



Revisión de alternativas sostenibles para el aprovechamiento del orujo de naranja

Review of sustainable alternatives for the use of orange marc

Tatiana Liceth Alvarado Davila¹, Alba Teresa Hernández Sierra²

Recibo: 09.03.2018 Aceptado: 17.07.2018

Alvarado, T., y Hernandez, A. (2018). Revisión de alternativas sostenibles para el aprovechamiento del orujo de naranja. *Revista Colombiana de Investigaciones Agroindustriales*, 5(2), 9-32, doi.org/10.23850/24220582.1393

Resumen

Los residuos de naranja se producen en grandes cantidades a nivel mundial por lo que si sus desechos no son manejados adecuadamente pueden generar contaminación en el agua, suelo y aire, afectando los recursos naturales. La técnica del compostaje de residuos de naranja es un factor condicionante en el proceso de degradación por sus características fisicoquímicas y microbiológicas entre las que se encuentran el alto contenido de humedad, acidez, baja descomposición y la presencia de aceites esenciales que retardan el proceso de compost. De acuerdo a la revisión bibliográfica, se analizaron diversos tratamientos para la transformación de los residuos de naranja en el compostaje; se encontró un registro de investigaciones desarrolladas con métodos tales como; aireación forzada o por volteo manual, al aire libre, con adición de hidróxido de calcio, con residuos agroindustriales, con residuos de poda, con residuos de origen urbano, con estiércol de vaca y otro tipo de técnicas diferentes como la producción de biocombustibles y/o la extracción de aceites esenciales. El estudio demostró que es posible disminuir el impacto ambiental en los residuos de naranja para la técnica de compostaje mediante un pretratamiento de deshidratado o la extracción de la pectina y D-limoneno, con el fin de optimizar el tiempo de descomposición; así como mejorar las condiciones físico químicas y microbiológicas del compost. Es importante resaltar que otra opción para el aprovechamiento de cítricos encontrada es la reconversión del desecho a procesamiento industrial, biogás o bioetanol para la obtención de nuevos productos.

Palabras clave: cítricos, proceso, biodegradación, biocombustibles, tratamiento.

¹Servicio Nacional de Aprendizaje SENA; talvarado@sena.edu.co; Colombia

²Servicio Nacional de Aprendizaje SENA; athernandez339@sena.edu.co; Colombia

Abstract

Orange waste is produced in large quantities worldwide and must be managed properly to avoid contamination in water, land and air, and other natural resources. The composting technique of orange waste is a conditioning factor during the degradation process due to its physicochemical and microbiological features, there is a high moisture content, acidity, low decomposition and the presence of essential oils that delay the compost process. According to the literature review where different treatments are analyzed for transforming orange waste into composting; it was found a record of investigations developed with methods such as forced aeration by manual dumping, outdoors, addition hydroxide of calcium, agro industrial waste, pruning waste, urban waste, cows' dung and other type of techniques such as the production of biofuels and / or the extraction of essential oils. The study showed that it is possible to reduce the environmental impact on orange waste through composting technique by pre-treating dehydration or the extraction of pectin and D-limonene in order to optimize the decomposition time; as well as improving the physical and chemical microbiological conditions of the compost. It is also important to note that another option to take advantage of citrus is through the reconversion of waste to industrial processing, biogas or bioethanol to obtain new products.

Keywords: citrus, process, biodegradation, biofuels, treatment.

Introducción

El compostaje es el proceso de potencialización de la descomposición natural de los residuos orgánicos, en la que diversas poblaciones microbianas constituidas por hongos, bacterias y actinomicetos (Escobar, Mora & Romero, 2012), degradan una selección predeterminada de materiales orgánicos en condiciones aeróbicas y de humedad controladas, que permiten el desarrollo de temperaturas en el rango termófilo debido a las reacciones exotérmicas del proceso biológico; como resultado se produce dióxido de carbono, agua y compost; este último que es un material estable, maduro y humificado por ende es la etapa final de la degradación de la materia orgánica (Kalil, 2007), que se caracteriza por ser libre de olores, patógenos y semillas, que puede ser empleado para aplicación en suelos como enmienda orgánica y fertilizante (Red Española de Compostaje, 2015), puesto mejora la absorción de agua y nutrientes por parte de las plantas porque provoca la formación de humus

en el suelo. Se debe agregar que en el compost se han comprobado sus beneficios para el control de algunas enfermedades de las plantas, la biorestauración de suelos contaminados con hidrocarburos del petróleo, plaguicidas, explosivos, entre otros contaminantes; también en el control del emisiones de metano en tiraderos de cielo abierto y rellenos sanitario, además de ser una solución efectiva para el control de lixiviados en dichos lugares; así mismo, el compost ha sido utilizado exitosamente como biofiltro para la remoción de compuestos orgánicos volátiles (COVs), tanto en corrientes líquidas como gaseosas y en una amplia gama de situaciones, según Sauri & Castillo (2002). Se debe agregar que el compostaje permite una reducción considerable del volumen de los residuos (Campitelli, Ceppi, Velasco & Rubenacker, 2014), y elimina los organismos patógenos que puedan contener.

Este proceso de transformación de los residuos orgánicos a compost, sucede mediante cuatro

fases definidas en función de la temperatura que se alcanza en cada una de ellas, producto de los procesos bio oxidativos que suceden (Ver Figura 1); en los primeros días ocurre un ligero incremento de la temperatura que va de 20 a 45°C, en donde sucede la descomposición de azúcares y se conoce como fase mesofílica; después la

temperatura asciende debido a la degradación de la celulosa, hasta alcanzar temperaturas de 55 a 70°C y se conoce como fase termofílica, simultáneamente, ocurre una disminución de la población microbiana (Artavia, Uribe, Saborío, Arauz, & Castro, 2010).

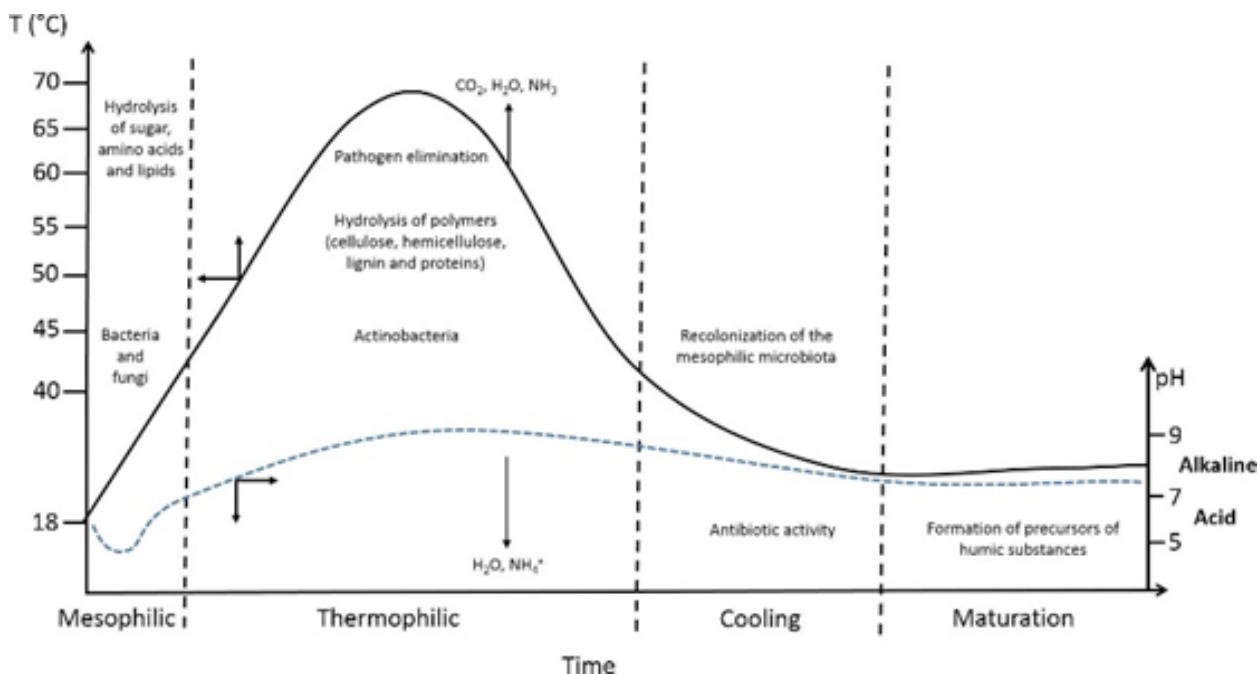


Figura 1. Evolución de la temperatura y el pH a lo largo del proceso de compostaje

Fuente: Sánchez, Ospina & Montoya (2017)

Posteriormente, la fase de enfriamiento, donde se degradan los compuestos difícilmente biodegradables como polímeros, en esta fase la temperatura retorna hasta valores de 40°C e inferiores y por último la fase de maduración, donde según la Red Española de Compostaje (2015), alcanza una temperatura constante, generalmente la temperatura ambiente o inferior a 40°C, debido a la estabilización de la materia orgánica lo que indica que los compuestos más inestables han sido degradados y el proceso de compostaje se da por finalizado.

No obstante, como lo mencionan Varma, Das, Sastri, & Kalamdhad (2017), la dinámica del proceso de compostaje es compleja, debido a las variaciones existentes a lo largo del proceso en las poblaciones microbianas, el pH, la temperatura, la humedad, la disponibilidad

de sustratos, el oxígeno, entre otros; las cuales se ven seriamente afectadas por la selección del material inicial, sus diferentes tasas de biodegradabilidad y el pretratamiento al que sean sometidos los residuos (Tejada, Dobao, Benitez, & Gonzalez, 2001), produciendo compost que difieren en sus características fisicoquímicas y por ende en su calidad (López *et al.*, 2015).

Como sucede específicamente con los residuos de cítricos que a nivel mundial es la fruta más cosechada alrededor de 88 millones de toneladas por año, la naranja representa especialmente el 80% de la producción seguida de las mandarinas, limones, limos y pomelos; siendo Brasil el país mayor productor de naranja, continúa Estados Unidos y China con aproximadamente unas 7,5 millones de

toneladas al año de acuerdo a lo establecido por la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO, 2014).

Así mismo Sharma, Mahato, Hwan Cho & Rok Lee (2017), indican que las industrias procesadoras de cítricos presentan grandes cantidades de desechos de cáscara de naranja al año, lo cual constituyen un 50% de masa de fruta húmeda. La naranja presenta características muy particulares, como lo son un alto contenido de humedad y carga orgánica, bajo pH, baja biodegradación y la presencia de aceites esenciales que inhiben el proceso de compostaje y fomentan condiciones anaerobias (Ruiz & Flotats, 2016).

Para la producción eficiente de composta según Cerda, Artola, Font, Barrena, Gea & Sánchez (2018), se requiere un conocimiento previo de la dinámica de sus etapas, los parámetros de verificación del proceso, además de las características y composición química

de los materiales a utilizar; a fin de mantener el proceso lo más estable posible y minimizar pérdidas de sus compuestos por volatización o lixiviación.

En el caso del compostaje de los residuos de naranja, es importante tener un conocimiento previo de las características fisicoquímicas de este material, ya que es un factor condicionante en el proceso de descomposición, el cual puede interferir en los resultados esperados del compost y en la velocidad del proceso.

Los residuos resultantes de la extracción del zumo de la naranja, se componen principalmente de membranas residuales de endocarpios, vesículas, albedo, semillas y exocarpio, como se ilustra en la Figura 2. Crawshaw (2001), afirma que la pulpa constituye entre el 50 a 70% en peso de la fruta fresca; y está constituida entre un 60 a 65% de la cáscara (exocarpio), un 30 a 35% de los tejidos internos, y $\leq 10\%$ de semillas.

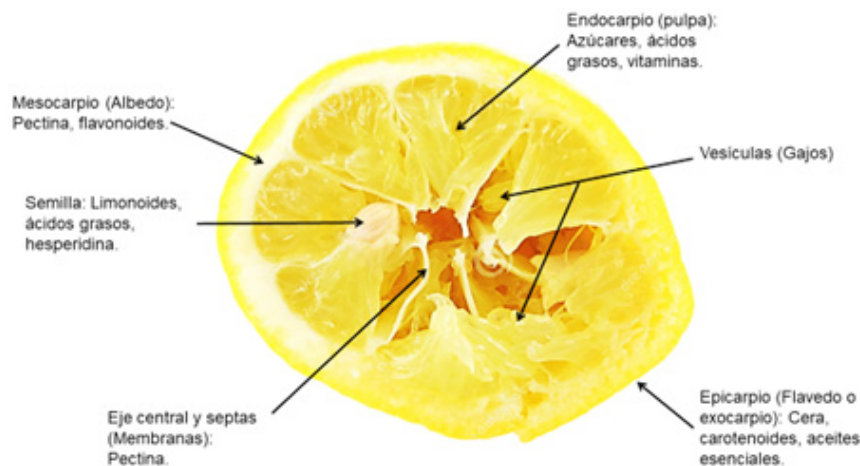


Figura 2. Representación esquemática de la distribución de la composición de química de una naranja

Fuente: Elaboración propia

Los residuos de naranja se caracterizan por sus particularidades fisicoquímicas, como un pH bajo entre 3 y 4, el alto contenido de humedad que oscila alrededor del 70 y 90%, un alto contenido de materia orgánica, cerca 95% del total de sólidos (Siles, Vargas, Gutiérrez,

Chica & Martín, 2016), como se muestra en la Tabla 1.

Behzad & Keikhosro (2018), manifiestan que el principal problema de los residuos sólidos de la naranja es la alta fermentabilidad, debida a

su alto contenido de carbohidratos, que aceleran su degradación y generan mal olor; además su alto contenido de materia orgánica restringe su eliminación directa, ya que afecta la flora microbiana natural y beneficiosa del suelo.

Otro rasgo importante es su alto contenido de humedad, que fomenta la generación de lixiviados; además, su eliminación en vertederos no es recomendada (Siles *et al.*, 2016) ya que causa problemas ambientales.

Tabla 1.

Composición química de los residuos de cáscara de naranja (Valor medio \pm desviación estándar)

Parámetros	Residuos de cáscara de naranja
pH	3.42 \pm 0.02
VA (mg de ácido acético/kg)	1950 \pm 27
Humedad (%)	79.83 \pm 0.08
TS (%)	20.17 \pm 0.08
SRA (%)	0.87 \pm 0.03
VS (%)	19.31 \pm 0.11
DQO (mg O ₂ / g d.b.)	1085 \pm 55
TKN (mg N / g d.b.)	12.24 \pm 0.56
P T (mg P / g d.b.)	1.18 \pm 0.03
Cr (mg / kg d.b.)	1.6 \pm 0.7
Cd (mg / kg d.b.)	4.9 \pm 0.8
Cu (mg / kg d.b.)	<1.0
Ni (mg / kg d.b.)	6.1 \pm 1.3
Pb (mg / kg d.b.)	<1.0
Zn (mg / kg d.b.)	4.5 \pm 0.4
C (% db)	44.33 \pm 0.27
H (% db)	5,90 \pm 0,06
N (% db)	0,76 \pm 0,06
O (% db)	46.33 \pm 0.41
S (% db)	0.11 \pm 0.01
Celulosa (%)	22
Hemicelulosa (%)	11
Grasa (% db)	1.55 \pm 0.17
Ceniza (% db)	3.29 \pm 0.19
Proteína (% db)	6.16 \pm 0.23
Carbohidratos (% db)	89.0 \pm 1.1
Pectina (% db)	17 \pm 5
Lignina (%)	3.2 \pm 0.4
Azúcares neutrales	3.8 \pm 0.3
Ácido urónico	7.1 \pm 0.9
Total de acidez (g de ácido cítrico/ml)	0.29 \pm 0.03
Limoneno (% db)	3.78 \pm 0.3

Nota: db, base seca

Fuente: (Siles *et al.*, 2016; Cerón & Cardona, 2011; Red Española de Compostaje (2015); Pourbafrani, Forgács, Horváth, Niklasson & Taherzadeh, (2010)

Para Yepes, Montoya & Orozco (2008), con base a la investigación realizada el sector agroindustrial genera una cantidad de 220 t/d de residuos de frutas en Medellín y el sur del Valle de Aburra, que producen costos elevados en la disposición final de los mismos.

En este proyecto se realizaron procesos de caracterización físico química de los residuos de mango, guanábana, guayaba y naranja a fin de proponer alternativas de aprovechamiento donde se identificaron tres grupos de valorización como los son: la biológica y química, obtención de combustibles a partir de residuos y la valorización térmica. Según los resultados del estudio la mejor técnica a emplear para las empresas que no separan los residuos de frutas sino que los disponen en un solo contenedor, el compostaje, es una buena opción para el aprovechamiento; la incineración no es tan recomendable debido a que este tipo de residuos se reducen en un 60 a 70% por su alto contenido de humedad, tiene bajo poder calorífico y emiten a la atmósfera contenidos de dioxinas y furanos peligrosos para la salud de los seres vivos.

Otra alternativa viable son la producción de hongos comestibles, tal es el caso de los champiñones o las orellanas, así como la obtención de productos químicos a partir de extracción de la pectina, enzimas, aceites esenciales, producción de vino, fibra dietaria etc.

Desde el punto de vista ambiental, las energías renovables son una alternativa viable para los sectores productivos, los cuales deben proyectarse a trabajar en el ahorro y uso eficiente de la energía, a fin de contribuir en la reducción de las emisiones de Gases Efecto Invernadero (GEI) especialmente el dióxido de carbono (CO₂); las cuales, hacen parte de la política energética mundial establecida por el World Energy Council form sustainable energy (2014). Ahora bien, la biomasa es una de las fuentes de

energía renovable que aporta del 10 al 14% de provisión de energía mundial y constituyó en el año de 1995 el 62,1% de energías renovables como lo indicó Liu *et al.*, (2014). Existen muchas formas de bioenergía derivados de la biomasa tales como el sistema boscoso y vegetaciones agrícolas según Ghobadian (2012). Como ya se ha mencionado la naranja es uno de los cítricos que se utilizan en su mayoría a nivel mundial. Empresarialmente la producción de naranja estima unos 15 a 20 millones de toneladas de residuos que son dispuestos en rellenos sanitarios o que son consumidos como dieta alimenticia para animales en menor proporción como lo menciona Wikandari, Millati, Cahyanto & Taherzadeh (2014).

El propósito de esta revisión fue presentar un registro de técnicas o procesos desarrollados para el compostaje de residuos de naranja y otras alternativas de tratamiento, debido a los problemas que suponen este tipo de residuos cítricos en el compostaje de residuos orgánicos con el fin de comparar las diferentes utilidades que se le pueden aprovechar a este tipo de desechos. Además, para el análisis de diferentes técnicas utilizadas en los desechos del orujo de residuos de naranja se presenta una comparación y/o discusión de documentos, los cuales pueden orientar en la toma de decisiones en el manejo adecuado de dicho residuo desde técnicas aerobias en procesamiento de compostaje como tecnologías anaerobias como por ejemplo la producción de biogás.

La técnica aeróbica en residuos orgánicos es la más común para la descomposición de la materia orgánica en presencia de oxígeno con el fin de mantener una reacción química la cual es realizada por los volteos de las pilas de compostaje para generar aireación que permita acelerar la degradación de los desechos sólidos. Agüero & Terry (2014), refieren que una alternativa a la aplicación de fertilizantes, la constituye el empleo de abonos orgánicos, compost, biosólidos, entre otros u órgano

minerales, que presentan parte del nitrógeno (N) en formas orgánicas, más o menos estables, que paulatinamente van mineralizándose y pasando a disposición de las plantas.

En este mismo sentido, se indica que la fertilización orgánica sustituye en gran medida el uso de fertilizantes minerales. Según Estrada (2010), la elaboración de los abonos orgánicos fermentados se puede entender como un proceso de descomposición en presencia de oxígeno (aeróbica) y control de temperatura de residuos orgánicos por medio de poblaciones de microorganismos, que existen en los residuos, bajo condiciones controladas, y que producen un material parcialmente estable de lenta descomposición en condiciones favorables. Son varios los tipos de abonos orgánicos que podemos utilizar en la producción orgánica: algunos ejemplos son el compost, bokashi, los bio fermentos, y los abonos verdes, en todos los preparados la acción de los microorganismos es indispensable para su preparación y funcionamiento.

Las tecnologías anaerobias son tratadas en ausencia de aire y oxígeno en un acceso y/o espacio cerrado como por ejemplo en un contenedor, enterrados en una fosa, etc., dependiendo de la cantidad que se produzcan; al estar en condiciones anaerobias se inicia la fermentación del material orgánico sobrante para la descomposición de los residuos por medio de la actividad microbiana de bacterias anaerobias los cuales producen ácidos orgánicos que emiten malos olores por la presencia de sulfuro de hidrógeno.

Este tipo de tecnología se puede aprovechar no solo para la producción de abonos orgánicos como fertilizante natural, sino también, en la generación de Biogás por la presencia de gas metano en los residuos orgánicos, excremento de animales etc., que pueden ser usados como combustible para cocinar y/o generar electricidad.

A nivel investigativo, se han publicado experiencias del compostaje y otras alternativas de aprovechamiento de los residuos de naranja y de su combinación en diferentes proporciones con residuos orgánicos de diversas procedencias, tales como: residuos de cosechas, residuos agroindustriales, residuos de poda, estiércol animal, entre otros como por ejemplo la obtención de biogás, etanol y/o biocombustibles. A continuación, se presenta una síntesis enfocada en resultados obtenidos en investigaciones realizadas basadas en estudios experimentales

Alternativas de tratamiento sostenibles con orujo de naranja y/o residuos orgánicos

Estudio comparativo de técnicas de Aireación forzada vs Aireación por volteo manual

Los métodos de aireación utilizados en los estudios analizados, fueron la aireación forzada y aireación por volteo manual; no obstante Isaza–Arias, Pérez–Méndez, Laines–Canepa & Castañón–Nájera (2009), comparan las dos técnicas durante 120 días, en el compostaje de residuos de poda con un 13% de residuos cítricos (cáscaras de naranja y toronja); en el cual a las pilas estáticas con aireación forzada se les suministró aire durante 20 minutos dos veces por día, con un espacio de 30 minutos entre cada aireación (no se referencia la velocidad del viento) y 6 volteos durante todo el proceso para disminuir la compactación del material; y a las pilas con aireación mediante el volteo manual del material, fueron giradas dos veces a la semana, para un total de 32 veces durante todo el proceso.

Como resultado, se evidencia que el comportamiento de parámetros tales como: humedad, pH, degradación de la materia orgánica, relación C/N y temperatura, no tiene variaciones significativas entre los dos procesos de aireación, por el contrario, en contraste con dichos resultados el porcentaje de fósforo en el

tratamiento de aireación forzada presentó una tendencia a incrementarse en un 35% durante el proceso, en cambio el método de aireación por volteo manual presentó una pérdida de 28%, que se adjudica a la posibilidad de que haya pasado a formas no disponibles, posiblemente por la presencia de suelo en la composta producto de los residuos de poda. Es importante resaltar que el fósforo es el segundo elemento limitante para los cultivos después del nitrógeno (Sánchez, Ospina & Montoya, 2017), ya que interviene en el crecimiento y desarrollo celular de las plantas (Fernández, Zalba, Gómez & Sagardoy, 2005); por lo tanto, puede ser determinante en parte de la calidad del compost.

Compostaje de residuos de naranja al aire libre

López *et al.*, (2015), realizaron el compostaje de 140 kg de cáscara de naranja, como pretratamiento el material fue fraccionado hasta obtener tamaños de partículas entre 4 a 6 cm. El proceso de compostaje se realizó al aire libre, sobre una cama de mampostería con un volumen de 1,2 m³ y una pendiente de 5%. Una vez depositado el material, este se dividió

de manera transversal en tres partes y cada parte se consideró una repetición, por último, se cubrió con una película plástica. El material fue compostado durante 180 días, no obstante, no se presentan los datos de seguimiento al proceso y se reporta una fluctuación de la temperatura entre 30 a 35 °C que abarca la etapa de maduración del compost.

Como resultado, un compost cuyas características químicas fueron medidas en extracto de saturación, las cuales se describen en la Tabla 2, y que al ser sometido a un bioensayo de fitotoxicidad, mediante la técnica de germinación de semillas de cebada, rábano y brócoli, a concentraciones de 25, 50, 75 y 100% del extracto acuoso (Ver Figura 3), demostró que a mayor concentración del extracto menor es el índice de germinación, por lo tanto, la mayor fitotoxicidad se encuentra a concentraciones del 75 y 100%; hay que mencionar, además que el promedio del índice de germinación fue de 28,51, siendo las semillas de rábano la especie que mostró significativamente el mayor índice de germinación, respecto de la cebada y el brócoli (Ver Figura 4).

Tabla 2.

Composición química en extracto de saturación del compost de residuos de cáscara de naranja

Parámetros	Valores en extracto de saturación
pH	7.98
Conductividad eléctrica (CE, dS m ⁻¹ ,)	3.96
NT(%)	2.56
K (%)	0.77
P (%)	3.8
Carbono Orgánico Total (COT, mg/L)	46.49
C/N	18.12

Fuente: López *et al.*, (2015).

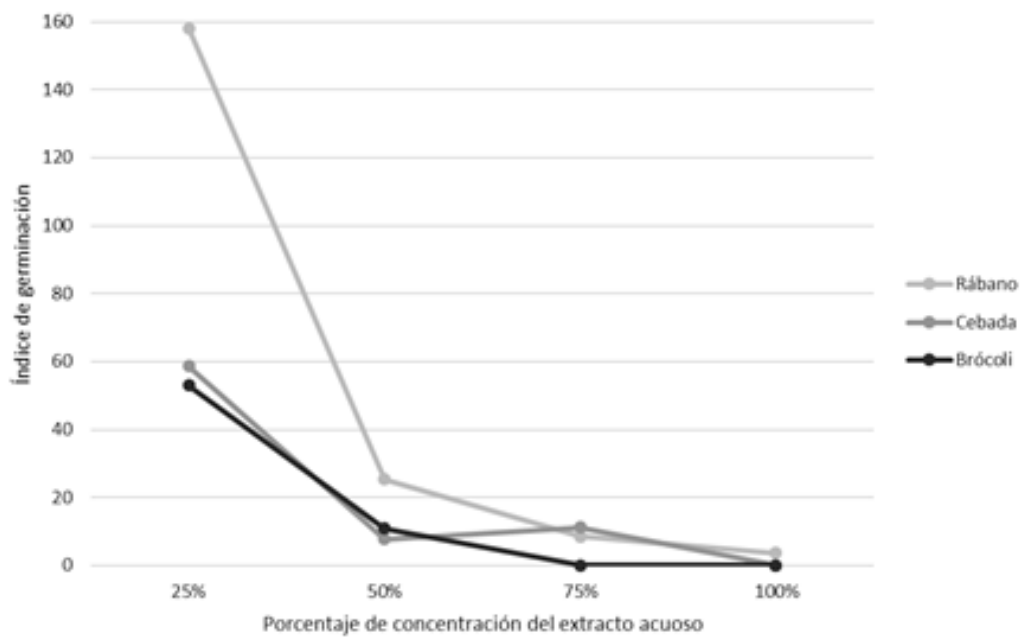


Figura 3. Índice de germinación a diferentes concentraciones del extracto acuoso del compost de naranja

Fuente: Elaboración propia

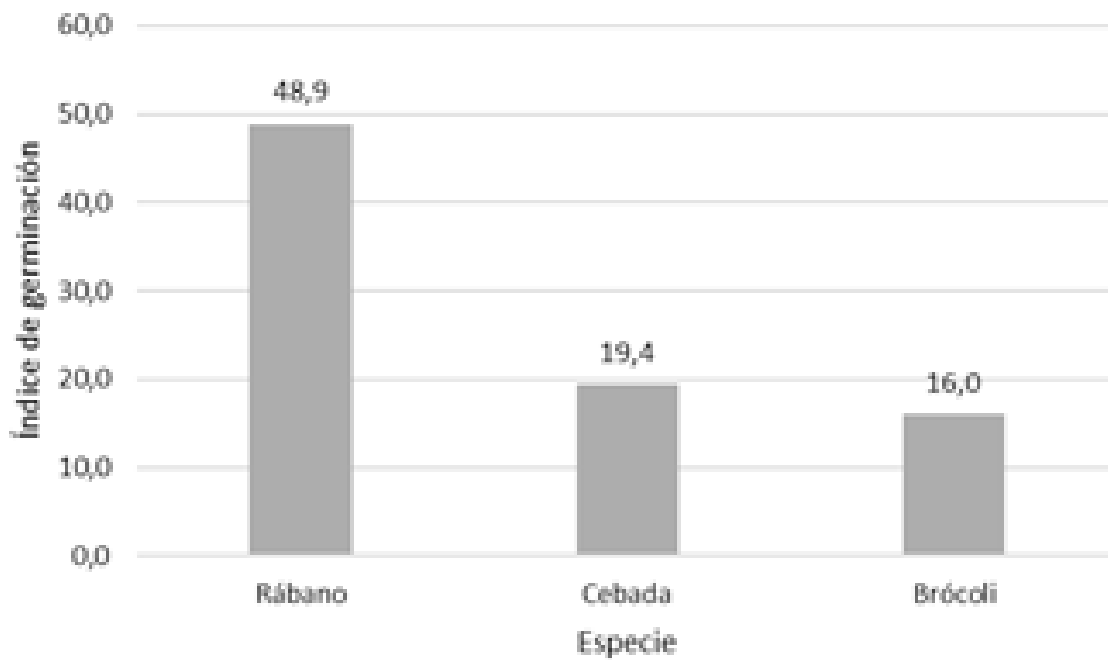


Figura 4. Índice de germinación del extracto acuoso del compost de naranja en diferentes especies

Fuente: Elaboración propia

Compostaje de residuos de naranja con adición de hidróxido de calcio

Van Heerden, Cronjé, Swart & Kotzé (2002), implementan el compostaje bajo techo de 3 m³ de residuos cítricos adicionando 5 kg/m³ de hidróxido de calcio (cal, Ca (OH)₂), con aireación por volteo manual; los residuos cítricos utilizados tenían un pH inicial de 4,1 y relación C/N de 24: 1; al realizar la mezcla con la cal el valor de pH ascendió a 6,3, disminuyendo así la acidez del material inicial; no obstante, no se registra algún tipo de pretratamiento adicional al material.

El proceso de compostaje se desarrolló durante 90 días, en los cuales las fluctuaciones de la humedad y temperatura estuvieron correlacionadas (Ver Figura 5), debido a que la reacción de degradación de los residuos orgánicos es exotérmica; por lo tanto, el calor generado evapora el agua contenida, provocando que el material “no presente la humedad biodisponible para el desarrollo de los microorganismos, lo que puede inhibir la actividad microbiana y ralentizar el proceso” (Red Española de Compostaje, 2015, p. 30), provocado descensos abruptos de la temperatura de la pila.

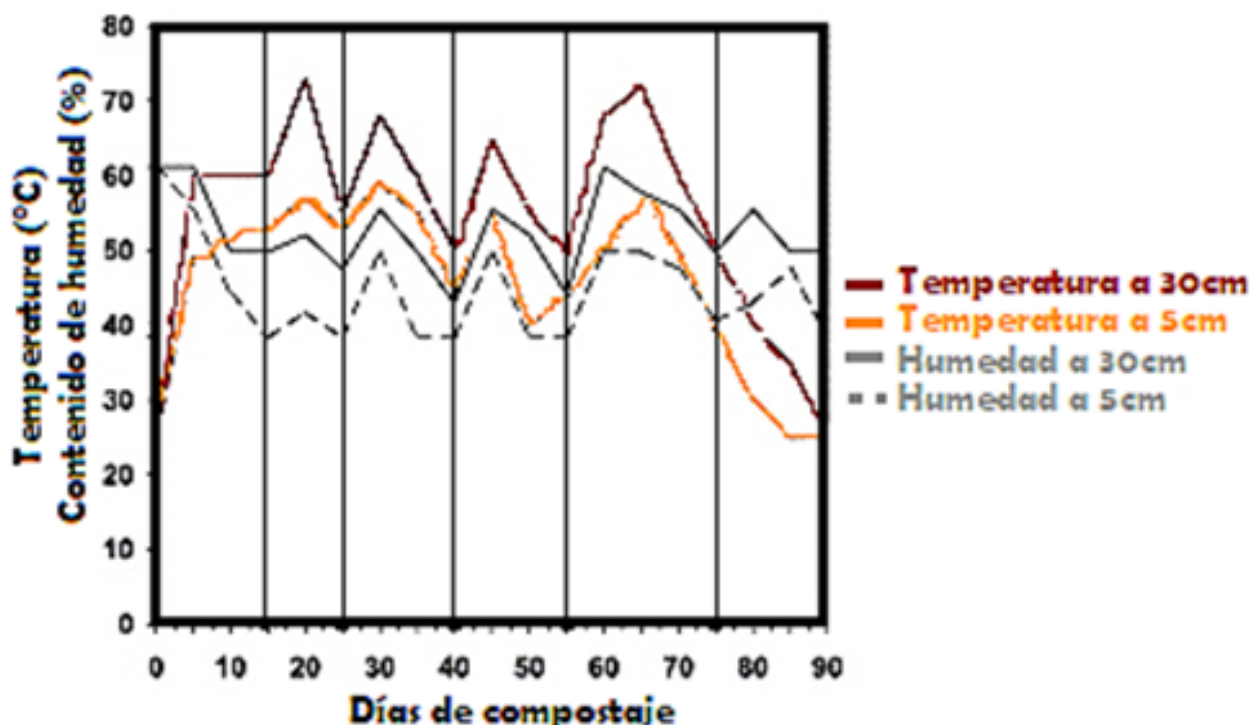


Figura 5. Dinámica de la temperatura y humedad durante el compostaje de residuos de cítricos con adición de hidróxido de calcio

Fuente: Elaboración propia

Como acción correctiva a los niveles de humedad por debajo del 40%, los días: 15, 25, 40, 55 y 75, se hidrató el material hasta el 60% y sehomogenizo mediante el volteo manual.

En contraste con lo anterior, después del día 65 se presenta el último pico de aumento de temperatura, lo que se determina con el

fin de la fase termófila, dando origen a un descenso paulatino hasta la estabilización con la temperatura ambiente (entre 20 a 30°C); en cuanto a la humedad, la hidratación realizada el día 75, confirmó la presencia del material en fase de enfriamiento, por lo que la humectación en este paso no era necesario, causando que el material final presentará un nivel de humedad

entre el 40 y 55%, el cual debería ser máximo 30% (Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación [ICONTEC] 2011). En cuanto al pH, el material durante el proceso presento variaciones entre neutro y alcalino (6,5 y 9); no obstante, estas fluctuaciones fueron inversamente proporcional al comportamiento

de la temperatura y la humedad, lo que deduce que al aumentar el pH baja la humedad (Ver Figura 6). Otro rasgo a destacar, es que los valores de pH al interior de la pila eran menores que en la capa exterior de la misma. Al final se obtuvo un material estable en pH $7,2 \pm$.

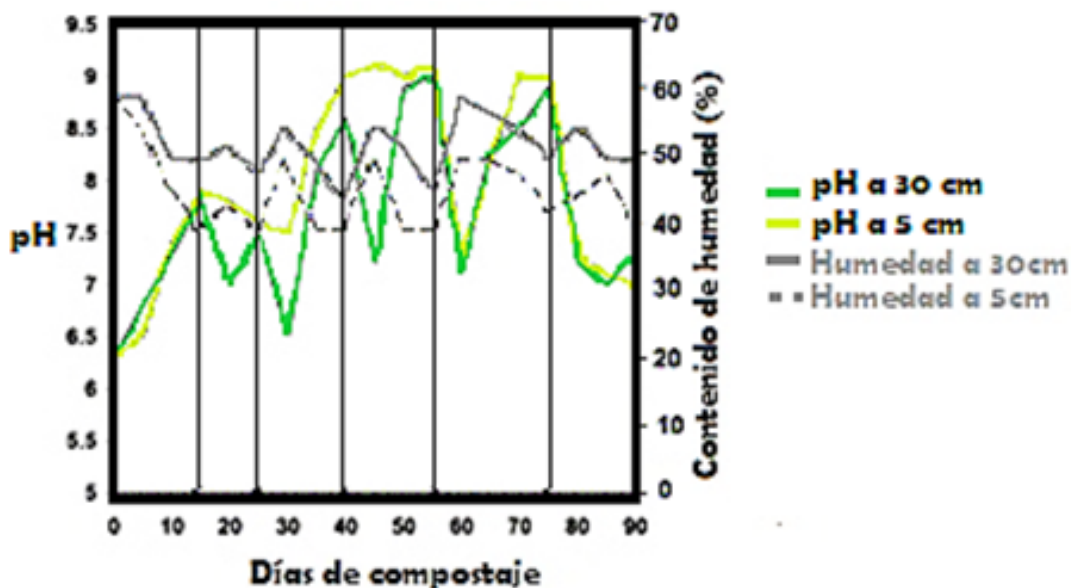


Figura 6. Dinámica del pH durante el compostaje de residuos de cítricos con adición de hidróxido de calcio

Fuente: Van Heerden *et al.*, (2002)

Compostaje de residuos de naranja con residuos de cosechas

Muñoz, Muñoz & Montes (2015), evaluaron dos tipos de compost a partir de residuos orgánicos provenientes de una finca cafetera con residuos de cosecha en la facultad de ciencias agropecuarias de la Universidad del Cauca donde se recolectaron 400 kg de pulpa de café, 200 kg de troncho de plátano, cáscara de banano y 200 kg de gallinaza, los cuales durante su preparación se les suministró 250 g de cal agrícola, 10 cm de pasto seco para separar las capas, 10 cm de pulpa de café y una mezcla de 1 kg de miel de purga con microorganismos efectivos que se depositaron en una compostera de guadua de 1m^3 , hasta completar 1mt de altura; los primeros 15 días no se realizó volteo del material para beneficiar la actividad

microbiológica, posteriormente se realizaron volteos dos veces por semana durante dos meses con el fin de acelerar por medio de la aireación la degradación de la materia orgánica hasta llegar a su etapa de maduración donde se recolectó 450 kg.

Es importante aclarar que los volteos deben estar prolongados cada dos o tres días como se realizó en la investigación para ayudar el proceso de oxigenación; porque si los llevan a cabo diariamente no dejaría que los microorganismos hicieran su trabajo de descomposición de la materia orgánica cambiando las condiciones de temperatura. Para las plazas de mercado especialmente en centros de abasto de alimentos con el apoyo de la Umata que maneja los residuos sólidos de Popayán se seleccionaron 100 kg donde el 20% eran residuos de plátano,

24% de frutas entre las que se encontraba la naranja, 17% de hortalizas, 16% de maíz, 12% aguacate, 8% materiales pequeños no identificados y 3% materiales no orgánicos; durante su preparación se les adicionó miel de purga y cal, acondicionados en pilas de 2 m de altura por 2 m de diámetro, con una duración en la descomposición de tres meses donde se recolectaron 1,5 t.

El diseño experimental que se realizó para comprobar el beneficio del compost en la siembra de lechuga y repollo donde se aplicaron 500 gr de abono en cada una de las 32 plántulas durante dos etapas en los días 30 y 45, teniendo en cuenta tres tratamientos T_0 testigo sin abono, T_1 compost de residuos de cosecha, T_2 compost de las plazas de mercado, teniendo en cuenta durante su crecimiento el peso de la cabeza de la lechuga y el repollo y la calidad sanitaria; los resultados arrojados fueron satisfactorios debido a la ganancia de peso en los residuos de cosecha de 420% de lechuga y 334% en repollo. Para los residuos de la plaza fueron de un 379% para la lechuga y 364% para el repollo con respecto al testigo; donde el mayor peso para la lechuga lo consiguió los residuos de cosecha y para el repollo los de la plaza de mercado.

Compostaje de residuos de naranja con residuos agroindustriales

Bernal, Ros, Tittarelli, Intrigliolo & Pascual (2008), exponen un análisis del uso del compost de cítricos y su extracto en agua, producto de la mezcla de los siguientes residuos: 40% de residuos cítricos, 20% de lodo, subproducto del tratamiento de aguas residuales de la industria de cítricos; 40% de residuos verdes, constituido por material de poda de árboles cítricos y arbustos ornamentales.

Dichos residuos fueron dispuestos en una pila de 9 m de largo, 1,5 m de ancho y 0,8 m de alto, tratando cada 3 m de longitud como una réplica; no obstante, no se describen los

detalles específicos del proceso de compostaje. Como resultado, se obtuvo un compost con un pH de 8,4 y relación C/N de 12. Finalmente se recogieron 100 kg de compost por cada pila que al ser tamizados se almacenaron 15 kg por cada pila los cuales fueron almacenados a una temperatura de 4°C para ser utilizados en los ensayos en la preparación de compost.

Compostaje de residuos de naranja con residuos de poda

A nivel de publicaciones científicas se presentan dos propuestas, una por Bernal *et al.*, (2008), que consiste en la replicación del proceso mencionados en el compostaje de residuos de naranja con residuos agroindustriales, cuyos valores iniciales de mezcla de los materiales es la siguiente:

- 60% de residuos de cítricos
- 40% de residuos verdes (restos de poda de la industria del cultivo y procesamiento de cítricos).

Los principales parámetros fisicoquímicos del compost resultante se exponen en la Tabla 3, presento un pH de 8,5, relación C/N de 15. La otra propuesta es presentada por Gelsomino, Abenavoli, Princi, Attinà, Cacco & Sorgonà (2010), que consiste en el compostaje en pila de los siguientes materiales:

- 75% de residuos de naranja, que fueron sometidos aun pretratamiento que consistió en la deshidratación del material durante dos semanas, disminuyendo la humedad del 85,8% hasta 65%
- 25% de residuos verdes, producto de la mezcla de hierba, poda y aserrín.

Una vez homogenizado el material, se realizó una pila de 10 m³ y se cubrió con plástico; el proceso de compostaje duró cinco meses, en los

cuales un día a la semana se retiraba la cubierta plástica, para evitar temperaturas excesivamente altas y cada dos semanas la pila se aireaba mediante volteo mecanizado. Dos semanas

después de que la temperatura disminuyó por debajo de 40°C, se retiró la película plástica y se dejó secar hasta una humedad de 39,8%, luego se trituro el material y se almacenó.

Tabla 3.

Composición química del compost producto de la mezcla de residuos de naranja con restos de poda

Parámetro	C1	C2
pH	8.5	8.4
Carbono orgánico total (%)	38	37.0
N total (%)	2.5	2.1
P 2 O 5 (%)	0.7	0.44
K 2 O (%)	0.7	1.65
C / N	15	17.6
Ácido húmico y fúlvico C (%)	18	
Cadmio total (mg/kg)	<0.1	0.9
Mercurio total (mg/kg)	<0.1	< 0.01
Cobre total (mg/kg)	32	4.0
Zinc total (mg/kg)	99	26.4
Níquel total (mg/kg)	20	46.7
Plomo total (mg/kg)	13	10
Cromo hexavalente (VI) (mg / kg)	n.d.	< 0.01
Conductividad eléctrica (mS/cm)	1,78	3.85

Nota: C1, compost producto de la mezcla de 60% de residuos de naranja y 40% de residuos de poda; C2, compost producto de la mezcla de 75% de residuos de naranja y 25% de residuos de poda; n.d., no detectable

Fuente: Bernal *et al.*, (2008) y Gelsomino *et al.*, (2010).

Compostaje de residuos de naranja con estiércol de vaca

Un estudio realizado por Raviv *et al.*, (2005), investigaron el uso de residuos de estiércol de vaca con aditivos de paja de trigo, uva y cáscaras de naranja por la pérdida de nitrógeno durante la descomposición de la materia orgánica para la preparación del compostaje los cuales fueron acondicionados en contenedores. El experimento presentó como resultado que la mezcla de los residuos de estiércol con la cáscara de naranja ayudó a minimizar la pérdida del nitrógeno con una relación volumétrica de 1:1. Además el compost fue evaluado con el

uso de tomate cherry donde resultados positivos mostraron disminución en los huevos del nematodo que ayudaron al control de la corona y la raíz del tomate.

En la preparación del compostaje se adicionó tres complementos carbonosos al estiércol de vaca (SCM) no superior a 1 semana para acrecentar la relación C/N. También se le adicionó cáscara de naranja (OP) para disminuir el pH del compost; donde se mezclaron orujo de uva (GM) y OP con SCM en relación 1:1; mientras la paja de trigo (WS) se mezcló con SCM en proporción 1:2; estas fueron compostadas en contenedores utilizando aireación forzada para

no exceder a temperaturas altas, usando un promedio de 55°C de temperatura considerada óptima para compostaje usado como materia prima sin contenido de patógenos humanos desde el día 1 hasta 80 comprendido entre los períodos termófilos hasta la maduración. Si la temperatura disminuía se aireaba durante 2 min. cada hora y se tomaba la temperatura en cada pila a 40 cm de profundidad. Referente a la humedad se mantuvo entre 50 y 60% en el periodo termófilo y al final entre 40 y 50% sin llegar al punto de lixiviación. Durante la etapa del compostaje se voltearon dos veces con un cargador frontal con el fin de mejorar la homogeneidad.

Compostaje con heces de cerdo y tallos de maíz

De acuerdo a lo investigado por Guo *et al.*, (2010), revisaron que la relación óptima C/N debe ser 25-30 en el inicio del proceso a compostar teniendo en cuenta que se han realizado experimentos con menores valores de C/N con éxito según Kumar, Ou & Lin (2010). Este estudio ensayó con heces de cerdo y tallos de maíz por sus características de baja densidad, es rica en carbono y bajo contenido de humedad apropiada para emplear como agente de carga en el compostaje; se trabajó a diferentes parámetros tomando tres datos:

Tabla 4.

Parámetros evaluados en la investigación del compostaje con heces de cerdo y tallos de maíz

Parámetro	Datos experimentados	Observación	Referencia
Tasa de aireación (AR)	0,24 - 0,48 - 0,72 L kg ⁻¹ materia seca (DM) min ⁻¹	Determina el éxito del compostaje, a mayor aireación se procede a bajos costos y ralentiza el compostaje por pérdidas de calor, agua y amoníaco.	Díaz, Madejon, López, López, Cabrera (2002).
Relación inicial carbono nitrógeno (C/N)	15, 18, 21	Es uno de los factores más importantes que influyen en la calidad del compost. El compostaje a menor relación C/N inicial, aumenta la cantidad de estiércol tratado y acrecienta la pérdida de nitrógeno en forma de gas amoníaco.	Michel <i>et al.</i> , (1996)
Contenido de humedad (MC)	65%, 70%, 75%	El MC óptimo depende de las propiedades fisicoquímicas específicas y las características biológicas de los materiales que se compostan. El MC es importante para transportar los nutrientes disueltos requeridos para las actividades fisiológicas y metabólicas de los microorganismos.	Liang, Das & McClendon (2003)

Fuente: Autores

De acuerdo a los establecido por Moral, Paredes, Bustamante, Marhuenda-Egea & Bernal (2009). Un compost de calidad se mide generalmente por la estabilidad y la madurez en la descomposición de la materia orgánica, lo que permite utilizarlo para recuperadores de suelo y crecimiento de plantas. La estabilidad del compost relaciona la actividad microbiana donde se mide el índice de respiración y la maduración representa la degradación de la materia orgánica con el índice de germinación o bioensayos de las plantas. El compost inestable e inmaduro fija el nitrógeno en el suelo y restringe el crecimiento de la planta compitiendo por oxígeno y liberando sustancias tóxicas (Bernal *et al.*, 2008).

Como resultados se pueden resaltar que la fase termófila fue relativamente larga en los tres ensayos, debido a que la tasa de aireación determinó la estabilidad del compost, la relación C/N fue clave en la maduración del compost y el contenido de humedad intrascendente; para finalmente identificar que los parámetros óptimos para el compostaje fueron RA de 0.48 L kg⁻¹ DM min⁻¹ y una relación C / N de 18 con MC de 65-75%.

Otro tipo de técnicas investigadas en tratamiento de residuos orgánicos

La producción de naranja a nivel mundial es del 50% para el continente americano y en México particularmente representa el 6,17% de acuerdo a lo investigado por Ayala *et al.*, (2016); por tanto un estudio realizado con este tipo de residuo para la obtención de azúcares como una alternativa para el aprovechamiento por medio de la hidrólisis ácida diluida y utilizando H₂SO₄ en 0,5% - 1,5% w/w se obtuvo concentraciones de glucosa de hasta 18,9 g/l; esto debido a que la cáscara de naranja puede contener azúcares como la glucosa de polímeros hemicelulósicos dado que está compuesta por 16,90% de azúcar, 3,75% almidón, 9,21% celulosa, 10,50% hemicelulosa, 0,85% lignina, 42,50%

pectinas, 3,50% cenizas, 6,50% de proteína y 4,80% de aceite esencial cuyo componente más representativo es el limoneno con una alta concentración de alrededor el 90%. Según Wilkins, Suryawati, Maness & Chrz (2007), en la cáscara se podría encontrar aproximadamente un 5,35 kg de aceite esencial por cada tonelada de naranja. Para Hull, Lindsay & Baier (1953); todo esto puede ser usado como materia prima para la reconversión del producto en biogás o bioetanol para la obtención de energías limpias. Por su parte Negro, Mancini, Ruggeri & Fino (2016), opinan que ser estimados como un recurso renovable para la obtención de biocombustibles permitiendo una rentabilidad no solo ambiental sino también económica por la transformación de los residuos cítricos.

Un estudio desarrollado en Irán por Taghizadeh-Alisarai, Hasan Hosseini, Ghobadian & Motevali (2017), analizaron la viabilidad de producir biocombustibles a partir de residuos cítricos, debido a que los cultivos son desaprovechados en un 20 a 30% por la carencia de sitios donde almacenarlos o realizarles un mantenimiento, pues su mayor uso es la preparación de jugos.

La investigación presenta las cáscaras de naranja como la materia prima perfecta para la transformación a Biocombustibles como el etanol y el biogás porque contienen polímeros de carbohidratos solubles e insolubles tal como lo explicó Wikandari *et al.*, (2014); el objetivo de este trabajo fue encontrar formas óptimas desde la industria procesadora Citrus las diferentes alternativas para la producción de biomasa con cítricos frescos estableciendo la rentabilidad por medio del tipo y la cantidad de residuos generados, teniendo en cuenta diferentes métodos como lo son: el potencial de biocombustibles, fermentación, digestión y pirolisis.

A continuación se presenta una figura respecto a la producción mecanismos de producción más

limpia que se pueden implementar en la industria procesadora de cítricos, con el fin de mitigar los impactos ambientales, sociales y económicos a partir de la reconversión del producto.

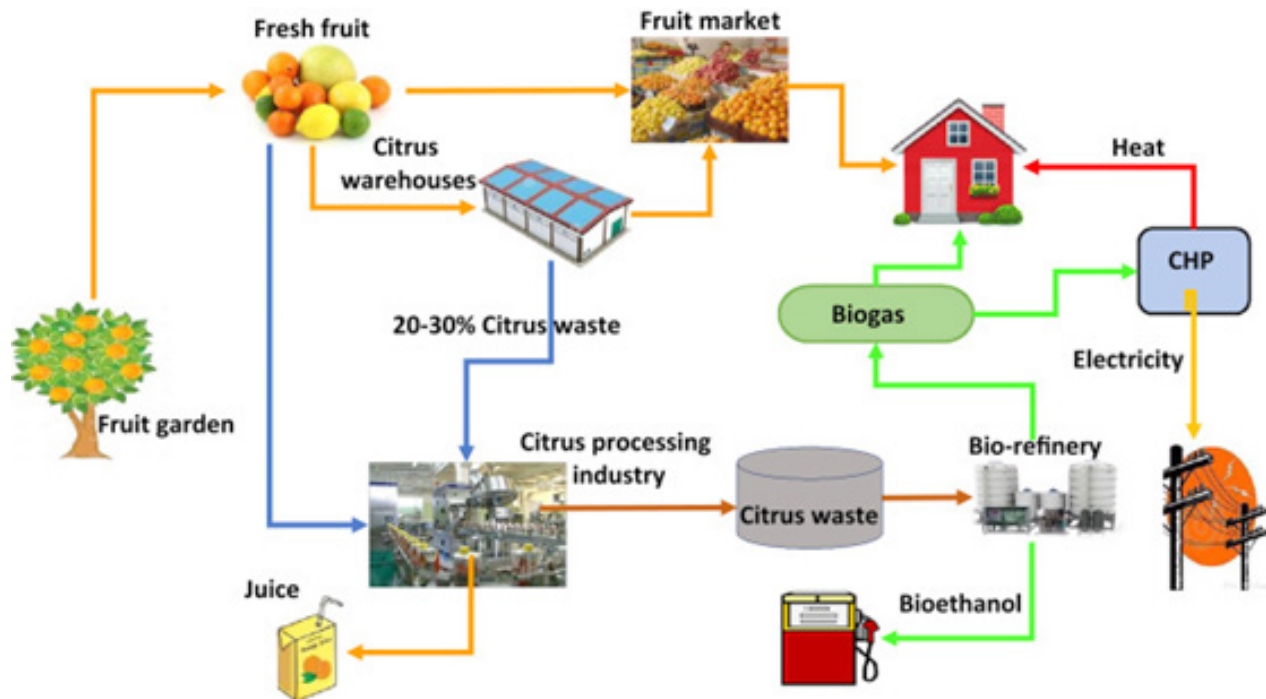


Figura 9. Alternativas de tratamiento de residuos cítricos aprovechados a partir de diferentes métodos de transformación

Fuente: Taghizadeh-Alisarai *et al.*, (2017).

Según Benítez (2016), la industria colombiana desecha de 15 a 25 toneladas semanales de cáscara de naranja para la producción de jugos cítricos, las cuales actualmente están siendo dispuestas a los rellenos sanitarios generando gases de efecto invernadero al aire que contribuyen al calentamiento global. La idea del proyecto de investigación es extraer de los residuos de la naranja para la producción de pectina y el limoneno que son componentes naturales, utilizados para espesar jugos y la creación de perfumes y maquillaje respectivamente; también su importancia radica en que estos componentes ayudan a combatir el colesterol y el flujo intestinal aportando beneficios a la salud de las personas.

Robles-Martínez, Ramírez-Sánchez, Piña-Guzmán & Colomer-Mendoza (2010), estudiaron el efecto de adicionar agentes

estructurantes (AE) en residuos hortícolas con una mezcla de seis residuos orgánicos tales como jitomate, piña, plátano, lechuga, naranja y papaya donde se depositaron en recipientes de plástico 3,5 kg de cada fruta, en la Central de abasto de la ciudad de México.

Una condición de interés para este tipo de residuos fue el alto contenido de humedad durante la descomposición aerobia de los residuos orgánicos, por esto se les adicionó agentes estructurantes como la viruta de madera y el lirio acuático los cuales fueron picados a un tamaño de 0,5 a 1 cm y secados en una estufa a un calentamiento de 60°C durante 24 horas para luego ser mezclados en una proporción 6:1 (seis de viruta y uno de lirio acuático). El diseño experimental se realizó durante 35 días donde se tuvieron en cuenta proporciones de 0%, 5%, 10%, 15% y 20% de agente estructurante sobre el índice de lixiviados medidos con una probeta

graduada de 100 ml a las 8:00, 14:00 y 20:00 horas. Las condiciones de humedad en los parámetros estudiados fue en un 90% durante todo el proceso a la que no uso AE, en el ensayo del 5 y 10% genero malos olores debido a que la pérdida de agua dificultaba la aireación del material permitiendo condiciones anaerobias, el rango de 10 y 20% alcanzo su optimización en el 15% en condiciones de humedad del 45 a 60% a los 23 días.

Además cabe resaltar que el lirio acuático fue degradado con la materia orgánica a los 35 días del experimento mientras que la viruta de madera se evidenciaba partículas sin descomposición debido a su contenido de lignina y celulosa. Los mejores resultados en el control de la generación de lixiviados fueron con el 15% de material texturizante. Así mismo para los cinco ensayos la temperatura fue 35°C para los dos primeros días del proceso, posteriormente se mantuvo en 17 a 28°C a temperatura ambiente, sin embargo esto no impidió la degradación de la materia orgánica.

El pH para todos en los primeros seis días fue ácido entre 3 y 6, pero después de los diez días ascendió a 9 debido a los ácidos orgánicos presentes en los residuos hortícolas que días más tarde fueron neutralizados para las cuatro muestras que contenían los agentes estructurantes; solamente siguió estando con pH bajo la que no presentaba AE debido a que posiblemente la combinación de altas temperaturas con bajo pH fuese un factor adverso.

Otra investigación realizada por Mosos, Cadavid & Agudelo (2012), con residuos de frutas y verduras en restaurantes de Palmira fue conocer el potencial de energía para la generación de biogás teniendo como base que la producción de los residuos orgánicos en Colombia son aproximadamente de un 65% según cifras reveladas por el Ministerio de Ambiente, Vivienda y desarrollo territorial

(2008); el experimento se desarrolló durante treinta días donde se realizó la aclimatación a 37°C los residuos de verduras y frutas para posteriormente utilizar la técnica de Potencial Bioquímico de Metano (BMP) durante sesenta días donde se analizaron las muestras compuestas líquidas para la determinación de sólidos totales y volátiles, así como ácidos grasos volátiles y alcalinidad. También se estableció por el método de cromatografía de gases para la medición de biogás a partir de la técnica de desplazamiento del líquido. Los resultados fueron satisfactorios con un pH neutro, un 48% de remoción de sólidos volátiles (SV), la alcalinidad total de 900 a 1650 mg/lit de CaCO₃ y el potencial de producción de biogás fue de 560 ml por gramo de SV, por lo que el estudio resaltó que la digestión anaeróbica es una alternativa viable en los residuos de frutas y verduras porque por cada kilogramo de SV digeridos se lograron producir hasta 4,5 Kw/h aprovechables para la preparación de alimentos, producción de gas, etc.

Otro tratamiento para la descomposición de los residuos orgánicos de la plaza de mercado de Manizales según Cardona, Sanchez, Ramírez & Álzate (2004), analizaron diferentes métodos para la transformación de residuos orgánicos uno de estos fue la producción de biogás y compost a partir de residuos de cascara de papa, yuca, plátano, naranjas, mandarinas, papaya y banano en su mayoría; el cual comprobó en la digestión anaerobia para la producción de biogás que por cada kilogramo de residuos aprovechados se generaban 4L a una temperatura aproximada de 37°C. En el compost evaluó resultados de relación C/N de 23,8 y 3,14% inicialmente, pero a los diez días después la relación bajo para el carbono y aumento para el nitrógeno en 16,6 y 4,17% respectivamente; teniendo en cuenta que lo recomendado por Monroy & Viniegra (1990), es de 30 partes de carbono por una de nitrógeno.

Así como el pH paso de 7,6 en su etapa inicial a 6,0 debido a la producción de ácido láctico

neutralizando el amoníaco que se desprendió en la disminución de la relación C/N, es por esto que el estudio sugiere mezclar los residuos de frutas y hortalizas con materiales ricos en carbono tales como paja, pasto, aserrín o papel.

Discusión

En cuanto al análisis de la dinámica del compostaje de los residuos cítricos con aireación forzada y por volteo manual, se encontró que la temperatura en los tratamientos evaluados presenta fluctuaciones mínimas; el tratamiento con aireación forzada alcanzó temperaturas del rango termófilo y dio inicio a la etapa de enfriamiento primero que el tratamiento de volteo manual, coincidiendo con el estudio realizado por Varnero, Galleguillos & Rojas (2011), en compostaje de alperujo; sin embargo, la estabilización del material se realizó a la par. En parámetros como pH, materia orgánica y carbono orgánico los dos tratamientos presentaron un comportamiento similar; no obstante, en el tratamiento de aireación por volteo manual, se presentaron pérdidas importantes de compuestos como nitrógeno y potasio, que devalúan su valor nivel comercial. Este resultado es producto de fenómenos de lixiviación en la masa (Bueno, Díaz & Cabrera, 2008), ya que presenta mayores valores de humedad y un descenso importante de la conductibilidad eléctrica.

El compost de residuos cítricos en comparación con el compost de los residuos de paja de trigo y bagazo de caña, presentó mayores valores de los nutrientes como: nitrógeno, potasio y fósforo; en contraste, con el más bajo Índice de Germinación (IG) de sus extractos acuosos a diferentes concentraciones. Lo que indica que después de 180 días del proceso de compostaje de cítricos sin aditivos, el material aún tenía el grado de madurez química requerido para ser usado como abono. Estos efectos fitotóxicos se deben a diversos factores, entre los cuales destacan los contenidos de amonio, de ácidos volátiles orgánicos, de metales pesados

y de sales (Varnero, Rojas & Orellana, 2007), también se han relacionado principalmente con el pH y la conductividad eléctrica de los sustratos (Zubillaga, Branzini & Lavado, 2008).

Ahora bien, en el compostaje de cáscara de naranja donde se realizó la investigación para identificar el índice de germinación con semillas de rábano la cual arrojó los mejores resultados, cebada y brócoli con relación de diferentes medidas de saturación y bioensayos de fitotoxicidad el pH se incrementó hasta 7,2 adicionándole hidróxido de calcio; así mismo la relación C/N de 18,12 disminuyó durante la biodegradación debido a la pérdida de C en forma de CO₂, el fósforo (3.8%) y potasio (0.7%) demostró la mayor concentración. Con base a la fitotoxicidad presentó el menor índice de germinación con un valor de 28,51 con relación a 60 que es el valor como mínimo establecido (Aggelis *et al.*, 2002); por lo que es considerado fitotóxico, debido a diversos factores tales como acumulación de ácidos orgánicos generado por microorganismos, la inmovilización de nitrógeno y la presencia de metales pesados.

La adición de hidróxido de calcio como pretratamiento en el compostaje de residuos de naranja, aumentó el pH de 4,1 a 6,3; y la temperatura de 25°C a 60°C y 49°C en 5 días a una profundidad de 30 y 5 cm en la pila, comportamiento que coincide con lo reportado por Torres, Madera & Martínez (2008).

Además, durante el proceso se presentó un descenso de más del 70% en la relación C/N, la cual es un factor determinante y restrictivo en la calidad y usos del compost, aunque estudios han demostrado que la tasa de aireación es el factor más importante que afecta significativamente la pérdida de nitrógeno por volatilización como NH₃, Jiang, Schuchardt, Li, Guo & Zhao (2011), aclararon que una relación C/N baja al inicio del proceso también aumentan las pérdidas de nitrógeno como NH₃ y genera más emisiones de CH₄, que el exceso de humedad.

Los estudios de compostaje a base de residuos cítricos con diferentes porcentajes de residuos de poda, muestran que las diferencias en los parámetros fisicoquímicos, no son relevantes; no obstante, las concentraciones de los metales pesados difieren. Se estima que se debe a que los metales pesados estuvieron presentes a mayor concentración en la materia prima; no obstante, basados en la NTC 5167, dichos parámetros están dentro del rango permisible, a nivel internacional el compost producto de la mezcla de 75% de residuos de naranja y 25% de residuos de poda (C₂) para países como España regulado con el Real Decreto 506 del 2013, el parámetro que está por encima del límite es el cromo hexavalente; hay que mencionar, además que presenta un elevado contenido de cadmio y níquel clasificándolo como compost de Clase B; por otra parte para Chile, regulado por la norma NCh3382 del 2016 el valor de níquel estaría por arriba del límite permisible.

Rodríguez *et al.*, (2012), afirman que la importancia de estos compuestos al estar presentes por encima de los límites máximos permisibles en los sustratos, es que no deben ser empleados para la producción de alimentos ya que estos metales se trasladan a los órganos comestibles de las hortalizas cultivadas en ellos, en cantidades perjudiciales para la salud humana, además alteran el equilibrio biológico en los suelos y pueden afectar al rendimiento de los cultivos y la salud animal.

Esta revisión identificó importantes directrices en el aprovechamiento de los residuos de naranja en compostaje con diferente tipo de métodos experimentados a nivel mundial, así como las tecnologías implementadas en la obtención de nuevos productos a partir de los desechos cítricos como lo son la producción de jugos, la refinación de biogás y bioetanol empleados como combustibles para el hogar, el transporte vehicular o la generación de energía.

Dentro de las diversas alternativas presentadas para el tratamiento del orujo

de naranja como materia prima se destaca la conversión a biogás, debido a que en la provincia de Manzadaran en Irán se producen aproximadamente 1.265.975,95 t de cítricos, los cuales generan 682.987,97 t de desechos. Los resultados mostraron que los desechos producidos a partir de cítricos tienen un buen potencial para la producción de biocombustibles en Irán. El etanol y el biogás producidos a partir del orujo de naranja se estiman en 26,98 millones de litros y 37,08 millones de m³, respectivamente según Taghizadeh-Alisaraei *et al.*, (2017).

Los métodos mencionados en el presente artículo revelan que se puede reducir el impacto ambiental en la generación de residuos cítricos especialmente los de naranja, con el tratamiento de compostaje a partir de diferentes agentes estructurantes experimentados para la descomposición de la materia orgánica, analizando tiempos de degradación, el comportamiento de la temperatura, humedad, pH y la relación C/N primordialmente con motivo de evidenciar los resultados de la calidad del compost e identificar su uso para cultivos, retención y/o recuperación de suelos. También se revisó que la extracción de la pectina y el D-limoneno en la naranja a partir de la técnica de deshidratación ayudan a acelerar el tiempo de desintegración del cítrico, así como los beneficios que se presentan a partir de la elaboración de nuevos productos útiles en la cosmética y en el campo de la medicina.

Referencias

- Aggelis, G., Ehaliotis, C., Nerud, F., Stoychiev, I., Lubertos, G., & Zervakis, G. (2002). Evaluation of white-rot fungi for detoxification and decoloration of effluents from the green olives debittering process. *Appl. Microbiol. Biotechnol*, 59(2-3), 353-360. doi:10.1007/s00253-002-1005-9

- Agüero, D. & Terry, E. (2014). Generalidades de los abonos orgánicos: importancia del bocashi como alternativa nutricional para suelos y plantas. *Cultivos Tropicales*, 35(4), 52-59.
- Artavia, S., Uribe, L., Saborío, F., Arauz, L., & Castro, L. (2010). Efecto de la aplicación de abonos orgánicos en la supresión de *Pythium myriotylum* en plantas de tiquisque (*Xanthosoma sagittifolium*). *Agronomía Costarricense*, 34 (1), 17-29.
- Ayala, J.R., Montero, G., Campbell, H.E., Sagaste, C.A., León, J.A., Coronado, M.,... Torres, R. (2016). Aprovechamiento de los residuos de cáscara de naranja para la obtención de azúcares. En Memorias del XXXVII Encuentro Nacional de la AMIDIQ. *Nuevas tecnologías y tendencias en la ingeniería química* (pp. 224-228). Puerto Vallarta, México: Academia Mexicana de Investigación y Docencia en Ingeniería Química.
- Behzad, S., & Keikhosro, K. (2018). Citrus processing wastes: Environmental impacts, recent advances, and future perspectives in total valorization. *Resources, Conservation and Recycling*, 129, 153-167. doi: <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2017.10.032>
- Benítez, N. (14 de mayo de 2016). Con cáscaras de naranja quieren mejorar la industria y el ambiente colombiano. *La Opinión*. Recuperado de: <https://www.laopinion.com.co/economia/con-cascaras-de-naranja-quieren-mejorar-la-industria-y-el-ambiente-colombiano-108367#OP>
- Bernal, A., Ros, M., Tittarelli, F., Intrigliolo, F., & Pascual, J. A. (2008). Citrus compost and its water extract for cultivation of melon plants in greenhouse nurseries. Evaluation of nutriactive and biocontrol effects. *Bioresource technology*, 99 (18), 8722-8728. doi: <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2008.04.019>
- Bueno, P., Díaz, M.J., & Cabrera, F. (2008). Factores que afectan al proceso de Compostaje. En J. Moreno. (Ed.), *Compostaje* (pp. 93-109). Madrid: Ediciones Mundi-Prensa.
- Campitelli, P., Ceppi, S., Velasco, M., & Rubenacker, A. (2014). *Compostaje. Obtención de abonos de calidad para las plantas*. Córdoba, Colombia: Editorial Brujas.
- Cardona, C., Sánchez, O., Ramírez, J., & Álzate, L. (2004). Biodegradación de residuos orgánicos de plazas de mercado. *Revista Colombiana de Biotecnología*, 6 (2), 78-89.
- Cerda, A., Artola, A., Font, X., Barrena, R., Gea, T., & Sánchez, A. (2018). Composting of food wastes: Status and challenges. *Bioresource Technology*, 248 (Part A), 57-67. doi: <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2017.06.133>
- Cerón, I. & Cardona, C. (2011). Evaluación del proceso integral para la obtención de aceite esencial y pectina a partir de cáscara de naranja. *Ingeniería y Ciencia*, 7(13), 65-86.
- Crawshaw, R. (2001). *Co-product feeds: animal feeds from the food and drinks industries*. Nottingham, England: Nottingham University Press.
- Díaz, M.J., Madejon, E., López, F., López, R., & Cabrera, F. (2002). Optimization of the rate vinasse/grape marc for co-composting process. *Process*

- Biochemistry*, 37(10), 1143-1150. [https://doi.org/10.1016/S0032-9592\(01\)00327-2](https://doi.org/10.1016/S0032-9592(01)00327-2)
- Escobar, N., Mora, J., & Romero, N. J. (2012). Identificación de poblaciones microbianas en compost de residuos orgánicos de fincas cafeteras de Cundinamarca. *Boletín Científico. Centro de Museos. Museo de Historia Natural*, 16 (1), 75-88.
- Estrada, E. (2010). *Manual Elaboración de Abonos Orgánicos Sólidos, Tipo Compost*. Guatemala, Quetzaltenango: ICTA-CIAL.
- Fernández, L., Zalba, P., Gómez, M., & Sagardoy, M. (2005). Bacterias solubilizadoras de fosfato inorgánico aisladas de suelos de la región sojera. *Ciencia del suelo*, 23 (1), 31-37.
- Gelsomino, A., Abenavoli, M., Princi, G., Attinà, E., Cacco, G., & Sorgonà, A. (2010). Compost from Fresh Orange Waste: A Suitable Substrate for Nursery and Field Crops? *Compost Science & Utilization*, 18 (3), 201-210. <https://doi.org/10.1080/1065657X.2010.10736956>
- Ghobadian, B. (2012). Liquid biofuels potential and outlook in Iran. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 16 (7), 4379-4384. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2012.05.013>.
- Guo, R., Li, G., Jiang, T., Schuchardt, F., Chen, T., Zhao, Y., & Shen, Y. (2010). Effect of aeration rate, C/N ratio and moisture content on the stability and maturity of compost. *Bioresource Technology*, 112, 171-178. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2012.02.099>
- Hawksworth, D.L., Kirk, P.M., Sutton, B.C., & Pegler, D.N. (1995). *Ainsworth & Bisby's Dictionary of the Fungi*. Wallingford: CAB International.
- Hull, W., Lindsay, C., & Baier, W. (1953). Chemicals from oranges. *Industrial & Engineering Chemistry*, 45 (5), 876-890. doi: 10.1021/ie50521a018
- Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación – ICONTEC (2011). *Productos para la industria agrícola. Productos orgánicos usados como abonos o fertilizantes y enmiendas o acondicionadores de suelo*. Recuperado de: <https://tienda.icontec.org/wp-content/uploads/pdfs/NTC5167.pdf>
- Isaza-Arias, G., Pérez-Méndez, M., Laines-Canepal, J., & Castañón-Nájera, G. (2009). Comparación de dos técnicas de aireación en la degradación de la materia orgánica. *Universidad y ciencia*, 25 (3), 233-243.
- Jiang, T., Schuchardt, F., Li, G., Guo, R., & Zhao, Y. (2011). Effect of C/N ratio, aeration rate and moisture content on ammonia and greenhouse gas emission during the composting. *Journal of Environmental Sciences*, 23 (10), 1754-1760. doi: 10.1016/S1001-0742(10)60591-8
- Kalil, S. (2007). *Seguimiento del proceso de humificación del compost inoculado*. (Tesis de pregrado). Pontificia Universidad Javeriana, Bogotá, Colombia.
- Kumar, M., Ou Y.L., & Lin, J.G. (2010). Co-composting of green waste and food waste at low C/N ratio. *Waste Management*, 30 (4), 602-609. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2009.11.023>
- Liang, C., Das, K.C., & McClendon, R.W. (2003). The influence of temperature

- and moisture contents regimes on the aerobic microbial activity of a biosolids composting blend. *Bioresource Technology*, 86 (2), 131-137. [https://doi.org/10.1016/S0960-8524\(02\)00153-0](https://doi.org/10.1016/S0960-8524(02)00153-0)
- Liu, T., Mcconkey, B., Huffman, T., Smith, S., MacGregor, B.,... Kulshreshtha, S. (2014). Potential and impacts of renewable energy production from agricultural biomass in Canada. *Applied Energy*, 130, 222-229. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2014.05.044>
- López, X., Robles, C., Velasco, V., Ruiz, J., Enríquez, J., & Rodríguez, G. (2015). Propiedades físicas, químicas y biológicas de tres residuos agrícolas compostados. *Ciencia Ergo Sum*, 22 (2), 145-152.
- Michel, F., Forney, L., Huang, A., Drew, S., Czuprendski, M., Lindeberg, J.D, & Reddy, C. (1996). Effects of Turning Frequency, Leaves to Grass Mix Ratio and Windrow vs. Pile Configuration on the Composting of Yard Trimmings. *Compost Science & Utilization*, 4 (1), 126-143. <https://doi.org/10.1080/1065657X.1996.10701816>
- Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial – MAVDT (2008). *Estudios y Proyectos Ambientales y Mecánicos–. Manual 1: Generalidades*. Bogotá: MADVT.
- Monroy, O., & Viniegra, G. (1990). *Biología para el aprovechamiento de los desperdicios orgánicos*. México: A.G.T. Editor.
- Moral, R., Paredes, C., Bustamante, M.A., Marhuenda-Egea, F., & Bernal, M.P. (2009). Utilisation of manure composts by high-value crops: Safety and environmental challenges. *Bioresource Technology*, 100, 5454–5460. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2008.12.007>
- Moscoso, W., Cadavid, L., & Agudelo, A. (2012). Potencial de biogás de residuos de frutas y verduras provenientes de restaurantes de Palmira. *Acta Agronómica*, 61(5), 97-98.
- Muñoz, J.M., Muñoz, J.A., & Montes, C. (2015). Evaluación de abonos orgánicos utilizando como indicadores plantas de lechuga y repollo en Popayán, Cauca. *Biología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial*, 13 (1), 73-82.
- Negro, V., Mancini, G., Ruggeri, B., & Fino, D. (2016). Citrus waste as feedstock for bio-based products recovery: Review on limonene case study and energy valorization. *Bioresource Technology*, 214, 806-815. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2016.05.006>
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura - FAO (2014). *FAO Recuperado de: http://www.faostat.org/*
- Pourbafrani, M., Forgács, G., Horváth, I. S., Niklasson, C., & Taherzadeh, M. J. (2010). Production of biofuels, limonene and pectin from citrus wastes. *Bioresource Technology*, 101 (11), 4246-4250. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2010.01.077>
- Raviv, M., Oka, Y., Katan, J., Hadar, Y., Yogeve, A., Medina, S.,... Ziadna, H. (2005). High-nitrogen compost as a medium for organic container-grown crops. *Bioresource Technology*, 96(4), 419-427. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2005.07.011>
- Real Decreto 506 (2013). *Productos fertilizantes*. Recuperado de: <https://www.boe.es/buscar/doc.php?id=BOE-A-2013-7540>

- Red Española de Compostaje (2015). *De residuo a recurso, el camino hacia la sostenibilidad. II Procesos de biotransformación de la materia orgánica. Aspectos biológicos de la estabilización aeróbica*. Madrid, España: S.A. Mundi-Prensa
- Robles-Martínez, F., Ramírez-Sánchez, I., Piña-Guzmán, A., & Colomer-Mendoza, F. (2010). Efecto de la adición de agentes estructurantes a residuos hortícolas en tratamientos aerobios. *Ingeniería Agrícola y Biosistemas*, 2 (1), 45-51. doi:10.5154/r.inagbi.2010.08.010
- Rodríguez, M., Muñiz O., Calero, B., Montero, A., Martínez F., Limeres, T.,... Aguilar, A. (2012). Contenido de metales pesados en abonos orgánicos, sustratos y plantas cultivadas en organopónicos. *Cultivos Tropicales*, 33 (2), 5-12.
- Ruiz, B., & Flotats, X. (2016). Effect of limonene on batch anaerobic digestion of citrus peel waste. *Biochemical Engineering Journal*, 109, 9-18. doi: <https://doi.org/10.1016/j.bej.2015.12.011>
- Sánchez, O. J., Ospina, D. A., & Montoya, S. (2017). Compost supplementation with nutrients and microorganisms in composting process. *Waste management* (New York, N.Y.), 69, 136-153. doi: <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2017.08.012>
- Sánchez, T. M. (2009). Caracterización microbiológica del proceso de compostaje a partir de residuos azucareros microbial. *Agronomía Tropical*, 59 (3), 309-316.
- Sauri, M., & Castillo, E. (2002). Utilización de la composta en procesos para la remoción de contaminantes. *Ingeniería Revista Académica*, 6 (3), 55-60.
- Sharma, K., Mahato, N., Hwan Cho, M., & Rok Lee, Y. (2017). Conversión de residuos de cítricos en productos de valor agregado: enfoques económicos y amigables con el medioambiente. *Nutrición*, 34, 29-46. <https://doi.org/10.1016/j.nut.2016.09.006>
- Siles, J. A., Vargas, F., Gutiérrez, M. C., Chica, A. F., & Martín, M. A. (2016). Integral valorisation of waste orange peel using combustion, biomethanisation and co-composting technologies. *Bioresource Technology*, 211, 173-182. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2016.03.056>
- Taghizadeh-Alisaraei, A., Hasan Hosseini, S., Ghobadian, B., & Motevali, A. (2017). Biofuel production from citrus wastes: A feasibility study in Iran. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 69, 1100-1112. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2016.09.102>
- Tejada, M., Dobao, M., Benitez, C., & Gonzalez, J. (2001). Study of composting of cotton residues. *Bioresource Technology*, 79 (2), 199-202. doi: [https://doi.org/10.1016/S0960-8524\(01\)00059-1](https://doi.org/10.1016/S0960-8524(01)00059-1)
- Torres, P., Madera, C.A., & Martínez, G.V. (2008). Estabilización alcalina de biosólidos compostados de plantas de tratamiento de aguas residuales domésticas para aprovechamiento agrícola. *Revista Facultad Nacional de Agronomía Medellín* 61(1), 4432-4444.
- Van Heerden, I., Cronjé, C., Swart, S.H., & Kotzé, J.M. (2002). Microbial, chemical and physical aspects of citrus waste composting. *Bioresource Technology*, 81, 71-76. [https://doi.org/10.1016/S0960-8524\(01\)00058-X](https://doi.org/10.1016/S0960-8524(01)00058-X)
- Varma, V.S., Das, S., Sastri, C.V., & Kalamdhad, A.S. (2017). Microbial degradation of

- lignocellulosic fractions during drum composting of mixed organic waste. *Sustainable Environment Research*, 27 (6), 265-272. doi: <https://doi.org/10.1016/j.serj.2017.05.004>
- Varnero, M. T., Galleguillos, K., & Rojas, R. (2011). Sistemas de Compostaje para el Tratamiento de Alperujo. *Información tecnológica*, 22 (5), 49-56. doi: <https://dx.doi.org/10.4067/S0718-07642011000500007>
- Varnero, M.T., Rojas, C., & Orellana, R. (2007). Índices de fitotoxicidad en residuos orgánicos durante el compostaje. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition*, 7 (1), 28-37.
- Wikandari, R., Millati, R., Cahyanto, M.N., Taherzadeh, M.J. (2014). Producción de biogás a partir de residuos de cítricos por biorreactor de membrana. *Membranas*, 4, 596-607. doi:10.3390/membranes4030596
- Wilkins, M.R., Suryawati, L., Maness, N.O., & Chrz, D. (2007). Producción de etanol por *Saccharomyces cerevisiae* y *Kluyveromyces marxianus* en presencia de aceite de cáscara de naranja. *Mundo J. Microbiol. Biotechnol.*, 23, 161-1168. doi:10.1007/s11274-007-9346-2
- World Energy Council form sustainable energy (2014). *Consejo Mundial de la Energía. La red de líderes del sector energético que promueve el suministro y uso sostenible de la energía en beneficio de todos*. Recuperado: <https://www.worldenergy.org/about-wec/brochure/es/>.
- Yepes, S., Montoya, L., & Orozco, F. (2008). Valorización de residuos agroindustriales – frutas – en Medellín y el sur del valle del aburrá, Colombia. *Revista Facultad Nacional de Agronomía Medellín*, 61(1), 4422-4431.
- Zubillaga, M.S., Branzini, A., & Lavado. R. S. (2008). Problemas de fitotoxicidad en compost. *Revista Pilquen, sección agronomía*, 9, 1-9.