda Etapa: Investigación sobre el Nogal (<i>Junglas regia L.</i>)	24
Tercera Etapa: Cuantificación de los residuos orgánicos generados por la producción de la nuez de castilla al año en el Estado de Puebla y en el Municipio de San Nicolás de los Ranchos.	24
Cuarta Etapa: Identificación de nogales traspatio en el municipio San Nicolás de Los Ranchos .	25
Quinta Etapa: Tratamiento biológico de los residuos orgánicos del nogal.....	25
Metodología de las compostas	27
Obtención de los residuos de la Nuez de castilla.....	27
Sexta Etapa: Análisis de los tres tipos de cascara (mesocarpio, endocarpio y tegumento)	28
Monitoreo del compostaje.....	34
Séptima etapa: Análisis fisicoquímico del compost de cada tratamiento	34
Resultados y Discusión	41
Primera Etapa: Información del municipio y de sus actividades económicas	41
Segunda Etapa: Nogal (<i>Junglas regia L.</i>).....	41
Tercera etapa: Residuos orgánicos generados anualmente por producción de la Nuez de castilla en el Estado de Puebla	42
Cuarta etapa: Árboles Traspatio localizados en el Municipio de San Nicolás de los Ranchos.....	42
Monitoreo de cada uno de los tratamientos durante el compostaje.....	44
Sexta: Etapa: Resultados del Análisis Fisicoquímico de las capas de la nuez de castilla.....	48
Séptima etapa: Resultados del Análisis Fisicoquímico del compost de los tratamientos que contenía mesocarpio y tegumento.	50
Aplicación en la Agricultura.....	61
Conclusión	63
Referencias.....	65

Índice de imágenes

Imagen 1 Municipio de San Nicolás de los Ranchas.....	4
Imagen 2 Nogal Común	6
Imagen 3 Proyección del árbol en el suelo	7
Imagen 4 Capas del fruto	8
Imagen 5 Fomula química de la celulosa	10
Imagen 6 Hemicelulosa	10
Imagen 7 Formula química de Juglona.....	11
Imagen 8 Taninos	12
Imagen 9 Lignina	13
Imagen 10 Ácido gálico	13
Imagen 11 Ácido elágico	14

Imagen 12 Proceso de Compostaje.....	18
Imagen 13 Tamaño de Partículas	20
Imagen 14 Pilas de volteo	21
Imagen 15 Pilas estáticas con aireación pasiva Fuente: Ryan, 2006.....	21
Imagen 16 Pilas estáticas con aireación forzada.....	22
Imagen 17 Tres tipos de cascara secas.....	28
Imagen 18 Tegumento molido	28
Imagen 19 Medición del extracto de la capa de endocarpio	29
Imagen 20 Determinación de Calcio en Endocarpio y Tegumento	29
Imagen 21 Lavado de las tres cascara con BaCl ₂ -TEA	30
Imagen 22 Determinación de materia orgánica en las tres cascara del fruto.....	31
Imagen 23 Diagrama de Tratamientos.....	31
Imagen 24 Determinación de pH 1:2 de los tratamientos	35
Imagen 25 Determinación de Carbonatos en cada uno de los tratamientos	36
Imagen 26 Determinación de cloruros en los tratamientos	37
Imagen 27 Determinación de Calcio en los tratamientos.....	37
Imagen 28 Determinación de magnesio en los tratamientos	37
Imagen 29 Determinación de acidez extraíble.....	38
Imagen 30 Determinación de Intercambio Catiónico en los tratamientos.....	38
Imagen 31 Determinación de MO en los tratamientos	39
Imagen 32 Determinación de Nitrógeno Total	40
Imagen 33 Identificación de los arboles traspatio en SNR.....	43
Imagen 34 Blancos de cada tipo de cascara.....	50

Índice de Tablas

Tabla 1 Fenología del Nogal	7
Tabla 2 Rango de Fertilidad del Mesocarpio.....	9
Tabla 3 Composición química de las capas del Fruto.....	9
Tabla 4 Técnicas de Aplicación del Compost.....	24
Tabla 5 Tipos de Residuos orgánicos útiles para el compostaje	27
Tabla 6 Los tres tipos de cascara el fruto	27
Tabla 7 Blancos de los tratamientos	32
Tabla 8 Tratamientos con cascara cortadas sin humedecer	33
Tabla 9 Tratamientos con las cascara húmedas sin cortar	33
Tabla 10 Tratamientos con las cascara húmedas y cortadas	34
Tabla 11 Monitoreo de pH, Temperatura y Humedad Relativa de los tratamientos	47
Tabla 12 Parámetros fisicoquímicos del mesocarpio, endocarpio y tegumento	48
Tabla 13 Datos de los análisis fisicoquímicas de cada tratamiento	51

Índice de Gráficos

Gráfico 1 Porcentaje de árboles traspatio	43
Gráfico 2 Monitoreo de Temperatura.....	44

Gráfico 3 Monitoreo de pH durante el compostaje	45
Gráfico 4 Monitoreo de Humedad durante el compostaje.....	46
Gráfico 5 pH 1:5 y pH Extracto	48
Gráfico 6 Cantidad de Calcio y Magnesio en las cascaras	49
Gráfico 7 Cantidad de Cloruros y Acidez Extraíble	49
Gráfico 8 Contenido de Humedad Relativa en los tratamientos	52
Gráfico 9 Datos de pH 1:2 y pH extracto	53
Gráfico 10 Datos de Conductividad Eléctrica	54
Gráfico 11 Cantidad de Bicarbonatos y Carbonatos en los tratamientos	55
Gráfico 12 Contenido de Cloruros, Calcio y Magnesio en los tratamientos	56
Gráfico 13 Datos de Acidez extraíble y Capacidad de Intercambió Catiónico	57
Gráfico 14 Contenido de CO y MO en los tratamientos.....	58
Gráfico 15 Contenido de Nitrógeno Total en los Tratamientos	59
Gráfico 16 Relación C/N en los tratamientos.....	60

Resumen

Los residuos orgánicos representan una gran parte de los residuos totales generados en la sociedad, siendo las comunidades rurales quienes muestran un mayor porcentaje de generación, debido a que sus principales actividades económicas se basan en la agricultura. En el municipio de San Nicolás de Ranchos en estado de Puebla, actualmente ha presentado un incremento en su generación de residuos orgánicos en los meses de junio a agosto, en comparación con el resto del año, esto se atribuye a la producción de la Nuez de Castilla, puesto que, el municipio es considerado como uno de los principales productores del Estado de Puebla. No obstante, el manejo de estos no ha sido el adecuado, dado que, la mayoría de los productores disponen de sus residuos con el servicio de limpia del municipio o los desechan en barrancas o terrenos baldíos, lo cual implica un impacto al ambiente significativo, puesto que, estos no tienen las condiciones adecuadas para que su proceso de degradación sea controlado y sin afectar al ambiente.

En el presente trabajo de investigación se pretende evaluar la posibilidad de emplear los residuos derivados de la producción de la Nuez de Castilla en compostaje, para la obtención de un producto rico en nutrientes que se pueda emplear en los cultivos de los mismos productores como un abono orgánico y con ello, contribuir a reducir el volumen de estos residuos en los sitios de disposición final y el impacto de los mismos en el ambiente.

Planteamiento de Problema

El municipio de San Nicolás de los Ranchos, es uno de los tres principales productores de la nuez de castilla en el estado de Puebla. Esta actividad en la Sierra Nevada del Estado de Puebla, es una de las principales para la elaboración del platillo tradicional “Chiles en Nogada” en los meses de Julio y Agosto, sin embargo, la generación de residuos orgánicos derivados de esta actividad, principalmente cáscara verde, cascara marrón y hoja de este fruto, ha sido desaprovechada en cada temporada de producción, ya que la mayoría de estos residuos se ponen a disposición del Sistema de Recolecta Municipal donde no se les da un tratamiento adecuado o en su caso estos son amontonados en el campo o en las barrancas cercanas a la localidad (Luna, 2013).

El continuo mal manejo de los residuos orgánicos generados por esta actividad, podría impactar significativamente al medio ambiente del municipio en algunos años principalmente al aire, suelo y a los cuerpos hídricos cercanos, por lo que se debe buscar una alternativa sustentable que permita su aprovechamiento y que sea accesible a los propios productores.

El compostaje es una biotecnología que permite la biodegradación de los residuos orgánicos mediante organismos, obteniendo un producto final conocido como Compost, el cual puede ser utilizado como abono en las actividades agrícolas (Bohórquez, 2019), y que, si bien los ciudadanos del Municipio de San Nicolás de los Ranchos podrían implementar, obteniendo un subproducto de dicha actividad, la cual ha formado parte importante de su comercio y economía, así mismo esta acción no solo beneficiaría a los propios ciudadanos sino también a sus suelos agrícolas de la región.

Justificación

La incorrecta gestión de Residuos Sólidos Urbanos (RSU) desde el punto de generación ha provocado que sus impactos ambientales sean cada vez más perjudiciales. Los residuos orgánicos forman gran parte de la generación total de RSU, con un porcentaje de 52.4%, sin embargo, estos no son tratados adecuadamente, dado que, el 89% corresponde a una recolección de residuos no selectiva, por lo que la mayoría son puestos a disposición final en un relleno sanitario, sin la valorización adecuada (SEMARNAT, 2012), desaprovechando gran parte de estos.

En el Municipio de San Nicolás de los Ranchos la generación de RSU ha ido aumentando en la última década, mostrando en 2014 una generación de 5,640 Kg/día la cual en su mayoría eran residuos orgánicos (SEMARNAT, 2016). Esto se debe a que una de sus principales actividades económicas es la agricultura y el comercio de cultivos. Cabe destacar que el municipio cuenta con un número considerable de árboles frutales (Sandoval, 2001), los cuales son aprovechados en ciertas temporadas, ocasionando que la cantidad de residuos orgánicos incremente, como es el caso del árbol Nogal, el cual es cultivado en el municipio cada año en los meses de julio y agosto, generando una cantidad importante residuos orgánicos, los cuales no son valorizados y ni aprovechados.

A pesar de que los residuos orgánicos son biodegradables, al descomponerse en rellenos sanitarios o bien a la intemperie, en su proceso de degradación estos se fermentan generando gases de efecto invernadero, los cuales contribuyen a la contaminación del aire y cambio climático, tales como el metano y dióxido de carbono, de igual manera su degradación produce lixiviados los cuales se pueden infiltrar al suelo, al subsuelo y a las aguas subterráneas y/o aguas superficiales (Comisión para la Cooperación Ambiental, 2017).

Es por ello, que se deben buscar nuevas estrategias que permitan su aprovechamiento, desde la fuente de generación, con el fin de evitar que lleguen al medio ambiente sin un tratamiento adecuado. Dentro de las alternativas para el aprovechamiento de los residuos orgánicos, se encuentra el compostaje. El cual consiste en un proceso de reciclado y de valorización, que genera un doble efecto para el medio ambiente. Dado que, se logra disminuir la presencia de estos en el medio y por otro, la aplicación al suelo de estos residuos debidamente tratados, permiten la mejora de las condiciones físicas, químicas y biológicas de los suelos (Campitelli, 2014).

La difusión de esta biotecnología en las comunidades donde una de sus principales actividades económicas es la agricultura y/o cultivo de árboles frutales, como es el caso del municipio de San Nicolás de los Ranchos, es de suma importancia, dado que sus beneficios son tanto económicos como ambientales, así mismo esta actividad si bien se puede adoptar como una actividad cotidiana y no solo en épocas donde los residuos orgánicos incremente. Ante ello, el presente trabajo pretende proponer una alternativa sustentable para el manejo correcto de residuos orgánicos, principalmente de los derivados del cultivo de la nuez de castilla.

Objetivos

Objetivo general

Evaluar las características fisicoquímicas del compost, elaborado a partir de los residuos (endocarpio, mesocarpio y tegumento) de la Nuez de Castilla del municipio de San Nicolás de los Ranchos, para dar una valorización y aprovechamiento de estos.

Objetivos específicos

- Realizar una búsqueda bibliográfica del municipio y de sus actividades económicas.
- Investigar la importancia socioeconómica de la nuez de castilla en el municipio de San Nicolás de los Ranchos.
- Hacer una investigación sobre la *Juglans regia L.* y las diferentes capas del fruto
- Estimar cuantitativamente la producción y la generación residuos orgánicos provenientes de la nuez de castilla al año en el Estado de Puebla y en el Municipio de San Nicolás de los Ranchos.
- Cuantificar los nogales traspatio que se encuentran en el Municipio de San Nicolás de los Ranchos.
- Diseñar un tratamiento biológico para los residuos del nogal.
- Realizar un análisis fisicoquímico a las tres capas del fruto del Nogal
- Evaluar las características fisicoquímicas del producto obtenido a partir del compostaje de los residuos del nogal.

Hipótesis

Los residuos del Nogal provenientes del municipio de San Nicolás de los Ranchos, Pue. se biodegradarán exitosamente mediante el compostaje y proveerán de un abono rico en nutrientes.

Marco Teórico

San Nicolás de los Ranchos

Ubicación

El municipio de San Nicolás de los Ranchos se localiza en la parte centro este del estado de Puebla. Sus coordenadas geográficas son: los paralelos 19° 01' 24'' y 19° 08' 30'' de latitud norte, y los meridianos 98° 28' 24'' y 98° 39' 00'' de longitud occidental. El municipio colinda al Norte con los municipios de Domingo Arenas, Huejotzingo y Calpan, al Sur con los municipios de Tochimilco, Tianguismanalco y Nealtican, al Este con el municipio de San Jerónimo Tecuanipan, al Oeste con el estado de México y el volcán Popocatepetl. (Instituto Nacional para el Federalismo y el Desarrollo Municipal (INAFED, 2018).

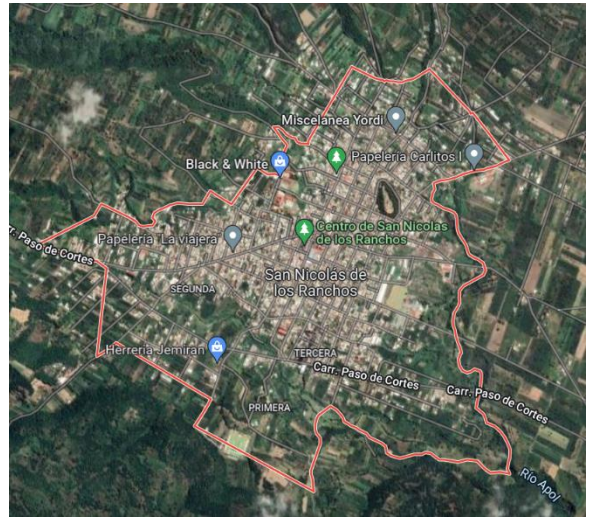


Imagen 1 Municipio de San Nicolás de los Ranchos

Elaboración propia

Hidrología y Tipo de suelo

Se localiza en la parte occidental de la cuenca alta del Atoyac, una de las cuencas más importantes del estado, que tiene su nacimiento cerca de los límites de los Estados México y Puebla, en la vertiente oriental de la Sierra Nevada. Gran cantidad de ríos intermitentes y algunos permanentes, provenientes del Popocatepetl y del Iztaccíhuatl recorren el municipio de oeste a este y desembocan en el Atoyac. La región cuenta con dos tipos de suelos principales los cuales son: regosol el cual ocupa casi la totalidad del municipio en ocasiones presenta fase gravosa (fragmento de roca o tepetate de menos de 7.5 centímetros de diámetro en el suelo) y el litosol, este se encuentra en áreas reducidas, en la cumbre de los volcanes y una pequeña zona al sureste.

Población

En 2020 se reportó que su población era de 11,780 habitantes, 48% hombres y 51.3% mujeres, de los cuales el 40.4% de las mujeres cuenta con un trabajo formal, las ocupaciones con mayor número de trabajadores son las actividades agrícolas, empleos de ventas, atención al cliente y comercios (DataMéxico, 2020)

Economía

Sus principales actividades económicas son las agropecuarias y el comercio (INAFED, 2018). La agricultura de temporal representa una de las grandes actividades económicas de municipio. El maíz, frijol y calabaza son los cultivos más sembrados, su cosecha generalmente es para autoconsumo o bien para comercio y comercio al por menor, otra de sus actividades agropecuarias es el cultivo de árboles frutales, como son nogales, manzanos, perales, ciruelos, capulines y duraznos, los cuales son aprovechables a lo largo del año (Sandoval, 2001; DataMéxico, 2020).

Producción de Nuez de Castilla

El municipio de San Nicolás de los Ranchos es considerado como uno de los principales productores de nuez de castilla en el estado de Puebla, al cosechar al año un promedio de más de 2 toneladas, puesto que el 70% de su población producen la nuez de castilla, así como frutos como pera, manzana y durazno (Xoletl, 2014). En este año 2022, el municipio se destacó al ser el más grande productor de nuez de castilla de la región, al poner a la venta más de 80 toneladas (Marcial, 2022).

Gran parte de la población cuenta con árboles en traspatio, alcanzando a producir un promedio de cuatro y nueve millares de la nuez de castilla, se estima que el 78% de los productores realizan las tareas de poscosecha, como es el pelado, lavado y seleccionado, para su posterior venta en el municipio o en los municipios aledaños (Luna, 2013). Cabe mencionar que gran parte de la población cuenta con al menos uno o dos nogales, sin embargo, no se encuentran en traspatio, si no en el campo donde cultivan otros productos, como el maíz, frijol, haba, entre otros.

En julio de 2019 el directo de Desarrollo Social y Cultural del municipio, Fernando Tlapanco Santurina declaró que el kilo de la nuez de castilla limpia se vendía desde 500 hasta 800 pesos, siendo sus principales compradores pobladores de los municipios aledaños como Calpan, Atlixco, Huejotzingo y Puebla, así mismo indicó que anteriormente los productores se trasladaban hasta el centro de Cholula o Atlixco, para comercializar el producto, sin embargo ante la alta demanda compra y venta en el municipio son menos los productores que deben trasladarse para comercializar (Torres 2019).

La venta de la nuez de castilla semilimpia no es a través del peso, sino por ciento (100 unidades) o bien por un cuarto y medio ciento (25 o 50 unidades), en el año 2020 los productores del municipio informaron que el precio inicial de la nuez de castilla era de 120 pesos, sin embargo, por las condiciones de la contingencia sanitaria derivada del COVID-19, el precio de bajo a 50, 80 y 100 pesos mexicanos dependiendo el tamaño, calidad y color de la nuez (Marcial, 2020). No obstante, en 2021 el precio de la nuez semilimpia tuvo un alza en el precio, ya que alcanzó los 300 peso el ciento de nuez en el municipio de San Andrés Calpan, mientras que el kilo de nuez limpia llegó a costar 700 pesos (Marcial, 2021), por otro lado, San Nicolás de los Rancho reportó otro precio para la nuez semilimpia y limpia, alcanzando los 360 y 650 pesos respectivamente, sin embargo, para los casos de la nuez con el endocarpio, se vendió de acuerdo al tamaño de esta, desde los 80 pesos,

siendo la más pequeña, (Velázquez, 2021). En el mismo año, en Puebla Capital el precio del ciento de la nuez semilimpia vario entre los 170 y 250 pesos en los centros comerciales, mientras que en los mercados y la central de abastos su precio rondo (240 pesos el ciento), en el caso de la Ciudad de México, el precio de la nuez limpia a inicios de temporada estuvo entre 400 y 500 pesos, pero chefs de la capital reportaron que el precio llegó hasta 900 y 1200 pesos por kilo de nuez (Garaiz, 2021). En este año 2022, los productores de los municipios de San Nicolás de los Ranchos y Calpan indicaron que el precio de la nuez limpia rondo en los 900 pesos, mientras que la nuez semilimpia alcanzo un precio de 300 pesos el ciento (Marcial, 2022).

La Feria de Chiles en Nogada ha impulsado el comercio de la nuez de castilla, limpia y semilimpia, así como su venta en productos con mayor valor, como es en el propio Chile en Nogada, el cual tiene un costo entre 120 y 150 pesos, dependiendo del tamaño del producto, lo cual ha causado una derrama económica mayor a los 7 millones de pesos en municipio (Torres, 2019).

Nogal común (*Juglans regia* L.)

Juglans regia, el nogal común, nogal europeo o nogal español, es un árbol monioco y caducifolio de la familia de las *Juglandaceae*. Esta especie es ampliamente comercializada en Europa, extendiéndose por todo el sureste y centro de Asia, hasta el Himalaya y sudoeste de China (Asociación Forestal de Galicia)

Es un árbol grande de hoja caduca de 25-35 m de alto, y 2 m de diámetro, cuenta con tronco recto único, de corteza grisácea y bastante lisa, sin embargo, al paso de los años se agrieta y se torna más oscuro, por lo general tiene una copa algo redondeada y abierta, mientras más grande es el árbol este se vuelve más angosto. Sus hojas son grandes, imparipinnadas, de color verde opaco, glabras, de olor agudo y desagradable, son ovales de 6 a 12 cm de largo y 3 a 6 cm de ancho (Gil, 2014).



Imagen 2 Nogal Común
Elaboración propia

El nogal común puede adaptarse a diversos tipos de suelo, sin embargo, tiene un excelente desarrollo en suelos profundos, permeables, sueltos y de buena fertilidad. La capacidad de oxigenación de debe ser adecuada, por lo que se recomienda que se cultive en subsuelos que estén conformados por calizas fisuradas y cantos rodados, por otra parte, el suelo tiene que tener una cantidad buena de materia orgánica 1.2 y 2%, un 18-25% de arcilla y un pH neutro (6.5-7.5) (West Analítica y Servicios S.A. de C.V., 2021).

Para un correcto desarrollo del fruto es indispensable que el suelo tenga buena retención de agua, o bien que tenga un riego constante, dado que, mientras mayor riego y/o disponibilidad de agua hay un mejor desarrollo y una buena producción de nuez de castilla (West Analítica y Servicios S.A. de C.V., 2021).

Tamaño promedio de la proyección sobre el suelo

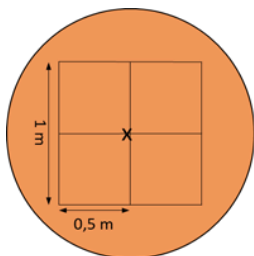


Imagen 3 Proyección del árbol en el suelo

La sombra que proyecta un árbol de nogal promedio es de 0.5 m², no obstante, esto depende de la edad que presente el árbol, dado que se ha reportado que los ejemplares con mayor longevidad pueden alcanzar hasta un diámetro de 2 m, teniendo un área de sombra de 4 m² (Gil, 2014; Fundación internacional para la restauración de ecosistemas (FIRE), 2020).

Fenología de *Juglans regia*

	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGT	SEP	OCT	NOV	DIC
Flores												
Fruto												

Fuente: (Vargas, 2010)

Tabla 1 Fenología del Nogal

La fenología del nogal, va a ser repetitiva una vez que el árbol haya alcanzado su madurez y etapa productiva, dado que al ser un árbol de hoja caduca se protege de las bajas temperaturas invernales disminuyendo su actividad metabólica, es decir que entra en un receso o letargo invernal, y cuando comienzan las altas temperaturas, da inicio a su actividad metabólica, dando lugar a la aparición de flores para su posterior polinización y desarrollo del fruto (Vargas, 2010).

En México el receso o letargo invernal sucede en los meses de noviembre a marzo, mientras que el proceso de aparición de flores y la polinización sucede en los meses de abril-mayo, para que posteriormente se dé el fruto, en los meses de julio-agosto se considera que el fruto ya está maduro y listo para ser cultivado y posteriormente su comercialización (CONAFOR, 2013).

Productividad del Nogal

El nogal comienza su vida productiva desde los 6 a 10 años posteriores a su siembra, no obstante, el fruto es pequeño y su producción apenas alcanza los 7 kg por temporada, una vez que alcanza su mayor productividad, va a mantener sus niveles óptimos constantes por aproximadamente 50 años o un poco más (Rosas, 1995; Torija, 2016).

El nogal (*Juglas regia L.*) se estima que puede tener una longevidad de 80 a 100 años, no obstante, su mayor productividad se encuentra posteriores a los 20 años, se indica que un árbol mayor de los 30 años con una altura de 10.5 m produce 54.12 kg por temporada, mientras que un árbol de menor altura de 7.9 m es de 13.25 kg, sin embargo, conforme el árbol es más longevo su productividad tiende a aumentar, dado que un árbol de 80 años con una altura de 7.9 llega a producir hasta 70 kg por temporada (Luna, 2013; Luna, 2016).

Una vez que el árbol llega a su fin de producción, se disponen a la tala para la fabricación de muebles o la venta de madera, dado que la madera del árbol es considerada de alto valor y es requerida para la producción de muebles de estilo y objetos artesanales (Loewe & Gonzalez 2021), no obstante, no todos los árboles son talados para este fin, ya que algunos de estos son conservados, a pesar de que estos ya no tengan una alta producción del fruto o bien ya no den frutos (Luna, 2013).

Nuez de Castilla (Fruto)

La nuez o el fruto del nogal está definido botánicamente como una drupa indehisciente, es un fruto carnoso que contienen una sola semilla, esta si bien se puede consumir de forma fresca o seca, ya que esta se puede deshidratar de forma inducida o natural, para su conservación y consumo posterior (Iannamico, 2009). La nuez presenta claramente tres capas principales:

- *Pericarpio*

Es la parte exterior, también es conocido como capote, es carnoso, de color verde y rico en agua con un espesor variable de 5 y 20 mm.

- *Mesocarpio*

Es una subcapa denominada comúnmente como mesocarpio de consistencia blanda, carnosa de color verde, el pericarpio y mesocarpio se abren permitiendo así la salida del endocarpio, esto sucede debido a que ambas capas son parcialmente dehiscentes, lo que permite que en relación con la humedad externa se abra y quede expuesta la semilla (endocarpio). A la porción del mesocarpio y endocarpio se les conoce como ruezno o pericarpio.

- *Endocarpio*

Es la parte inferior lignificada de textura dura y arrugada, compuesta por 2 valvas selladas, en su centro se encuentra la semilla, que es la parte comestible de esta especie, presenta una división en dos o cuatro celdas, mientras que la semilla cuenta con dos o cuatro cotiledones o lóbulos los cuales se encuentran divididos por un tabique central. Se considera que una nuez con endocarpio y semilla, mide normalmente 2 a 6 cm de largo y pesa de 4 a 12 gramos cada una, por otro lado, el peso de la semilla por sí solo es variado oscilando entre 35 y 60 % del peso total de la nuez (Ríos, 2013; Iannamico, 2009).

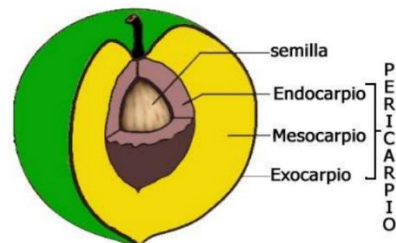


Imagen 4 Capas del fruto

SAGARPA 2012, recuperado de (Ríos, 2013.)

DESAFIOAGRO 2012 recuperado de (Ríos, 2013).

La semilla está cubierta por una capa fina denominada tegumento o piel, la cual presenta diferentes tonalidades, desde claras hasta oscuras, estas tonalidades van a depender, si la semilla está fresca o no (Rios, 2013). Esta capa o piel tiene la propiedad de proteger a la semilla, ante el deterioro oxidativo (Luciana, 2018).

Compuestos en la cascara de la nuez de castilla (Mesocarpio)

Según un estudio del Laboratorio Nacional de Fertilidad de Suelos y Nutrición Vegetal del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales Agrícolas y Pecuarias (INIFAP) ubicado en Guanajuato, realizado por *Romero et al 2012*, la composición química de la cascara de la nuez de castilla o mesocarpio, es la que se muestra en la siguiente Tabla (2).

Rango de Fertilidad								
Determinación	Muy bajo	Bajo	Mod. Bajo	Mediano	Mod. alto	Alto	Muy alto	Unidad
Materia orgánica (MO)							6.99	%
Nitrógeno (N)	2.82							Ppm
Fosforo (P)							219	Ppm
Potasio (K)							1761	Ppm
Calcio (Ca)				1978				Ppm
Magnesio (Mg)	27.8							Ppm
Sodio (Na)							905	Ppm
Fierro (Fe)							71.5	Ppm
Zinc (Zn)							10.3	Ppm
Manganeso (Mn)					13.8			Ppm
Cobre (Cu)			0.61					Ppm

Fuente: Romero 2012

Tabla 2 Rango de Fertilidad del Mesocarpio

La cascara de la nuez de castilla corresponde aproximadamente el 50% del peso total de la nuez, por otra parte, en el estudio de Waltelle & Marshall 2000, titulado "*Citric acid modified agricultural by-products as copper ion adsorbents*" se estimó que el mesocarpio posee componentes estructurales de celulosa, hemicelulosa, lignina y proteína a diferentes porcentajes como se muestra en la siguiente Tabla (3).

Celulosa (%)	Hemicelulosa (%)	Lignina (%)	Proteína (%)
60.2	13.2	18.6	1.3

Fuente: Waltelle y Marshall 2000

Tabla 3 Composición química de las capas del Fruto

Así mismo, esta capa presenta una densidad aparente de 650 kg/m³, una dureza de 2.5 Mohn, un pH neutro y una auto ignición por encima de los 270°C (Waltelle & Marshall 2000), para el caso del endocarpio presenta una densidad de 947.4 kg/m³ y una humeada de 13.4% (Tirado, 2015), posee

un elevado contenido de grasas insaturadas y una composición de 50% de celulosa, 16-33% de lignina y 12-24% de hemicelulosa (Sánchez, 2019).

Celulosa

Es un polímero constituido por la repetición de unidades del monómero de la glucosa, por lo que es considerado como un polisacárido, esta contiene miles de unidades de D-glucosa unidas por enlaces 1q4--glicosídicos10, formando grandes estructuras agregadas sostenidas entre sí por puentes de hidrogeno. Se estima que este polímero se encuentra en más del 50% de la masa secas de la biomasa de la tierra, ya que todas las plantas y animales consisten en polímeros de glucosa (McMurry, 2008).

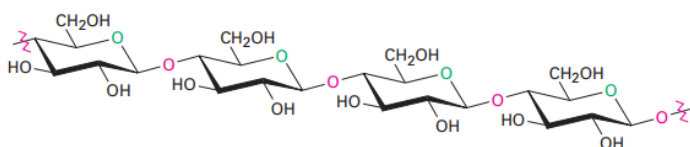


Imagen 5 Fomula química de la celulosa

Fuente: McMurry, 2008

Este polímero, es uno de los más abundantes, por lo que es ampliamente utilizado como materia prima en industrias de madera, papel y textil, por otro lado, su estructura ha facilitado que una gran serie de microorganismo lo degraden de forma natural, mediante la acción de enzimas no asociadas en complejo. Entre las bacterias que destacan tenemos algunas especies de los géneros *Clostridium*, *Streptomyces*, *Thermomonospora* y *Thermobifida* (*ex-Thermomonospora*) (Ramírez, 2003; Jiménez, 2017).

Hemicelulosa

La hemicelulosa también es un polisacárido que se compone principalmente de cadenas cortas y ramificadas de azucares como D-xilosa, D-arabinosa, D-manosa, D-galactosa y D-glucosa, así como ácidos úricos (ácidos glucurónico 4-O-metilgalacturónico y galacturónico), la fórmula corta es $C_5H_8O_4$ (Yaning, 2020).

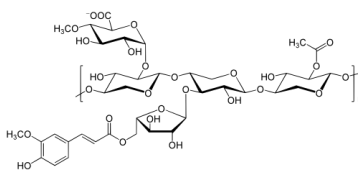


Imagen 6 Hemicelulosa

Fuente: Yikrazuul

El xilano es el polisacárido hemiceluloso más abundante en paredes celulares de plantas, representando hasta 30%-35% del total en peso seco. La composición de la hemicelulosa es más compleja que la celulosa, por lo que se requiere la acción de múltiples enzimas con diversas funciones y sitios de acción para su completa degradación. Entre los microorganismos capaces de

degradar a este polímero están *Clostridium*, *Cellulomonas*, *Bacillus* y *Thermomonospora*, así como las de *P. chrysosporium*, *Trichoderma*, *Aspergillus*, *Schizophyllum* y *Penicillium*.

Proteína

Las proteínas son polímeros de aminoácidos, mediante enlaces amida o enlaces peptídicos, su estructura es variada y comúnmente son grandes. Estos compuestos se encuentran presentes en los materiales lignocelulósicos, como es el caso de la cascara de la nuez, en pequeñas cantidades, estas se encuentran unidas covalentemente a la lignina y a los polisacáridos que actúan como puente de unión entre ellos (Rivas, 2014).

Cabe mencionar que la parte carnosa del fruto (drupa,) posee un compuesto aromático el cual, frecuente reconocido dado que, es utilizado para la producción de licores, colorantes y fármacos, este compuesto aromático es denominado como “juglone” o “juglona”, la cual es un derivado quinónico (pigmento natural químico) (Campos 1992). No obstante, presenta otros compuestos químicos, en las dos capas externas del fruto, por ejemplo, contiene taninos (compuestos fenólicos), además de diferentes ácidos orgánicos (ácido cítrico y málico) (Ríos, 2013; Aparicio, 2014).

Juglone o Juglona

Es una naftoquinona natural, la cual es considerada como un pigmento cuyo color va desde el amarillo, pasando del anaranjado al rojo intenso o negro, esta es producida principalmente por plantas superiores. Es una molécula aromática con nomenclatura IUPAC 5-hidroxi-1,4-naftalendiona (Segundo, 1998).

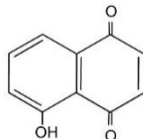


Imagen 7 Fórmula química de Juglona

Fuente: Chempider

Las naftoquinonas son compuestos que han demostrado su amplia gama de actividad biológica, así como su uso en medicina tradicional como antibacterianos, antifúngicos, antimáricos y anticancerígenos, entre otras propiedades medicinales.

Cuando la cascara del nogal se cae en el suelo, esta segrega una sustancia llamada glucosido de hidrojugalona y al entrar en contacto con los microorganismos del suelo se transforma en juglona, la cual inhibe el crecimiento de la hierba (TRAXCO, 2011). Este párrafo está bien, déjalo aquí

Taninos o Polifenoles vegetales

De acuerdo con Bate-Smith & Swain (1962), los taninos se definen como compuestos fenólicos solubles en agua, con un peso molecular entre 500 y 300, que además de dar las reacciones fenólicas usuales, tiene propiedades especiales como la habilidad de precipitar alcaloides, y algunas proteínas (Isaza, 2007).

Los taninos se clasifican, de acuerdo con su diversidad estructural y en sus características y propiedades químicas, los principales grupos son los hidrolizables, condensados y florotaninos (Palacio, 2018). Estos están distribuidos en varios sectores de las plantas, como es el caso de la *Juglans regia* L. (Isaza, 2007).

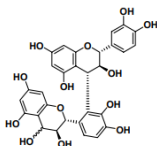


Imagen 8 Taninos
Fuente: Isaza, 2007

La cascara presenta una cantidad considerable de taninos hidrolizables tales como los gálicos y taninos condensados como los catéquicos (EMA). Los taninos gálicos son la forma más simple de estos, son ésteres del ácido gálico y del ácido digálico unidos entre sí por enlaces ésteres entre el carboxilo y el hidróxido unidos a las hexosas como la glucosa. Los taninos catéquicos son resultado de la polimerización, los cuales están unidos entre sí por enlaces carbono-carbono y carentes de núcleo glúcido (Olivas 2015).

Entre los microorganismos capaces de degradar a estos compuestos es, *Bacillus licheniformis*, ya que permite que el ácido tánico derivado de estos, actúe no solo como una fuente de carbono sino también como un inductor (Palacio, 2018). En investigaciones anteriores se han encontrado que los géneros de *Klebsiella* y *Bacillus*, son capaces de degradar el ácido tánico y asimilar otros compuestos fenólicos (Contreras, 2002).

Compuestos en la cascara de la nuez de castilla (Endocarpio)

La capa externa endocarpio, al igual que el mesocarpio contiene nogalina, taninos, lignina y derivados quinónicos (Rios, 2013). Esta parte del fruto se puede utilizar como combustible y como material abrasivo (Muncharaz, 2012).

Lignina

La lignina es uno de los biopolímeros más abundantes de las plantas, su estructura química no ha sido clara aun, debido a la complejidad que afecta su reconocimiento, sin embargo, se indica que cuenta con múltiples unidades estructurales, las cuales no suelen repetirse de forma regular, así mismo su composición y estructura va a variar dependiendo de su origen, no obstante, es considerada como un recurso renovable asequible y de potencial uso industrial (Lu & John, 2010)

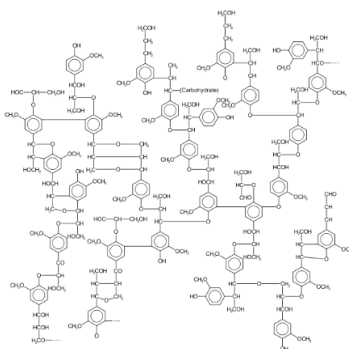


Imagen 9 Lignina

Fuente: Lu & John, 2010

Las ligninas contienen tres unidades feniilpropanomonoméricas básicas, alcohol p-cumarílico, alcohol coniferílico y alcohol sinapílico. Es resistente a la hidrólisis ácida, fácilmente oxidables, solubles en bisulfito o álcalis caliente (Chávez, 2013).

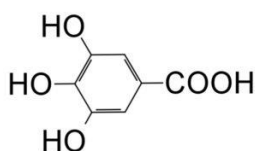
La lignina y la celulosa son polímeros naturales que no son acumulados en la naturaleza, debido a hongos y bacterias, que degradan eficientemente los componentes de la biomasa vegetal, esto mediante un proceso complejo que involucra un gran número de enzimas extracelulares. Los hongos que han mostrado secreción de enzimas potenciales para la degradación de la biomasa vegetal son, *Trichoderma reesei*, *Aspergillus niger*, *Penicillium sp* y *Phanerochaete chrysosporium* (Ortiz, 2009).

Compuestos en la cascara de la nuez de castilla (Tegumento)

El tegumento es una fina película que presenta una coloración más oscura que el embrión, esta capa es rica en compuestos fenólicos, tales como polifenoles (ácido gálico y elágico) y taninos. (Aparicio, 2014; Luciana, 2018).

Ácido gálico

Es un polifenol que tiene como nombre ácido 3,4,5-trihidroxibenzoico, que tiene un anillo bencénico unido a un grupo de ácido carboxílico y tres hidroxilos, este compuesto orgánico está presente en diversas fuentes naturales como las plantas, las frutas, las verduras y las bebidas. Se le atribuyen varios efectos biológicos como son la actividad antiinflamatoria, antioxidante y antibiótica (Govea, 2013).



El ácido gálico puede ser metabolizado tanto anaeróbicamente como aeróbicamente, principalmente por hongos, y en menor frecuencia por bacterias, como *Eubacterium oxidoreducens*, *Citrobacter freundii* o *Pellobacter acidigallici* (Nogales, 2009).

Imagen 10 Ácido gálico

Ácido Elágico

Es una molécula de naturaleza fenólica que puede estar presente en algunas especies vegetales, es compuesto estable y tiende a reaccionar formando complejos con otras moléculas como proteínas, alcaloides y polisacáridos (Ascacio, 2013). Tiene una nomenclatura 2,3,7,8-tetrahidroxicromeno [5,4,3-cde] cromeno-5,10-diona, posee una estructura compleja, cuenta con anillos aromáticos, 4 grupos hidroxilo y 2 lactonas, que le permite tener propiedades hidrofílicas (Caupio, 2018).

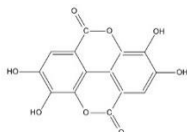


Imagen 11 Ácido elágico
Fuente: Chávez, 2013

Comercio de la nuez de Castilla

El principal destino que tiene la nuez de castilla es el consumo directo del fruto sin ningún agregado, no obstante, se ha comercializado a bombonería, a confituras, a panaderías y reposterías. También es usado de manera incipiente en la industria de cosmetología por su uso antioxidante y protector de la piel, por su alto contenido en tocoferoles y vitamina E, así como en la industria de licores, leche, pasta y harinas, pero en menor medida (Juri, 2017).

En México, su principal uso es para promover su consumo tradicional, vinculado con la gastronomía poblana-mexicana con una identidad nacional, a través del conocido chile en nogada, siendo los estados como Puebla, Tlaxcala, Estado de México, Ciudad de México, Oaxaca y Querétaro los principales vendedores y consumidores (Luna 2013).

En San Nicolás de los Ranchos y sus juntas auxiliares tales como San Pedro Yancuitlalpan, los productores indican que no solo usan la nuez de castilla para la elaboración de la salsa que baña a los chiles en Nogada, sino que también lo usan para la elaboración de mole, pan, helado licor y atole (Sánchez, 2021).

Capas de la Nuez (Mesocarpio y Endocarpio)

La cascara de nuez de castilla, es un subproducto del fruto del nogal, la producción mundial alcanza las 1,100,000 unidades, siendo China y Estado Unidos los principales productores a nivel mundial; México ocupa el 13° lugar con una producción de 230 toneladas en los años 2001 al 2003 (Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural (SADER), 2010)

En México se destinan 1,008 hectáreas para el cultivo de nuez de castilla, en 2019 se reportó una producción nacional de 1,556 toneladas, siendo Puebla el líder productor de la nuez de castilla, dado que aporta un poco más del 50% de la producción nacional (SADER, 2020).

Los tres principales municipios productores de nuez de castilla en el estado de Puebla son San Nicolás de los Ranchos, San Matías Tlalancaleca y San Salvador el Verde. No obstante, existen otros municipios que son pequeños productores de esta nuez como es el caso de Huejotzingo, Zacapoaxtla, Calpan, Teteles de Ávila Castillo, Tlatauquitepec, San Felipe Teotlalcingo, San Martín Texmelucan y Guadalupe Victoria (SADER, 2010).

La alta producción de este fruto conlleva una gran generación de residuos orgánicos, principalmente en los municipios que son productores primarios, siendo la cascara verde de la nuez (mesocarpio), el principal residuo o subproducto que se genera, ya que para el comercio de la nuez lo primero que se retira para su venta, es esta capa exterior, la cual tienen un peso entre 7.7 y 13.1 gramos, el segundo residuo generado de este fruto es el endocarpio, el cual tiene un peso entre 3.8 y 11.4 (Rojano, 2017), el cual es generado cuando se extrae la semilla para venderse limpia o bien para la elaboración de la salsa en nogada o cualquier otro producto que lleve a esta semilla.

El inadecuado manejo de los residuos orgánicos supone, por un lado, el derroche de energía y recursos, además de ser una fuente de problemas ambientales (Hoffmann, 2018; Campitelli, 2014), entre los que se encuentran:

- El impacto sobre la salud humana
- La contaminación de aguas subterráneas, debido a que, durante la descomposición de los residuos, se generan lixiviados que, si bien se pueden infiltrar a través del suelo, contaminándolo e incluso llegando a contaminar aguas superficiales y/o subterráneas.
- La emisión de gases perjudiciales, humos y malos olores, entre los cuales se destacan el dióxido de carbono (CO₂) y el metano (CH₄), los cuales son gases de efecto invernadero (GEI), por lo cual su generación contribuye al cambio climático y a la mala calidad de aire de la región o del lugar.
- Degradación de los suelos, principalmente por la presencia de lixiviados, los cuales pueden alterar las propiedades físicas y químicas del suelo, reduciendo su fertilidad, su capacidad de aireación, retención de agua y porosidad.
- Alteración en los ecosistemas, ya que se ve afectada su capacidad de carga y de regeneración, así como contribuir a la presencia descontrolada de fauna nociva, la cual puede implicar un problema de salud para la población cercana.

Es por ello, la importancia de proponer una solución sostenible que permita aprovechar estos residuos, que no solo permita resolver la problemática que existe, por la alta generación de residuos, sino que también permita que los productores de la región obtengan un subproducto rentable para ellos. Una de estas soluciones es el compostaje, el cual es una tecnología que permite la conversión biológica de los residuos orgánicos, en este caso los residuos de la nuez de castilla, en un producto "Compost", el cual se puede emplear como abono para diferentes plantas o bien como un mejorador de suelo.

Residuos orgánicos

Los residuos son los materiales o productos que se desechan ya sea en estado sólido, semisólido, líquido o gaseoso, que se contienen en recipientes o depósitos, y que necesitan estar sujetos a tratamiento o a disposición final con base en lo dispuesto en la Ley General para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos (LGPGIR; DOF,2003). Los residuos se clasifican en cuatro grupos principales: residuos sólidos urbanos, residuos de manejo especial, residuos peligrosos y residuos biológicos infecciosos.

Los residuos orgánicos son definidos como todo aquel material que proviene de especies de flora o fauna y que es susceptible de descomposición por microorganismos y/u organismos, o bien consiste en restos, sobras o productos de desecho de cualquier organismo (CCA, 2017). Los residuos orgánicos se clasifican en:

- Residuos de las deyecciones de los animales, estiércol y purines, residuos de tejido animal (procedentes de los mataderos), residuos de tejidos vegetales, incluidos los de cosechas y los procedentes de la industria agroalimentaria de producción de frutas, hortalizas, cereales, aceites, etc.
- Residuos provenientes de la transformación de la madera, corteza, corcho, virutas, aserrín, residuos de la transformación de la industria de papel y cartón.
- Residuos provenientes de los tratamientos de las aguas residuales como son los lodos y digestos y lixiviados
- Residuos sólidos urbanos donde se considera solo aquella fracción de residuos biodegradables.

Existen diferentes metodologías amigables con el medio ambiente que permiten un adecuado aprovechamiento y valorización de los residuos orgánicos, tales como:

- Digestión anaerobia (metanización): Consiste en la degradación biológica anaerobia de la materia orgánica, que permite la generación de un biocombustible comúnmente conocido como biogás, el cual está constituido por su mayoría de metano y dióxido de carbono (Ministerio del Ambiente y Agua del Ecuador, 2020). Entre los principales biocombustibles que se pueden obtener a partir de la materia orgánica se encuentran el Bioetanol, Metanol y Biodiesel (Jaramillo, 2008)
- Sistemas de Secado: Es un procedimiento físico o físico-biológico, en que el agua es removida parcialmente de la materia orgánica, con el fin de disminuir el volumen y el peso de los residuos, quienes posteriormente son enviados al tratamiento térmico (Incineración) o disposición final (Ministerio del Ambiente y Agua del Ecuador, 2020)
- Alimentación animal: En diversas partes del mundo, principalmente en las zonas rurales, los residuos orgánicos son usados como alimento para los animales de crianza o ganado.
- Sistema aerobio o Compostaje: Consiste en la estabilización o degradación biológica aerobia de la materia orgánica, para la obtención de un producto que se puede emplear como abono.

El compostaje es una de las formas más accesibles para gestionar correctamente estos residuos, ya que permite reciclarlos y valorizarlos a un bajo costo, generando un doble impacto positivo para el ambiente, dado que disminuye la presencia de estos, en el volumen de los RSU y en el medio ambiente, mientras que su aplicación mejora las condiciones físicas, química y biológicas de los suelos, permitiendo su recuperación de estos (Campitelli, 2014).

Compostaje

El compostaje consiste en la transformación aerobia de la materia orgánica por parte de diferentes tipos de agentes microbianos como bacterias y hongos, quienes a través de su metabolismo logran degradar biológicamente a estos residuos obteniendo un producto estable de excelente calidad biológica y química denominado “Compost” (Campitelli, 2014).

Los materiales que se pueden incluir para el proceso de compostaje son estiércol de vaca, oveja, caballo, gallina, hojas, pasto, madera, restos de cosecha, residuos de cocina, fibras naturales, pelos o huesos, estos se degradaran en más o menos tiempo según la composición química que tengan los tejidos (Van Konijnenburg, 2007).

La materia orgánica proveniente de abonos o compost juega un papel importante en el mantenimiento de la fertilidad del suelo y, por tanto, en la producción agrícola sostenible. Además de ser una fuente de nutrientes para las plantas como nitrógeno (N), fósforo (P) y potasio (K). Cabe mencionar que la cáscara de la nuez de castilla presenta una composición química rica en micronutrientes y macronutrientes como el Nitrógeno (N), Fósforo (P), Potasio (K), Sodio (Na), Hierro (Fe), Zinc (Zn) y Manganeseo (Mn) que como se mencionó son importantes para el crecimiento de las plantas (Romero et al, 2012).

Parámetros del compostaje

La Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO) menciona que el compost se emplea para mejorar la estructura del suelo y proporcionar nutrientes a este. Sin embargo, para ello el proceso de compostaje debe incluir diferentes etapas con factores específicos para obtener un compost de calidad (FAO, 2013). En este proceso biológico se estipula que existen cuatro parámetros principales (Zorpas, 2014):

- La mezcla de compostaje inicial (Materia prima)
- Las especificaciones de condiciones operativas (factores ambientales que pueden o deben ser controladas)
- La biodegradación realizada por los micro y macroorganismos presentes
- La obtención del producto final “Compost” con la calidad y propiedades requeridas para su uso.

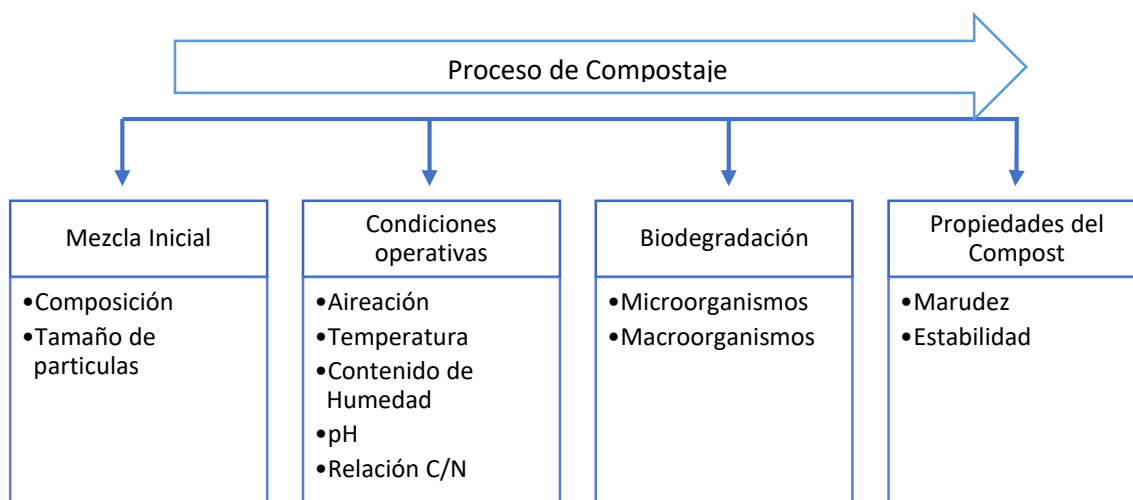


Imagen 12 Proceso de Compostaje

Fuente: Zorpas, A. A. (2014)

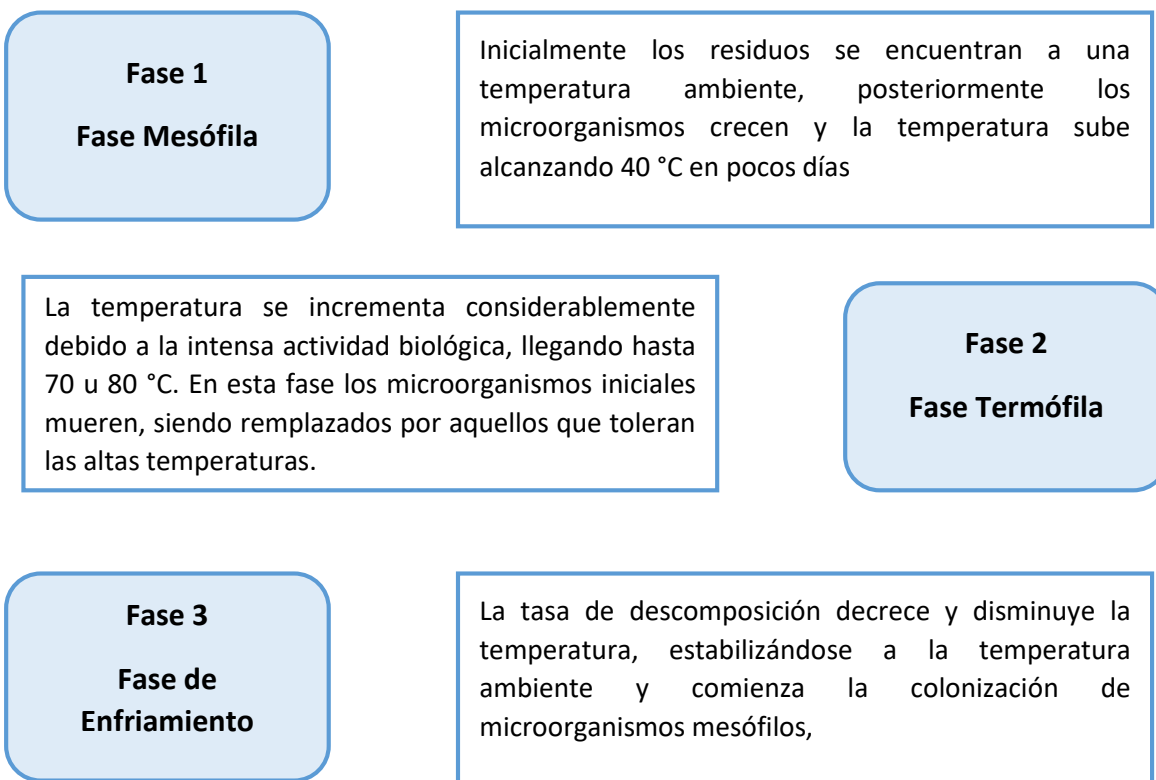
Factores variables en el compostaje

Las condiciones operativas, deben ser óptimas para el proceso de compostaje que está directamente relacionado con el metabolismo propio de los micro y macroorganismo implicados en las diferentes fases o etapas del proceso. Las condiciones operativas como la temperatura, oxígeno, humedad, pH, tamaño de la partícula y relación carbono/nitrógeno (C/N) determinan la velocidad de las relaciones oxidativas y las características físicas y químicas del compost obtenido (Bohórquez, 2019).

Temperatura

Es uno de los factores más importantes que condicionan las reacciones bioquímicas de las células de los organismos, ya que, mientras mayor sea la temperatura los procesos metabólicos se aceleran y con ello la velocidad de biodegradación de los residuos, no obstante, al llegar a un punto crítico, es decir una elevada temperatura, puede provocar que el proceso disminuya, puesto que sucede la desnaturalización de las proteínas lo que bloque el metabolismo del microorganismo. Se considera que durante el proceso de compostaje la temperatura tiende a variar por lo que comúnmente está dentro de 20 y 70°C. Siendo 70 °C la temperatura máxima necesaria para eliminar parásitos y patógenos (Bohórquez, 2019).

Fases del Proceso de Compostaje



Fuente (PNUD & INIFAT 2002).

Oxígeno

Es otro de los factores más importantes durante el proceso de compostaje, dado que, al ser un proceso aerobio, necesita de la presencia de oxígeno para el desarrollo adecuado del microorganismo. El suministro de oxígeno o aireación tiene un doble objetivo, aportar el suficiente oxígeno a los microorganismos y permitir al máximo la evacuación de dióxido de carbono producido. Las necesidades de este elemento varían conforme a las fases, ya que en la fase mesófila es baja, en la fase termófila es mayor la demanda de oxígeno mientras que en la última fase se reduce nuevamente (PNUD & INIFAT 2002).

Humedad

El contenido de humedad tiene una influencia central sobre la biodegradación de los residuos, ya que el agua es indispensable para las necesidades fisiológicas de los micro y macroorganismos, ya que sirve como medio de transporte de las sustancias solubles que sirven como alimento a las células y de los productos de desecho de las reacciones que tienen lugar durante el compostaje. Se sugiere que el porcentaje de humedad óptimo es entre los 40 y 60 %, puesto que, si es mayor, surge la posibilidad de producirse una compactación, lo que implicaría la falta de oxígeno volviéndose un proceso anaerobio (putrefacción), dando origen a malos olores y productos fitotóxicos (Campitelli, 2014).

pH

Constituye uno de los factores que influye ampliamente en las reacciones bioquímicas de los microorganismos, puesto que cada microorganismo tiene un pH óptimo en el que su desarrollo es favorable. Los valores óptimos se encuentran entre 5.5 y 8.0. Cabe mencionar que durante el proceso el pH tiende a variar debido al metabolismo bacteriano, que transforma los complejos carbonados en ácidos orgánicos al principio, por lo que el pH desciende. Posteriormente, aumenta por la formación de amonio alcanzando los valores más altos y finalmente, desciende por las propiedades naturales del compost (López, 2015).

Tamaño de las partículas

Es un factor crítico, ya que se debe mantener un adecuado equilibrio entre la superficie específica para que los microorganismos puedan realizar su acción, así como mantener una adecuada porosidad en el medio. El triturar la materia prima facilita la acción del microorganismo y aumenta la velocidad del proceso de degradación, no obstante, si es demasiado pequeño atenta contra la difusión del oxígeno hacia el interior y de dióxido de carbono al exterior, así como la restricción de proliferación microbiana. Un tamaño recomendable estará comprendido entre 1 y 5 cm (Campitelli, 2014).

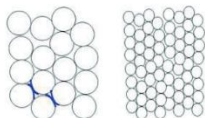


Imagen 13 Tamaño de Partículas

Fuente: Campitelli, 2014

Relación carbono/nitrógeno (C/N)

Estos dos nutrientes son los elementos más importantes para el metabolismo microbiano, por lo que debe existir una adecuada relación entre ellos, para que la degradación de los residuos sea eficiente. Se considera que una apropiada relación es de 25:1 a 35:1. Debido a que, si la relación C/N aumenta, la actividad microbiana se verá limitada por falta de nitrógeno, el cual es necesario para la biosíntesis de aminoácidos, por otro lado, si existe un exceso de nitrógeno, el proceso se lleva con mayor rapidez, no obstante, hay mayores emisiones de amoníaco, el cual es considerado como un problema ambiental ya que, es considerado como un gas de efecto invernadero (Bohórquez, 2019)

Técnicas de Compostaje

Existen diferentes técnicas para el proceso de compostaje, no obstante, se pueden clasificar en dos principales categorías: Sistemas abiertos (Pilas de volteo, Pilas estáticas) y sistemas cerrados (Reactores verticales y Reactores horizontales) (Bertoldi, 1985).

Sistemas abiertos

Pilas de volteo

Este método consiste en disponer de la materia prima en pilas alargadas al aire libre o galpones, su tamaño oscila entre 2 y 5 metros de ancho, 1 o 3 metros de alto y el largo es variado, tiene una forma de triángulo o trapecoide. Algo que caracteriza a esta técnica es su volteo periódicamente para homogeneizar la mezcla y su temperatura, a fin de eliminar el excesivo calor, controlar la humedad y aumentar la porosidad de la pila para mejorar la ventilación, el movimiento puede ser manual o bien mecánico (Bertoli, 1995; Ryan, 2006).

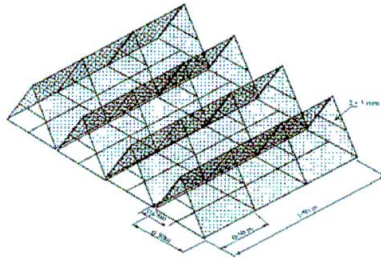


Imagen 14 Pilas de volteo

Fuente: Ryan, 2006

La frecuencia del volteo disminuye conforme avanza el proceso, es decir, el primer mes se voltea dos veces a la semana, el segundo mes una vez a la semana y el tercer mes cada 15 días, en de que el proceso de maduración sea más largo se recomienda realizar un volteo al mes. Algunas consideraciones en este sistema, es el cuidado del porcentaje de humedad (Ryan, 2006).

Pilas estáticas

Esta técnica es relativamente simple, ya que su método consiste en amontonar la materia prima sobre el suelo o pavimento, sin comprimir en exceso, en este caso no hay volteo, pero la aireación puede ser realizada de forma pasiva o forzada (Bertoli 1995).

Pilas estáticas con aireación pasiva

Consiste en colocar el material en forma de pilas y airearlo de forma pasiva, a través de una red de tuberías perforadas que se colocan en la parte inferior de la pila, con el fin de permitir el flujo de aire de forma natural, aunque se recomienda colocar una cubierta porosa como turba, paja, etc., para tener una estructura adecuada en la pila. La forma y tamaño óptimo de la pila va a depender del tamaño de partícula, contenido de humedad, porosidad y el nivel de descomposición. (Bertoli, 1995; Ryan, 2006)

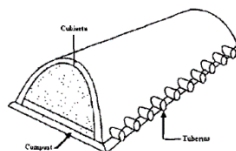


Imagen 15 Pilas estáticas con aireación pasiva Fuente: Ryan, 2006

Fuente: Ryan, 2006

Pilas estáticas con aireación forzada

La metodología es similar a la de aireación pasiva, pero en este caso la red de tuberías de aireación esta conectadas a un sistema que permite suministrar aire con frecuencia, con el propósito de suministrar el suficiente aire para que en el proceso se tenga un adecuado medio aeróbico. Esta técnica requiere de una mayor inversión dado que es necesario equipar a la estructura con compresores de aire, redes de tuberías, válvulas y sistemas de control de presión, temperatura y humedad, ya que es un sistema más complejo el proceso de maduración disminuye considerablemente (Ryan, 2006).

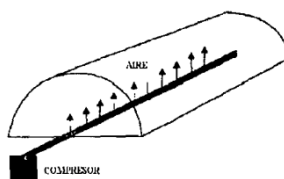


Imagen 16 Pilas estáticas con aireación forzada
Fuente: Ryan, 2006

Sistemas cerrados

Los sistemas cerrados tienen un mejor control en los diferentes factores o parámetros a considerar durante el proceso de compostaje, ya que se llevan a cabo en reactores cerrados, por lo que la inversión tiende a ser la mayor en comparación con los sistemas abiertos (Bertoli, 1995)

Reactor vertical y Reactor horizontal

Los reactores verticales tienden a tener alturas superiores a los 4 metros, estos pueden ser continuos o discontinuos, en el caso de los reactores horizontales tienden a ser largos y cuentan con dispositivos de agitación, aunque algunos no cuentan con él.

Las técnicas que se pueden adoptar fácilmente para la realización de un compostaje doméstico son: la pila de volteo o bien a través de una compostadora, la cual consiste en un recipiente designado para que se lleve a cabo el compostaje, el tamaño de esta va a depender de la cantidad de residuos generados en el hogar o comunidad, aunque se recomienda que en áreas rurales se use la técnica de pila de volteo dado que se tiene con el espacio para realizar esta técnica, no obstante, la técnica que se decida aplicar va a depender de la estética del proceso, el volumen de los residuos, el tiempo y el compostaje mismo, (Rodríguez, 2006).

Beneficios del compostaje y del “Compost”

El uso del “Compost” como enmienda o producto orgánicos para suelos degradados, tiene resultados favorables y de gran interés, dado que su uso en cantidades adecuadas puede asegurar la fertilidad y evitar la desertificación de estos, ya que la materia orgánica en el suelo tiene un impacto positivo, (Campitelli, 2014).

La aplicación de este producto en suelos agrícolas ha tenido un efecto positivo, principalmente en el crecimiento y desarrollo de los cultivos, no obstante, también se ha observado un impacto positivo en las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo, (Bohórquez, 2019) por ejemplo:

- Disminuir la compactación del suelo.
- Da estabilidad estructural de las partículas
- Incrementa el intercambio gaseoso
- Mejora la retención y almacenamiento de agua.
- Permite disminuir la erosión hídrica de los suelos.
- Mejora la capacidad de intercambio catiónico
- Regula el pH.
- Retiene iones, principalmente de bases
- Aumenta el metabolismo microbiano
- Mejora el control biológico de plagas incluso de microorganismos patógenos
- Resistencia sistemática
- Reduce el desarrollo de enfermedades en las plantas
- Aumento en los macronutrientes N, P, K y micronutrientes (Fe, Zn, Cu, Mn, Mo, B entre otros)
- Da una mayor fertilidad a los suelos

Aplicaciones

El compost tiene propiedades y utilidades diversas que se pueden usar como mulch (acolchado), abono de cobertura, enmienda de suelo o como fertilizante orgánico, sin embargo, cada una de estas aplicaciones va a depender de la maduración del compost, es decir los meses que requirió el proceso para obtener el producto, (Geisel, 2009), existen dos principales grados de madurez:

Compost Fresco (2-3 meses compostando)

Este compost se usa principalmente para proteger a las plantas de cambios de temperatura y humedad, especialmente en heladas, de igual forma tiene propiedades que permite mejorar las características del suelo y evita la aparición de malas hierbas, (Amigos de la Tierra España, 2009).

Compost maduro (5-6 meses compostando)

El compost presenta una apariencia más oscura, es ideal para usarse como fertilizante ya que está cargado de una gran cantidad de nutrientes principalmente minerales (N, F, K, etc.), además de favorecer la capacidad de retención de agua, (Amigos de la Tierra España, 2009).

Compost Fresco		
Aplicaciones	Método	Propiedades
Acolchonado	Esparcido en capas de 5 cm alrededor de la planta	Protección contra heladas, desecación y malas hierbas

Compost Fresco		
Aplicaciones	Método	Propiedades
Abono verde	Capa de 2-5 cm entrada superficialmente (barbecho)	Aporta nitrógeno y otros nutrientes fundamentales
Compost Maduro		
Aplicaciones	Método	Propiedades
Abono: Huerto/Jardines	Mezclar con los primeros 15 cm de capa de suelo (0.5-4 kg por m ²)	Aporte de nutrientes asimilables para las plantas
Abono: Semillero	Mezclado a partes iguales con suelo y arena	Aporte de nutrientes asimilables por las plantas
Abono: Macetas	Mezclar, compost, suelo y vermiculita o perlita a partes iguales	Aporte de nutrientes asimilables por las plantas
Abono: Césped	Esparcir una fina capa de 2 cm en superficie	Renovación de césped o siembra de césped
Abono: Arboles	Mezclar en partes iguales el compost y el suelo, y compactar adecuadamente la mezcla	Aporte de nutrientes asimilables.
Té de compost	Colocar compost en un saco e introducirlo en agua durante una noche	Fertilizante liquido

Tabla 4 Técnicas de Aplicación del Compost

Fuente: Amigos de la Tierra España, 2009

Cabe mencionar que el compost, también es considerado como una alternativa tecnológica para la biorremediación de suelos contaminados, principalmente para la restauración de suelos contaminados con hidrocarburos como son los HTP, solventes pesticidas e HAP (Velasco, 2003).

Metodología

Primera etapa: Búsqueda de información del Municipio y sus actividades económicas.

En primera instancia, se realizó una consulta bibliográfica, sobre el municipio San Nicolás de los Ranchos, se recabo información sobre la ubicación del municipio, hidrología, tipos de suelo, población y economía, dicha consulta se hizo a través de plataformas electrónicas como la de Biblioteca Universitaria BUAP, SciElo, ScienceDirect, Google Académico y Redalyc, de igual forma se consultaron páginas web del Gobierno de Puebla, del propio Municipio, de la Secretaria del Medio Ambiente y Recursos Naturales, (SEMARNAT), así como periódicos en electrónicos como El Sol de Puebla, El País, entre otros.

Una parte de la investigación se centró en una de las actividades económicas del municipio, que es la producción de la Nuez de Castilla, dado que, de esta actividad se deriva el problema ambiental identificado. La información recopilada fue seleccionada, con el fin de que se presentara la importancia de esta actividad en el municipio, principalmente su impacto cultural y socioeconómico.

Segunda Etapa: Investigación sobre el Nogal (*Junglas regia L.*)

Se realizó consultas en libros y revistas electrónicas sobre el árbol del cual se deriva el fruto “Nuez de Castilla”, siendo el principal interés describir sus características fisiológicas, su fenología y su vida productiva. Posteriormente se investigó sobre el fruto la “Nuez de Castilla”, en esta parte del fruto se investigó detalladamente las diferentes capas que protegen a la semilla (la nuez).

Se buscó las características físicas, la composición química de la estructura y los organismos capaces de degradar cada compuesto que conforman cada capa que protege a la semilla, para identificar cuál de las capas podría presentar una mayor dificultad y/o mayor tiempo para degradarse a través del compostaje. Con el fin de proponer posibles soluciones que ayuden a acelerar el proceso de degradación, para tener un proceso lo más homogéneo posible.

Por otra parte, se consultaron periódicos electrónicos y artículos científicos para el comercio de la Nuez de castilla, empezando por el comercio internacional, después el comercio nacional y finalmente el comercio de la región, destacando los diferentes usos que se le dar al producto, no solo en el municipio si no en los diferentes lugares donde se produce la nuez.

Tercera Etapa: Cuantificación de los residuos orgánicos generados por la producción de la nuez de castilla al año en el Estado de Puebla y en el Municipio de San Nicolás de los Ranchos.

Se realizó una consulta bibliográfica sobre la cantidad promedio del producto que se genera anualmente, a nivel mundial, nacional y regional, posteriormente se estimó la cantidad de residuos

orgánicos generados a partir de esta actividad económica anualmente en el Estado de Puebla y en el Municipio de San Nicolás de los Ranchos, de acuerdo a las características físicas de cada capa, principalmente del mesocarpio y endocarpio, ya que son las dos capas que generan un mayor volumen de residuos, la cuantificación se realizó a través de un análisis de información.

Cuarta Etapa: Identificación de nogales traspatio en el municipio San Nicolás de Los Ranchos

Se identificaron los nogales traspatio en el municipio a través de observación en campo, en la cual se identificó los árboles que sobresalían de las casa-habitación en el municipio y posteriormente con el software *Google Earth Pro*, a una escala de 200 metros se refirió la ubicación de los ejemplares; se utilizó las herramientas que incluye el programa, para realizar acercamientos en las áreas donde se visualizaba la presencia de nogales y se señalaron con chinchetas de color azul, posteriormente se contabilizaron para tener el promedio de estos, no se especificó si estos eran nuevos o maduros, ya que el software no permitió dar mayores acercamientos en el interior de las casa. Una vez que se finalizó con la localización de los árboles, se guardó como imagen JPG.

Quinta Etapa: Tratamiento biológico de los residuos orgánicos del nogal

Los residuos orgánicos generados por la producción de la Nuez de Castilla en el Municipio de San Nicolás de los Ranchos, se pueden aprovechar a través de la tecnología del compostaje, una alternativa que, si bien los pequeños y grandes productores de esta semilla pueden adoptar a gran escala o en pequeña escala, según las posibilidades de los productores.

El compostaje tiene la versatilidad de adoptarse a cualquier dimensión, dependiendo del espacio que se tenga para realizar este proceso. En el municipio los pequeños productores, son aquellos que cuentan en promedio con uno o dos nogales en traspatio, aunque también existen pequeños productores que tienen su nogal o nogales en el campo, no obstante, la mayoría de ellos realizan las actividades de limpia en su domicilio, por lo que, sus residuos se quedan en las casas o bien son puestos a disposición del sistema de limpia del municipio, sin el adecuado tratamiento para su reutilización y aprovechamiento.

Los pequeños productores pueden adoptar el compostaje domestico el cual se realiza a través de una compostadora o compostador, el cual permita que suceda la biodegradación de los residuos orgánicos y se obtenga un Compost de calidad y utilizable (Rodríguez, 2006; Amigos de la Tierra España 2009). El compostador debe cumplir con ciertas características como son:

- Sistema de ventilación para permitir el flujo de aire y con ello de oxígeno
- Sistema de cierre lateral para controlar la temperatura y la humedad del sistema
- Sistema de cierre para evitar la saturación de agua por lluvia
- Sistema de volteo con el fin de mezclar los residuos y los organismos presentes en el sistema

El compostador se puede realizar con materiales como:

- Cerca de alambre
- Bote de basura o bote de plástico
- Ladrillos o madera
- Bidones de madera o plástico

Mientras que, para los grandes y medianos productores podrían adoptar las pilas de volteo como técnica de compostaje, ya que su generación de residuos es mayor, por lo que no sería posible realizarlo a través de un compostador (Rodríguez 2006). Para que el compostaje tenga éxito, se requieren de cuatro elementos indispensables residuos verdes (con alto contenido de nitrógeno), residuos cafés (con alto contenido de carbono), agua y oxígeno (Rodríguez, 2006; Junta de Andalucía) a continuación, se presenta una tabla de los residuos posibles de utilizar o no en el compostador y/o pilas de volteo.

	Residuos	Observaciones
Cafés	Aserrín, viruta de madera	No usar si proviene de madera tratada con productos químicos
	Hojas perennes	Es mejor añadirlas picadas
	Hojas secas	Se recoge en otoño para utilizarlas todo el año
	Paja y heno	Picar y mojar. Favorecen la aireación
	Pasto cortado y seco	Cuando es necesario material café, se puede secar al solo el pasto recién cortado
	Poda de arboles	Ayuda a la aireación. Deben ser cortadas en astillas
Verdes	Cítricos	Se requiere de buena aireación
	Estiércol de animales herbívoros	Muy útil si se requiere de materiales verdes
	Frutas, verduras, residuos de comida	Picar en trozo pequeños principalmente las cascara
	Hojas y bolsas de té	Esparcir dentro de la mezcla
	Maleza verde	Pasteurizar al sol dentro de una bolsa negra durante 7 a 10 días para eliminar semillas
Pequeñas cantidades	Pasto verde	Mezclar con materiales secos
	Aceites, grasas y productos lácteos	Al podrirse genera malos olores
	Carne, huesos, pescado	Genera malos olores y atrae roedores y moscas
	Papel sin tinta	Se degrada lentamente
Riesgo Sanitario	Excremento de animales carnívoros y humano	Contiene microorganismos peligrosos para la salud
	Plantas enfermas	La composta resultante puede seguir infecta por las plantas

Residuos		Observaciones
	Malezas y plantas persistentes	Las plantas con raíces persistentes y maleza con semillas son muy difíciles de pasteurizar

Tabla 5 Tipos de Residuos orgánicos útiles para el compostaje

Fuente: Junta de Anda Lucia

Las proporciones de cada capa de materia orgánica en el compostaje, van a depender del volumen del compostador o el lugar donde se desea colocar el proceso, por ejemplo, en los casos donde se cuenta con una superficie de 2 metros de largo por 1 metro de ancho, se recomienda que la primera capa de la pila sea de hojarasca de al menos 5 cm de altura, mientras que la segunda capa que es de residuos orgánicos sea e 15-20 cm de altura, después una capa de suelo de al menos 2 cm, repitiendo el proceso hasta alcanzar una altura de 1.5 metros (FAO, 2013).

Por otro lado, se sugiere que los residuos verdes representen de 50 a 70% del volumen total de la composta, mientras que, para los residuos marrones o cafés, sea el 10 % como máximo del volumen total, y el restante de suelo que actúa como amortiguador en el aumento de la temperatura y como inoculante de microorganismos (Ortiz, 2005).

Metodología de las compostas

Obtención de los residuos de la Nuez de castilla

Una vez consultada las técnicas de compostaje, se decidió realizarlo en un compostador, dado que se consideró como el más factible y fácil de manejar, además de llevar un mejor control de las variables físicas durante el proceso. La materia prima se consiguió de un árbol de aproximadamente 45 años de longevidad, con una altura no mayor de los 4 metros y un diámetro de 6 metros, del cual en el primer corte se generaron (2.850) kg de cascara verde (mesocarpio), (1.604) kg de la cascara café (endocarpio) y (0.458) kg del Tegumento, los residuos fueron separados, en recipientes de plásticos, previamente etiquetados, con el fin de no mezclarlos.




Mesocarpio	Endocarpio	Tegumento
		

Tabla 6 Los tres tipos de cascara el fruto

Los materiales orgánicos que se incluirán en el compostador fueron los siguientes:

- Hojarasca
- Aserrín
- Suelo

Sexta Etapa: Análisis de los tres tipos de cascara (mesocarpio, endocarpio y tegumento)

- Pretratamiento

De cada una de las tres capas del fruto, se seleccionaron las que presentaban una mejor condición de color, textura y brillo, después se limpiaron con papel con el fin de eliminar impurezas y se cortaron en trozos pequeños para una mejor manipulación y análisis de las características fisicoquímicas.



Imagen 17 Tres tipos de cascara secas

Se tomaron 631.5 gramos de mesocarpio, 393.3 gramos de endocarpio y 41.8 gramos de tegumento, se guardaron en refrigeración a una temperatura de 10°C, en bolsas de plástico previamente etiquetadas, posteriormente se llevaron al laboratorio de la Facultad de Ingeniería Química de la Benemérita Universidad Autónoma de Puebla, para la realización de los análisis fisicoquímicos.

- Secado: Se tomaron los residuos de cada capa y se colocaron en charolas de aluminio posteriormente se colocaron en el horno a una temperatura de 60°C por 5 días;
- Molienda: Una vez que los residuos se secaron por completo, se molieron en un mortero por separado, con el fin de obtener partículas finas de cada residuo y proseguir a realizar los análisis fisicoquímicos.



Imagen 18 Tegumento molido

- Densidad Aparente

Para la determinación de la densidad aparente de las capas, se empleó el método de la probeta, el cual consistió en agregar las partículas finas de cada residuo en una probeta con un volumen de 10 mL, una vez que se alcanzó la medida de 10 mL, se pesó en una balanza analítica, se tomaron los datos y se calculó la densidad aparente de cada capa con la siguiente ecuación.

$$DA = \frac{[\text{Peso del suelo seco}]}{\text{Volumen de la Probeta}}$$

- Contenido de Humedad

Se tomaron de las capas de la nuez y se colocaron en una charola de aluminio por separado, para determinar la humedad se usó el método gravimétrico, para ello primero se pesaron cada una de las capas y después se colocaron en la estufa a 60°C, durante 5 días, posteriormente se pesó y se calculó la diferencia de peso que existía en cada una de ellas.



Imagen 19 Medición del extracto de la capa de endocarpio

- pH en agua y en extracto de saturación

En la determinación del pH, se tomó 10 g de cada capa por separado y se disolvió con 50 mL de agua destilada, posteriormente con el potenciómetro previamente calibrado se tomó las lecturas del pH. Para el caso de la determinación de pH en el extracto, una vez que se obtuvo el extracto de saturación de cada una de las cascara de estudios, se agregó 10 mL en un vaso precipitado y se tomó el dato con el potenciómetro.

- Contenido de Cloruros

Se usó el método, que se menciona en la Norma Mexicana NADF-020-AMBT-2011, por lo que se tomó 5 ml del extracto de saturación en un matraz Erlenmeyer, se adicionó 5 gotas de indicador dicromato de potasio y se tituló con AgNO_3 0.05 N. hasta un cambio de color de amarillo a rojo ladrillo

- Contenido de Calcio

Para la determinación de calcio en las cascara se empleó el método EDTA, en el cual se agregó 3 ml del extracto de saturación en un matraz Erlenmeyer y se diluyó en 3 mL de agua destilada, se adicionó 1 gota de NaOH 1N, 25 gotas de Dietilditiocarbamato de sodio, un poco de Murexida y se tituló con EDTA 0.1 N. hasta un cambio de color de rosa a púrpura.



Imagen 20 Determinación de Calcio en Endocarpio y Tegumento

- Contenido de Magnesio

Se tomó una alícuota de 3 mL del extracto de saturación en un Matraz Erlenmeyer, se le agregó la solución buffer $\text{NH}_4\text{Cl}/\text{NH}_4\text{OH}$, se agregó una gota del indicador negro Eriocromo T y finalmente se tituló con EDTA 0.1 N hasta notar el viraje de rojizo a azul claro.

- Determinación de Acidez Extraíble

Se usó el método AS-32 cloruro de bario-trietanolamina taponada a un pH de 8.2, en cual consistió en pesar 12.5 g de cada una de las cascara y colocarlo en un embudo con papel filtro y agregar 25 mL de la solución BaCl_2 -TEA, posteriormente se dejó en reposo para que se filtrara. Una vez que se obtuvo el extracto se le agregó dos gotas del indicador rojo de metilo y se tituló con HCl 1N hasta notar un cambio de color de amarillo a rojo.



Imagen 21 Lavado de las tres cascara con BaCl_2 -TEA

- Contenido de Materia orgánica

Para la determinación de la materia orgánica de cada capa se usó el Método de Walkley y Black, que se menciona en la Norma Mexicana NADF-020-AMBT-2011. Para ello se pesó 0.05 g de cada una de las capas por separado y se colocó en un Matraz Erlenmeyer de 500 mL, se adicionó 10 mL de dicromato de potasio ($\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$) 1N, agitando el matraz cuidadosamente, después se le añadió 20 mL de ácido sulfúrico (H_2SO_4), transcurrido 30 minutos, se agregó 200 mL de agua destilada y 5 mL de ácido fosfórico (H_3PO_4) y finalmente se le agregaron de 5 gotas del indicador de difenilamida, se tituló con la disolución de sulfato ferroso hasta un viraje verde claro.

Para determinar el porcentaje de materia orgánica en cada una de las capas por separado, se aplicaron las siguientes formulas:

$$\%C \text{ orgánico} = \frac{[B - T]}{g} * (N) * (0.39) * mcf$$

Donde

B= Volumen de sulfato ferroso gastado para valorar el blanco de reactivos

T= Volumen de sulfato ferroso gastado para valorar la muestra

g= Peso de la muestra empleada

mcf= Factor de corrección de humedad

$$\% \text{Materia Orgánica} = \% \text{C orgánico} * 1.724$$



Imagen 22 Determinación de materia orgánica en las tres cascaras del fruto

Compostador

Se seleccionaron 24 recipientes de plástico (**1 litro, con un diámetro superior de 11.5 cm, un diámetro inferior de 9 cm y una altura de 13.5 cm**) los cuales fueron adquiridos a través de familiares y vecinos, antes de su utilización fueron lavados y desinfectados con alcohol al 70%, posteriormente se etiquetaron de acuerdo al tratamiento que se tenían (**9 tratamientos**) y el blanco, se destinó un área con las condiciones óptimas para colocar los compostadores, con el fin de que no se expusieran a condiciones climáticas extremas (lluvia, sol, viento...etc.).

Tratamientos

En el siguiente esquema se mencionan los tratamientos considerados en esta investigación, cada uno de ellos se hizo por duplicado.

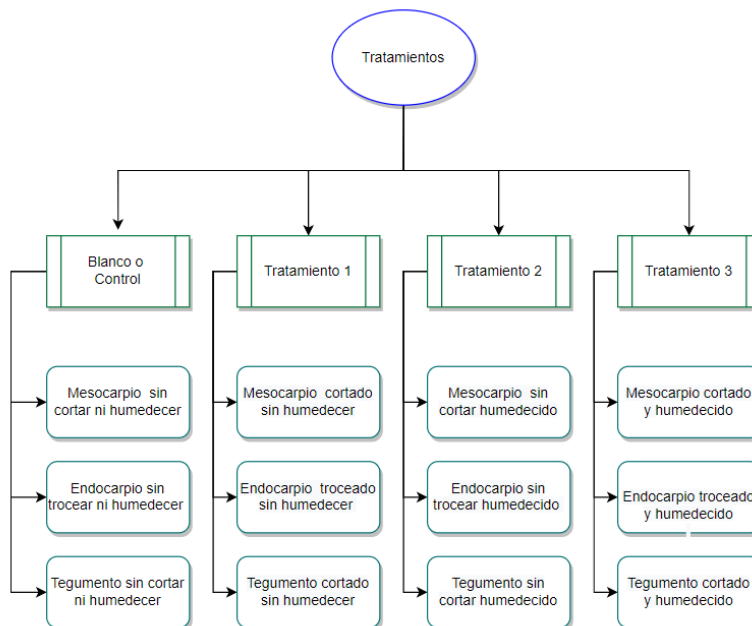


Imagen 23 Diagrama de Tratamientos

Elaboración Propia

Blanco

- Tratamiento con el mesocarpio sin cortar ni humedecido (B1)

En el recipiente previamente preparado y etiquetado se agrega una capa de hojarasca de al menos 1 cm, seguida de una capa de los residuos de la cascara (mesocarpio) de 4 cm, sin un tratamiento previo, posteriormente una capa de aserrín de 0.5 cm y 0.5 cm de suelo aproximadamente, se repitieron las capas una segunda vez, siendo el suelo la última capa, de igual forma se le agregó 25 mL de agua.

- Tratamiento con el endocarpio sin cortar ni humedecido (B2)

En otro recipiente se colocaron las mismas proporciones de materiales orgánicos que en el tratamiento con el mesocarpio, sin embargo, en vez se agregó la cascara café (endocarpio), cabe mencionar que, para la obtención de la nuez, se tuvo que romper ligeramente el endocarpio, no obstante, se trató de que la cascara no fuese destrozada en su totalidad.

- Tratamiento con el tegumento sin cortar ni humedecido (B3)

Se realizó el mismo procedimiento que los tratamientos anteriores, solo que esta vez se sustituyó por el tegumento, así mismo se cambiaron las alturas de las capas de los residuos, a una altura entre 1.5 y 2 cm, dado que este residuo tiende a ser el de menor volumen de las tres capas de la nuez.



Tabla 7 Blancos de los tratamientos

Tratamiento 1

- Tratamiento con el mesocarpio cortado sin humedecer (T1.1)

El mesocarpio fue previamente cortado en pequeños trozos, entre 1 y 1.5 cm, posteriormente se prosiguió a hacer el llenado del compostador como en el Tratamiento de mesocarpio sin cortar ni humedecer.

- Tratamiento con el endocarpio troceado sin humedecer (T1.2)

El endocarpio es una de las capas que presenta una mayor dureza, por lo que se troceó con ayuda de un martillo o piedra para obtener trozos pequeños, los cuales estaban entre 0.5 y 1.5 cm, en este caso las dimensiones de las capas disminuyeron a 2 cm, ya que el volumen del residuo disminuyó considerablemente.

- Tratamiento con el tegumento cortado sin humedecer (T1.3)

Para el caso del tegumento se cortao finamente, sin embargo, las capas de los residuos se redujeron considerablemente, cada capa midió entre 0.5 y 1 cm de altura.




Tratamiento T1.1	Tratamiento T1.2	Tratamiento T1.3
		

Tabla 8 Tratamientos con cascaras cortadas sin humedecer

Tratamiento 2

- Tratamiento con el mesocarpio sin cortar y humedecido (T2.1)

Se pesó (1.930) kg de residuo y se dejó reposar en un volumen de agua de (3) L. por 24 horas, una vez pasado este periodo, se prosiguió a dividir la cantidad de residuos a la mitad y después una mitad se colocó en las capas de la composta como en el tratamiento B1, cabe mencionar que el agua que se utilizó para humectar se utilizó para mantener una humedad optima en la composta durante el proceso.

- Tratamiento con el endocarpio sin cortar y humedecido (T2.2)

Al igual que en el tratamiento anterior se pesó (1.469) kg del residuo y se dejó reposar por 24 horas en un volumen de agua de (3) L., se tomó la mitad de los residuos y se colocaron las capas como en el B2.

- Tratamiento con el tegumento sin cortar y humedecido (T2.3)

El Tegumento es una capa fina que se deshidrata rápidamente disminuyendo su densidad, por lo que se trató de que el peso fuera el mismo para la composta sin humedecer y humedecido, por lo que (0.340) kg de tegumento se dejó reposar en un volumen de (1.5) L., por 24 horas, posteriormente se dividió la cantidad de los residuos y con una mitad se siguió el mismo procedimiento que el B3 para la formación de las capas.

Tratamiento T2.1	Tratamiento T2.2	Tratamiento T2.3
		

Tabla 9 Tratamientos con las cascaras húmedas sin cortar

Tratamiento 3

- Tratamiento con el mesocarpio cortado y humedecido (T3.1)

Se cortaron los residuos previamente humedecidos tratando que los trozos fueran de las mismas medidas que en el tratamiento T1.1, posteriormente se formaron las capas de la composta, con las mismas medidas que en B1.

- Tratamiento con el endocarpio cortado y humedecido (T3.2)

Se procuró que el tamaño de las partículas fuera similar al T1.2 así como la cantidad de residuos, se usaron las mismas dimensiones del B2 para formar las capas de la composta.

- Tratamiento con el tegumento cortado y humedecido (T3.3)

Se cortó esta capa de residuos con magnitudes similares al T1.3, cabe mencionar que, en este caso, a pesar de que se pesó la misma cantidad de cascara que en los tratamientos anteriores, debido a que es delgada la capa al cortar y humedecer su volumen disminuyó considerablemente, lo cual provocó que las capas de la composta disminuyeran a 1 cm.

Tratamiento T3.1	Tratamiento T3.2	Tratamiento T3.3
		

Tabla 10 Tratamientos con las cascara húmedas y cortadas

Monitoreo del compostaje

Se dejó por 3 meses el proceso de compostaje, en ese lapso de tiempo se monitorearon algunos de los factores variables de la composta, como son la temperatura, humedad y pH.

La temperatura y humedad se midió a los 20 días de haber iniciado el proceso, posteriormente se midió cada 15 días obteniendo 4 datos de cada variable, en cuanto al pH se tomó cada 20 días posteriores al inicio, posteriormente cada 10 días, obteniendo 4 mediciones.

Séptima etapa: Análisis fisicoquímico del compost de cada tratamiento

Una vez obtenido el compost de cada tratamiento, se realizaron los siguientes análisis fisicoquímicos, por separado, la mayoría de estos se basaron en los métodos indicados en la Norma Oficial Mexicana NOM-021-RECNAT-2000, Que establece las especificaciones de fertilidad, salinidad y clasificación de suelos. Estudios, muestreos y análisis.

- **Pretratamiento:**

De cada tratamiento a excepción de aquellos que tenían endocarpio, se les realizó el secado en la estufa a una temperatura de 60°C por 24 horas, posteriormente se tamizaron con un tamiz de diámetro de 2 mm y, por último, se realizó el envasado y etiquetado correspondiente. Cabe aclarar que los tratamientos que contenían endocarpio, se descartaron dado que, su degradación es más lenta en comparación de las otras cascara (mesocarpio y tegumento), por lo que se analizaron 16 muestras, en vez de las 24 previstas en un inicio.

- **pH 1:2**

Es el logaritmo negativo de la actividad de los iones de hidrogeno en el suelo, es decir el grado de acidez o alcalinidad en el suelo. Para su medición se utilizó en método indicado en la Norma Oficial Mexicana NOM-021-RECNAT-2000.

Se pesó 10 gramos del compost a analizar y se colocó en un vaso precipitado de 50 mL, posteriormente se le añadió 20 mL de agua destilada y se agito por intervalos de 5 minutos durante 30 minutos, después se dejó reposar por 15 minutos y con el potenciómetro ya calibrado se midió el pH. Se registraron los valores de cada tratamiento.



Imagen 24 Determinación de pH 1:2 de los tratamientos

- **Humedad**

La humedad es el contenido de agua almacenada en el suelo en un momento y lugar determinado. El contenido fraccional de agua se expresa en términos de relaciones de masa o volumen (Juárez, 2006). Para su medición se usó el Método Gravimétrico (diferencia de peso).

Para ello, se pesó el compost obtenido de cada tratamiento, posteriormente se colocaron en charolas previamente etiquetadas y se colocaron en el horno a 60 °C por 24 horas, una vez que todos los tratamientos están secos, se prosiguió a pesar. Para calcular la humead se usó la siguiente ecuación

$$\%H = \frac{[G - G2]}{G} * 100$$

Donde

H= humedad

G= Peso de la muestra humead en g

G1=Peso de la muestra seca en g

- Densidad

Se refiere al peso por volumen de suelo, existen dos tipos, la densidad aparente, la cual es el resultado del peso del suelo seco dividido por el volumen total de la muestra, incluyendo el volumen poroso; por otro lado, la densidad real es la relación que existe entre la unidad de peso y la unidad de volumen en fase sólida del suelo sin considerar el espacio poroso (Lozano, 2016).

En este caso se midió la densidad aparente, para ello se usó el Método de la Probeta, el cual consistió en colocar compost en una Probeta de 10 mL, y pesar, (Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria, INTA, 2012). La densidad aparente de cada tratamiento se calculó con la siguiente ecuación.

$$DA = \frac{[\text{Peso del suelo seco}]}{\text{Volumen de la Probeta}}$$

- Extracto de saturación

Se pesó 115 g de compost de cada tratamiento en un vaso de plástico por separado, a excepción de los tratamientos: **Tratamiento con el endocarpio troceado sin humedecer (T1.2)** y el duplicado de **Tratamiento con el tegumento sin cortar y humedecido (T2.3)**, en su caso se pesó 85 g de compost, posteriormente se les agregó agua destilada hasta llegar al punto de saturación, una vez que se llegó al punto de saturación, se prosiguió a taparlos y dejarlos reposar por 24 horas. Transcurrido el tiempo de reposo, se preparó el embudo con el papel filtro y el matraz kitizado, se conectó la bomba de vacío al matraz y se agregó un poco de pasta al papel filtro para la obtención del extracto de saturación, este procedimiento se repitió para cada uno de los tratamientos analizados, los extractos se colocaron en frascos previamente etiquetados, y se colocaron en refrigeración.

- Contenido de Carbonatos y Bicarbonatos

Se tomó una alícuota de 5 mL del extracto previamente obtenido de cada uno de los tratamientos, se les agregó el indicador Fenolftaleína, solo fueron cuatros de los tratamientos se tornaron rosa, enseguida se continuó con la metodología para la determinación de bicarbonato, la cual consistió en lo siguiente: se agregó dos gotas de anaranjado de metilo y seguida se titularon las muestras con H_2SO_4 0.05 N, cambiando de color amarillo a rojo canela.



Imagen 25 Determinación de Carbonatos en cada uno de los tratamientos

- Contenido de Cloruros

Se usó el método AS-20, que se menciona en la Norma Mexicana NADF-020-AMBT-2011, por lo que se tomó 5 ml del extracto de saturación en un matraz Erlenmeyer, se adicionó 5 gotas de indicador dicromato de potasio y se tituló con AgNO_3 0.05 N. hasta un cambio de color de amarillo a rojo ladrillo



Imagen 26 Determinación de cloruros en los tratamientos

- Contenido de Calcio

Para la determinación de calcio en las cascavas se empleó el método EDTA, en el cual se agregó 5 ml del extracto de saturación en un matraz Erlenmeyer, se adicionó 1 gota de NaOH 1N, 2 gotas de Dietilditiocarbamato de sodio, un poco de Murexida y se tituló con EDTA 0.1 N. hasta un cambio de color de rosa a púrpura.



Imagen 27 Determinación de Calcio en los tratamientos

- Contenido de Magnesio

Se tomó una alícuota de 5 mL del extracto de saturación en un Matraz Erlenmeyer, se le agregó la solución buffer NH_4Cl NH_4OH , se agregó una gota del indicador negro Eriocromo T y finalmente se tituló con EDTA 0.1 N hasta notar el viraje de rojizo a azul claro, lo anterior se hizo para cada muestra.



Imagen 28 Determinación de magnesio en los tratamientos

- **Determinación de Acidez Extraíble**

Se usó el método AS-32 cloruro de bario-trietanolamina taponada a un pH de 8.2, en cual consistió en pesar 12.5 g de cada una de las cascara y colocarlo en un embudo con papel filtro y agregar 25 mL de la solución $\text{BaCl}_2\text{-TEA}$, posteriormente se dejó en reposo para que se filtrara. Una vez que se obtuvo el extracto se le agrego dos gotas del indicador rojo de metilo y se tituló con HCl 1N hasta notar un cambio de color de amarillo a rojo.



Imagen 29 Determinación de acidez extraíble

- **Capacidad de Intercambio Catiónico**

Se usó el método A-12 de la NOM-021-RECNAT-2000, para ello primero se realizó el lavado del compost previamente tratado para la determinación de Acidez Extraíble, una vez que estos ya no presentan rastros de la solución $\text{BaCl}_2\text{-TEA}$, se prosiguió a pasar 10 mL de acetato de sodio 0.1 M, en seguida se agregó 2 mL la solución buffer NH_4Cl NH_4OH , para finalmente titular con EDTA 0.1N, para observar un viraje de rojo a azul.



Imagen 30 Determinación de Intercambio Catiónico en los tratamientos

- **Materia orgánica**

La materia orgánica se refiere a todo el material de origen animal o vegetal que este descompuesto, parcialmente descompuesto y sin descomponer en el suelo (FAO, 2009). Para la determinación de la materia orgánica de cada uno de los tratamientos se usó el Método de Walkley y Black.

Para ello se pesó 0.05 g del compost seco y se colocó en un Matraz Erlenmeyer de 500 mL, se adicionó 10 mL de dicromato de potasio ($\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$) 1N, agitando el matraz cuidadosamente, después

se le añadió 20 mL de ácido sulfúrico (H₂SO₄), transcurrido 30 minutos, se agregó 200 mL de agua destilada y 5 mL de ácido Tetraoxafosfórico (H₃PO₄) y finalmente se le agregaron de 2 gotas del indicador de difenilamida, se tituló con la disolución de sulfato ferroso hasta un viraje verde claro.

Para determinar el porcentaje de materia orgánica presente en el compost se aplicaron las siguientes formulas:

$$\%C \text{ orgánico} = \frac{[B - T]}{g} * (N) * (0.39) * mcf$$

Donde

B= Volumen de sulfato ferroso gastado para valorar el blanco de reactivos

T= Volumen de sulfato ferroso gastado para valorar la muestra

g= Peso de la muestra empleada

mcf= Factor de corrección de humedad

$$\% \text{ Materia Orgánica} = \% C \text{ orgánico} * 1.724$$



Imagen 31 Determinación de MO en los tratamientos

- Nitrógeno Total

Para la determinación de nitrógeno total en los tratamientos se usó el Método Kjeldahl, en donde se pesó 0.5 g de compost y se colocó en el tubo de destilación microKjeldahl, posteriormente se agregó 0.5 gramo de catalizador de K₂SO₄ CuSO₄5H₂O y HgO Y 6mL de H₂SO₄, y se continuo con el proceso de digestión, una vez que se completó esta etapa, se agregó al tubo 15 mL de agua destilada, se colocó nuevamente el tubo en el equipo y se añadió 15 mL de NaOH al 10 N, ya que obtuvo el destilado de la segunda etapa, se continuo con colocarlo en un matraz Erlenmeyer que previamente contenía H₃BO₄ y dejar destilar por 4 minutos más, una vez que tomo un color verde, se continuo con titular con H₂SO₄ al 1 N, para que vire a un rosa fuerte.

Para el cálculo de la propiedad se empleó la siguiente ecuación.

$$N(ppm) = \frac{[(M - B) * N * 14]}{p}$$

Donde

M y B= Son los mililitros de (H₂SO₄) usados en la titulación de muestra y el blanco respectivamente

N= Normalidad del acido

V_i = El volumen del extractante

a = La alícuota destilada

p = El peso de la muestra en gramos



Imagen 32 Determinación de Nitrógeno Total

- Relación C/N

Es un índice de calidad del sustrato orgánico del suelo, el cual indica la tasa de nitrógeno disponible para las plantas, este es determinado por el contenido de carbono orgánico y el nitrógeno total, también es considerado como un indicador de la mineralización de la materia orgánica y correlacionado fuertemente con las propiedades edáficas, (Soto, 2016).

Resultados y Discusión

Primera Etapa: Información del municipio y de sus actividades económicas

A lo largo del presente trabajo, se realizaron diferentes búsquedas bibliográficas con el principal objetivo de conocer el área de estudio (el municipio de San Nicolas de los Ranchos, Puebla), una vez que se revisó y analizó la diversa información encontrada se puede destacar lo siguiente. A pesar de las condiciones climáticas del Municipio, se destaca por su economía que se basa en las actividades agrícolas, agropecuarias y de comercio, siendo los cultivos de maíz, frijol y calabaza los más sembrados y comercializados en el mismo municipio y en los municipio y juntas auxiliares vecinas. (Sandoval, 2001; DataMéxico, 2020).

Cabe destacar que el municipio cuenta con dos tipos de suelo que son el regosol y el litosol, los cuales se caracterizan por ser infértiles y no aptos para el cultivo, derivado de ello los pobladores hacen uso de los fertilizantes químicos para garantizar la cosecha de sus cultivos y a su vez su sustento económico, (Damián, 2020). Por otra parte, en los últimos años, el cultivo y comercio de la nuez de castilla en la región ha permitido una derrama económica anual de 7 millones de pesos, lo cual ha permitido, una mayor demanda del producto y producción del mismo, beneficiando a los propios pobladores, no obstante, esto a su vez ha generado un aumento en la generación de residuos orgánicos en los meses de julio y agosto. (Torres, 2019).

El clima que predomina en la región es frio y subhúmedo, dado que pertenece a la Sierra Nevada, sin embargo, estas condiciones climáticas no representan una dificultad para el llevar a cabo el proceso de compostaje en las casas habitación o en los terrenos de cultivo de los propios productores en el municipio, ya que un adecuado diseño del sistema de compostaje permite que el proceso se lleve a cabo sin ningún problema, a pesar de estar en condiciones de frio y/o de lluvia (INAFED, 2018).

Segunda Etapa: Nogal (*Junglas regia* L.)

El árbol del cual se obtiene el producto de la nuez de castilla, tiene como nombre científico *Juglans regia*, pertenece a la familia de las *Juglandaceae*, su nombre común es el nogal común. Esta especie es originaria de sureste de Europa y este de Asia. Se caracteriza por tener el tipo de hoja caduca, con una altura de 25-35 m y 2 m de diámetro, cuenta con tronco recto único, de corteza grisácea y bastante lisa. (Gil, 2014).

Su fenología se destaca por ser repetitiva una vez que alcanza su madurez y etapa reproductiva (posteriores a los 10 años de su siembra), tiene un receso o periodo de letargo invernal que sucede en los meses de noviembre a marzo, mientras que el proceso de aparición de flores y la polinización sucede en los meses de abril-mayo, para que posteriormente se dé el fruto, en los meses de julio-agosto (CONAFOR, 2013).

La nuez o el fruto del nogal está definido botánicamente como una drupa indehisciente, es un fruto carnoso que contienen una sola semilla, esta si bien se puede consumir de forma fresca o seca. El fruto está constituido por tres principales capas: Mesocarpio, Endocarpio y Tegumento, cada una de ellas, cumple una función diferente por lo que sus características físicas varían. El mesocarpio es conocido como capote, es carnoso, de color verde y rico en agua con un espesor variable de 5 y 20 mm; el endocarpio por su parte es la parte inferior lignificada de textura dura y arrugada, compuesta por 2 valvas selladas, en su centro se encuentra la semilla, mide normalmente 2 a 6 cm de largo y pesa de 4 a 12 gramos cada una; el tegumento es como una piel fina y delgada que cubre a la semilla y que tiene la propiedad de protegerla, ante el deterioro oxidativo (Ríos, 2013; Iannamico, 2009).

La composición química de cada una de las capas, está compuesta principalmente de celulosa, hemicelulosa y lignina, las cuales, al tener estructuras conformadas principalmente por polisacáridos, facilitan su biodegradación por microorganismos de manera natural, aunque en el caso del endocarpio, presenta una composición química más compleja ya que tiene lignocelulosa, la cual es la biomasa seca y dura que dificulta la degradación natural del residuo (Ramírez, 2003; Yaning, 2020; Ortiz, 2009). Por lo que se deberá considerar en el momento de realizar el proceso de compostaje del residuo.

Tercera etapa: Residuos orgánicos generados anualmente por producción de la Nuez de castilla en el Estado de Puebla

En 2019 el Estado de Puebla generó 1,556 toneladas de este fruto (SADER, 2020), del cual aproximadamente entre 1,011.4 y 622.4 toneladas representan los residuos generados por la capa del endocarpio y mesocarpio. En el municipio de San Nicolás de los Ranchos su producción promedio anual es de 180 toneladas (Torres, 2019), de la cual entre 117 y 72 toneladas representan los residuos orgánicos generados, es decir entre el 40% y 65% de la producción total a nivel estatal y municipal, es considerado como residuo. Los productores tiran estos residuos orgánicos sin darles una valorización adecuada, ya que, en su mayoría, estos son puestos a disposición final al servicio de limpio de municipio o bien son depositados en el suelo cerca de los cultivos sin ningún tratamiento previo que permita su correcto aprovechamiento.

Cuarta etapa: Árboles Traspatio localizados en el Municipio de San Nicolás de los Ranchos

Los árboles traspatio localizados a través del software *Google Earth Pro* a una escala de 200m, fueron 51 sin embargo, no se logró identificar si eran nuevos o viejos, dado que el software no permitió acercamientos detallados para indicar o inferir su edad de madurez, así mismo la observación en campo no permitió identificar la existencia de nogales jóvenes en los interiores de las casas habitación del municipio. Cabe mencionar que la mayoría de los ejemplares se encontraban en la periferia del municipio, como se puede observar en la Imagen (33).

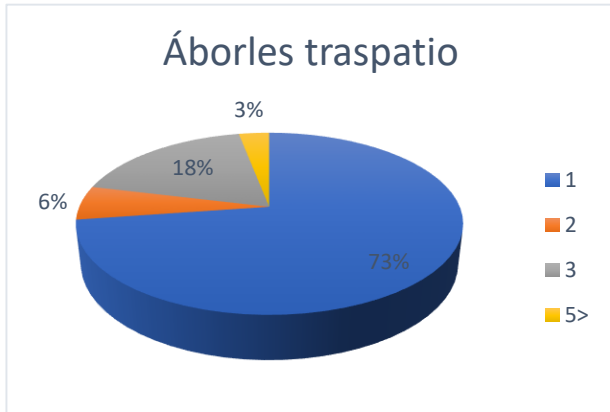


Gráfico 1 Porcentaje de árboles traspatio

Así mismo, el número de casas-habitación que contaban con más de un nogal fueron mínimas, representando apenas el 6.06% para aquellas que tenían dos, el 18.18%, para casas con tres y el 3.03% para aquellas que contaban con cinco ejemplares, mientras que el 72.72% representa a todas las viviendas que cuentan con un ejemplar, en sus jardines o patios, como se presenta en el Gráfico 1. No obstante, es importante señalar que los ejemplares en los traspatios del municipio, apenas representan una pequeña parte de todos los árboles que la

población tiene, ya que gran parte de la población cuenta con al menos un ejemplar en sus terrenos donde siembran sus diferentes cultivos, para su comercio en el propio municipio y los municipios aledaños (Luna, 2013).

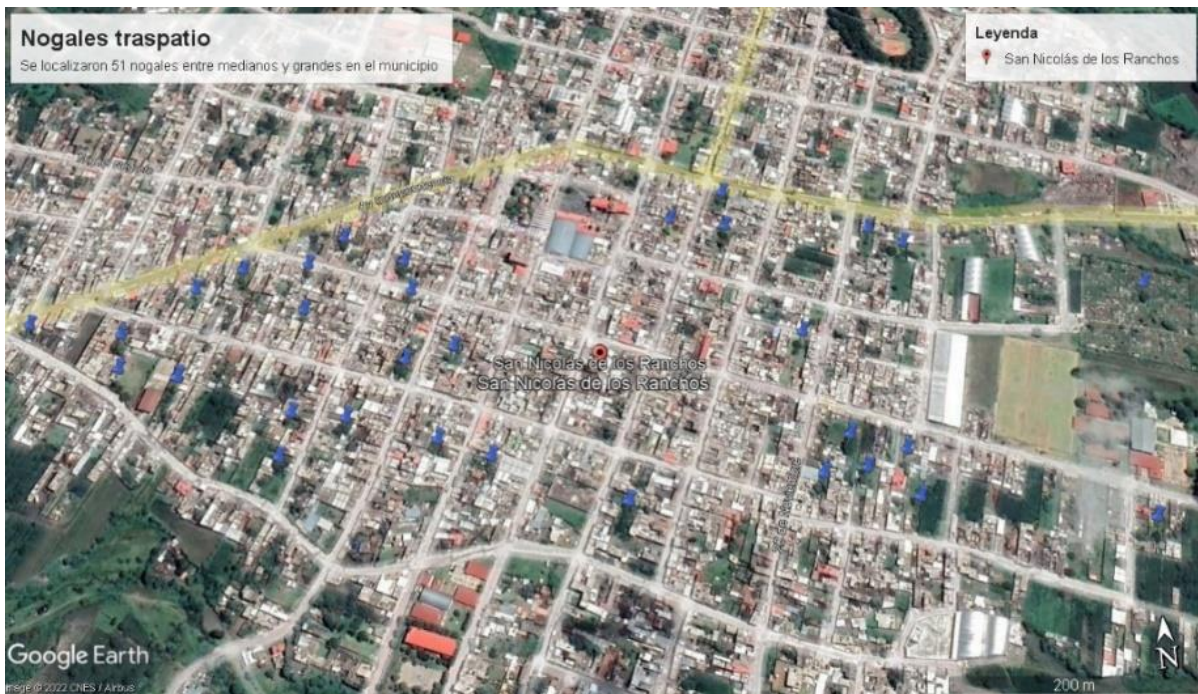


Imagen 33 Identificación de los árboles traspatio en SNR

Por otro lado, es sustancial contemplar que sí, de los 51 nogales localizados en el Municipio, todos se encuentran en su edad madura y máxima producción, la producción promedio de cada ejemplar por temporada sería entre 13.25 y 20.15 Kg del fruto (Luna 2013, Luna 2016), con ellos se podría considerar que la producción del fruto “Nuez de Castilla” en las casas-habitación, es de aproximadamente de 675.75 y 1027.65 kg, de los cuales aproximadamente 439.23 y 667.97 kg son residuos. Estas cantidades estimadas, apenas representarían el 0.53% y el 0.37% de la producción total que se genera en el municipio.

Monitoreo de cada uno de los tratamientos durante el compostaje

El monitoreo inicio el 17 de agosto del 2022 hasta el 25 de septiembre del mismo año, derivado de este, se obtuvieron 4 datos de temperatura y humedad, y 5 para el pH de cada tratamiento, las mediciones de temperatura y pH como se presenta en la Tabla (11), se realizaron con dos equipos diferentes, mientras que para la humedad solo se utilizó uno de ellos.

Durante el proceso de compostaje los parámetros medidos mostraron un comportamiento semejante entre los tratamientos En el caso de la Temperatura, el dato promedio máximo que se obtuvo fue de 18.1°C mientras que el mínimo fue de 17.2°C, no obstante, el promedio fue de 17.45 °C, como se puede apreciar en el Grafico (2).

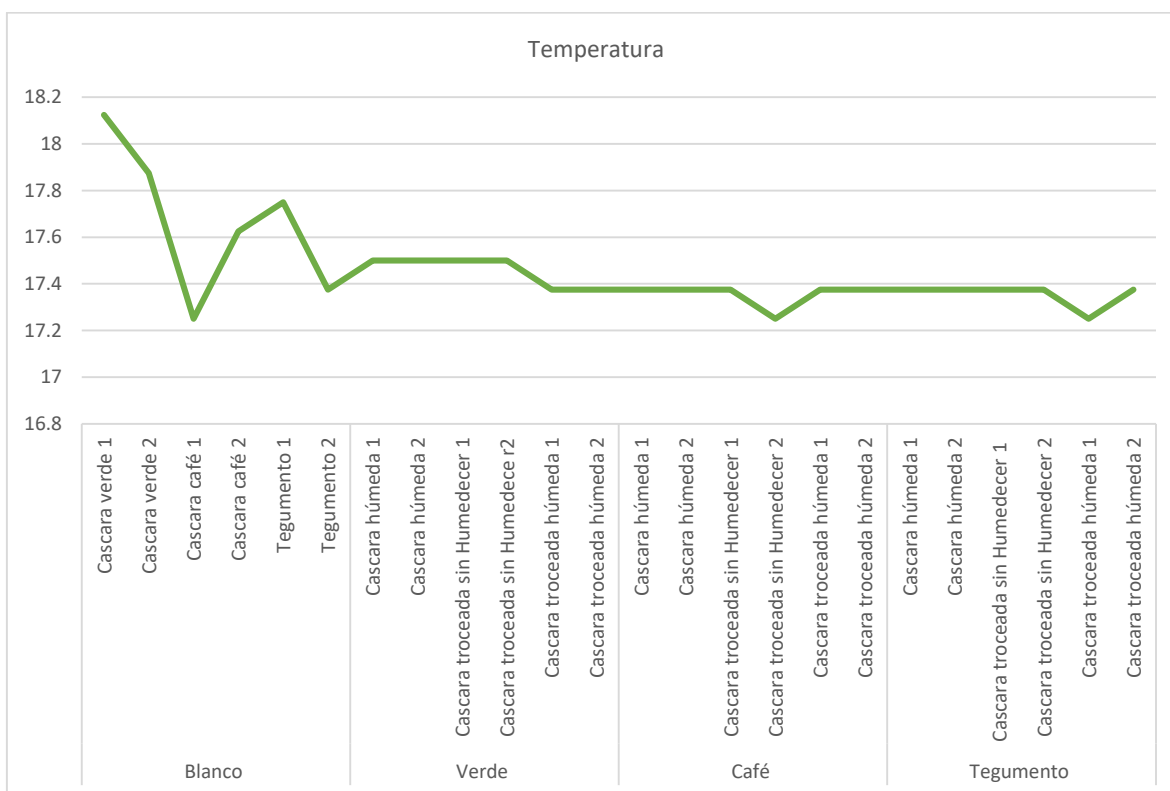


Gráfico 2 Monitoreo de Temperatura

La temperatura óptima para la actividad microbiana en el compostaje es entre 55 y 60 °C (Salazar, 2014), aunque no se alcanzaron las temperaturas recomendadas en los tratamientos, debido a las dimensiones del compostador, las condiciones de temperatura que albergaron los tratamientos fueron las adecuadas para la actividad microbiana de ciertos microorganismos, puesto que los microorganismos mésofilos tienen una buena actividad a temperaturas menores de los 40°C (Delgado, 2019).

El pH registrado osciló con un valor mínimo de 5.7 y un valor máximo de 7.12, siendo el promedio 6.3 Grafico (3), el cual llegó a estar dentro del rango óptimo de 6 y 7.5 permitiendo un adecuado metabolismo por parte de los microorganismos degradadores; un punto importante a destacar es

que al inicio gran parte de los tratamientos que contenían tegumento y mesocarpio reportaron un pH de 4.5 y 5, lo cual se atribuye a las diversas reacciones que suceden al inicio del proceso de compostaje, puesto que se forman cantidades considerables de ácidos orgánicos, como consecuencia de la actividad microbiana (Salazar, 2014 & Moreno, 2007).

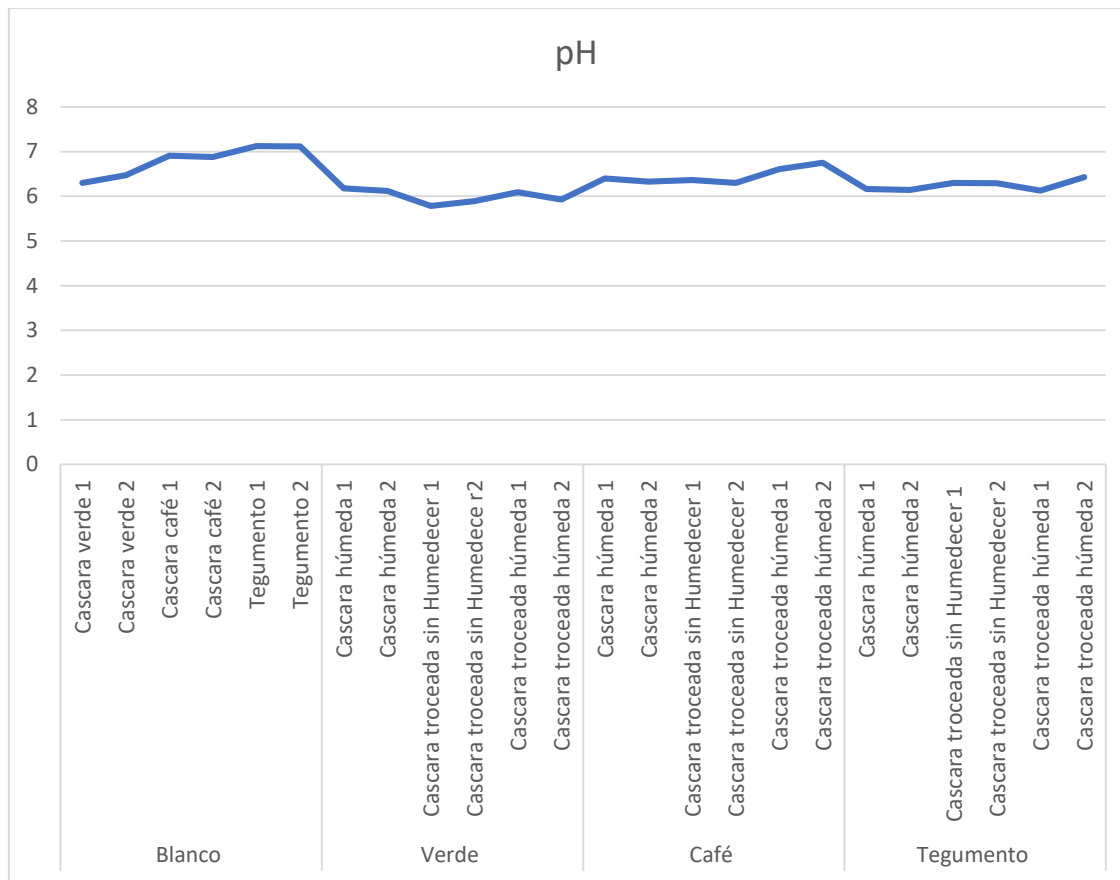


Gráfico 3 Monitoreo de pH durante el compostaje

Durante el monitoreo de la humedad se obtuvieron porcentajes mínimos de 37.50%, mientras que el porcentaje más alto oscilo en el 78.50% y la media fue 62% como se muestra en el Grafico (4). Lo cual favoreció el proceso de biodegradación de las cascaras del nogal, dado que el tener un contenido de humead alrededor del 50%, permite el aumento de las poblaciones microbianas que se encuentran naturalmente en los residuos o materiales utilizados en el compostaje (Bohórquez, 2019).

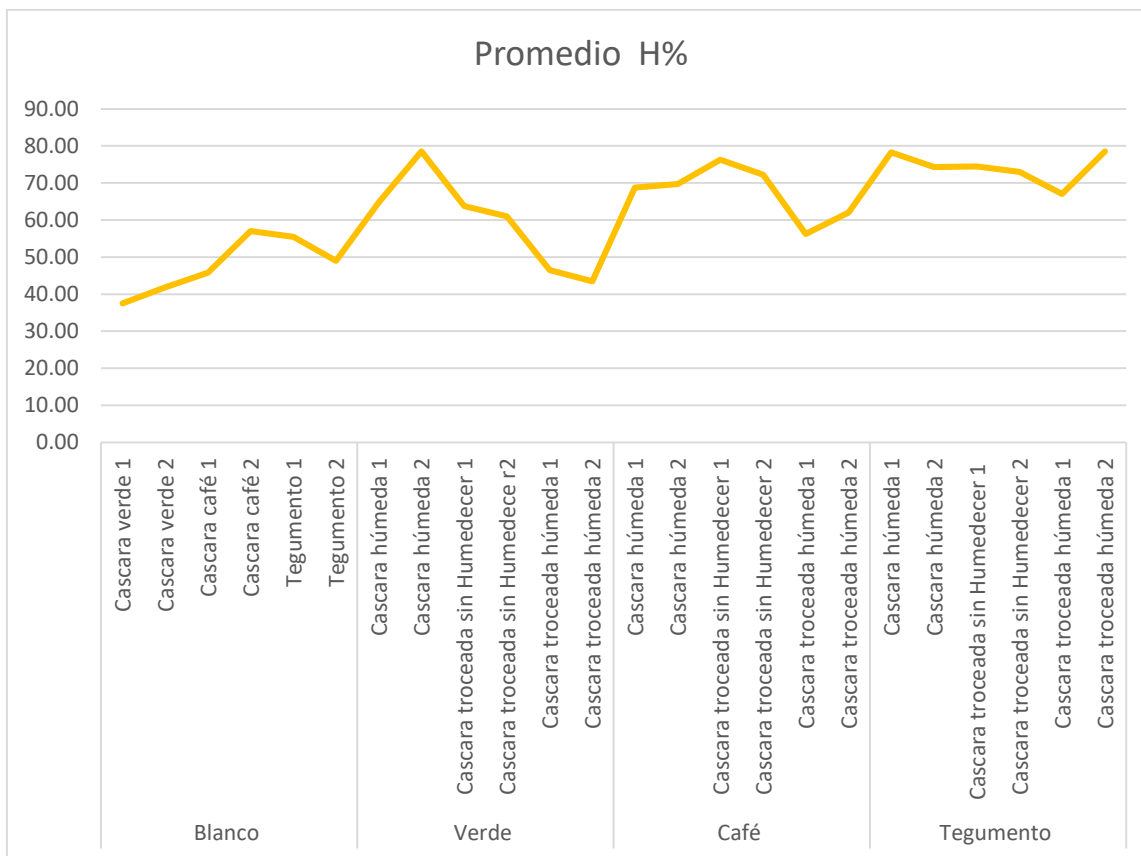


Gráfico 4 Monitoreo de Humedad durante el compostaje

Los tratamientos que mostraron un porcentaje de humedad relativa alto fueron aquellos que contenían mesocarpio y tegumento, esto se debió a que las cascara contenían un gran contenido de agua, que al comenzar el proceso de degradación generaron una cantidad considerable de ácidos orgánicos en estado líquido, así mismo, durante la degradación del mesocarpio este secreta un líquido que contiene juglone. No obstante, un aumento de porcentaje de humedad crea condiciones de anaerobiosis, la cual desfavorece la biodegradación de residuos, generando los malos olores, así como la disminución de nutrientes por los ácidos húmicos y lixiviados producidos (López, 2014 & Bohórquez, 2019).

Tratamiento		Aparato 1	Aparato 2	Aparato 1	Aparato 2	Aparato 1
		Temp	Temp	pH	pH	H%
		± 0.2209	± 0.2756	± 0.5779	± 0.1894	± 12.86
Blanco	<i>Cascara verde 1</i>	17.75	18.5	6.04	6.56	37.50%
	<i>Cascara verde 2</i>	17.75	18	6.38	6.564	41.83%
	<i>Cascara café 1</i>	16.75	17.75	7.18	6.64	45.80%
	<i>Cascara café 2</i>	17.5	17.75	7.3	6.46	57.00%
	<i>Tegumento 1</i>	17.25	18.25	7.68	6.56	55.50%
	<i>Tegumento 2</i>	17	17.75	7.64	6.59	48.95%
Verde	<i>Cascara húmeda 1</i>	17.5	17.5	6.18	6.18	64.75%
	<i>Cascara húmeda 2</i>	17.5	17.5	6	6.24	78.50%
	<i>Cascara troceada sin Humedece 1</i>	17.5	17.5	5.44	6.12	63.75%
	<i>Cascara troceada sin Humedece 2</i>	17.5	17.5	5.68	6.1	61.00%
	<i>Cascara troceada húmeda 1</i>	17.25	17.5	6	6.18	46.50%
	<i>Cascara troceada húmeda 2</i>	17.25	17.5	5.62	6.24	43.50%
Café	<i>Cascara húmeda 1</i>	17.25	17.5	6.38	6.42	68.75%
	<i>Cascara húmeda 2</i>	17.25	17.5	6.36	6.3	69.75%
	<i>Cascara troceada sin Humedecer 1</i>	17.25	17.5	6.4	6.32	76.25%
	<i>Cascara troceada sin Humedecer 2</i>	17.25	17.25	6.18	6.42	72.25%
	<i>Cascara troceada húmeda 1</i>	17.25	17.5	6.68	6.54	56.25%
	<i>Cascara troceada húmeda 2</i>	17.25	17.5	6.9	6.6	62.00%
Tegumento	<i>Cascara húmeda 1</i>	17.25	17.5	6.26	6.06	78.25%
	<i>Cascara húmeda 2</i>	17.25	17.5	6.2	6.08	74.25%
	<i>Cascara troceada sin Humedecer 1</i>	17.25	17.5	6.36	6.24	74.50%
	<i>Cascara troceada sin Humedecer 2</i>	17.25	17.5	6.36	6.22	73.00%
	<i>Cascara troceada húmeda 1</i>	17	17.5	6.12	6.14	67.00%
	<i>Cascara troceada húmeda 2</i>	17.25	17.5	6.56	6.3	78.50%

Tabla 11 Monitoreo de pH, Temperatura y Humedad Relativa de los tratamientos

Sexta: Etapa: Resultados del Análisis Físicoquímico de las capas de la nuez de castilla

Las características físicoquímicas obtenidas de las tres capas de residuos sometida a estudio, (Endocarpio, Mesocarpio y Tegumento) se muestran en la siguiente Tabla (12).

Parámetro	Mesocarpio	Endocarpio	Tegumento
Humedad	88.91%	46.19%	31.57%
Densidad Aparente (g/mL)	0.3898	0.3987	0.2762
pH (1:5)	4.992	4.3538	3.96
pH (Extracto de saturación)	5.08	4.18	3.87
Conductividad Eléctrica (CE)	NA	NA	NA
Materia orgánica (%)	20.17	10.08	14.11
Cloruros (meq/L)	59.5	15	9.16
Calcio (meq/L)	86.6	103	50
Magnesio (meq/100 g)	12.21	3.74	43.76
Acidez extraíble (meq/ 100 g)	36.0	16.8	36.8
Capacidad de Intercambio Catiónico	NA	NA	NA

Tabla 12 Parámetros físicoquímicos del mesocarpio, endocarpio y tegumento

Como se observa en la Tabla 2, el porcentaje de humedad más alto fue para el mesocarpio, lo cual daría una explicación contundente al exceso de humedad registrado durante el monitoreo de los tratamientos, por lo que, se deberá considerar en caso de realizar un compostaje en mayor escala, para que el proceso no sufra de saturación de agua y una alta generación de lixiviados.

La densidad en los tres tipos de capas es inferior a 0.5g/mL, lo cual permitirá una buena estructura y proveerán de los espacios necesarios para la circulación de aire y agua que es indispensable para la actividad microbiana (López, 2017). El pH obtenido de las tres capas muestra cierta acidez, siendo el pH del mesocarpio, el menos ácido, Gráfico (5).

En el caso del porcentaje de materia orgánica, se encontró que las tres capas tienen un rango aceptable de materia orgánica, la cual favorecerá la degradación de estos residuos por los microorganismos en el suelo, dado que el Carbono que se encuentra en la materia orgánica otorga la energía necesaria a los microorganismos para su metabolización de los residuos, (Barreros, 2017).

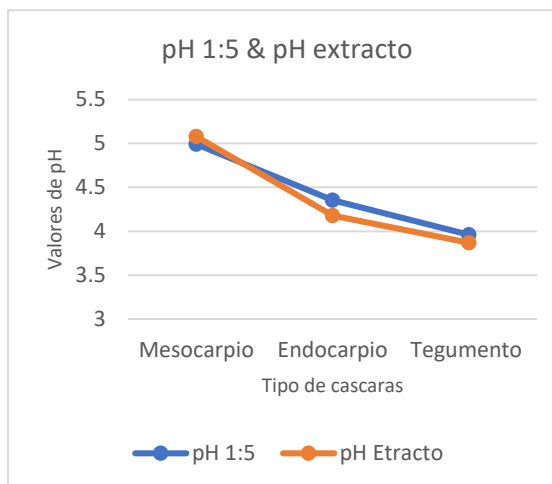


Gráfico 5 pH 1:5 y pH Extracto

Los macronutrientes evaluados fueron el magnesio y el calcio, los cuales mostraron valores altos de acuerdo a los rangos de 2-5 (cmol/Kg) para Mg y 8-35 (cmol/Kg) para Ca de *Estrada et al 2017*, como se muestra en el Grafico (6), dichos valores permitirán que los microorganismos realicen las reacciones enzimáticas necesarias para la biodegradación de los residuos. No obstante, para el caso del mesocarpio, es necesario ser cuidadoso, dado que contiene una gran cantidad de calcio, el cual en exceso podría calcificar los suelos.

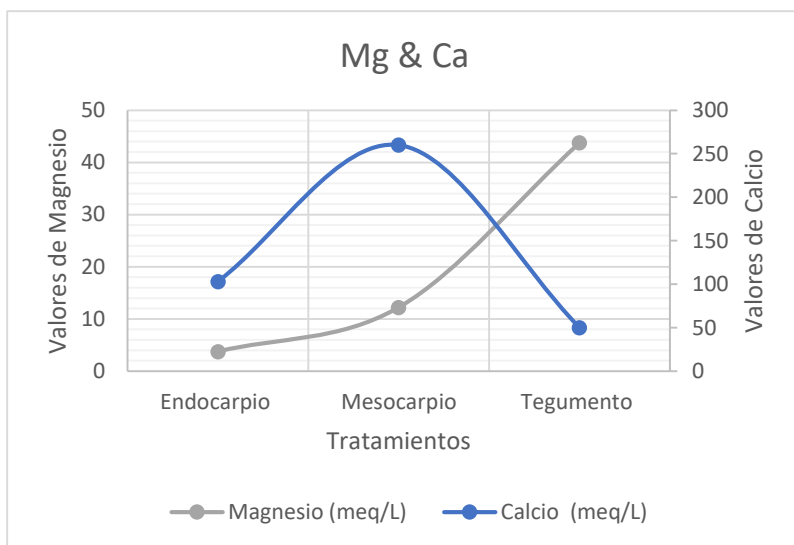


Gráfico 6 Cantidad de Calcio y Magnesio en las cascara

Por otra parte, dentro de los micronutrientes evaluados se encuentran los cloruros y el aluminio, en el caso de cloruros el endocarpio y tegumento se encontraron dentro de los rangos aceptables para el suelo que van de 5-18 meq/L, Gráfico (7), mientras que para el caso del mesocarpio excede dicho rango, por lo que se deberá considerar para evitar posible toxicidad en el compost final.

La Acidez extraíble obtenida de las tres cascara fue alta, lo que representa una alta concentración de aluminio. Una alta concentración de Al^{+3} conlleva a una baja biodisponibilidad de nutrientes esenciales para los microorganismos como son el calcio, magnesio y algunos micronutrientes, resultando la inhibición de la actividad microbiana (Frioni, 2005). Es por ello, que se deberá cuidar el pH para impedir que el aluminio acidifique el compost final y este sea toxico para su uso en los cultivos, así como una posible inmovilización de micro y macro nutrientes.

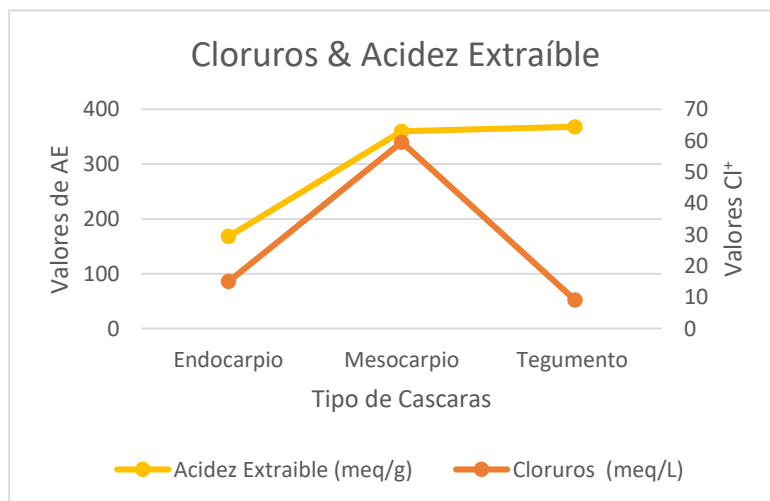


Gráfico 7 Cantidad de Cloruros y Acidez Extraíble

Séptima etapa: Resultados del Análisis Físicoquímico del compost de los tratamientos que contenía mesocarpio y tegumento.

Los datos obtenidos a partir de los análisis físicoquímicos del compost de cada tratamiento se muestran en la siguiente Tabla (13), cada uno de ellos se realizaron posteriores a los tres meses de haber iniciado el proceso de compostaje, a excepción de los compost de los tratamientos donde la materia prima fue el Endocarpio, dado que, su composición química (Lignocelulósica) y consistencia dura, conllevó a que su proceso de degradación sucediera más lento, por lo que no se obtuvo un producto homogéneo en el mismo periodo que los otros tratamientos, como se puede observar en la Imagen (34).



Imagen 34 Blancos de cada tipo de cascara

A pesar de que, la biomasa lignocelulósica está disponible en gran parte de la materia orgánica, son sus polisacáridos presentes en la estructura, quienes dificultan la biodegradación, principalmente por su heterogeneidad y a su estructura cristalina. Por lo que, se recomienda el uso de hidrolasas y complejos enzimáticos que permitan su degradación eficiente (Wolfgang, 2002).

Tratamiento		H	DA (g/mL)	pH en 1:2	pH Extracto	CE	CO ₃ ⁻² (meq/L)	H ₂ CO ₃ ⁻³ (meq/L)	Cl- (meq/L)	Ca (meq/L)	Mg (meq/g)	AIE (meq/g)	CIC (moles*carga/kg)	CO %	MO %	NT (%)	C/N
		± 6.8	± 0.05	± 0.90	± 0.51	± 0.67	± 5.86	± 9.98	± 2.96	± 12.51	± 0.60	± 3.57	± 1.76	± 3.05	± 5.26	± 0.23	± 25.89
Blanco	Mesocarpio	48.0	0.5	8.0	8.6	4.4	5.0	50.5	20.5	29.0	1.8	52.0	8.0	23.0	39.7	0.3	82.2
	Tegumento	41.5	0.6	6.8	7.5	3.1	NA	40.0	14.0	58.0	2.5	49.6	8.0	12.5	21.5	0.1	20.9
Mesocarpio	Cascara húmeda	50.0	0.5	8.6	8.8	4.2	3.0	44.0	17.0	33.0	2.0	48.8	8.8	20.3	35.0	0.8	24.1
	Cascara troceada sin Humedecer	50.0	0.5	8.9	7.6	4.4	NA	52.5	20.5	62.0	2.3	46.0	5.2	18.7	32.3	0.2	19.5
	Cascara troceada húmeda	33.5	0.5	8.6	8.3	4.3	14.0	33.5	19.0	41.0	1.0	42.8	10.4	19.5	33.6	0.4	11.6
Tegumento	Cascara húmeda	53.0	0.6	6.9	7.6	2.9	NA	33.0	15.0	31.0	2.8	47.6	8.0	21.1	36.3	NA	NA
	Cascara troceada sin Humedecer	41.5	0.6	6.8	8.4	3.0	NA	27.5	22.0	34.0	1.5	51.6	9.6	19.5	33.6	0.4	56.2
	Cascara troceada húmeda	52.5	0.7	7.2	7.9	3.5	NA	54.0	21.0	38.0	1.5	42.8	10.8	19.9	34.3	0.3	18.8
Endocarpio	Cascara húmeda	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
	Cascara troceada sin Humedecer	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
	Cascara troceada húmeda	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA

Tabla 13 Datos de los análisis fisicoquímicas de cada tratamiento

Como se puede apreciar en el Grafico (8), los valores de humedad de los tratamientos que contenían Mesocarpio, obtuvieron valores altos excediendo el rango de 25-45% de HR, establecido en la Norma Mexicana NADF-020-AMBT-2011, Que establece los requerimientos mínimos para la producción de composta a partir de la fracción orgánica de los residuos sólidos urbanos, agrícolas, pecuarios y forestales, así como las especificaciones mínimas de calidad de la composta producida y/o distribuida en el Distrito Federal. Este comportamiento se pudo deber a que el compost le faltó madurar otros tres meses, en los cuales llegaría a disminuir la cantidad de agua presente por la continua actividad microbiana (FAO, 2013), o bien por el alto contenido de agua que contiene esta capa.

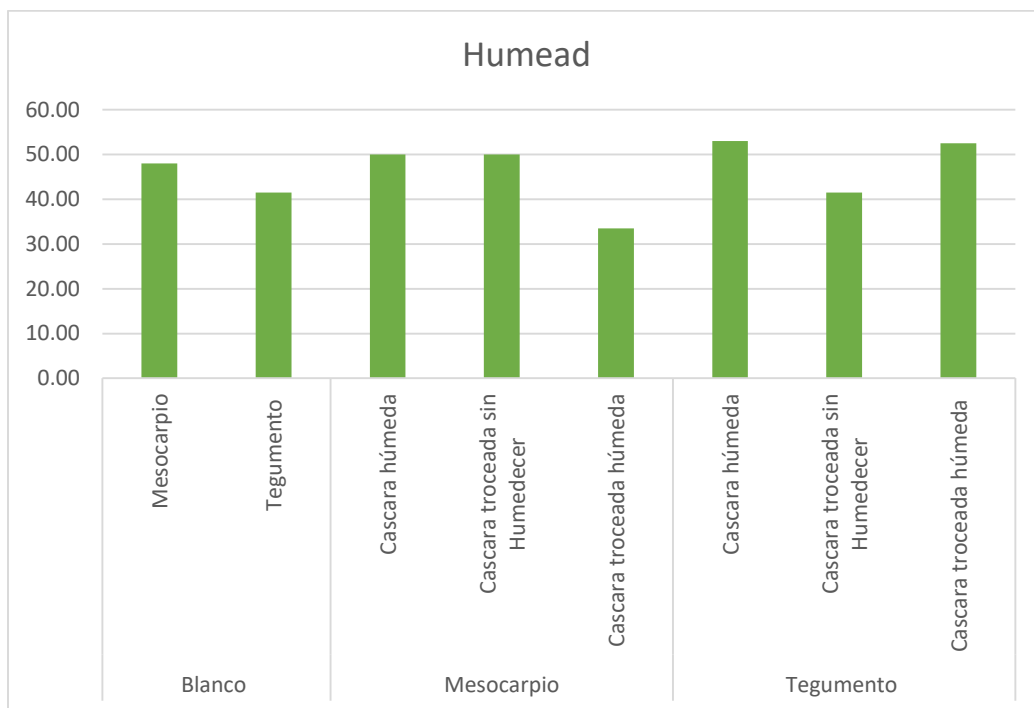


Gráfico 8 Contenido de Humedad Relativa en los tratamientos

En cuanto a la densidad aparente obtenida, se encontró entre los valores 0.6647- 0.4865 g/mL, los cuales están dentro del rango establecido por el Manual de Compostaje del Agricultor 2013, que es <0.700g/mL, siendo apta para el uso de mejorador de suelo, ya que una buena densidad permite una correcta compactación, porosidad, grado de aireación y capacidad de infiltración, así mismo contribuye al crecimiento de las plantas, ya que no limita el desarrollo de las raíces (Rubio, 2010).

Para el caso de pH se obtuvieron valores entre 6.79 y 8.9, siendo solamente los tratamientos de *Mesocarpio*, quienes excedieron el rango de 6.5-8.5 establecidos por el Manual de Compostaje del Agricultor 2013; como se muestra en el Grafico (9), mientras que los otros tratamientos entraron en dicho rango, por lo que el producto obtenido de los otros tratamientos es apto para el uso de suelos agrícolas, suelo para macetas o como mejorador de suelos, ya que no impedirá la absorción de nutrientes de las plantas a través de sus raíces. Por otro lado, los productos de los otros tratamientos que obtuvieron un pH mayor a 8.5, posiblemente restrinjan o dificulten la absorción

de Fe, Mn, B, Zn, Cu y Fosfatos, dado que, estas al encontrarse en un pH alcalino, estos nutrientes se encuentran en formas tan insolubles que las raíces no los pueden disponer adecuadamente (Owen, 1995).

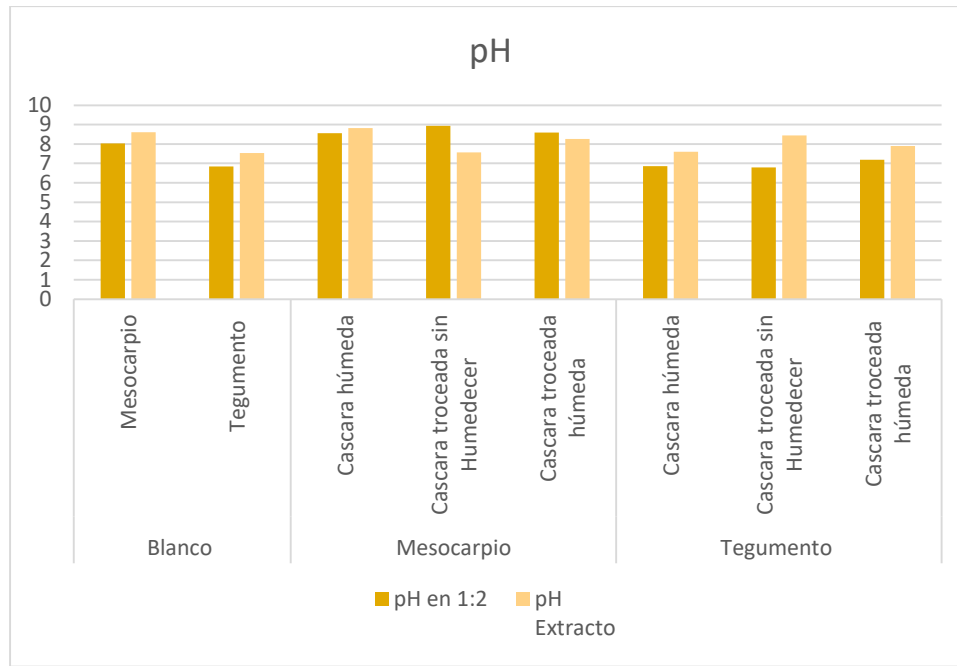


Gráfico 9 Datos de pH 1:2 y pH extracto

La alcalinidad presente en el compost de *Mesocarpio Completo Húmedo* y *Mesocarpio Troceado y Húmedo*, posiblemente se debió a que los tratamientos, aún continuaban en la Fase de Higienización, en donde los microorganismos seguían transformando el nitrógeno en amoníaco, por lo que su pH fue elevado (FAO, 2013). Dicho comportamiento se le atribuye a la temperatura que no fue tan alta, lo que disminuyó la velocidad de cada una de las fases del proceso de biodegradación, para algunos de los tratamientos.

La Conductividad Eléctrica (CE) obtenida se encontró entre 2.9 y 4.4 dS/m, siendo el promedio de 3.73 dS/m como se muestra en el Grafico (10), dichos valores se encuentran dentro del rango establecido en la Norma Mexicana NADF-020-AMBT-2011, principalmente para el uso en la agricultura ecológica y reforestación o bien para paisajes y áreas verdes urbanas, por otra parte, aquellos compost que obtuvieron una CE mayor a 4 dS/m no se recomendaría su aplicación como sustrato en viveros y sustituto de tierra para macetas.

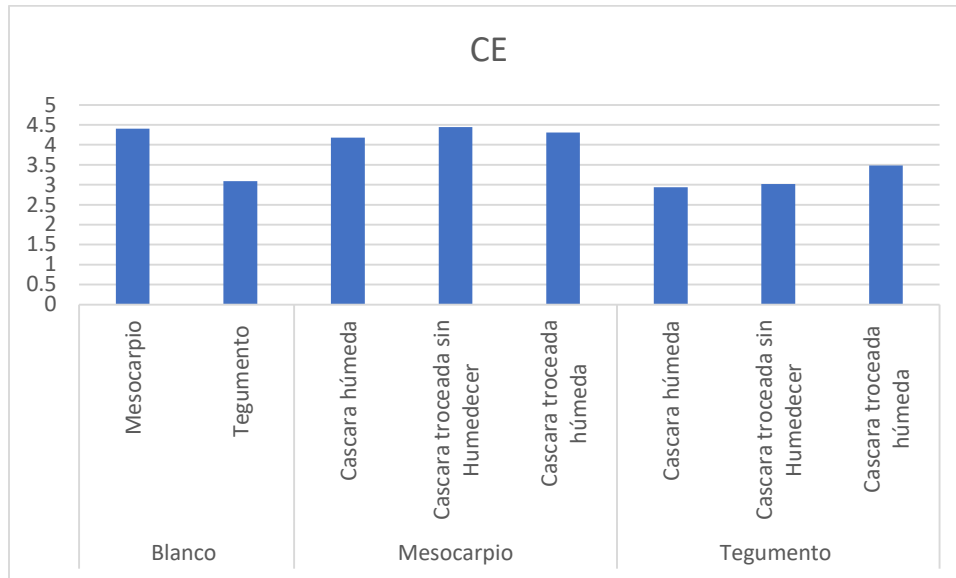


Gráfico 10 Datos de Conductividad Eléctrica

Para las plantas sensibles a medios alcalinos, no se recomienda su uso, ya que presentarían problemas para su desarrollo, así mismo la actividad de algunos microorganismos se vería seriamente reducida. Esto debido a que, al tener una alta salinidad en el suelo, esta reduce la disponibilidad de agua para las plantas, por el efecto desecante que se produce en el suelo, de igual forma el contenido de agua en el suelo es menor, puesto que las sales retienen el agua en la matriz del suelo impidiendo que las plantas puedan absorber (Cremona, 2020).

En cuanto a los carbonatos y bicarbonatos (CO_3^{2-} y H_2CO_3), los valores obtenidos fueron los siguientes: en el caso de carbonatos solo fueron 3 tratamientos que obtuvieron un dato mayor a 1meq/L el cual es considerado con un alto contenido o exceso de carbonatos, de acuerdo a la tabla publicada por *Champany & Pratty 1961 Methods of análisis for soils, plants and Water*, como se observa en el Grafico (11). Este comportamiento solo se presentó en los tratamientos donde la materia prima era el Mesocarpio, lo que indica que este residuo permitió la formación de carbonatos de calcio o bien carbonatos de magnesio ($\text{CaCO}_3/\text{MgCO}_3$) en el compost debido a su alto contenido de Ca, no obstante una alta cantidad de esta sustancia, provoca ciertas dificultades, puesto que forma un bloqueo de los micronutrientes como el Fe, Mn, Zn, Cu, dado que se transforman en sustancias insolubles para el aprovechamiento de las plantas (Andrades, 2012).

El alto contenido de carbonatos y de calcio, indica una función de dureza en el suelo, deficiencias de absorción de Fe y/o Mn, lo cual se ve reflejado en los cultivos o plantas que presentan tonalidades amarillentas en sus hojas, este fenómeno se le denomina Clorosis, por lo que se recomienda controlar con enmiendas ricas en fósforo-potásicos y/o abono rico en materia orgánica (Andrades, 2012).

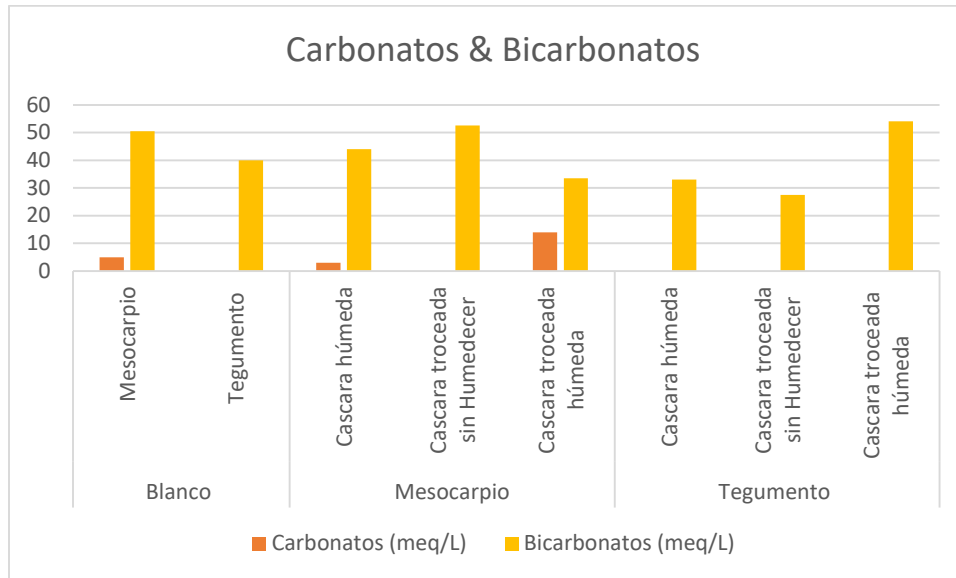


Gráfico 11 Cantidad de Bicarbonatos y Carbonatos en los tratamientos

En el caso de los bicarbonatos, en todos los tratamientos se obtuvo un valor que indica un exceso de bicarbonatos, puesto que los valores se encontraron entre 27 y 54 meq/L, lo cual es considerado como alto, según la tabla publicada por *Champany & Pratty 1961 Methods of análisis for soils, plants and Water*, la cual considera como límite máximo de 5-20 meq/L. El alto contenido de bicarbonatos en el compost, se derivó del proceso de degradación de la materia orgánica, en el cual eleva el pH hasta la alcalinidad, descomponiendo los ácidos carbónicos en bicarbonatos (Ruiz, 2006), se infiere que no se alcanzó la madurez deseada del compost, que permitiera disminuir el pH y con ello la presencia de carbonatos y bicarbonatos en algunos de los tratamientos. No obstante, es importante mencionar que a altas concentraciones de carbonatos y bicarbonatos causa baja disponibilidad de Fe Y Zn, los cuales son micronutrientes necesarios para diversos sistemas enzimáticos que contribuyen al crecimiento y rendimiento de plantas y cultivos (Vistoso, 2019).

El contenido de cloruros en los productos se encontró entre los valores de 14-22 meq/L como se presenta en el Grafico (12), dichos valores están dentro del rango establecido por el Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA) de 2-25 meq/L, por lo que, su presencia favorecerá la calidad y rendimiento de cultivos, además de que, al estar en la forma de anión (Cl^-) su regulación sucede de forma natural, puesto que al no ser retenidos por las arcillas tienden a moverse en el medio, transformándose en otros compuestos para el aprovechamiento del suelo y las plantas (INTA, 2012).

Los cationes con mayor presencia en el suelo son: H^+ , Mg^{+2} , Ca^{+2} , K^+ , Na^+ y NH^{+4} , no obstante, dos de los más estudiados por su influencia en el desarrollo de las plantas, son Mg^{+2} y Ca^{+2} . En el análisis químico realizado, en el caso de magnesio se obtuvieron valores entre 0.9565-2.2800 meq/100g, los cuales entran dentro del rango establecido por *Champany & Pratty 1961 Methods of análisis for soils, plants and Water*, el cual considera como un rango satisfactorio para la mayoría de las plantas <0.2 hasta 5 meq/100g, puesto a esta concentración permite que las plantas y microorganismos presentes tengan una activación enzimática y otros procesos metabólicos que contribuyen al

crecimiento, desarrollo y producción de los mismo. Sin embargo, es importante cuidar la concentración de dicho macronutriente, dado que a mayores concentraciones o con un pH bajo menor a 5.5, la facilidad de absorberlo es menor (Vistoso, 2020).

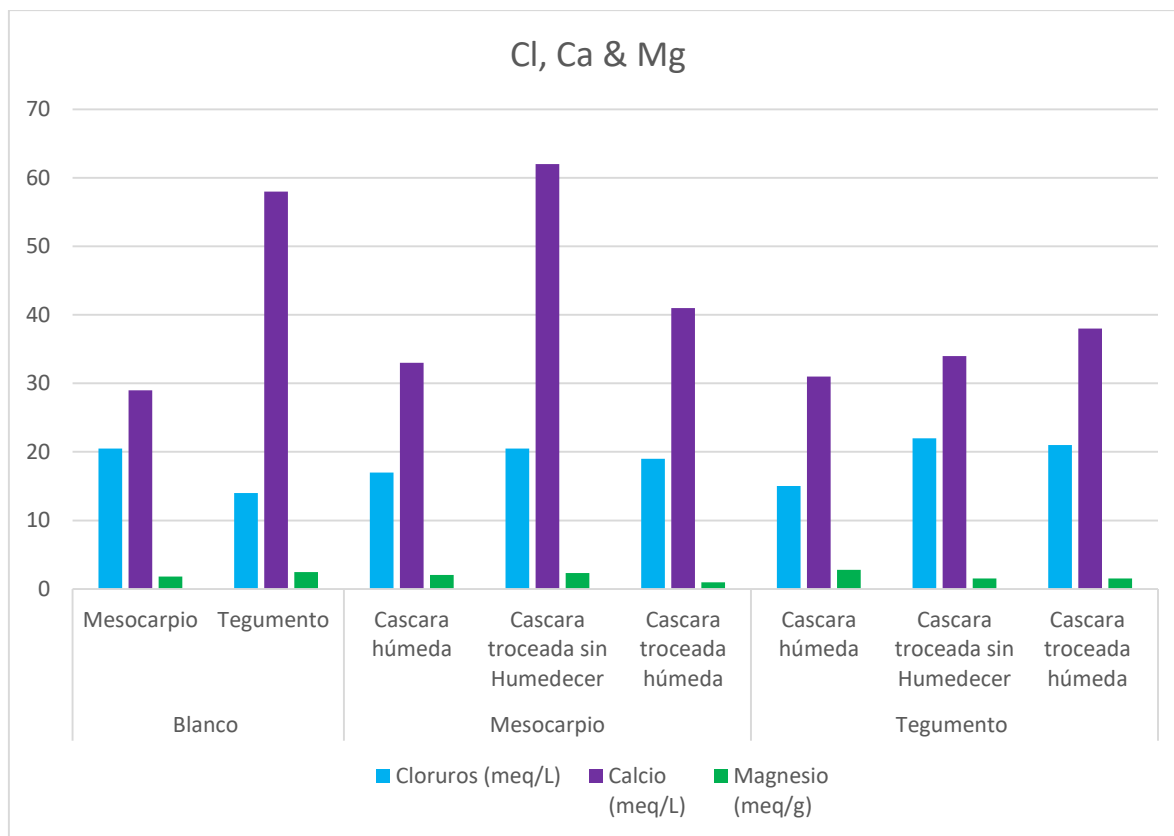


Gráfico 12 Contenido de Cloruros, Calcio y Magnesio en los tratamientos

El segundo catión más importante es el Calcio, el cual, a diferencia de los otros dos compuestos mencionados anteriormente, los resultados rebasaron los límites propuestos por diferentes autores, dado que los valores obtenidos se encontraron en un rango de 29-62 meq/L, mientras que el Instituto de Investigaciones Agropecuarias indica como rango normal de 5-9 me/L. No obstante, existen otras referencias bibliográficas que declaran, que el calcio, al ser el catión dominante del complejo de intercambio y representar la mayor reserva de Calcio disponible para las plantas, su concentración puede variar de 25 mg/kg a 5000mg/kg, (1-205meq/L), (Ruiz, 1995). Por otra parte, Rincón et al 2003 en su investigación "Efecto de la Relación Calcio; Fosforo en el suelo sobre el crecimiento y nodulación de plantas", demostraron que a una concentración mayor o igual a 2000ppm (100 meq/L) las plantas empiezan a tener problemas de crecimiento y menor formación de nódulos en el sistema radicular.

A pesar de que, el calcio es un elemento esencial para la estructura de la planta, ya que participa en la formación de las paredes y membranas de las células y a contribuir en la división y extensión celular, un alto contenido de este en el suelo, inmoviliza algunos de los micronutrientes importantes

para el desarrollo de la planta, tales como hierro, boro, zinc, manganeso y potasio. Si este catión se encuentra como carbonato de calcio, produce un aumento del pH favoreciendo la inmovilización de estos y un déficit nutricional para las plantas, al no poder absorber estos nutrientes por el sistema radicular, (Rincón, 2003).

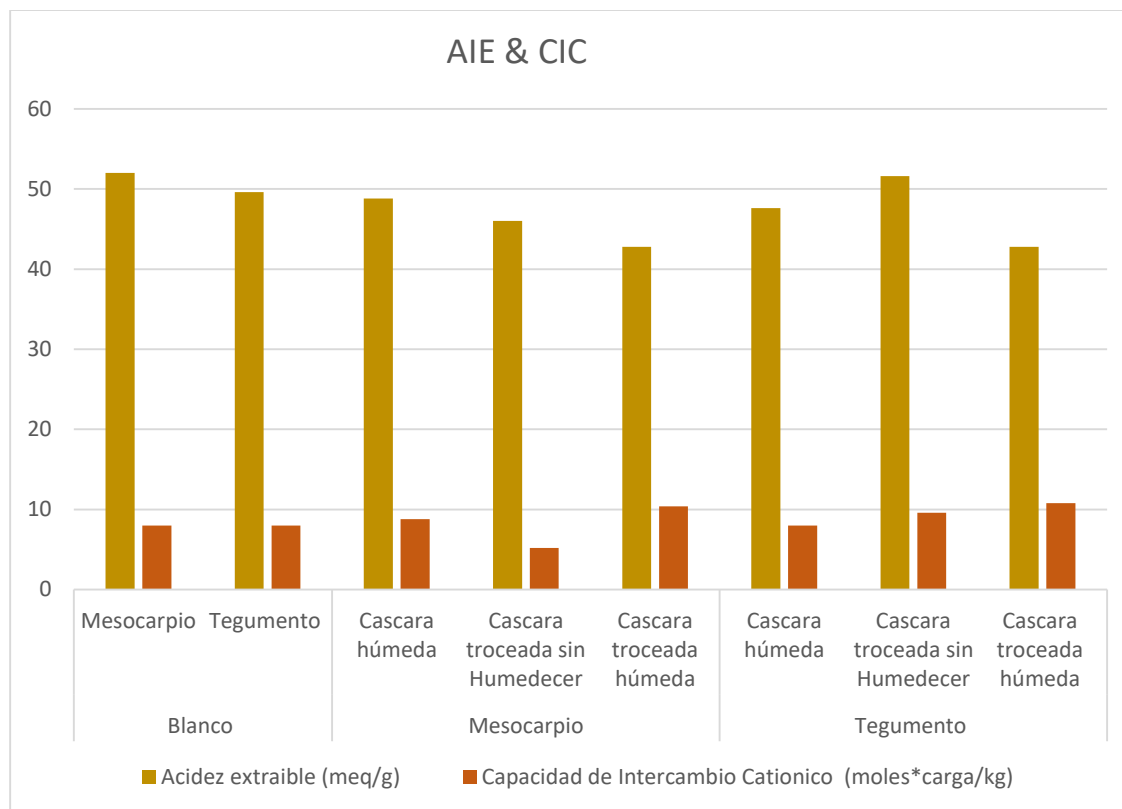


Gráfico 13 Datos de Acidez extraíble y Capacidad de Intercambió Catiónico

Como se observa en el Grafico (13), los datos de la acidez intercambiable fueron bastantes altos, no obstante, este fenómeno se debió al método que se empleó para su determinación, debido a que el método cloruro de bario-trietanolamina ($\text{BaCl}_2\text{-TEA}$) tiende a dar datos altos debido a que incluye H_3O^+ no intercambiable proveniente de la materia orgánica y de sesquióxidos hidratados de Fe y Al (Jaramillo, 2002), por lo que se obtuvo un dato mayor al real. Por otra parte, la forma en que se presenta el aluminio a un pH de 6.5 y 8, semejante a los valores de pH obtenido en los tratamientos evaluados, es el aluminio insoluble $\text{Al}(\text{OH})_3$, el cual no representa ningún peligro para la plantas o microorganismos presentes en el suelo, ya que no alcanza concentraciones toxicas, (Intagri).

Aunque el aluminio cuantificado en los análisis es inofensivo, es importante no descartar que si el pH se reduce existe una gran posibilidad de que la forma en que se encuentra el aluminio, cambie volviéndose más soluble y representando un problema de toxicidad.

En el caso de la Capacidad de Intercambio Catiónico (CIC), los valores obtenidos se encontraron en un rango de 5-10 meq/100g de suelo, que, de acuerdo a Varga, 2007, existe una gran presencia del

coloide denominado caolinita, la cual Valencia en 2008, la clasifica con una secuencia de selectividad catiónica, en la cual predomina el calcio seguida del magnesio, potasio, aluminio y sodio. La capacidad de Intercambio Catiónico (CIC), es uno de las propiedades químicas más importantes del suelo, dado que permite determinar la fertilidad del suelo, ya que está ampliamente relacionado con la capacidad de retener los elementos necesarios para nutrir las plantas, en este caso los valores obtenidos se encuentran en un rango bajo (Guevara, 2017). No obstante, de acuerdo al estudio realizado por Albarracín en 2018, de compostaje a partir de residuos de poda, menciona que son aceptables los valores de intercambio catiónico menores a 10 meq/100 g de suelo, pero mayor a 7 meq/100g de suelo. En el presente estudio la mayoría de los datos fueron mayores de 8 meq/100 g de suelo a excepción de 5 tratamiento, así que se puede considerar que los residuos del nogal producen un abono con diversos nutrientes disponibles.

Los datos obtenidos de CIC fueron bastantes bajos en comparación a los datos de Acidez Extraíble, esto posiblemente se debió a los métodos empleados para la determinación de cada uno de ellos, ya que, cuando se determina AE a un pH de 8.2, como fue el caso del presente estudio, este parámetro tiende a ser mayor a la CIC, esencialmente en suelos con arcilla o ricos en materia orgánica, (Oliva, 2009).

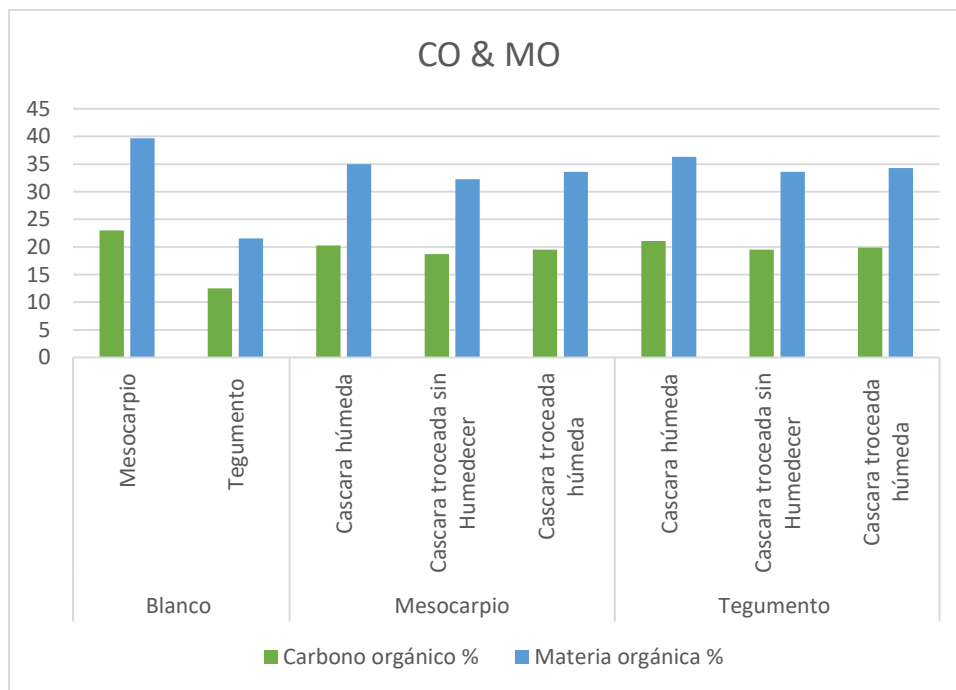


Gráfico 14 Contenido de CO y MO en los tratamientos

Como se puede observar en el Grafico (14), el porcentaje materia orgánica de los diferentes tratamientos evaluados, fue elevado, de acuerdo a lo establecido en La norma NADF-020-AMBT-2011, que marca como mínimo un 20% o 25% de materia orgánica, en este estudio los valores

obtenidos están en el rango de 21.56%-39.66%. Emplear un producto rico en material orgánico en el suelo mejora ciertas propiedades físicas y químicas del suelo, ya que, la materia orgánica permite formar agregados y dar estabilidad en el suelo, así como favorecer la penetración de agua y el intercambio de gases, con lo cual se disminuye las posibilidades de que el suelo sufra erosión, además de aumentar la capacidad de intercambio catiónico (Julca, 2006).

Un compost rico en materia orgánica permite aumentar la materia orgánica del suelo, a mediano o largo plazo, esto tiene un gran efecto positivo en la fertilidad y la disponibilidad de casi todos los nutrientes esenciales para el desarrollo y rendimiento de los cultivos, por otra parte, favorece la proliferación de microorganismos benéficos, tales como las bacterias, hongos y actinomicetos, los cuales contribuyen a la oxidación y reducción de nutrientes e inhibe algunos microorganismos patógenos (Santos, 2016). Una de las características más importante del compost es la abundancia y diversidad microbiana que contiene, gracias al material orgánico que presenta, lo cual potencializa la actividad microbiana en los suelos enmendados, (Grand, 2020). La actividad microbiana en los suelos permite que estos mantengan una adecuada fertilidad y nutrición para las plantas, dado que, potencializa los nutrientes, derivado de las diferentes reacciones bioquímicas que esto llevan en el suelo y en las propias plantas (Álvarez, 2003).

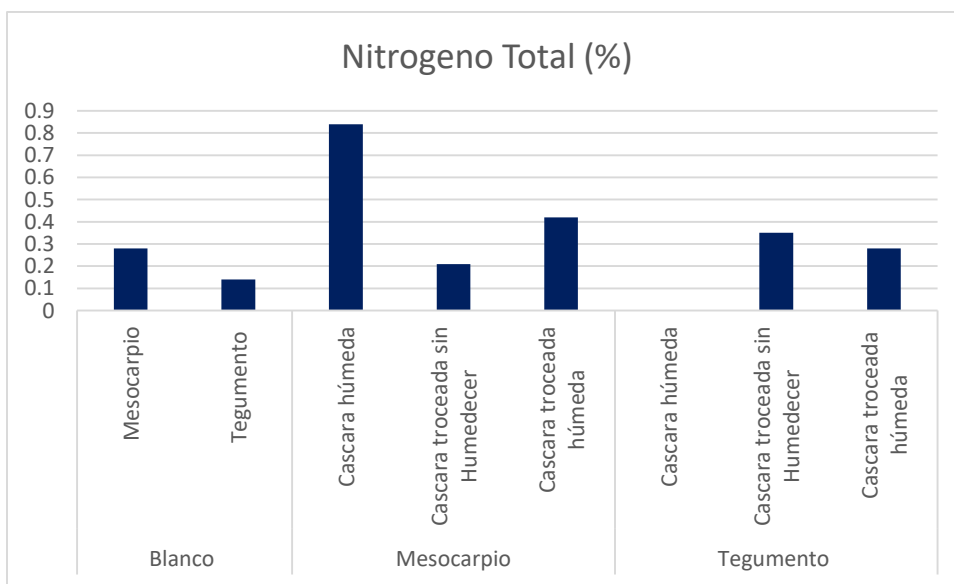


Gráfico 15 Contenido de Nitrógeno Total en los Tratamientos

El nitrógeno total presente en el compost, muestra una gran cantidad, dado que se obtuvieron valores entre 0.14% y 84%, y de acuerdo al estudio de Hedegaar & Kruger "Composting of Agricultural Waste in Denmark — in Respect of Potential, Industrial Process Technology and Environmental Considerations", un contenido de nitrógeno total aceptado en un compost elaborado a partir de residuos es de 0.1% a 1.8%, por lo que, la mayoría de los valores obtenidos se encontraron en dicho rango, no obstante, seis de los dieciséis tratamiento no mostraron contenido de nitrógeno, siendo el residuo del Tegumento el cual presento una mayor deficiencia de este, a

comparación de la capa del mesocarpio. Este fenómeno se pudo deber a dos posibles factores, como se mencionaba en estudios anteriores como el de Romero et al en 2012, las capas de la nuez presentan bajos contenidos de nitrógeno, que a su vez al no haber otro residuo que provee de mayor cantidad de nitrógeno, este se pudo haber transformado en nitratos y/o nitritos, los cuales en su mayoría no son detectados por el método Kjendahl, lo cual indicaría porque en algunos tratamientos a pesar de tener el mismo tipo de residuo presentaron una gran cantidad de nitrógeno total (VELP Científica Sri, 2022).

Otro factor, que pudo intervenir, es la alta actividad biológica existente en los 6 tratamientos donde no se pudo cuantificar el Nitrógeno total y el bajo contenido de nitrógeno en el residuo, puesto que, en ocasiones una actividad microbiana alta mineraliza el nitrógeno en Nitratos y/o a su vez existe una posible fijación de nitrógeno por los microorganismos del suelo, lo que provoca la inmovilización de este (Soliva, 2004), haciendo que este sea más difícil de analizar con el método aplicado en este estudio de investigación. A pesar de que en los otros tratamientos existió un buen contenido de nitrógeno que indica ser un buen producto, para asegurar la presencia de nitrógeno mineral, se aconsejaría agregar otros residuos orgánicos que se deriven de las actividades de la producción de la nuez de castilla y/o del chile en Nogada o bien de los residuos generados en los hogares, con el fin de dar un mayor aporte de nitrógeno.

Dado que, el nitrógeno es considerado como uno de los elementos esenciales para cualquier ser vivo, por su intervención en la reproducción celular debido a su naturaleza proteica, un compost con un alto contenido de nitrógeno es considerado como un fertilizante potencial. Por lo que, es importante garantizar su existencia de este elemento en el Compost (Ansorena, 2015).

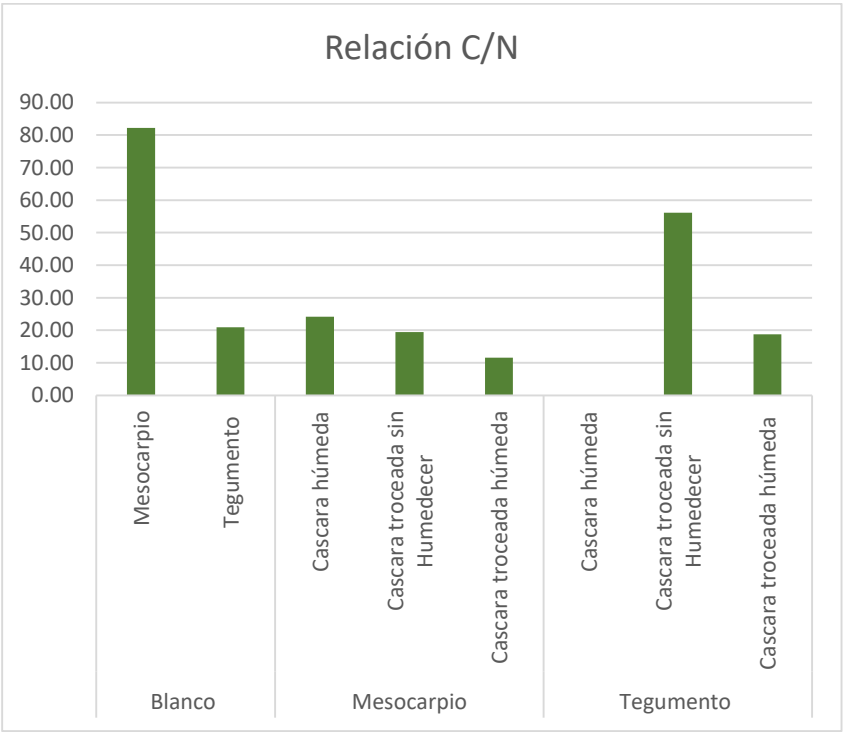


Gráfico 16 Relación C/N en los tratamientos

De acuerdo al Manual del Agricultor por la FAO en 2013, un rango ideal de la relación carbono/nitrógeno es de 15:1 a 35:1, dado que de tener una relación mayor implica que el proceso tuvo un gran contenido de material orgánico y deficiencia de nitrógeno, lo cual provocó un proceso lento y de poco crecimiento y reproducción de los microorganismos encargados de la biodegradación. Cuando la relación tiende a ser mayor de 40:1, se recomienda un mayor número de microorganismos y tiempo para que alcanzar el valor óptimo del C/N (Romero, 2013).

La Relación C/N de los diferentes tratamientos se encontraron dentro y fuera del rango ideal, ya que presentaron valores de entre 11.61 y 82.18, siendo los tratamientos del mesocarpio quienes alcanzaron una adecuada relación C/N, puesto que, presentaron valores de 24.14, 19.50 y 11.61, siendo solo dos de los tratamientos que no presentaron una buena relación por la ausencia de nitrógeno mineral, por otro parte, los tratamientos donde el residuo principal era el tegumento, presentaron una relación mayor de 40:1 a excepción del tratamiento donde el tegumento se troceó y se humedeció, quien presentó una relación de 37.60, por lo que se puede afirmar que dicho residuo presenta una gran cantidad de carbono en su composición, ante ello se recomienda, no solo usar el tegumento como materia prima para el compostaje, sino también agregar otros residuos que sean ricos en nitrógeno tales como: césped, restos de frutas y verduras, para que exista un balance adecuada entre estos dos elementos y se llegue a la relación C/N ideal (Romero, 2013). En los casos del tratamiento Blanco o de control, de los cuatro controles ninguno alcanzo una buena relación C/N, debido a que, los valores estuvieron entre 41.78 y 83.57.

En el caso de los tratamientos de control, dichos valores se pudieron deber a que el control no tuvo ningún tratamiento previo, que haya acelerado el proceso de degradación de la materia orgánica, y retomando lo indicado en Romero et al 2003 en su estudio titulado *“Relación Carbono Nitrógeno En El Proceso De Lombricompostaje Y Su Potencial Nutrimental En Jitomate Y Menta”* en caso de tener residuos deficientes de nitrógeno necesitan de un mayor tiempo de degradación para alcanzar una relación C/N ideal, en este caso los tratamiento en donde los residuos recibieron pretratamientos alcanzaron una mejor relación dado que su proceso de degradación se aceleró al tener tamaños de partículas más finas y tener un mayor porcentaje de humedad, facilitando la metabolización de los microorganismos.

Aplicación en la Agricultura

Las propiedades fisicoquímicas de los compost obtenidos son idóneas para su uso como abono orgánico, dado que, gran parte de ellas cumplen con los parámetros establecidos por manuales de compostaje o bien por la NADF-020-AMBT-2011 y/o NOM-021-RENACT-2000, no obstante, su aplicación debe tener ciertas consideraciones, ya que, hubo propiedades que excedieron los límites máximos permisibles, tales como pH, contenido de carbonatos, bicarbonatos, calcio y acidez extraíble. Un abono con las características similares a las obtenidas a través del presente estudio, se podría emplear en las plantas y/o cultivos que tengan una tolerancias moderada o no sensible a pH altos, tales como; el plátano (pH 5-8), el maíz (pH 5.5-8), el frijol (pH 5.5-8) y el sorgo (pH 5.5-

8), por otra parte, el alto contenido de sales en algunos de los compost obtenidos, indica que se debe procurar emplear en cultivos con tolerancia a sales, por ejemplo; la cebada (CE 6-8 dS/m), el cáchuate (CE 3.2 dS/m), la soya (CE 5 dS/m), el trigo (CE 6-8 dS/m), el tomate (CE 2 dS/m), el algodón (CE 7.7 dS/m), remolacha (CE 7 dS/m), el granado (CE 5 dS/m), la higuera (CE 4.2 dS/m), el olivo (CE 5 dS/m) y la palmera (CE 4 dS/m), calabaza (CE 2 dS/m), (Barbaro, 2014).

Un punto importante a mencionar, es que el abono obtenido no simplemente se podría utilizar para plantas de cultivo agrícola, sino también, se podría emplear en plantas ornamentales, principalmente aquellas que tengan cierta tolerancia a un pH alto y/o a un alto contenido de sales. Dentro de las plantas ornamentales que están clasificadas como tolerantes a las sales, se encuentran: el Clavel, el Crisantemo, el Dieffenbachia, la Bugambilia, el Romero y la Estrella Federal (noche buena), mientras que la Orquídea, la Alegría del Hogar, la Hortensia, la Dalia, el Geranio, las rosas, entre otras, son moderadamente tolerantes (Barbaro, 2014 & Betrán 1990).

Si bien, el municipio de San Nicolás de los Ranchos, es destacado por su cultivo de maíz, frijol y calabaza; los cuales tiene una buena tolerancia de contenido de sales. El abono obtenido a partir de los residuos del nogal, se puede emplear en este tipo de cultivos, lo cual representaría una disminución de costos en la producción y una mayor ganancia, para los pobladores. Por otra parte, el municipio se distingue por su cultivo de árboles frutales, como son nogales, manzanos, perales, ciruelos, capulines y duraznos, sin embargo, solamente los perales (CE 4 dS/m), ciruelos (CE 2.6 dS/m) y capulines son moderadamente tolerantes al contenido de sales y pH elevado, siendo solo estos los recomendables para el uso del abono, ya que, los otros son sensibles a altas concentraciones de sales y pH (Grattan, 2008).

Conclusión

Los residuos orgánicos derivados de la producción de la nuez de castilla, representa una cantidad importante en nuestra sociedad, que de seguir con su mal manejo, en un futuro representaría una problemática ambiental importante e incontrolable, es por ello, la importancia de buscar nuevas alternativas que permitan su correcto manejo integral, una de las técnicas más eficientes para su aprovechamiento y valorización es el compostaje, que como se revisó a lo largo del presente estudio, representa una biotecnología que permite una biodegradación de residuos orgánicos en condiciones adecuadas para reducir su impacto ambiental y de igual forma permite producir un producto que si bien puede servir como un abono orgánico y en casos más extremos sustituir a los fertilizantes químicos, así mismo funciona como mejorador de suelo.

Promover este tipo de tecnologías en comunidades donde su principal fuente económica es la agricultura es fundamental e indispensable, ya que, su principal recurso es el suelo y retomando lo mencionado en el Manual del Suelo de la FAO 2013, el suelo es un recurso no renovable, dado que, el tiempo de regeneración es indefinido, por lo que se debe cuidar, ya que, un mal uso de este (sobre explotación), acelera su degradación y desertificación. Una manera de prever esto, es a través de una agricultura orgánica o sustentable, que permita la recuperación del suelo y que a su vez no implique una mayor sobre explotación de este. El compostaje es considerado como una actividad sustentable en la agricultura, debido a que, provee de un alto contenido de nutrientes, materia orgánica y condiciones físicas con un impacto ambiental nulo y a su vez permiten la regeneración de suelos degradados y en caso extremos permite la biodegradación de contaminantes en el suelo tales como son hidrocarburos y fertilizantes.

Por otra parte, basado en la revisión bibliográfica y los diferentes análisis fisicoquímicos de los residuos (mesocarpio, endocarpio y tegumento) y del compost obtenido a partir de la degradación de cada uno de ellos, se puede indicar que la hipótesis propuesta al inicio del presente estudio se cumplió, ya que si bien hubo una exitosa biodegradación de los residuos derivados de la producción de la nuez de castilla tales como mesocarpio y tegumento, sin embargo, en el caso de la capa denominada endocarpio se observar una biodegradación parcial, puesto que, su consistencia dura y lignificada, ocasiona que su degradación se lleve a cabo a una menor velocidad y en consecuencia, el proceso de biodegradación tomó y tomará un tiempo más prolongado en comparación con los otros residuos.

No obstante, el endocarpio se podría degradar más rápido alcanzando el ritmo de degradación de los otros residuos, si se modifican las condiciones del bioproceso, por lo que se recomendaría elevar la temperatura del proceso a unos 50°C, mediante un compostador más grande o bien una pila estática de un metro por metro en un terreno con la superficie necesaria para la manipulación de los residuos, con el fin de que la temperatura y la actividad microbiana sea mayor, de igual forma, otra consideración es aumentar el grado de humedad durante el proceso, con el fin de disolver el residuos y permitir que los microorganismos y macroorganismos presentes se les facilite la metabolización de estos, sin embargo, es de suma importancia considerar que el grado de humedad durante el proceso es delicado, por lo que solo se aconsejaría un monitoreo constante de este parámetro para mantener un rango de 40% y 60% de humedad relativa.

El compost generado a partir de los residuos del mesocarpio, en la mayoría de los tratamientos, cumplieron con los parámetros establecidos en la NOM-021-RECNAT-2000, Que establece las especificaciones de fertilidad, salinidad y clasificación de suelos. Por lo que es un residuo que provee de los nutrientes necesarios para la obtención de un compost de buena calidad, que, si bien se puede usar como abono en los cultivos de los propios productores, lo cual implicaría una reducción de gastos en la compra de fertilizantes, así mismo, el uso de abonos orgánicos o amigables en el medio ambiente implica un menor impacto ambiental.

A pesar de haber mostrados valores satisfactorios en los análisis fisicoquímicos, la humedad que presento el producto final refiere a que hubo una saturación de agua durante el proceso, por lo que, si se hace compostaje con solo mesocarpio, el monitoreo debe ser más estricto con el fin de no saturar el bioproceso. En el caso de que los productores decidan realizar un compostaje con todos los residuos generados a partir de la producción de la nuez de castilla, posiblemente la frecuencia para humedecer el proceso sería menor, dado que la degradación del mesocarpio genera un líquido denominado juglone, lo cual favorecería la disolución de algunos de los residuos tal es el caso del endocarpio.

En el caso de los tratamientos donde la materia prima era el tegumento, cumplieron con los parámetros establecidos en la NOM-021-RECNAT-2000, a excepción de la cantidad de nitrógeno total presente, puesto que en la mayoría de los tratamientos mostraron una deficiencia de este macronutriente esencial, para los microorganismos y en el caso de ser usado como abono para las plantas o cultivos, se aconsejaría incluir otro residuo rico en nitrógeno en el proceso del compostaje, con el fin de que el producto obtenido tenga una cantidad aceptable de nitrógeno y las condiciones necesarias para sea empleado como un abono o mejorador de suelo y se obtenga un resultado favorable en su aplicación.

Referencias

1. Gil N. et al. (2014). *Trees of Eastern North America*. Pág. 353:357, Princeton University Press.
2. Albarracín et al (2018) "Producción de abono orgánico mediante el compostaje aerotérmico de residuos de poda" *Revista Bistua Facultad de Ciencias Basicas*.16(1):156-162
3. Alvarez, J. et al (2003) "Actividad Microbiana Del Suelo Bajo Diferentes Sistemas De Producción De Maíz En Los Altos De Chiapas, México" *Agrociencia Volumen 38, Número 1*.
4. Amigos de la Tierra España (2009) "Manual de Compostaje" Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino, Gobierno de España, Recuperado en: http://www.resol.com.br/cartilhas/manual_de_compostaje.pdf
5. Andrades M. (2012) "Material Didáctico Agricultura y Alimentación" Universidad de la Rioja.
6. Ansorena J. et al (2015) "Evaluación de la calidad y usos del compost como componente de sustratos, enmiendas y abonos orgánicos" Laboratorio Agroambiental Fraisoro. Fraisoro Etxaldea. Zizurkil Gipuzkoa
7. Aparicio D. (25 de agosto de 2014) Nogal (*Juglans regia* L.) Recuperado en: [https://www.biodiversidadvirtual.org/etno/Nogal-\(Juglans-regia-L.\)-img30983.html](https://www.biodiversidadvirtual.org/etno/Nogal-(Juglans-regia-L.)-img30983.html)
8. Ascacio J. et al. (2013). "Análisis de ácido eláxico en algunas plantas del semidesierto mexicano". *Revista mexicana de ciencias farmacéuticas*, 44(2), 36-40.
9. Asociación Forestal de Galicia (S.F.) "El nogal" Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente, España, Recuperado en: http://www.selvicultor.net/redfor/wp-content/uploads/nuevos_docs/guia_Nogal.pdf
10. Barbaro, A., et al (2014) "Importancia del pH y la Conductividad Eléctrica (CE) en los sustratos de las plantas". INTA – Ministerio de Agricultura, Ganadería y Pesca. Madrid, España.
11. Barreros E. (2017) ""Efecto de la relación carbono/nitrógeno en el tiempo de descomposición del abono de cuy (*Cavia porcellus*), enriquecido." (Tesis de Licenciatura no publicada) Universidad Técnica de Ambato, Cevallos, Ecuador, Recuperado en: <https://repositorio.uta.edu.ec/bitstream/123456789/25395/1/Tesis-157%20%20Ingenier%c3%ada%20Agron%c3%b3mica%20-CD%20479.pdf>
12. Bertoldi M. et al. (1985) "Technological aspects of composting including modeling and microbiology". pp. 27-40. In: Gasser, J.K.R. (ed.). *Composting of agricultural and other wastes*. Elsevier Science Publishers. London, UK
13. Betrán J. & Aragües R. (1990) "La Salinidad en cultivos ornamentales" *Surcos de Aragón* No. 24 p. 17-22.
14. Bohórquez Santana, W. (2019). *El proceso de compostaje: Vol. Primera edición*. Ediciones Unisalle.
15. Campitelli, P., Rubenacker, A., Velasco, M., Ceppi, S., & Universidad Nacional de Córdoba (2014). *Compostaje: Obtención de abonos de calidad para las plantas: equipo de trabajo: grupo coloides de suelo y enmiendas orgánicas*. Editorial Brujas.
16. Campos R. (1992). "Descripción morfológica y observaciones de cuatro criollos de nogal de castilla *Juglans regia* L. en la comuidad de Santa Rita, estado de Puebla". (Tesis de

- Licenciatura). Universidad Nacional Autónoma de México, Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán, UNAM. Recuperado de <https://repositorio.unam.mx/contenidos/3473010>
17. Caupio G. (2018) “Ácido elágico como tratamiento para prolongar la vida útil de productos poscosecha enteros y/o procesados” Centro de investigación en química aplicada, recuperado en: <https://ciqa.repositorioinstitucional.mx/jspui/bitstream/1025/559/1/CE%20EQA-AP%20German%20Cuapio%2016%20sep%202018.pdf>
 18. Chavez M & Domine (2013) “Lignina, estructura y aplicaciones: métodos de despolimerización para la obtención de derivados aromáticos de interés industrial” Av. cien. ing.: 4(4), 15-46
 19. Chávez S. et al. (2013) “Lignina, estructura y aplicaciones: métodos de despolimerización para la obtención de derivados aromáticos de interés industrial” Avances en Ciencias e Ingeniería, vol. 4, núm. 4, pp. 15-46 Executive Business School
 20. Comisión para la Cooperación Ambiental (CCA) (2017) “Caracterización y Gestión de los residuos orgánicos en América del Norte” Montreal, Canadá, Recuperado en: <https://biblioteca.semarnat.gob.mx/janium/Documentos/Ciga/Libros2011/CD003593.pdf>
 21. CONAFOR (2013) “Juglans regia L.” Gobierno de México, Recuperado en: <http://www.conafor.gob.mx:8080/documentos/docs/13/932Juglans%20regia.pdf>
 22. Contreras M. (2002) Selección y estudio cinético de cepas lácticas degradadoras de ácido láctico, (Tesis de Maestría no publicada) Universidad Autónoma Metropolitana Iztapalapa, Recuperado en: https://www.imbe.fr/IMG/pdf/re-15_2002_maestria_monica_contreras_dominguez_9091_.pdf?940/c514c2d555f230bcb5734991b6e1f3732b83d560
 23. Cremona M. & Enríquez A. “Algunas propiedades del suelo que condicionan su comportamiento: El pH y la conductividad eléctrica” Presencia N°. 73
 24. Damián A. et al (2020) “Producción y consumo de maíz entre milperos: entre la utopística y la utopía agroecológica. Revista Mexicana Ciencias Agrícolas volumen 11 número 8
 25. DataMéxico (2020) “San Nicolás de los Ranchos, Puebla” Secretaria de Economía, México, Recuperado en: <https://datamexico.org/es/profile/geo/san-nicolas-de-los-ranchos>
 26. Delgado S. & Castillo D. (2019) “Influencia de la Temperatura en el Crecimiento de un Consorcio Microbiano y su Capacidad Biooxidativa sobre el Hierro de la Calcopirita” Ecología Aplicada, Vol. 18 No1, pp. 85-90.
 27. FAO (2009) “Guía de descripción de suelos” Roma, Italia.
 28. FAO (2013) “Manual de compostaje del agricultor” Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura, Santiago de Chile.
 29. Frioni L. (2004) “Microbiología: básica, ambiental y agrícola” Universidad de la República, Montevideo, Uruguay: Recuperado en: https://www.ciaorganico.net/documypublic/382_infoagronomo.net_-_Microbiologa_bsica_ambiental_y_agricola_lilian_friomi_2006.pdf
 30. Garaiz J. (16 de agosto del 2021) “¿Por qué la nuez de castilla es tan cara?” El universal, Recuperado en: <https://www.eluniversal.com.mx/menu/por-estas-razones-la-nuez-de-castilla-es-tan-cara>

31. Geisel P. et al (2009) « El compostaje es bueno para su jardín y el medio ambiente” University of California Division of Agruculture and Natural Resources, Estados Unidos de América, Recuperado en: <https://anrcatalog.ucanr.edu/pdf/8367s.pdf>
32. Govea M. et al. (2013) “Actividad Anticancerígena del Ácido Gálico en modelos biológicos in vitro” Revista Científica de la Universidad Autónoma de Coahuila, Recuperado en: <http://www.actaquimicamexicana.uadec.mx/articulos/AQM9/2.ActividadAnticancerigena.pdf>
33. Grand A. (2020) “Compost: Ventajas y Desventajas” Best4Soil, Unión Europea como Acción de Coordinación y Apoyo.
34. Grattan S. (2018) “ La tolerancia del cultivo a la sal” Universidad de California de Agricultura y Recursos Naturales, Estados Unidos de América.
35. Guevara J. (2017) “Fundamentos para el estudio, identificación y determinación metodológica de la capacidad de intercambio catiónico una propuesta para suelos asociados al cultivo de caña de azúcar (Saccharum officinarum L.) en el departamento del Valle del Cauca” (Tesis de licenciatura no publicada) Universidad Nacional Abierta y a Distancia, Palmira Colombia.
36. Hedegaard M. Et Kruger(1996) "Composting of agriculture Wastes in Denmark IN respect of potential, industrial process technology and environmental consideration." Ed. Professional, B.A.
37. Hoffmann A. (2016) “Guía de Educación Ambiental y Residuos” Ministerio del Medio Ambiente, Gobierno de Chiles, Recuperado en: <https://mma.gob.cl/wp-content/uploads/2018/08/Guia-de-Educacion-Ambiental-y-Residuos.pdf>
38. http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0253-57852017000300007#:~:text=Entre%20los%20par%C3%A1metros%20de%20seguimiento,org%C3%A1nica%20y%20la%20conductividad%20el%C3%A9ctrica.
39. https://sisbib.unmsm.edu.pe/BibVirtualData/Libros/Quimica/pigmentos/archivos%20PDF/indice_introduccion.pdf
40. Iannamico A. (2009) “El cultivo del Nogal en lugares templados-fríos” Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria. Recuperado en: https://inta.gob.ar/sites/default/files/inta_el-cultivo-del-nogal-en-climas-templado-frios.pdf
41. Instituto Nacional para el Federalismo y el Desarrollo Municipal (2018), Gobierno de México, Puebla, Recuperado en: <http://www.inafed.gob.mx/work/enciclopedia/EMM21puebla/municipios/21138a.html#:~:text=San%20Nicolas%20de%20los%20Ranchos.,del%20estado%20de%2037%20kil%C3%B3metros>.
42. Intagri “Aluminio y el Desarrollo Radical de los Cultivos” Recuperado en: <https://www.intagri.com/articulos/nutricion-vegetal/el-aluminio-y-el-desarrollo-radical-de-los-cultivos>
43. Isaza J. (2007) Taninos o polifenoles vegetales Scientia et Technica Año XIII, No 33. UTP. ISSN 0122-1701
44. Jaramillo D. (2002) “Introducción a la ciencia de suelos” Universidad Nacional de Colombia, Medellín Colombia.

45. Jaramillo G. & Zapata L. (2008) "Aprovechamiento de los residuos sólidos urbanos orgánicos en Colombia" (Tesis de Maestría no publicada) Universidad de Antioquia. Recuperado en: <https://bibliotecadigital.udea.edu.co/bitstream/10495/45/1/AprovechamientoRSOUenColombia.pdf>
46. Jiménez E. et al (2017) "Obtención de pulpa de celulosa a partir de residuos de Agave salmiana B. Otto ex Salm. Optimización" *Dyna*, vol. 84, pp. 253-260 Universidad Nacional de Colombia Medellín, Colombia, Recuperado en: <https://www.redalyc.org/pdf/496/49650910031.pdf>
47. Juárez S. et al. (2006). *Química del suelo y medio ambiente*. Digitalia.
48. Julca-Otiniano, Alberto, Meneses-Florián, Liliana, Blas-Sevillano, Raúl, & Bello-Amez, Segundo. (2006). LA MATERIA ORGÁNICA, IMPORTANCIA Y EXPERIENCIA DE SU USO EN LA AGRICULTURA. *Idesia (Arica)*, 24(1), 49-61.
49. Loewe V. & Gonzalez A. (2021) "Evaluación de Aprovechamiento y Propuesta de Clasificación de Madera de Desecho de Nogal Común (*Juglans regia*)" *Ciencia & Investigación Forestal*, 27(1), 43-54.
50. López E. et al (2017) "Propiedades de un compost obtenido a partir de residuos de la producción de azúcar de caña" *Ctro. Agr. vol.44 no.3 Santa Clara*, Recuperado en:
51. López R et al (2014) "Metodología para obtener ácidos húmicos y fulvicos y su caracterización mediante espectrofotometría infrarroja" *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas Pub. Esp. Núm. 8*, p. 1397-1407
52. López X. et al (2015) "Propiedades físicas, químicas y biológicas de tres residuos agrícolas compostados" *Ciencia Ergo Sum*, vol. 22, núm. 2, pp. 145-152 Universidad Autónoma del Estado de México Toluca, México
53. Lozano-Rivas, W. A. (2016). *Suelos: guía de prácticas simplificadas en campo y laboratorio*. Universidad Piloto de Colombia.
54. Lu, F. & John, R. (2010) "Lignin. In S. Run-Cang, *Cereal Straw as a Resource for Sustainable Biochemicals and Biofuels*" (First ed., pp. 169-207). Amsterdam: Elsevier B.V.
55. Luciana A. (2018) "Conservación de la calidad de nueces producidas en argentina por la utilización de cubiertas comestibles con la inclusión de antioxidantes naturales" (Tesis de Doctorado) Universidad Nacional de Córdoba, Recuperado en: https://ri.conicet.gov.ar/bitstream/handle/11336/79292/CONICET_Digital_Nro.5bf917c8-5854-40bd-8858-5d5f5c9dc29a_A.pdf?sequence=2&isAllowed=y
56. Luna N. et al. (2013) Tipología de unidades de producción de nuez de castilla en sistema de producción tradicional. *Agricultura, Sociedad y Desarrollo*, 10, 283-303.
57. Luna N. et al. (2016) Rentabilidad y competitividad del cultivo de nuez de Castilla en Sierra Nevada-Puebla. *Rev. Mex. Cienc. Agríc vol.7*, pp.1625-1638. ISSN 2007-0934.
58. Marcial N. (18 de julio del 2021) "Se duplica el precio de la nuez de castilla en Calpan, Puebla" *El Sol de Puebla*, Recuperado en: <https://www.elsoldepuebla.com.mx/circulos/se-duplica-precio-de-la-nuez-de-castilla-en-calpan-puebla-6976867.html>
59. Marcial N. (2020) "Cae el precio de la nuez de Castilla en plena temporada d chile en nogada" *El Sol de Puebla*, Recuperado en: <https://www.elsoldepuebla.com.mx/local/cae>

- el-precio-de-la-nuez-de-castilla-en-plena-temporada-de-chile-en-nogada-puebla-campo-crisis-economica-pandemia-san-nicolas-de-los-ranchos-5626263.html
60. Marcial N. (2022) "San Nicolás de los Ranchos y Calpan, los proveedores de nuez y frutos para el chile en nogada" El Sol de Puebla, Recuperado: <https://www.elsoldepuebla.com.mx/local/san-nicolas-de-los-ranchos-y-calpan-los-proveedores-de-nuez-y-frutos-para-el-chile-en-nogada-8441395.html>
 61. McMurry J. (2008) "Química Orgánica" 7ª. Edición Cengage Learning.
 62. Medicamentos Herbarios Tradicionales () "El nogal" Red de Protección social, Gobierno de Chile, Recuperado en: <https://www.minsal.cl/portal/url/item/7d99ff5a5814dbd7e04001011f016dc3.pdf>
 63. Ministerio del Ambiente y Agua del Ecuador (2020) "Manual de Aprovechamiento de los Residuos orgánicos municipales" Ministerio del Ambiente y Agua, Recuperado en: <https://www.ambiente.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2020/07/MANUAL-DE-APROVECHAMIENTO-DE-RESIDUOS-ORGANICOS-MUNICIPAL.pdf>
 64. Moreno J. & Moral R. (2007) "Compostaje" Ediciones Mundi-Prensa, Madrid, España.
 65. Muncharaz M. (2012) "El nogal: Técnicas de producción de fruto y madera" Mundi- Prensa, Pág. 61-66, Recuperado en: https://books.google.es/books?hl=es&lr=&id=bZNq9hs_t48C&oi=fnd&pg=PA10&dq=tegu+mento+de+la+nuez+de+castilla+&ots=AezDJ3N79F&sig=1nCHTPs6wE7LL1dhxxjBjk-JDe0#v=onepage&q=endocarpio&f=false
 66. Nogales J (2009) "Caracterización molecular de la ruta de degradación de ácido láctico" (Tesis Doctoral no publicada) Universidad Complutense de Madrid
 67. Oliva D. (2009) "Determinación de la acidez intercambiable (Al+3+H+) a partir del pH para la estimación de la capacidad de intercambio catiónico (CIC) en suelos de la cuenca del Pacífico en El Salvador, Honduras y Nicaragua", (Tesis de licenciatura no publicada) Hondura.
 68. Olivas F. et al. (2015) Taninos hidrolizables; bioquímica, aspectos nutricionales y analíticos y efectos en la salud Nutr Hosp.; 31(1):55-66, Recuperado en: <https://scielo.isciii.es/pdf/nh/v31n1/05revision05.pdf>
 69. Ortiz A. (2009) "Aproximaciones a la comprensión de la degradación de la lignina Orinoquia", vol. 13, núm. 2, diciembre, 2009, pp. 137-144 Universidad de Los Llanos.
 70. Ortiz F. (2005) "Manual de Elaboración de Composta" METROCERT, Comisión Nacional de Areas Protegidas, México, Recuperado en: https://www.metrocert.com/files/Manual_de_elaboracion_de_composta.pdf
 71. Owen E. (1995) "Características físico-químicas del suelo y su incidencia en la absorción de nutrimentos, con énfasis en el cultivo de la palma de aceite" Palmas, Volumen 16, No. 1.
 72. Palacio M. et al (2018) "Evaluación de la capacidad degradadora de taninos por microorganismos aislados a partir de un efl uente de curtiembre del municipio de Copacabana, Antioquia" Actual Biol 40 (108): 17-23, Recuperado en: <http://www.scielo.org.co/pdf/acbi/v40n108/0304-3584-acbi-40-108-00017.pdf>

73. PNUD-INIFAP (2002) "Manual para la producción de abonos orgánicos en la agricultura urbana", Recuperado en: https://redmujeres.org/wp-content/uploads/2019/01/manual_abonos_agricultura_urbana.pdf
74. Ramírez, P. & Cocha, J. (2003). "Degradación enzimática de celulosa por actinomicetos termófilos: aislamiento, caracterización y determinación de la actividad celulolítica" Revista Peruana de Biología, 10(1), 67-77. Recuperado en: http://www.scielo.org.pe/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1727-99332003000100008&lng=es&tlng=es.
75. Rios A. (2013) "Extracción y Aplicación de la Nogalina del pericarpio de la nuez de Castilla" (Tesis de Licenciatura no publicada) Instituto Politécnico Nacional, Recuperado en: <https://tesis.ipn.mx/jspui/bitstream/123456789/17176/1/25-1-16603.pdf>
76. Rios A. (2013) Extracción y Aplicación de nogalina del pericarpio de la Nuez de Castilla (Tesis de Licenciatura no publicada), Instituto Politécnico Nacional, Recuperado en: <https://tesis.ipn.mx/jspui/bitstream/123456789/17176/1/25-1-16603.pdf>
77. Rivas S. (2014) "Valorización de Hemicelulosa de biomasa vegetal" Universidad de Virgo (Tesis de Doctorado no publicada), Ouresen, Recuperado en: <http://www.investigacion.biblioteca.uvigo.es/xmlui/bitstream/handle/11093/141/Valorizaci%C3%B3n%20de%20hemicelulosas%20de%20biomasa%20vegetal.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
78. Rodríguez M. & Córdova A. (2006) "Manual de compostaje Municipal: Tratamiento de residuos sólidos urbanos" SEMARNAT, México.
79. Rojano R. et al (2017) "Caracterización morfológica de nuez (*Juglans regia* L.) conservada en traspatios de la sierra nevada de Puebla, México" AGRO Productividad Vol. 10, Núm. 7, pp: 70-76,
80. Romero J. (2013) "Relación Carbono Nitrógeno En El Proceso De Lombricompostaje Y Su Potencial Nutricional En Jitomate Y Menta" (Tesis no publicada de Maestría) Colegio de Posgraduados, Estado de México, México.
81. Romero O. et al (2012) "Evaluación económica de cascara de nuez como sustrato para la producción de Plántulas de *Pinus patula* Schl. et Cham, en vivero" Avances en Investigación Agropecuaria 17(2): 23-40, Recuperado en: <http://www.ucol.mx/revaia/portal/pdf/2013/mayo/2.pdf>
82. Rubio A. (2010) "La densidad aparente en suelos forestales del parque natural los alcornocales" (Tesis de Licenciatura no publicada), Universidad de Sevilla, España.
83. Ruiz R. (2006) "Manejo del suelo y nutrición en suelos con problemas de aireación" Ministerio de Agricultura. Instituto de Investigaciones Agropecuarias, Gobierno de Chile.
84. Ryan J. (2006) "Manual de Compostaje y su utilización en agricultura" Universidad de las Américas, Santiago, Chile, Recuperado en: http://bibliotecadigital.fia.cl/bitstream/handle/20.500.11944/145834/FIA-FP-V-2004-1-P-021_MA1.pdf?sequence=3&isAllowed=y
85. SADER, (19 de septiembre de 2020) "Nuez de Castilla, indispensable para esta temporada" Gobierno de México, Recuperado: <https://www.gob.mx/agricultura/articulos/nuez-de-castilla-indispensable-en-esta-temporada>

86. Salazar A. (2014) "Actividad microbiana en el proceso de compostaje aerobio de residuos sólidos orgánicos" *Revista de Investigación Universitaria*, Vol. 3 (2): 74-84
87. Sánchez S. (4 de agosto de 2021) "Anuncian feria de la nuez de Castilla en San Pedro Yancuitlapan", *Poblanerías.com*, Recuperado en: <https://www.poblanerías.com/2021/08/sociedad-feria-nuez-de-castilla-puebla/>
88. Sandoval I. (2001) "Relatos y recursos: historia agraria y las narrativas del pasado en tres comunidades del municipio de San Nicolás de los Ranchos, Puebla" (Tesis de Licenciatura no publicada) Universidad de las Américas Puebla Recuperado en: http://catarina.udlap.mx/u_dl_a/tales/documentos/laac/sandoval_c_i/capitulo1.pdf
89. Santos T. (2016) "La importancia de la materia orgánica en el suelo" *Agroproductividad*: Vol. 9, Núm. 8, pp: 52-58
90. Scientifica Sri (2022) "Nitrógeno Total Kjeldahl (TKN) Y Nitrógeno Total (TN): Diferencias Y Equipos De Análisis" Italia, Recuperado en: <https://www.velp.com/es-sa/nitrogeno-total-kjeldahl-tn-y-nitrogeno-total-tn-diferencias-y-equipos-de-analisis.aspx>
91. Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural (SADER), (2010) *Cadena Productiva de Oleaginosas. Cultivos del Estado de Puebla*. Puebla, México. pp. 553-576.
92. Segundo G. (1998) *Pigmentos Naturales: Quinónicos*, Pág. 8:18, Fondo Editorial UNMSM, Recuperado en:
93. SEMARNAT (2012) "Informe de la situación del Medio Ambiente: Residuos" Cap.7, SNIARN, Recuperado en: https://apps1.semarnat.gob.mx:8443/dgeia/informe_12/pdf/Cap7_residuos.pdf
94. SEMARNAT (2016) "Promedio diario de residuos sólidos urbanos recolectados por municipio y delegación", Recuperado en: https://apps1.semarnat.gob.mx:8443/dgeia/compendio_2016/archivos/01_rsu/D3_RSMO_2_01.pdf
95. Soliva M & López M. (2004) "Calidad del compost: Influencia del tipo de materiales tratados y de las condiciones del proceso" *Formación de técnicos para el tratamiento y gestión de lodos de depuradora*. Valsáin CENEAM/MIMAM
96. Soto E. (2016) "Evaluación del contenido de materia orgánica en suelos agrícolas y su relación carbono/nitrógeno" *Revista Iberoamericana de Ciencias*, Vol. 3 No. 5, pp. 98-105, Recuperado en: <http://www.reibci.org/publicados/2016/oct/1800105.pdf>
97. Tirado P. (2015) "Estudio de Compactación de la cascara de nuez para mejorar la calidad de briquetas de biomasa" (Tesis de Licenciatura no publicada), Universidad Técnica de Ambato, Ecuador, Recuperada en: <https://repositorio.uta.edu.ec/handle/123456789/10366>
98. Torija A. (2016) "Manejo del Nogal del Castilla (*Juglans regia*) y Evaluación de extractos acuoso de *Argemone mexicana*, *Ricinus communis* y el colorante Floxin-B para captura de *Rhagoletis zoqui* en Puebla" (Tesis de Maestría no Publicada) Colegio de Postgraduados, Instituto de Enseñanza e Investigación en Ciencias Agrícolas, Recuperado en: http://colposdigital.colpos.mx:8080/jspui/bitstream/10521/3344/1/Torija_Torres_A_MC_EDAR_2016.pdf
99. Torres D. (2019) "Produce San Nicolas de los Rnahos 180 toneladas de nuez de castilla" *Diario Intolerancia*, Recuperado en:

- <https://intoleranciadiario.com/articulos/ciudad/2019/07/22/951600-produce-san-nicolas-de-los-ranchos-180-toneladas-de-nuez-de-castilla.html>
100. Traxco (18 de mayo de 2011) Veneno de las plantas: Nogal, Recuperado en: <https://www.traxco.es/blog/noticias-agricolas/veneno-de-las-plantas>
 101. Valencia Islas, C.E. Química de Suelos o Química de Coloides. Obtenido de <http://agricolaunam.org.mx/edafologia/PAPIME%20APUNTES%20QUIMICA%20E%20SUELOS/Quimica%2008.pdf>
 102. Van Konijnenburg (2007) "Agricultura orgánica: El compost" Estación Experimental Agropecuaria Valle Inferior del Rio Negro, Argentina, Recuperado en: https://inta.gob.ar/sites/default/files/script-tmp-inta_material_didactico_nro_05.pdf
 103. Vargas N. (2010) "Manual de manejos productivos del Nogal en Chile" Estadísticas Chile nut, Santiago de Chile, Recuperado en: <https://www.chilenut.cl/wp-content/uploads/2020/12/manual-final.pdf>
 104. Vargas, J. (2007). Estudio de la capacidad de intercambio catiónico en la recuperación de un suelo afectado por incendios forestales en el municipio de Nemocon, Cundinamarca. Obtenido de: <http://repository.lasalle.edu.co/bitstream/handle/10185/15609/T41.07%20V426e.pdf?sequence=1>
 105. Velasco J. et al (2005) "El composteo: una alternativa tecnológica para la biorremediación de suelos en México" Gaceta Ecológica, núm. 66, enero-marzo, 2003, pp. 41-53
 106. Velázquez A. (10 de julio del 2021) "Entre 360 y 600 pesos se comercializa la nuez de castilla" Síntesis Recuperado en: <https://sintesis.com.mx/puebla/2021/07/10/entre-360-a-600-pesos-se-comercializa-nuez/>
 107. Vistoso E. & Martínez J. (2019) "Los micronutrientes del suelo" Instituto de Investigaciones Agropecuarias, Gobierno de Chile.
 108. Wartelle, L., & Marshall, W. (2000). Citric acid modified agricultural by-products as copper ion adsorbents. *Advances in Environmental Research* 4 (1), 1-7.
 109. West Analítica y Servicios S.A. de C.V., (2021) "El cultivo del Nogal" Agricultura Razonada. Guadalajara México. Recuperado en: <https://westanalitica.com.mx/wp-content/uploads/2021/01/El-Cultivo-de-NOGAL.pdf>
 110. Wolfgang S. (2002) "The cellulases and their application in degrading agroindustrial waste" *Revista Colombiana de Biotecnología* VOL IV No.1
 111. Xoletl T. (Julio, 2014) "San Nicolás de los Ranchos producirá más de 2 toneladas de nuez de castilla en este año" Poblnerias.com, Recuperado en: <https://www.poblnerias.com/2014/07/san-nicolas-de-los-ranchos-producira-2-tons-de-nuez-de-castilla-este-ano/#:~:text=El%20municipio%20de%20San%20Nicol%C3%A1s,de%20temporada%20Chiles%20en%20Nogada.>
 112. Yaning Zhang. (2020). *Biomass Gasification: Fundamentals, Experiments, and Simulation*. Nova.

113. Zorpas, A. A. (2014). Sustainability Behind Sustainability. Nova Science Publishers, Inc.