

Alternativa de valorización de residuos agroindustriales y agroforestales de *Hylocereus undatus* y *Vitex gaumeri* para la obtención de pectinasas utilizando fermentación en estado sólido. Revisión.

^{1,3} Silvia De Jesús Chalé Quintal, ¹ Isabel Mendoza Saldívar, ² Juan Carlos Cuevas, ³ Luis Ignacio Hernández Chávez, ¹ María Isabel Reyes Arreozola*

¹ *Tecnológico Nacional de México/ Instituto Tecnológico Superior del Oriente del Estado de Hidalgo. Carretera Apan-Tepeapulco, Las Peñitas, 43900 Apan, Hgo.*

² *Centro de Investigación y Asistencia en Tecnología y Diseño del Estado de Jalisco A.C. Subsede Sureste. Tablaje Catastral 31264 Km 5.5 Carretera Sierra Papacal-Chuburna Puerto Parque Científico Tecnológico de Yucatán CP: 97302 Mérida, Yucatán, México.*

³ *Tecnológico Nacional de México/ Instituto Tecnológico Superior de Felipe Carrillo Puerto. Carretera a Vigía Chico Kilómetro 1.5, Centro, 77200 Felipe Carrillo Puerto, Q.R.*

Correspondencia

*María Isabel Reyes Arreozola

mireyes@itesa.edu.mx

Resumen

Los residuos sólidos que se generan en el mundo se pueden contar en miles de millones de toneladas al año. Muchos de estos residuos se pueden clasificar de acuerdo a su origen, donde pueden ser empleados como materia prima para la generación de productos biotecnológicos con alto valor. En el presente documento se describen las características de los residuos agroindustriales, componentes, las alternativas de aplicación y valorización de residuos orgánicos como son *Hylocereus undatus* y *Vitex gaumeri* por sus características proponiendo emplearlos en sistemas de fermentación en estado sólido para la obtención de enzimas con miras a ser utilizadas en la industria alimentaria.

Palabras Claves: Residuos agroindustriales, pectinasas, fermentación

Abstract

The solid waste generated in the world can be counted in billions of tons per year. Many of these wastes can be classified according to their origin, where they can be used as raw materials for the generation of high-value biotechnological products. This document describes the characteristics of agroindustrial waste, components, alternatives for application and valorization of organic waste such as *Hylocereus undatus* and *Vitex gaumeri* due to their characteristics, proposing to use them in solid state fermentation systems to obtain enzymes with a view to be used in the food industry.

Key Words: Agroindustrial waste, pectinases, fermentation

Introducción

La generación de residuos agroindustriales ha incrementado debido que son pocas las propuestas para su uso alternativo, así como la viabilidad económica de algunas de estas. En determinadas zonas del país, como la zona maya del estado de Quintana Roo, en donde se mantienen prácticas tradicionales, las cuales no contemplan el aprovechamiento de residuos vegetales, al considerarlos que no son fuente de nutrientes, lo que ha ocasionado la acumulación de residuos orgánicos en tiraderos clandestinos sin tratamiento para su debida incorporación en el suelo en forma de sustrato.

Algunas causas de importancia que impactan en la generación de residuos orgánicos sin un segundo uso han sido la mala calidad postcosecha de diferentes frutas de la región maya, lo que se refleja en su baja comercialización. Así mismo, su comercialización y consumo casi exclusivos como fruta fresca de *Hylocereus undatus* (pitahaya), del cual no existen procesos semiindustriales que cuenten con la estandarización de sus parámetros de calidad, únicamente se han reportado procesamientos artesanales que permiten la elaboración de muy pocos productos de consumo local, mientras que para *Vitex gaumeri* (yax-nik) no existe una explotación y por ende un aprovechamiento, al ser considerado un residuo agroforestal. De acuerdo con la bibliografía existente se ha reportado parte del aporte nutrimental por lo que es necesario realizar más estudios para la definición de aplicaciones.

Por lo tanto, las consecuencias de que la problemática de residuos orgánicos incrementa, representan un riesgo ambiental de consideración por la posible contaminación de suelos, focos de infección, propagación de plagas, además de, impactar económicamente el poder adquisitivo de la región, debido a la pérdida de variedades o especies autóctonas y, a su vez inciden en la desaparición de platillos tradicionales. Siendo importante el establecimiento de estrategias de reducción de los residuos agroindustriales que actualmente forman parte de los contaminantes medio ambientales.

Marco teórico

Residuos

Se estima que a nivel mundial las actividades humanas generan 12 000 millones de toneladas de residuos sólidos, estos provienen de la producción de alimentos, agricultura, industria, plásticos, hogar, entre otros (ONU, 2023).

Según la Ley General para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos (Última Reforma DOF 08-05-2023), en su artículo 5 fracción XXIX indica como "Residuo: Material o producto cuyo propietario o poseedor desecha y que se encuentra en estado sólido o semisólido, o es un líquido o gas contenido en recipientes o depósitos, y que puede ser susceptible de ser valorizado o requiere sujetarse a tratamiento o disposición final conforme a lo dispuesto en esta Ley y demás ordenamientos que de ella deriven."

Dentro de esta ley se puede encontrar la clasificación especial de los residuos, destacando los residuos generados por las actividades pesqueras, agrícolas, silvícolas, forestales, avícolas, ganaderas, incluyendo los residuos de los insumos utilizados en esas actividades. Según Kumla et al (2020) define como residuos agroindustriales a aquellos que son generados por los sectores agrícolas, ganadero, y de los alimentos.

Clasificación de los residuos agroindustriales

Los residuos agroindustriales son generados de la producción de alimentos, de los cultivos agrícolas y el sector ganadero; en particular de los alimentos, se generan más residuos a partir de tubérculos, frutas, hortalizas, semillas oleaginosas, pescado, cereales, carnes y productos lácteos.

Estudios han demostrado que la producción de alimentos representa la mayor producción de residuos con respecto a otras industrias, se estima que, hasta un tercio de los alimentos producidos en el mundo, terminan como residuos (Díaz, 2022).

Artículos

De acuerdo con Díaz (2022) los residuos agroindustriales se pueden clasificar en agrícolas e industriales.

Los residuos agrícolas provienen del proceso del campo como hojas, tallos, vainas, y aquellos que se generan después del proceso como cáscaras y pulpas. Los residuos industriales son aquellos generados durante el procesamiento de los alimentos como frutas y verduras, generando bagazos, cáscaras y pulpas.

Los residuos agroindustriales normalmente son depositados en vertederos o se queman generando daños ambientales y de salud a los seres humanos y la vida silvestre. Por su composición pueden ser usados para la obtención de productos de interés, como biocombustibles, metabolitos secundarios, enzimas, productos de fermentación, entre otros productos. En la figura 1 podemos ver una clasificación general de los residuos agroindustriales.



Figura 1. Clasificación de los tipos de residuos agroindustriales en residuos agrícolas y residuos industriales (Díaz, 2022).

Composición de los residuos agroindustriales

La composición de los residuos agroindustriales, como cáscaras de cítricos, pulpa de manzana, salvado de trigo, salvado de arroz, restos del prensado de aceites, etc.

La cáscara de manzana contiene un 43% de celulosa mientras que la cáscara de piña un 75% de hemicelulosa y el salvado de maíz hasta un 49% de lignina (ver tabla 1) (Kumla et al. 2020).

Tabla 1. Composición química y relación C/N de residuos agroindustriales empleados en fermentaciones en estado sólido (Kumala et al, 2020).

Residuos agroindustriales	Composición (% peso base seca)			Relación C/N
	Celulosa	Hemicelulosa	Lignina	
Pulpa de manzana	43	24	20	48/1
Paja de cebada	23-33	21-22	14-19	82-120/1
Cáscara de café	43	7	9	49/1
Salvado de maíz	34	39	49	ND
Tallos de maíz	34-61	19-24	7-9	57-80/1
Salvado de arroz	35	25	17	12-48/1
Cáscara de piña	22	75	3	77/1
Cáscara de papa	35	5	4	25/1
Cáscara de naranja	9-14	6-11	1-2	102/1
Cáscara de limón	12	5	2	ND
Cáscara de naranja	12	10	3	18-29/1

Por la composición que estos residuos presentan se han estudiado para extraer componentes bioactivos como polisacáridos, proteínas, enzimas, fibras, aceites esenciales, antioxidantes, vitaminas, minerales y aromas (Díaz, 2022).

Pitahaya (Hylocereus undatus)

La pitahaya (*no pitaya*) cuyo nombre científico más ampliamente usado para esta especie es *Hylocereus undatus* (Haw.) Britton & Rose, sin embargo, fue recientemente reclasificada como *Selenicereus undatus* (Haw.) D.R. Hunt (Korotkova et al., 2017), sin embargo, esta última reclasificación es poco usada. Se considera originaria del Sureste de México o del norte de Centroamérica (Carnevali et al., 2023) (ver figura 2).



Figura 2. Imagen a) planta de pitahaya y b) fruto (Acosta, 2021) que son producidos en Quintana Roo, México.

Descripción botánica

La pitahaya es uno de los frutos tropicales más conocidos y ampliamente cultivado por su delicado sabor y exótica apariencia, con su superficie externa de color rosado intenso o rojo brillante y la pulpa del interior blanco salpicado de una miríada de semillas negras (Carnevali et al., 2023).

Hylocereus undatus es una cactácea perenne, epífita, trepadora con forma triangular, carnosa y de tallos verdes articulados, normalmente crece en árboles o piedras, debido a que puede sostenerse de sus raíces. Produce un fruto de forma esférica o de forma ovoide de 10 a 12 cm de diámetro (ver figura 2), con pulpa blanca y semillas negras dispersas en la pulpa, la cáscara tiene colores que va del rojo al purpura y está cubierta por brácteas, salientes con forma triangular (Centurión et al. 2008).

Composición

El fruto de la pitahaya se compone por su pulpa, semillas y cáscara, la pulpa y semillas comprenden aproximadamente del 60-80 % del peso total del fruto. El fruto tiene un peso de 200-570 g.

Esta fruta tiene un colorante natural debido a su contenido de betacianinas que brindan un color rojo a la cáscara de la fruta. En su

composición destaca su alto contenido de agua entre el 82.3-89%, carbohidratos de 11.6-13.55%, proteína de 0.5-1.4%, fibra dietética del 0.3 %, así como diversos compuestos como vitaminas, minerales (hierro, calcio, fósforo) y aminoácidos, de igual manera contiene ácidos orgánicos, fibras solubles, fitoalbúminas y betalainas (Mercoado Silva 2018, ICBF 2018, Morales de León et al., 2015).

Producción

En el estado de Quintana Roo según SADER en 2022 se reportó que existían 1,813 hectáreas de cultivo de las cuales se cosecharon 1535 hectáreas. También se ha registrado que en promedio se generan 4.5 toneladas del fruto por cada hectárea sembrada. Por lo tanto, con respecto a la generación del desecho de la cáscara de pitahaya se puede estimar que se producen entre 1631-3263 toneladas de cáscaras al año.

YA'AXNIK (Vitex gaumeri)

La especie *Vitex gaumeri* pertenece a uno de los 16 géneros taxonómicos que pertenecen a la familia Lamiaceae, es conocida en lengua maya como Ya'axnik, es un árbol que se distribuye en México en los estados de Yucatán,

Artículos

Quintana Roo, Campeche, Chiapas, Guerrero, Michoacán, Morelos y Tabasco, así como en toda Centroamérica hasta Nicaragua (ver figura 3).

Es un árbol que llega a medir hasta 30 metros de altura, con un diámetro de hasta 80 cm, posee un tronco recto con ramas ascendentes y copa irregular. Su corteza se encuentra fisurada con irregularidades, es

escamosa, de color crema amarillenta a rojizo a verdoso que cambia a pardo

oscuro, fibrosa y amarga. El grosor de la corteza es de entre 6 a 9 cm. Sus hojas están divididas como una mano abierta, sus flores son de color violeta morado en racimos (ver figura 3). Los frutos son de color verde oscuro, globosos y de sabor dulce.



Figura 3. a) Imagen de árbol adulto de *Vitex gaumeri*. b) fruto, c) flores cultivado en Quintana Roo, México (Rivera, 2016).

Los frutos maduros tienden a caer del árbol y después de varios días se secan por el efecto del sol. En la figura 4 se observan frutos secos que presentan colores café

intensos con cortezas duras, pero a su vez esponjosas, de igual forma, se pueden observar las semillas secas de *Vitex gaumeri*.



Figura 4. Residuos agroforestales de *Vitex gaumeri* a) fruto seco b) semilla que fueron secados al sol de manera natural después de caer por madurez de los árboles.

Usos

El estado de Quintana Roo cuenta con una gran diversidad de flora, por lo cual la madera es un elemento importante en la industria forestal local. *Vitex gaumeri* es una especie con buen aprovechamiento de maderables (Hernández, 2020). Este árbol se usa como combustible, leña y carbón y, de acuerdo a sus usos tradicionales se emplea de manera medicinal para tratar el asma y los resfriados.

Fermentación

Varios autores sugieren que la palabra fermentación viene del latín “*fermentare*” que significa “al cielo”, otros dicen que viene del verbo latín *fervere* lo cual significa hervir (Martínez, 2020). La fermentación es un proceso bioquímico metabólico, en el cual los sustratos generan energía produciendo sustancias orgánicas.

En un proceso de fermentación se pueden generar de productos como bebidas (cerveza, sidras, tequilas, whiskis, vinos), cereales (panes, pasteles), vegetales (semillas de cacao, frutos de cacao, aceitunas), carnes o embutidos (jamones curados) y lácteos (yogurt, quesos); al igual que otros productos como enzimas, metabolitos secundarios, aditivos, colorantes, entre otros.

Los procesos de fermentación han ayudado a la transformación de gran variedad de productos alimenticios mejorando propiedades organolépticas o enriquecimiento las propiedades a estos alimentos.

Clasificación

Las fermentaciones según Puerta (2010) se pueden clasificar de acuerdo al producto final de la siguiente manera:

- a. Fermentación acética, es una fermentación producida por *Acetobacter*, bacterias aerobias que transforman el alcohol en ácido acético como resultado de la oxidación.
- b. Fermentación alcohólica, en este proceso los azúcares se transforman a etanol y CO₂, es producida normalmente por levaduras, siendo *Saccharomyces cereviceae* la más utilizada.
- c. Fermentación láctica, este proceso se usa la lactosa como fuente de carbono para producir ácido láctico, por lo general, los microorganismos más empleados para este tipo de fermentación pertenecen a las familias Lactobacilacea y Enterobacteriaceae.
- d. Fermentación butírica, es la transformación de azúcares en ácido butírico, por medio de la bacteria *Clostridium butiryus*.

De igual manera, el proceso de fermentación se puede dividir según las condiciones que está presente, como la fermentación sumergida, en la cual se necesita mayor cantidad de agua con respecto a una fermentación en estado sólido, esta última se desarrolla en condiciones más similares a las que los microorganismos crecen en la naturaleza.

Fermentación en estado sólido

La fermentación en estado sólido (FES) es uno de los procesos biotecnológicos más antiguos conocidos por la humanidad.

Muchas culturas tienen como tradición preparar alimentos fermentados. Alimentos como el tofu, yogur, kéfir, quesos, cervezas, vinos, sidras, pan, chocolate, café, kombucha, encurtidos, etc. Los cuales son fermentados de manera tradicional empleando microorganismos como hongos y bacterias durante el proceso de fermentación.

En este tipo de fermentación se deben considerar aspectos como las condiciones del medio, pH, temperatura, microorganismo, sustratos, tamaño de partícula y capacidad de absorción de agua; mediante las cuales se busca imitar a las condiciones reales de crecimiento de los microorganismos.

En la actualidad la FES puede ser usada para la obtención de diversos productos de alto valor, dentro de estos productos de alto valor podemos tener la obtención de antibióticos, enzimas, hongos, biosurfactantes, gomas, alimentos para animales, azúcares fermentables, colorantes, bioetanol y biodiesel (Pastrana, 2009).

Soportes de fermentación en estado sólido

En los sistemas de fermentación en estado sólido se debe considerar el tipo de sustrato o soporte a usarse. Es decir, el sustrato se refiere a aquello que proporcione los nutrientes necesarios para el crecimiento del microorganismo, así como su posterior generación del producto de interés.

Dentro de las características a considerar para un soporte se encuentran las siguientes: deben ser insolubles en agua y a los buffers que se adicionan, contener la cantidad necesaria de carbono y nitrógeno, poseer una estructura granulométrica que permita la adherencia y penetración del microorganismo, que solo sea fermentable por un tipo de microorganismo y poca capacidad de aglomeración o apelmazamiento.

En otro punto tenemos aquellos que solo funcionan como soporte donde no proporcionan nutrientes a los microorganismos, pero se les puede adicionar soluciones con sustrato y a su vez proporcionando la humedad necesaria. Kumar (2018) menciona que los residuos agroindustriales como:

pulpas de frutas, bagazos, cáscaras de frutas, tallos, hojas y salvados de cereales pueden ser empleados como sustratos y soportes para procesos de fermentación estado sólido. Por su parte, Callejas (2015) describe que soportes inertes como: espuma de poliuretano, amberita, zeolita, vermiculita, pozolano, perlita y tezontle no aportan nutrientes para que los microorganismos puedan crecer en procesos de fermentación sólida generando una desventaja contra los residuos agroindustriales.

Microorganismos usados en fermentación en estado sólido

Los microorganismos usados en la fermentación en estado sólido, son importantes, ya que son los responsables de producir los metabolitos de interés. Para su selección se deben considerar aspectos como capacidad de aprovechamiento de polisacáridos, capacidad de adherencia y penetración en la partícula usada como soporte o sustrato y, uso de agua necesaria para su desarrollo.

Dentro de los microorganismos más usados para procesos biotecnológicos de fermentación sólida se encuentran las bacterias, las levaduras de los géneros *Brettanomyces*, *Saccharomyces*, *Zygosaccharomyces* y hongos destacando *Aspergillus*, *Penicillium*, *Rhizopus*, *Trichoderma* y gran número de bacterias como *Bacillus*, *Lactobacillus*, *Acetobacter*, *Acinetobacter* entre otras.

Enzimas

Las enzimas se pueden definir como catalizadores biológicos, que permiten llevar a cabo reacciones bioquímicas a altas velocidades, no se consumen durante la reacción y, en general, presentan un elevado grado de especificidad.

En el área de los alimentos las enzimas son de suma importancia debido a los cambios que experimentan los alimentos, pudiendo ser beneficiosos o perjudiciales. Muchos productos alimenticios se obtienen a partir de las enzimas propias de los alimentos y, en algunos casos es necesario añadirlas para la elaboración de alimentos fermentados.

En uso de enzimas se remonta tiempo antiguos, donde se usaban ciertas hojas para envolver la carne provocando el ablandamiento, y el uso de estómagos de

animales causando la coagulación de lácteos.

Actualmente el uso de estas enzimas se enfoca en la conservación de alimentos, el uso de materias primas de manera más eficiente y mejora de la calidad sensorial de los alimentos.

Las enzimas se pueden clasificar de manera general en oxidorreductasas, transferasas, hidrolasas, liasas, isomerasas y ligasas.

Pectinasas

Las pectinas forman parte de la estructura en las células vegetales, generan cadenas ramificadas de compuestos metílicos, ésteres y ácidos galacturónicos, por lo tanto, las pectinasas son enzimas que hidrolizan la pectina hasta ácido galacturónico.

Las pectinasas se pueden clasificar en poli-galacturonasas, pectina liasas y metil-esterasa, según el modo de acción y el sustrato.

Clasificación

Kumar et al. (2018), clasifica las pectinasas de interés industrial de la siguiente manera:

Protopectinasas.- También llamadas pectinosinasas, las cuales degradan la protopectina insoluble que está presente en frutos inmaduros y da lugar a pectina soluble altamente polimerizada.

Pectina metilesterasas.- A menudo denominada pectina pectilhidrolasa, pectinesterasa, pectasa, pectina demetoxilasa y pectolipasa, es una esterasa de ácido carboxílico y pertenece al grupo de enzimas hidrolasas, son responsables de la eliminación de ésteres metoxilo, lo que resulta en pectinas ácidas y metanol.

Poligalacturonasas.- Son las enzimas pectinolíticas que catalizan la escisión hidrolítica del poligalacturónico en presencia de agua. Las poligalacturonasas son clasificadas en dos clases; endopoligalacturonasas y exopoligalacturonasas. Las enzimas endopoligalacturonasas hidrolizan los ácidos poligalacturónicos y liberan ácidos oligogalacturónicos; mientras que, las enzimas exopoligalacturonasas hidrolizan los ácidos pécticos y liberan monogalacturonato.

Pectina liasas.- Las liasas (o transeliminasas) realizan una degradación no hidrolítica de pectatos o pectinatos, caracterizados por un efecto transeliminativo, división del polímero péctico. Las liasas rompen los enlaces glicosídicos en el cuarto carbono y simultáneamente elimina el hidrógeno del quinto carbono, produciendo un producto insaturado.

Aplicaciones generales

Las pectinasas se pueden usar en el procesamiento de vegetales, vinos, jugos, textiles, extracción de aceites, tratamiento de aguas, aditivos, geles, papel e industria farmacéutica. (Chilakamarry et al., 2020).

Diversos residuos agroindustriales mayormente empleados para la producción de pectinasas son: bagazo de manzana (Ibarra-Cantún et al. 2020), bagazo de azúcar de caña (Alzahrani et al. 2023; Aita et al. 2019), salvado de arroz (Abdullah et al. 2018; Janarny & Gunathilake 2020), cáscara de piña (Aruna 2019), residuos de aceite (Balakrishnan, 2021), biomasa vegetal y frutal (Chetana et al. 2021) cáscara de limón (Dange, V. U., Harke S.; 2018) , pulpa de café (Gasani et al. 2021; Hidayah et al. 2020), salvado de trigo (Kaur, Varghese. & Mahajan 2019), residuos de harinas (Melnikuch et al. 2020)

y cáscaras de platano y granada (Rasit et al. 2021; Roukas et al. 2020).

Estudios de Dange et al. (2018) describen que el salvado de trigo promueve un mejor crecimiento de hongos en sistemas de fermentación sólida debido al contenido de nitrógeno (6.5%) y aumenta el contenido de pectinasas alcalinas (Kaur Varghese & Mahajan 2019). La pulpa de café empleada como soporte presenta cerca del 50% de capacidad de retención de agua lo que promueve que la matriz del residuo retenga la humedad (Gasani et al. 2021). Es importante destacar que el tamaño de partícula es un factor clave para el soporte a utilizar para lo cual es indispensable realizar un tamizado en mallas de 0.85–2.0 mm y <0.85 mm (Melnikuch et al. 2020) en residuos de soya y cáscaras de plátano de 75 µm (Rasit et al. 2021).

En la tabla 2 se presenta las condiciones de temperatura, pH y oxígeno que se deben considerar para un óptimo crecimiento de microorganismos en sistemas de fermentación sólida con la finalidad de incrementar la producción de pectinasas. La humedad entre el 60 al 70 % es la más recomendada de acuerdo a estudios para el crecimiento de *Aspergillus* mostrando actividades de hasta 47,000 U/g sustrato seco.

Tabla 2. Condiciones de fermentación para la producción de pectinasas empleando residuos agroindustriales y agroforestales.

Microorganismo	Condiciones de fermentación	Actividad enzimática	Referencia
<i>Aspergillus niger</i>	0.1M NaCl 30°C por 3 días 2 ml; pH 4.0	4 U/mL	Ametefe et al. 2022.
<i>Bacillus thuringiensis</i> B45, <i>Bacillus velezensis</i> BF3 and <i>Bacillus amyloliquefaciens</i> B987	45 °C por 48 h	35.82 109.69 202.68 (IU mg ⁻¹ de proteína)	Alzahrani 2023
<i>Aspergillus niger</i> IBT-7	30 °C por 72 h pH 5.0 Medio Czapek	39.1 U/ml/min	Abdullah et al. 2018.
<i>Aspergillus niger</i>	32 °C 62 h	83 U/ml	Chetana et al. 2021.
<i>Aspergillus oryzae</i>	30°C por 15 días	1.12 U/ml	Dange, V. U., Harke S 2018.
Hongo aislado VTM4	Buffer de acetato de 20 mM a pH 5 72 h	0.747 U/ml	Gasani et al. 2021.
<i>Aspergillus</i> sp. VTM5	30 °C por 72 h pH 4.5	85.85 µg/ml	Hidayah et al. 2020.
<i>Bacillus pumilus</i> AJK	5 g 37°C por 9 días	Alcalin pectinasas 938 IU/g	Kaur, A., Varghese, L. M. & Mahajan, R., 2019.
<i>Aspergillus oryzae</i>	30 °C por 6 días	47,000 U/g sustrato seco	Melnikuch et al. 2020.
<i>Aspergillus niger</i>	35 °C por 120 horas 60% de humedad	27 U/ml	Rasit et al. 2021.

La generación de residuos agroindustriales ha incrementado debido principalmente a la baja tasa de empleo de dichos residuos para la generación de valor agregado, así como la viabilidad económica de alguna de estas. En determinadas zonas del país, como la zona maya del estado de Quintana Roo, se continúa con el desperdicio de fuentes vegetales, al no ser consideradas una alternativa para la obtención de nutrientes o productos de valor agregado, lo que ha ocasionado la acumulación de residuos orgánicos sin tratamiento para su debida incorporación en el suelo en forma de sustrato.

Algunas causas de importancia que impactan en la generación de residuos orgánicos sin un segundo uso han sido la mala calidad postcosecha de diferentes frutas de la región maya, lo que se refleja en su baja comercialización. Así mismo, su comercialización y consumo casi exclusivos como fruta fresca de *Hylocereus undatus* (pitahaya), del cual no existen procesos semiindustriales que cuenten con la estandarización de sus parámetros de calidad, únicamente se han reportado procesamientos artesanales que permiten la elaboración de muy pocos productos de consumo local, mientras que para *Vitex gaumeri* (yax-nik) no existe una explotación y por ende un aprovechamiento, al ser considerado un residuo agroforestal. De acuerdo con la bibliografía existente se ha reportado parte del aporte nutrimental por lo que es necesario realizar más estudios para la definición de aplicaciones.

Por lo tanto, las consecuencias de que la problemática de residuos orgánicos incrementa, representan un riesgo ambiental de consideración por la posible contaminación de suelos, focos de infección, propagación de plagas, además de, impactar económicamente el poder adquisitivo de la región, debido a la pérdida de variedades o especies autóctonas y, a su vez inciden en la desaparición de platillos tradicionales. Siendo importante el establecimiento de estrategias de reducción de los residuos agroindustriales que actualmente forman parte de los contaminantes medio ambientales.

Los residuos agroindustriales son generados por las industrias del manejo de animales, procesamiento de frutas y vegetales y cultivos de granos y semillas. Solo en

México, la industria de las frutas y vegetales produce 76 millones de toneladas de residuos, los cuales repercuten en la proliferación de plagas, contaminación de suelos y mantos acuíferos.

Los cultivos de pitahaya (*Hylocereus undatus*) y Yaxnik (*Vitex gaumeri*) son cultivados en la zona maya de Quintana Roo, estos generan residuos agroindustriales debido a la poca tecnificación, la mala calidad postcosecha y la poca diversificación de productos a partir de ellos; sin embargo, debido a su contenido de nutrientes, ambos residuos pudieran ser usados como sustratos para la generación de productos de alto valor. El aprovechamiento de estos residuos disminuiría el impacto ambiental que generan, así como la incorporación de un residuo de fácil asimilación al medio ambiente.

De tal manera que, estos residuos pueden ser usados para la obtención de enzimas como las pectinasas mediante sistemas de fermentación en estado sólido, teniendo ventaja por sobre una fermentación sumergida, ya que, la FES necesita requerimientos mínimos para su fermentación, así como ventajas al obtener productos más concentrados, debido a la baja cantidad de agua que requerida para su desarrollo.

Estas enzimas por su alto valor comercial, pueden ser usadas en industrias como la alimentaria, cosmética y farmacéutica. En particular, para el caso de los alimentos, estas enzimas pueden ser usadas en la clarificación de jugos, preparación de geles, manufactura de alimentos en general, retención de fibras, extracción de aceite, entre otras aplicaciones. Por tal motivo, resulta importante buscar alternativas de sustratos a bajo costo para producirlas, que sean de fácil acceso y más competitivas tecnológicamente con respecto a los soportes comerciales.

El presente trabajo busca ser una revisión bibliográfica de las ventajas de la fermentación en estado sólido, así como mostrar los posibles usos alternativos para los residuos agroindustriales de *Vitex gaumeri* y de *Hylocereus undatus*

para la obtención de pectinasas, mediante el empleo de sistemas de FES con el hongo *Aspergillus oryzae*.

Referencias

- Abdullah R, Farooq I, Kaleem A, Iqteqar M, Iftikhar T (2018) Pectinase production from *Aspergillus niger* IBT-7 using solid State fermentation. Bangladesh J. Bot. 47(3): 473-478.
<https://doi.org/10.3329/bjb.v47i3.38714>
- Alzahrani OM, Sohail M, Mahmoud SF, Alswat AS, El-Halmouch Y (2023) Preparation of a Pectinase-Enriched Multienzyme under Solid State Fermentation of Sugarcane Bagasse. Fermentation 9(141): 1-13.
<https://doi.org/10.3390/fermentation9020141>
- Ametefe GD, Lemo AO, Orji FA, Lawal AK, Iweala EE J, Chinedu SN (2022) Pectinase Activities of Selected Fungi Grown on Agrowastes via Solid-state Fermentation. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science 1-9.
<https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1755-1315/1054/1/012003/pdf>
- Bryant CM, Hamaker BR (1997) Effect of lime on gelatinization of corn flour and starch. Cereal chemistry 74(2): 171-175.
<http://dx.doi.org/10.1094/CCHEM.1997.74.2.171>
- Carnevali, G., Duno, R., Tapia Muñoz, J. L., Ramírez-Morillo, I. M. (2023). Invisible a plena vista: una piyahaya (*Hylocereus*) desconocida. Desde el Herbario CICY, 15:112-117.
https://www.cicy.mx/Documentos/CICY/Desde_Herbario/2023/2023-06-08-GCarnevali-Invisible-a-plena-vista-una-pitahaya.pdf
- Chetana A, Kumar VV, Jyothi C, Kumar VA, Reddy DM (2021) Production of Pectinase from Fruit and Vegetable Waste by *Aspergillus niger*. Bulletin Monumental 8(22):8-12.
https://www.researchgate.net/publication/361926316_Production_of_Pectinase_from_Fruit_and_Vegetable_Waste_by_AspERGILLUS_niger
- Crosbie GB (1991) The Relationship between Swelling Properties, Paste Viscosity and Boiled Noodle Quality in Wheat

Flours. Journal of cereal science 13(2):145-150.
https://www.scirp.org/reference/reference_spa_pers?referenceid=421533

Dange VU, Harke S (2018) Production and purification of Pectinase by fungal strain in solid-state fermentation using agro-industrial bioproduct. International Journal of Life Sciences Research 6(4): 85-93.
<https://www.researchpublish.com/papers/production-and-purification-of-pectinase-by-fungal-strain-in-solid-state-fermentation-using-agro-industrial-bioproduct>

Díaz ME (2022) Residuos agroalimentarios ¿qué son? ¿quién los genera? y ¿por qué son valiosos?. Frontera biotecnológica 9-16.
<https://www.revistafronterabiotecnologica.ciba.tlaxcala.ipn.mx/volumen/vol23/pdf/vol-23-2.pdf>

Gasani OK, Azizah A, Siswanto S, Winarsa R, Muzakhar K (2020) Pectinase Production by Using Coffee Pulp Substrate as Carbon and Nitrogen Source. Key Engineering Materials 884: 165-170.
<https://repository.unej.ac.id/handle/123456789/106319>

Hidayah AA, Azizah Winarsa R, Muzakhar K (2020) Utilization of coffee pulp as a substrate for pectinase production by *Aspergillus* sp. VTMS through solid state fermentation. AIP Conf. Proc. <https://doi.org/10.1063/5.0030474>

Holloway WD, Greig RI (1984) Water holding capacity of hemicelluloses from fruits, vegetables and wheat bran. Journal of Food Science 49(6):1632-1633.
<https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.1984.tb12867.x>

Kaur A, Varghese LM, Mahajan R (2019) Simultaneous production of industrially important alkaline xylanase-pectinase enzymes by a bacterium at low cost under solid-state fermentation conditions. Biotechnology and Applied Biochemistry 66(4):574-585.
<https://doi.org/10.1002/bab.1757>

- Korotkova N., Borsch T. & Arias Montes S. (2017) . A phylogenetic framework for the Hylocereeae (Cactaceae) and implications for the circumscription of the genera. *Phytotaxa* 327(1): 1–46. <https://doi.org/10.11646/phytotaxa.327.1.1>
- Kumla J, Suwannarach N, Sujarit N, Penkhruue W, Kakumyan P, Jatuwong K, Vadthanarat S, Lumyong S (2020) Cultivation of Mushrooms and Their Lignocellulolytic Enzyme Production Through the Utilization of Agro-Industrial Waste. *Molecules*, 25(12):1-41. <https://doi.org/10.3390/molecules25122811>
- Melnichuk N, Braia MJ, Anselmi PA, Meini MR, Romanini D (2020) Valorization of two agroindustrial wastes to produce alpha-amylase enzyme from *Aspergillus oryzae* by solid-state fermentation, *Waste Management* 106:155-161. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2020.03.025>
- Miranda AG, Soto JL M, Ruiz IG (2008) Parcial caracterización de nuevos almidones obtenidos del tubérculo de camote del cerro (*Dioscorea spp*). *Revista iberoamericana de tecnología postcosecha* 9(1): 81-88. <https://www.redalyc.org/pdf/813/81311226011>
- OMA (2023). Official Methods of Analysis of AOAC INTERNATIONAL 22th Ed. <https://www.aoac.org/official-methods-of-analysis/>
- ONU. Programa para el medio ambiente (2023, 30 de marzo) Día Internacional de Cero Desechos 2023. <https://www.unep.org/es/events/un-day/dia-internacional-de-cero-desechos-2023>
- Rasit N, Sze YS, Hassan MA, Kuan OC, Hamzah S, Rahman W, Siddique N (2021) Pectinase Production from Banana Peel Biomass via the Optimization of the Solid-state Fermentation Conditions of *Aspergillus niger* Strain. *Pertanika J. Sci. & Technol.* 30(1):257-275 <https://doi.org/10.47836/pjst.30.1.14>.
- Rodriguez GO, Serrat DM (2008) Poligalacturonasas de levaduras: un producto biotecnológico de grandes potencialidades. *Tecnología Química* 28(1):80-90. <https://www.redalyc.org/pdf/4455/445543755010>
- Sadh PK, Duhan S, Duhan JS (2018) Agro-industrial wastes and their utilization using solid state fermentation: a review. *Bioresources and Bioprocessing* 5(1):1-15. <https://doi.org/10.1186/s40643-017-0187-z>
- Salazar I, Ramírez H, Yllanes M, Zúñiga A, Castellanos R, Naquiche A, Castillo D (2020) Selección e identificación de una nueva bacteria productora de pectinasa a partir de fuentes geotermales. *Ciencia & Desarrollo* 27:143-149. <https://doi.org/10.33326/26176033.2020.27.1004>
- Sengkhampan N, Chanshotikul N, Assawajitpukdee C, Khamjae T (2013) Effects of blanching and drying on fiber rich powder from pitaya (*Hylocereus undatus*) peel. *International Food Research Journal* 20(4):1595-1600. <http://www.ifrj.upm.edu.my/volume-20-2013.html>
- SIAP (2022) Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera. Anuario Estadístico de la Producción Agrícola <https://nube.siap.gob.mx/cierreagricola/>
- Verona-Ruiz A, Urcia-Cerna J, Paucar-Menacho LM (2020) Pitahaya (*Hylocereus spp.*): Cultivo, características fisicoquímicas, composición nutricional y compuestos bioactivos. *Scientia Agropecuaria* 11(3):439-453. <https://doi.org/10.17268/sci.agropecu.2020.03.16>
- Yegres S, Sánchez J, Belmar M, Riveros W, Belmar D (2001) Producción de enzimas pécticas ensayos preliminares. *Saber* 13(1):55-59. <http://ri2.bib.udo.edu.ve:8080/jspui/handle/123456789/3761>