

Manejo sostenible de subproductos agroindustriales y estrategias tecnológicas de bioconversión

Sustainable management of agro-industrial by-products and technological bioconversion strategies

Teresita de Jesús Debernardi-Vazquez ¹, Noé Aguilar-Rivera ².

¹Universidad Veracruzana, Facultad de Ciencias Biológicas y Agropecuarias. ✉ tjdebernardi@gmail.com

²Universidad Veracruzana, Facultad de Ciencias Biológicas y Agropecuarias. ✉ naguilar@uv.mx

Recibido: 14/07/2019 / Aceptado: 15/12/2020

Resumen Con el propósito de evaluar estrategias sostenibles para obtener biocombustible sólido y abonos a partir de subproductos agroindustriales en contraste con la zonificación agroecológica y expansión de cultivos de Veracruz, México, se probaron métodos de secado con cáscaras de naranja, bagazo de caña y residuos de cosecha. Los experimentos permitieron obtener un biocombustible sólido, con 12,28 % de humedad en 30 días. Se evaluaron seis tratamientos de producción de abono en contenedores plásticos de 30 a 90 días utilizando subproductos: cáscara de naranja, cachaza, vinazas, melazas, cenizas, estiércoles, residuos de cosecha cañera y de producción de hongos comestibles mediante las técnicas de compostaje, vermicompostaje y bocashi. Se obtuvieron abonos con pH entre 5.4 y 12.0, 3% al 70 % de M.O. y relación C/N de 8 a 40. La zonificación agroecológica se realizó con el software Maxent, determinando que las regiones geográficas con mayor aptitud para cultivos de cítricos y caña de azúcar se localizan en el sureste mexicano y en particular el estado de Veracruz. Para caña de azúcar, los factores limitantes a la productividad como materia prima para biorrefinerías, están relacionados con el acceso al agua (precipitación pluvial) y explican el 57,1 % de la simulación. En el caso de cítricos, los factores se relacionan con temperatura, precipitación pluvial y topografía, que en su conjunto impactan el 44,5 %.

Palabras clave: Abonos orgánicos; Biorrefinería; Caña de azúcar; Cítricos; Naranja; Zonificación agroecológica,

Abstract In order to evaluate sustainable strategies to obtain solid biofuel and fertilizers from agro-industrial by-products in contrast to the agroecological zoning and expansion of crops in Veracruz, Mexico, drying methods with orange peels, sugarcane bagasse and crop residues were tested. The experiments to obtain a solid biofuel with 12.28% humidity in 30 days. Six fertilizer production treatments in plastic containers from 30 to 90 days were evaluated using by-products: orange peel, cachaça, stillage, molasses, ashes, manure, sugar cane crop residues and edible mushroom production through composting techniques, vermicomposting and *bocashi*. Fertilizers with pH between 5.4 and 12.0, 3% to 70% of M.O. and C / N ratio from 8 to 40. The agroecological zoning was carried out with the Maxent software, determining that the geographic regions with the greatest aptitude for citrus and sugar cane crops are located in the Mexican southeast and in particular the state of Veracruz. For sugarcane, the limiting factors for productivity as raw material for biorefineries are related to access to water (rainfall) and explain 57.1% of the simulation. In the case of citrus, the factors are related to temperature, rainfall and topography, which together impact 44.5%.

Key words: Agroecological zone; Biorefinery; Citrus; Orange; Organic biofertilizers; Sugar cane.

Introducción

México se caracteriza por la diversidad de climas y suelos que han llevado al desarrollo de diferentes agroindustrias y productos como azúcar de caña, cítricos, maíz, soya, cereales, ganado, etc. El país ocupa el quinto lugar internacional como productor de naranja con 4,04 millones de toneladas anuales. En Veracruz, Tamaulipas y San Luis Potosí se producen 55 %, 12 % y 7 % respectivamente, o el 76 % del total nacional, con un consumo anual per cápita de 37,4 kg (Satari *et al.*, 2018). También ocupa el sexto lugar como productor mundial de caña de azúcar con una superficie de 843,440 ha y una producción de 57.036.691 t caña de azúcar y de sacarosa de 6.425,330 t en la cosecha 2018/2019. Los estados productores más representativos son Veracruz (39,8%), Jalisco (11,6%) y San Luis Potosí (10,5%) con un consumo anual per cápita de 36,7 kg (CONADESUCA, 2019).

En Veracruz, durante la cosecha 2018/2019 en 332,190 ha y 18 ingenios azucareros en las regiones productoras: Noreste (2), Papaloapan-Golfo (8) y Córdoba-Golfo (8) se produjeron 22,512,560 t de caña, 841,040 t de melazas, 17.402.400 L de vinazas de destilería, 6.425.426

t de bagazo y 3.298.737 t de lodo de filtros (cachaza) sin embargo, el 90 % del campo cañero aún se cosecha con quema y el restante 10 % de los residuos de cosecha se emplean como mejorador de suelo o marginalmente en la alimentación pecuaria de supervivencia (CONADESUCA, 2019).

La información sobre la composición y cantidad generada de los residuos y subproductos es limitada para desarrollar nuevas estrategias productivas integrales y cadenas de valor. La manera más común para la disposición final de los mismos es en vertederos a cielo abierto, el compostaje y la incineración, sin embargo, el elevado costo de su manejo y el impacto negativo en el ambiente derivado de la emisión de gases de efecto invernadero son las principales desventajas asociadas al manejo tradicional de los mismos (Senthilkumar *et al.* 2020), dando lugar a importantes pérdidas económicas. En Veracruz, México se generan aproximadamente 30 t/día de residuos en las plantas procesadoras de naranja en desechos compuestos principalmente por ceras, azúcares libres, ácidos orgánicos, polímeros, enzimas, flavonoides, pigmentos, cáscaras, bagazo, semillas y jugo (Figura 1).

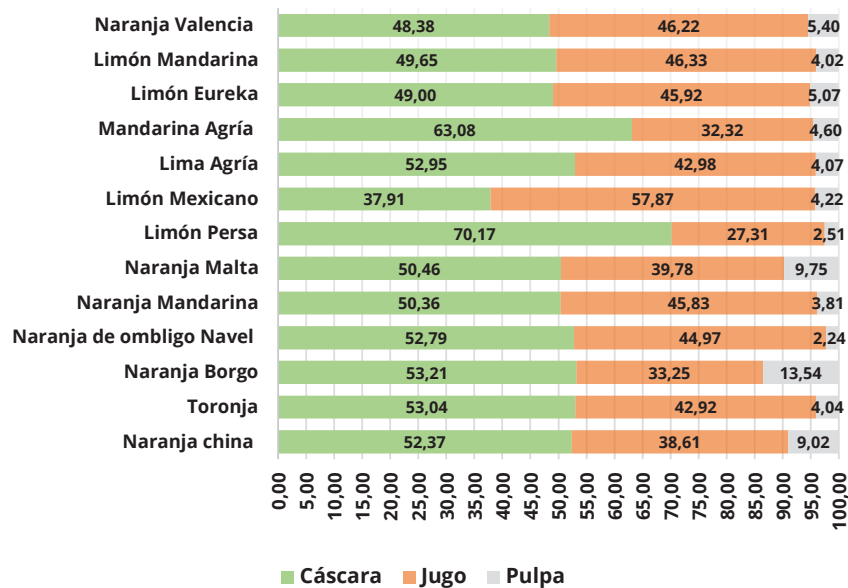


Figura 1. Composición de los cítricos (Determinación experimental en estufa de secado de aire por el método gravimétrico de pérdida de peso)

Martínez-Salvador (2018) concluyó que se requiere la revalorización de subproductos agroindustriales, fortalecimiento de capacidades productivas, administrativas, tecnológicas y procesos de innovación de conversión de subproductos, que se producen en gran cantidad en las etapas de procesamiento, mercado de consumo en fresco, labores del cultivo en la unidad productiva y a futuro, biorrefinerías que transformen, subproductos, materias primas, cultivos con tecnologías químicas, biotecnológicas y térmicas de conversión y estrategias de ciclo cerrado.

Los sistemas de producción agroindustrial generan un volumen importante de subproductos que requieren ser reconvertidos a nuevas cadenas de valor porque su disposición incorrecta genera contaminación ambiental, descomposición química y alta marginación social en las regiones productoras (Teigiserova et al, 2019). Un porcentaje marginal de los mismos es empleado como materia prima para otros procesos (Satari y Karimi, 2018), algunos como alimentación de ganado y compostaje, aunque no utilizan la totalidad de los residuos, por lo que verterlos al aire libre también es una práctica común (De la Torre et al., 2019).

Ante la generación de subproductos, es necesario contar con alternativas tecnológicas, políticas públicas y acuerdos entre *stakeholders* para la generación de bioproductos en ciclo cerrado, a nivel unidad productiva o a futuro en biorrefinerías, que incrementen la sostenibilidad de estas agroindustrias con nuevas cadenas de valor (De la Torre et al. 2019; Joglekar et al. 2019).

El biosecado de biomasa agroindustrial es un proceso que se lleva a cabo mediante la descomposición de subproductos que eliminan humedad del material biodegradable que se transforma en un combustible sólido alternativo al reducir el volumen, impactando directamente en los costos de transporte y disposición final, al ser empleado en procesos de incineración como biocombustible aprovechando su aporte energético. El secado biológico, como tecnología de conversión de residuos en energía, es el uso

del calor liberado durante la descomposición de los residuos biodegradables para reducir el contenido de humedad y estabilizar parcialmente los residuos (Mohammed et al. 2018), reducción de CH_4 , CO_2 , SO_2 , emisión de NO_x (mitigación del calentamiento global), reducción de la masa de residuos, emisión de olor y polvo de los residuos a la atmósfera. Negro et al. (2017) concluyeron que el escenario actual de incineración de subproductos tiene el costo más alto y las estrategias para la producción de biocombustibles de biomasa residual o combinada, son beneficiosos para el medio ambiente, tienen el costo más bajo y deben promoverse.

En el compostaje convencional, los materiales se envían a áreas especiales que forman pilas largas al aire libre, mantenidas durante 90 o más días en reposo para degradar el material orgánico. Por otro lado, la *cenichaza*, producto de la mezcla mecánica no homogénea de cachaza y ceniza de la quema de bagazo en las calderas de los ingenios; se utiliza como complemento de los programas de fertilización química. Su evaluación y usos en las zonas cañeras de México no está difundido y no existen estudios sobre el compostaje de *cenichaza* con otros subproductos de la agroindustria azucarera, por eso es importante su evaluación (López Bravo et al., 2017). Por otro lado, las técnicas de vermicompostaje o lombricompostaje, son técnicas para la transformación de residuos perecederos en abono rico en nutrientes mediante el uso de lombrices de tierra (*Eisenia foetida*). El Bocashi se prepara con subproductos de origen animal y/o vegetal, estiércol, pajas, cascarillas etc., mezclados con tierra o cachaza junto con cal agrícola, cenizas de combustión, levaduras y melaza (Quiroz y Céspedes, 2019; Barthod et al. 2018). Es decir, el bocashi es un abono orgánico que se puede obtener de acuerdo con las materias primas disponibles en la región.

La agricultura sostenible depende críticamente de las generaciones jóvenes, que deberán ligar las prácticas industriales con su formación profesional y serán los responsables de descubrir y transformar las prácticas

agrícolas (Barrios et al. 2020). El objetivo de esta investigación fue evaluar estrategias tecnológicas, a nivel unidad productiva local, que permitieran reconvertir subproductos que se generan durante el procesamiento de la naranja de jugo y caña de azúcar, principales agroindustrias de Veracruz, México, los cuales son considerados en la normatividad mexicana (NOM-061-SEMARNAT-2011) como residuos de manejo especial debido al volumen que se generan y a su composición, en dos opciones: biocombustible rural o industrial mediante la técnica de biosecado y producción de abonos o composta para suelos agrícolas, como opciones productivas a corto plazo. Además, se llevó a cabo una zonificación agroecológica para determinar la expansión potencial de estos cultivos de manera sostenible para futuras biorrefinerías integrales, para otras producciones de mayor complejidad y valor agregado apoyadas en I+D+i, inversiones y políticas públicas.

Materiales y métodos

Biocombustible y biosecado

Este método a nivel finca rural permitió obtener un material seco con potencial de biocombustible sólido en un invernadero construido de plástico y materiales de la región. Para su desarrollo se construyó una pila semi estática compuesta de cáscara de naranja (50%), bagazo de caña (25%) y residuos de cosecha cañera verdes (25%). La pila se elaboró con una estructura o forma piramidal rectangular. El bagazo y los residuos de cosecha cañera se obtuvieron de un ingenio azucarero y cañaveral de la región de Córdoba, Veracruz, México, de la cosecha 2018/2019.

El bagazo se empleó como material estructurante para la generación de poros dentro de matriz interna de la pila y favorecer el intercambio gaseoso en la misma. La humedad inicial de la pila con todos los elementos fue de 87,72%. La pila se formó con una disposición piramidal-rectangular con base inferior de

1,40 m x 1,80 m, una altura de 0,8 m y una base superior de 0,7 m x 1,2 m; esta estructura se mantuvo durante los volteos efectuados al material, mismos que se realizaron semanalmente para promover el proceso de aireación, hasta concluidos 30 días de acuerdo a Debernardi-Vazquez et al (2020). El volteo permitió favorecer la pérdida de agua derivada del intercambio gaseoso y la descomposición de los materiales de la pila, al mismo tiempo, la aireación del sustrato para generar las condiciones idóneas que permitieron el desarrollo de los microorganismos termófilos en el interior de la pila (Soto-Paz et al. 2019; Azim et al. 2018). Durante el proceso llevado a cabo por triplicado se monitoreó la temperatura en la superficie, el centro y la base de la pila, así como la pérdida de humedad del sustrato para el control del experimento. (Figura 2).



Figura 2. Formación de pila de biosecado y producto final

Compostaje

Para el proceso de compostaje se siguieron diferentes etapas: vermicomposta se utilizaron cajas de madera (barras) o plástico de 30 kg, bolsas de polietileno negras, pala mezcladora, y lombrices rojas de California (*Eisenia foetida*). Para el bocashi se emplearon contenedores con capacidad de 100 L, los materiales utilizados fueron cachaza, bagazo de caña, melaza y ceniza gris de un ingenio azucarero local, estiércol de vacuno, cal agrícola y levadura de panadería diluida en agua; se mezclaron hasta obtener una mezcla homogénea. Cada técnica se llevó a cabo por triplicado (Figura 3).



Figura 3. Abonos orgánicos de subproductos agroindustriales

Se realizó en los tres tratamientos una irrigación del litro y medio de agua por sistema cada tres días. Transcurridos 15 días del tratamiento, se tomaron muestras para comparar degradación, textura y color. Este proceso se llevó a cabo

durante 3 meses para el vermicompostaje y 30 días para el bocashi. En el caso de la composta se efectuó una pila con las mismas dimensiones que el biosecado y la misma composición. Se efectuó un volteo semanal con irrigación para mantener la humedad de la pila en el rango de 55 a 65% e incorporar el sustrato de tal manera que se favoreciera la descomposición aerobia del mismo y evitar la formación de malos olores debido a procesos anaerobios (Medina-Salas et al. 2020). En la pila de composta se determinó el pH y la temperatura del centro de la pila. Al final de los procesos se realizó el análisis de composición de nutrientes y micronutrientes en base a la Norma Oficial Mexicana NOM-021-RECNAT-2000 y NMX-FF-109-SCFI-2008.

Zonificación agroecológica de caña de azúcar y naranja

Se emplearon datos de las coordenadas geográficas de los municipios con producción de naranja del Marco Geoestadístico Nacional (INEGI, 2015). Para el estado de Colima: Comala y Tecomán; Michoacán: Buenavista, Apatzingan y Tepalcatepec; Oaxaca: San Juan Cotzocón, Santiago Yaveo, San Juan Bautista Tuxtepec, Loma Bonita, San Miguel Soyaltepec, Acatlán de Pérez Figueroa y Cosolapa; Guerrero: Acapulco, Coyuca de Benítez, San Marcos, F. Villareal y Cuajinicuilapa y para Veracruz: Martínez de la Torre, Papantla, Cuitláhuac, Carrillo Puerto, Tlapacoyan, Atzalan, San Rafael y Misantla, lo cual representó a 23 puntos de presencia. Para el cultivo de caña de azúcar se usaron 116 puntos de los estados de la República Mexicana de producción (Figura 4).

Para la modelación de la aptitud de edafoclimática de ambos cultivos, se empleó el software MaxEnt que se basa en la teoría de máxima entropía y se utilizaron 19 capas climáticas y una topográfica, a una resolución de 30 segundos de arco, lo que equivale a $\approx 1 \text{ Km}^2$ a nivel ecuatorial (Hijmans et al., 2005). Cada celda de cada capa representa los valores ambientales interpolados a partir de datos observados entre los años de 1950 al 2000. Estas capas fueron recortadas para las coordenadas

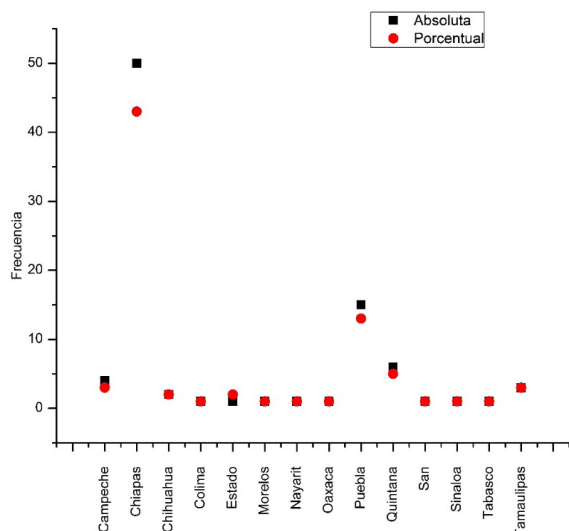


Figura 4. Ocurrencias de cultivos de caña de azúcar en México

extremas: límite Norte: 33°, límite Sur 14°; límite Este -86° y límite Oeste -119°, garantizando la inclusión del territorio mexicano. Asimismo, se emplearon nueve capas de las propiedades del suelo mexicano a una escala de 1:1.000.000 (Cruz-Cárdenas et al., 2014).

Se realizó una corrida preliminar para elegir las variables edafoclimáticas que tienen mayor importancia agroecológica para el desarrollo biológico del cultivo. Es decir, se usaron las 29 variables (ambientales, topográfica y de suelo), y en una segunda etapa se discriminaron aquellas que no aportaron ninguna información al modelo agroecológico (Soberón y Peterson, 2005).

Resultados y discusión

Biosecado

El proceso de biosecado permitió obtener como material final un sustrato parcialmente biodegradado rico en celulosa, con una humedad final del 12,28%, el contenido de materia orgánica y la cantidad de carbono total mostraron que es factible aprovechar el material biosecado en procesos de incineración. Así mismo, el contenido de nitrógeno total obtenido al final del proceso se ajusta a los parámetros internacionales para la incineración de residuos, sin embargo, la relación C/N muestra que, si el

material es depositado directamente sobre el suelo, continuará con el proceso de degradación hasta convertirse en humus. Esta técnica podría ser empleada como una alternativa viable para el tratamiento de desechos sólidos con alto contenido de humedad y alto grado de potencial contaminación (Negro et al. 2017). La Tabla 1 presenta los resultados del análisis de biocombustible sólido según la norma mexicana NOM-021-SEMARNAT-2000 llevados a cabo en un laboratorio certificado.

Tabla 1. Composición química de biocombustible a partir de subproductos de naranja y caña de azúcar

Variable	Unidad	Valor
Humedad	%	12,28
pH	-	4,91
Conductividad eléctrica	dsm ⁻¹	1,44
Cenizas	%	5,68
Materia Orgánica	%	92,2
Carbono Total	%	52
Nitrógeno Total	%	1,19
Relación C/N	-	43,69
Calcio (CaO)	%	1,64
Magnesio (MgO)	%	0,20
Sodio (Na ₂ O)	%	0,07
Potasio (K ₂ O)	%	0,97
Fósforo (P ₂ O ₅)	%	0,30
Hierro (Fe)	%	0,044
Cobre (Cu)	%	0,00069
Zinc (Zn)	%	0,01
Manganeso (Mn)	%	0,04

Compostaje

El composteo en todas sus formas consistió en la biodegradación de materiales orgánicos de la región empleados en cada formulación. Al finalizar los tres procesos de degradación se obtuvieron abonos altamente degradados de acuerdo con su composición fisicoquímica medidos por triplicado de acuerdo a los ensayos de las normas oficiales (Bhat et al. 2018) y se consideran seguros desde el punto de vista sanitario para su utilización en el suelo para la

nutrición de los cultivos sin efectos fitotóxicos, con nutrientes altamente asimilables por las plantas de acuerdo a Carvalho, (2006) y Ghorbani et al. (2010) (Tabla 2).

En este sentido, los abonos orgánicos obtenidos: composta, lombricomposta y bocashi, elaborados a partir de residuos de la producción y procesamiento de caña de azúcar, naranja y otras agroindustrias presentaron adecuado contenido nutricional con relación C/N promedio de 25,13 y un contenido de N de 0,81 % esto indica fácil degradación y posterior mineralización de sus nutrimentos (Borges, et al. 2019; Dotaniya et al. 2016). Además, los tratamientos T1, T4, T5 y T6 son específicamente adecuados para monocultivos donde los suelos se encuentran acidificados.

Zonificación agroecológica de caña de azúcar y naranja

La aptitud edafoclimática de la caña de azúcar y naranja en México se presentan en las Figuras 5 y 6, respectivamente. Estos mapas regionalizan

las zonas con alto potencial de desarrollo agroecológico para ambos cultivos en el territorio mexicano para una futura expansión hacia biorrefinerías. El color intenso dentro del polígono indica el alto potencial agroecológico del territorio (probabilidad >70%), que reúne las condiciones para el desarrollo del cultivo y conforme el gradiente de color se va tornando al color contrario, indican una probabilidad baja (<70%), lo que es indicador que estas áreas no reúnen las condiciones agroecológicas necesarias para el desarrollo de los cultivos, siendo estas áreas de bajo potencial. Por lo que requieren manejos del cultivo diferenciado o reconversión a otros usos del suelo.

La evaluación del modelo agroecológico de la caña de azúcar, según el AUC, determinó un valor del 0,942 de confiabilidad, es decir, hubo un ajuste del 94% entre la sensibilidad de la tasa de omisión con la especificidad del área predicha en el modelo y para naranja del 0,971 de confiabilidad resaltando el sureste mexicano con alto potencial y en especial el estado de Veracruz.

Tabla 2. Análisis químico de abonos de subproductos agroindustriales.

Parámetros	Unidad	T1*	T2	T3	T4	T5	T6
Humedad	(%)	49,535	41,79	38,51	46,98	60,10	44,83
pH	-	8,625	5,91	8,55	12,83	5,43	7,72
Conductividad eléctrica	(Sdm ⁻¹)	4,05	1,175	0,630	4,630	1,745	3,270
Cenizas	(%)	29,335	40,61	96,33	77,25	62,62	80,590
Materia Orgánica	(%)	70,665	59,39	3,67	22,750	37,38	19,410
Carbono Total	(%)	40,989	34,45	2,129	13,196	21,682	1,259
Nitrógeno Total	(%)	1,6	1,39	0,26	0,33	0,72	0,51
Relación C/N	-	25,625	24,78	8,19	39,98	30,11	22,08
Calcio (CaO)	(%)	4,85	5,708	4,245	26,620	1,616	27,709
Magnesio (MgO)	(%)	0,5797	0,525	0,552	1,543	0,439	0,572
Sodio (Na ₂ O)	(%)	0,067	0,023	0,172	0,142	0,048	0,0617
Potasio (K ₂ O)	(%)	1,8165	0,132	1,388	1,225	0,269	0,562
Fósforo (P ₂ O ₅)	(%)	1,955	4,487	0,877	0,875	0,749	0,490
Hierro (Fe)	mg/kg	0,119	1,305	0,3488	0,1361	0,4959	0,0108
Cobre (Cu)	mg/kg	0,0027	0,0071	0,0055	0,0044	0,0029	0,0007
Zinc (Zn)	mg/kg	0,0112	0,0247	0,0079	0,0142	0,0176	0,0032
Manganeso (Mn)	mg/kg	0,0444	0,1683	0,0820	0,0660	0,1180	0,0205

*Tratamiento 1: Composta de cachaza, residuos de cosecha cañera, bagazo de caña y cáscaras de naranja; Tratamiento 2: Composta de cachaza; Tratamiento 3: Composta de cenichaza; Tratamiento 4: Composta de cenichaza, vinaza, bagazo integral, residuo de micelio de hongos seta, estiércol de vaca y cal agrícola; Tratamiento 5: Lombricomposta de cachaza, Tratamiento 6: Bocashi de cachaza, bagazo, cenizas, cal, melazas y estiércol vacuno.

En Tabla 3 se presentan los valores de importancia relativa de las variables que explican el modelo de zonificación agroecológica de naranja. De las 29 variables evaluadas, solo 21 variables contribuyeron al modelo, las cuales determinan el desarrollo agroecológico del cultivo.

Las siglas presentadas significan: Bio1: Temperatura promedio anual (°C); Bio2: Oscilación diurna de la temperatura (°C); Bio3: Isotermalidad (°C); Bio4: Estacionalidad de la temperatura (°C); Bio5: Temperatura máxima promedio del periodo más cálido (°C); Bio6: Temperatura mínima promedio del periodo más frío (°C); Bio7: Oscilación anual de la temperatura (°C); Bio8: Temperatura promedio del trimestre

más lluvioso (°C); Bio9: Temperatura promedio del trimestre más seco (°C); Bio10: Temperatura promedio del trimestre más cálido (°C); Bio11: Temperatura promedio del trimestre más frío (°C); Bio12: Precipitación anual (mm); Bio13: Precipitación del periodo más lluvioso (mm); Bio14: Precipitación del periodo más seco (mm); Bio15: Estacionalidad de la precipitación (mm); Bio16: Precipitación del trimestre más lluvioso (mm); Bio17: Precipitación del trimestre más seco (mm); Bio18: Precipitación del trimestre más cálido (mm); Bio19: Precipitación del trimestre más frío (mm); DEM20: Modelo digital de elevación; CO: carbono orgánico, K: potasio, Mg: magnesio.

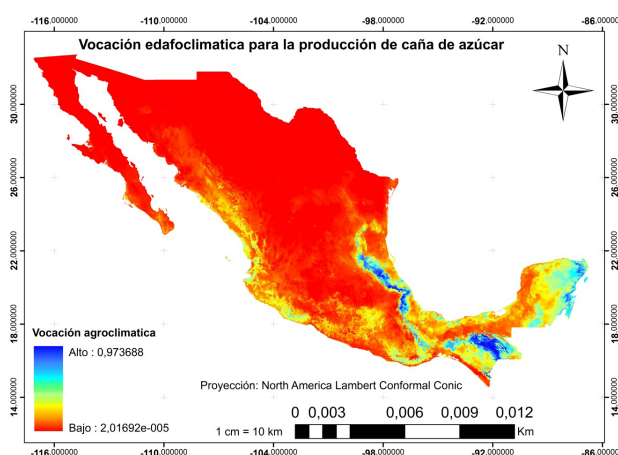


Figura 5. Zonificación agroecológica de la caña de azúcar en México, usando la teoría de máxima entropía.

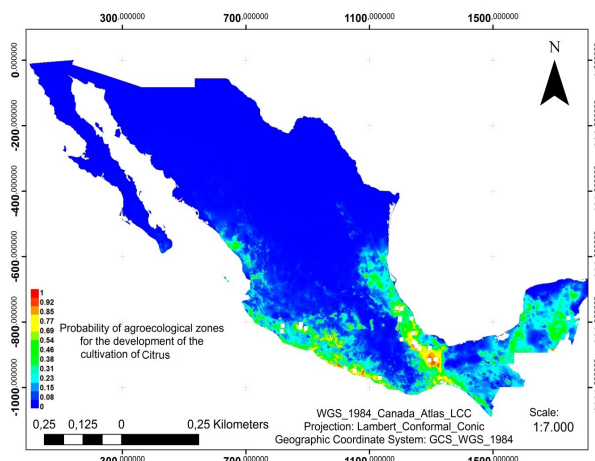


Figura 6. Zonificación agroecológica de naranja en México, usando la teoría de máxima entropía.

Tabla 3. Variables de importancia agroecológica para el cultivo de naranja en México.

Temperatura	Importancia	Precipitación	Importancia	Suelo	Importancia	Topográfica	Importancia
Bio7	17,2 %	Bio16	17,9 %	CO	5,6 %	DEM	9,4 %
Bio6	8,1 %	Bio14	4,3 %	K	1,1 %		
Bio4	7,7 %	Bio19	2,9 %	Mg	0,7 %		
Bio1	5,4 %	Bio12	2,8 %				
Bio2	3,8 %	Bio18	0,5 %				
Bio11	2,2 %						
Bio5	1,6 %						
Bio9	1,3 %						
Bio8	0,9 %						
Bio10	0,5 %						
Bio3	0,2 %						

Tabla 4. Variables de importancia edafoclimática para el cultivo de la caña de azúcar en México.

Temperatura	Importancia	Precipitación	Importancia	Suelo	Importancia	Topográfica	Importancia
Bio3	7,3 %	Bio12	22 %	pH	1,4 %	DEM	6,2 %
Bio6	7,2 %	Bio14	19,5 %				
Bio9	6,1 %	Bio16	15,6 %				
Bio18		Bio17	7,5 %				
		7,4 %					

En la tabla 4 de las 29 variables evaluadas para caña de azúcar, solo 10 variables contribuyeron al modelo, las cuales determinan las condiciones edafoclimáticas para el desarrollo del cultivo.

Conclusiones

En este trabajo se obtuvo un material seco con potencial de biocombustible sólido a partir de subproductos cáscara de naranja, residuos de cosecha cañera y bagazo de caña, el cual puede almacenarse de forma segura y por largos periodos y emplearse como combustible rural o para generar calor, vapor y electricidad disminuyendo el impacto de los lixiviados de la naranja, quema de cañaverales y el bagazo sobrante en los ingenios azucareros. Del resto de los subproductos se obtuvieron diversos abonos orgánicos. Estos pueden emplearse como mejoradores de suelo, fuente de macro y micronutrientes y principalmente de materia orgánica para diversos cultivos.

La aplicación de la técnica de zonificación agroecológica permitió determinar espacialmente las zonas de alta, media y baja aptitud y que para proyectos futuros de biorrefinerías basados en cítricos y caña de azúcar, la cadena de valor de materias primas y subproductos está influenciada principalmente para cítricos por factores como Oscilación anual de la temperatura (°C), Precipitación del trimestre más lluvioso (mm) y Modelo digital de elevación que en su conjunto impactan el 44,5 % de la potencial productividad. Para caña de

azúcar los factores limitantes son Precipitación anual (mm), Precipitación del periodo más seco (mm) y Precipitación del trimestre más lluvioso (mm) que representan el 57,1 %.

Referencias

- Azim, K.; Souli, B.; Boukhari, S.; Perissol, C.; Roussos, S.; Alami, I. T. 2018. Composting parameters and compost quality: a literature review. *Organic Agriculture*, 8(2), 141-158. <https://doi.org/10.1007/s13165-017-0180-z>
- Barrios, E.; Gemmill-Herren, B.; Bicksler, A.; Siliprandi, E.; Brathwaite, R.; Moller, S.; Tiltonell, P. 2020. The 10 Elements of Agroecology: enabling transitions towards sustainable agriculture and food systems through visual narratives. *Ecosystems and People*, 16(1), 230-247. <https://doi.org/10.1080/26395916.2020.1808705>
- Barthod J.; Rumpel C.; Calabi-Floody M.; Mora M. L.; Bolan N. S.; Dignac M. F. 2018. Adding worms during composting of organic waste with red mud and fly ash reduces CO2 emissions and increases plant available nutrient contents. *Journal of environmental management*, 222, 207-215. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2018.05.079>
- Bhat S. A.; Singh J.; Vig A. P. 2018. Earthworms as organic waste managers and biofertilizer producers. *Waste and biomass valorization*, 9(7), 1073-1086. <https://doi.org/10.1007/s12649-017-9899-8>
- Borges L. D. A. B.; Ramos M. L. G.; Fernandes P. M.; Carneiro M. A. C.; Silva, A. M. M. 2019. Organic cultivation of sugarcane restores soil organic carbon and nitrogen. *Organic Agriculture*, 9(4), 435-444. <https://doi.org/10.1007/s13165-018-0234-x>
- Carvalho, F. P. 2006. Agriculture, pesticides, food security and food safety. *Environmental science & policy*, 9(7-8), 685-692. <https://doi.org/10.1016/j.envsci.2006.08.002>
- CONADESUCA. 2019. 6° Informe estadístico del sector agroindustrial de la caña de azúcar en México, zafras 2009-2010/2018-2019. Secretaría de agricultura y desarrollo rural. Gobierno de México. México. 125 p. <https://www.gob.mx/conadesuca/es/articulos/6-informe-estadistico-del-sector>

- [agroindustrial-de-la-cana-de-azucar-en-mexico?idiom=es](#)
- Cruz-Cárdenas G.; López-Mata L.; Ortiz-Solorio C. A.; Villaseñor J. L.; Ortiz E.; Silva, J. T.; Estrada-Godoy F. 2014. Interpolation of Mexican soil properties at a scale of 1: 1,000,000. *Geoderma*, 213, 29-35. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2013.07.014>
- Debernardi-Vázquez, T. de J.; Aguilar-Rivera, N.; Nuñez-Pastrana, R. 2020. Composting of byproducts from the orange (*Citrus sinensis* (L.) Osbeck) and sugarcane (*Saccharum* spp. hybrids) agroindustries. *Ingeniería e Investigación*, 40(3). <https://doi.org/10.15446/ing.investig.v40n3.82877>
- De la Torre I.; Martín-Domínguez V.; Acedos M. G.; Esteban J.; Santos V. E.; Ladero, M. 2019. Utilisation/upgrading of orange peel waste from a biological biorefinery perspective. *Applied microbiology and biotechnology*, 103(15), 5975-5991. <https://doi.org/10.1007/s00253-019-09929-2>
- Dotaniya M. L.; Datta S. C.; Biswas D. R.; Dotaniya C. K.; Meena B. L.; Rajendiran S.; Lata M. 2016. Use of sugarcane industrial by-products for improving sugarcane productivity and soil health. *International Journal of Recycling of Organic Waste in Agriculture*, 5(3), 185-194. <https://doi.org/10.1007/s40093-016-0132-8>
- Ghorbani, R.; Koocheki, A.; Brandt, K.; Wilcockson, S.; Leifert, C. 2010. *Organic agriculture and food production: Ecological, environmental, food safety and nutritional quality issues*. In: *Sociology, organic farming, climate change and soil science*. 77-107 pp. Springer, Dordrecht. https://doi.org/10.1007/978-90-481-3333-8_4
- Hijmans R. J.; Cameron S. E.; Parra J. L.; Jones P. G.; Jarvis A. 2005. Very high-resolution interpolated climate surfaces for global land areas. *International Journal of Climatology: A Journal of the Royal Meteorological Society*, 25(15), 1965-1978. <https://doi.org/10.1002/joc.1276>
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía-INEG. 2015. Catálogo Único de Claves de Áreas Geoestadísticas Estatales, Municipales y Localidades - En línea. Consulta y descarga. Gobierno de México. México. <http://www.inegi.org.mx/geo/contenidos/geoestadistica/catalogoclaves.aspx>
- Joglekar S. N.; Pathak P. D.; Mandavgane; S. A.; Kulkarni, B. D. 2019. Process of fruit peel waste biorefinery: a case study of citrus waste biorefinery, its environmental impacts and recommendations. *Environmental Science and Pollution Research*, 1-10. <https://doi.org/10.1007/s11356-019-04196-0>
- López Bravo, E.; Rivera, A.; Javier, A.; Herrera-Suárez, M.; González-Cueto, O.; García de la Figal Costales, A. 2017. Propiedades de un compost obtenido a partir de residuos de la producción de azúcar de caña. *Centro Agrícola*, 44(3), 49-55. <http://scielo.sld.cu/pdf/cag/v44n3/cag07317.pdf>
- Martínez-Salvador; L. E. M. 2018. Technological capacities in the agroindustry in México. Analytical framework for research it. *Revista Análisis Económico*, 33(84), 169-189. <https://www.redalyc.org/jatsRepo/413/41361009009/41361009009.pdf>
- Medina-Salas, D.; Giraldo-Díaz, M. R.; Castillo-González, E.; Morales-Mendoza, L. E. 2020. Valorization of orange peel waste using precomposting and vermicomposting processes. *Sustainability*, 12(18), 7626. <https://doi.org/10.3390/su12187626>
- Mohammed, M.; Donkor, A.; Ozbay, I. 2018. Bio-drying of biodegradable waste for use as solid fuel: a sustainable approach for green waste management. *Agricultural Waste and Residues*, 89. <https://doi.org/10.5772/intechopen.77957>
- Negro, V.; Ruggeri, B.; Fino, D.; Tonini, D. 2017. Life cycle assessment of orange peel waste management. *Resources, Conservation and Recycling*, 127, 148-158. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2017.08.014>
- NMX-FF-109-SCFI-2008. Humus de lombriz (lombricomposta)-especificaciones y métodos de prueba. Diario Oficial de la Federación. Gobierno de México. Estados Unidos Mexicanos. http://dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5044562&fecha=10/06/2008
- NORMA Oficial Mexicana. NOM-061-SEMARNAT-2011. Que establece los criterios para clasificar a los Residuos de Manejo Especial y determinar cuáles están sujetos a Plan de Manejo; el listado de los mismos, el procedimiento para la inclusión o exclusión a dicho listado; así como los elementos y procedimientos para la formulación de los planes de manejo. Diario Oficial de la Federación. Gobierno de México. Estados Unidos Mexicanos http://dof.gob.mx/nota_detalle.fcodigo%3D5286505%26fecha%3D01/02/2013
- Quiroz, M.; Céspedes, C. 2019. Bokashi as an amendment and source of nitrogen in sustainable agricultural systems: a review. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition*, 19(1), 237-248. <https://doi.org/10.1007/s42729-019-0009-9>
- Satari, B.; Karimi, K. 2018. Citrus processing wastes: Environmental impacts, recent advances, and future perspectives in total valorization. *Resources, Conservation and Recycling*, 129, 153-167. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2017.10.032>
- Senthilkumar, K.; Kumar, M. N.; Devi, V. C.; Saravanan, K.; Easwaramoorthi, S. 2020. *Agro-Industrial waste valorization to energy and value added products for environmental sustainability*. In: *Biomass Valorization to Bioenergy*. 1-9 p. Springer, Singapore. https://doi.org/10.1007/978-981-15-0410-5_1
- Soberón, J.; Peterson, A. T. 2005. Interpretation of models of fundamental ecological niches and species' distributional areas. *Biodiversity Informatics*, 2, 1-10. <https://doi.org/10.17161/bi.v2i0.4>
- Soto-Paz, J.; Oviedo-Ocaña, E. R.; Manyoma-Velásquez, P. C.; Torres-Lozada, P.; Gea, T. 2019. Evaluation of mixing ratio and frequency of turning in the co-composting of biowaste with sugarcane filter cake and star grass. *Waste Management*, 96(1), 86-95. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2019.07.015>
- Teigiserova, D. A.; Hamelin, L.; Thomsen, M. 2019. Review of high-value food waste and food residues biorefineries with focus on unavoidable wastes from processing. *Resources, Conservation and Recycling*, 149, 413-426. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2019.05.003>