



Abanico Veterinario. Enero-Diciembre 2022; 12:1-23. <http://dx.doi.org/10.21929/abavet2022.17>
Revisión de Literatura. Recibido: 12/01/2022. Aceptado:11/06/2022. Publicado: 01/08/2022. Clave: e2022-3.
<https://www.youtube.com/watch?v=ZuMwdbC1MEE&t=145s>

Fermentación de subproductos agroindustriales como estrategia para obtener aditivos para alimento de codorniz

Fermentation of agro-industrial by-products as a strategy to obtain quail feed additives

Vargas-Sánchez Rey*¹ , Torrescano-Urrutia Gastón¹ , Esqueda-Valle Martín² ,
Torres-Martínez Brisa¹ , Sánchez-Escalante Armida¹ 

¹Coordinación de Tecnología de Alimentos de Origen Animal, Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo (CIAD, A.C.). México. ²Coordinación de Tecnología de Alimentos de Origen Vegetal, Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo (CIAD, A.C.). México. *Autor responsable y de correspondencia: Vargas-Sánchez Rey David. Carretera Gustavo Enrique Astiazarán Rosas 46, Col. La Victoria, CP. 83303, Hermosillo, Sonora México. E-mail: rey.vargas@ciad.mx, gtorrescano@ciad.mx, esqueda@ciad.mx, brisa.torres@estudiantes.ciad.mx, armida-sanchez@ciad.mx

RESUMEN

La actividad agroindustrial en México genera una cantidad importante de subproductos vegetales (37.5 Mt, producción estimada), los cuales son generados durante el procesamiento de los frutos. Estos subproductos agroindustriales son una fuente importante de nutrientes y compuestos bioactivos que pueden ser revalorizados. En el presente manuscrito se revisan los hallazgos de diferentes investigaciones en las que se evalúa el uso de la fermentación fúngica en estado sólido (FES) para la recuperación de compuestos de subproductos agroindustriales, con posible uso como ingredientes en el alimento para codorniz. En relación a la composición química de los subproductos agroindustriales, ésta dependerá de la especie vegetal, región anatómica (cáscara, pulpa y semilla) y condiciones de procesamiento (fresco o seco). Estos subproductos poseen componentes bioactivos, como enzimas, vitaminas, ácidos orgánicos, pigmentos y compuestos fenólicos (ácidos fenólicos y flavonoides); como alternativa a los métodos convencionales y no convencionales de extracción. La FES es un método novedoso para la recuperación de componentes bioactivos a partir de subproductos agroindustriales de cultivos, como: manzana, trigo, maíz, yuca, arroz, patata, granada, arándano, garbanzo y naranja. Los componentes bioactivos recuperados por FES son una alternativa con uso potencial como aditivos para el alimento de codorniz.

Palabras clave: agro-substratos, composición química, métodos de extracción, fermentación fúngica, ingrediente alimentario.

ABSTRACT

Agro-industrial activity in Mexico generates a significant amount of vegetable by-products (37.5 Mt, estimated production), which are generated during the processing of harvested fruits. These agro-industrial by-products are an essential source of nutrients and bioactive compounds that can be reevaluated. In this manuscript, the findings of different investigations are reviewed, in which the use of solid-state fungal fermentation (SSF) for the recovery of compounds from agro-industrial by-products with possible use as ingredients in quail feed is evaluated. Concerning the chemical composition of agro-industrial by-products will depend on the plant species, anatomical region (peel, pulp, and seed), and processing conditions (fresh or dry). These by-products have bioactive components, such as enzymes, vitamins, organic acids, pigments, and phenolic compounds (phenolic acids and flavonoids). As an alternative to conventional and unconventional extraction methods, SSF is a novel method for recovering bioactive components from agro-



industrial by-products of crops, such as apple, wheat, corn, cassava, rice, potato, pomegranate, blueberry, chickpea, and orange. The bioactive components recovered by SSF are an alternative with potential use as additives for quail feed.

Keywords: agro-substrates, chemical composition, extraction methods, fungal fermentation, bioactive feed ingredient.

INTRODUCCIÓN

En 2019, la producción avícola en México fue de alrededor de 3.6 M de toneladas métricas, y presentó un consumo interno de 4.5 M de toneladas métricas; por lo anterior, es considerado uno de los principales productores de aves en América Latina. Sin embargo, el incremento en el consumo de aves de corral ha llevado a que se importen aproximadamente 0.9 M de toneladas métricas de carne de pollo de otros mercados (USDA, 2019). Dicho incremento ha ocasionado un aumento en el consumo de otras especies de aves pequeñas (Mnisi & Mlambo, 2018).

En este contexto la codorniz japonesa (*Coturnix japonica*), es un ave pequeña producida bajo un sistema intensivo; principalmente en países europeos y latinoamericanos, con el fin de obtener carne y huevo para consumo (figura 1). La producción de estas aves se caracteriza por presentar una tasa de crecimiento más rápida, madurez sexual temprana y bajos requisitos de espacio (Ghasemi-Sadabadi *et al.*, 2020; Mnisi & Mlambo, 2018).



Figura 1. Sistema de producción de la codorniz japonesa (fuente, Vargas-Sánchez Rey)



El sistema de producción intensiva de codornices requiere de ciertos aspectos nutricionales, los cuales se obtienen a partir de cultivos agroindustriales, como la soya y el maíz; sin embargo, esto depende de su disponibilidad y costo en el mercado (Mnisi & Mlambo, 2018). En este contexto, de acuerdo con el NRC (1994), la dieta de la codorniz debe estar equilibrada a un nivel energético específico; además de contar con un determinado contenido de proteínas, aminoácidos (principalmente lisina, metionina, metionina+cisteína, arginina y treonina) y ácidos grasos (ácido linoleico). También requiere de minerales (calcio, fósforo no fitato, sodio, cobre, hierro, manganeso y zinc) y vitaminas (A, D, E, tiamina, riboflavina, piridoxina, B12, ácido fólico, niacina, ácido pantoténico y colina). No obstante, el uso de estos componentes dependerá de la edad de las aves, la zona climática y si éstas son destinadas para producción de carne o huevo (Mnisi & Mlambo, 2018; NRC, 1994).

En investigaciones previas se ha reportado que los subproductos agroindustriales, incluyendo pulpas, semillas y cáscaras, son considerados una fuente importante de componentes nutricionales y bioactivos (Dong *et al.*, 2014; Friedman *et al.*, 2017; Gazalli *et al.*, 2013; Kruczek *et al.*, 2017; Rosero *et al.*, 2019; Saleem y Saaed, 2020; Scully *et al.*, 2016). Por lo anterior, estos subproductos se han incorporado como ingredientes directamente al alimento para codorniz, con el fin de mejorar el rendimiento y la calidad de la carne (Ghazaghi *et al.*, 2014; Mnisi y Mlambo, 2018); sin embargo, la biodisponibilidad de estos nutrientes y compuestos bioactivos es limitada, y depende de la matriz del subproducto agroindustrial utilizado, lo cual podría reducir su digestibilidad y absorción en el intestino del ave (Cullere *et al.*, 2016; Mnisi y Mlambo, 2018). Por lo tanto, para la recuperación de estos nutrientes es indispensable establecer estrategias mediante el uso de diferentes métodos de recuperación o extracción (Azmir *et al.*, 2013; Rajavat *et al.*, 2020). Por ello, una estrategia novedosa para la recuperación de estos nutrientes y compuestos bioactivos es la fermentación fúngica en estado sólido (FES), la cual se lleva a cabo en una matriz sólida (sustrato), en ausencia o casi ausencia de agua libre; aunque el sustrato requiere humedad para apoyar el crecimiento y la actividad metabólica del hongo (Chawla *et al.*, 2017; Wang *et al.*, 2019).

Por lo anterior, el objetivo de la presente investigación es documentar el uso de la FES como método estratégico para recuperar componentes nutricionales y bioactivos a partir de subproductos agroindustriales, y el posible uso de éstos como aditivos para la alimentación de codornices.

Subproductos agroindustriales en México

El territorio mexicano tiene una superficie total de aproximadamente 196.4 millones de hectáreas (MH), de las cuales 21 millones están destinadas a uso agrícola (6.5 MH de riego y 14.5 MH de temporal). Además, la diversidad climática y suelo de este país permite el desarrollo de una gran variedad de cultivos, de los cuales algunos se destinan al comercio directo y otros se destinan al mercado de exportación (SAGARPA, 2015). De



los diversos productos agrícolas que se cultivan en México, los principales son: maíz, frijol, trigo, arroz, sorgo, caña de azúcar, oleaginosas, soya, cártamo, ajonjolí, café, chile, fresa, maní, entre otros (Mussatto *et al.*, 2011; SAGARPA, 2015; Valdez-Vazquez *et al.*, 2010). Sin embargo, derivado de la actividad agroindustrial se genera una gran cantidad de residuos, desde plásticos y metálicos, hasta químicos y vegetales (SAGARPA, 2015). Los residuos vegetales, también conocidos como subproductos agroindustriales se pueden dividir en dos categorías principales: primarios o residuos que quedan en el campo después de la cosecha (por ejemplo, paja/tallo) y subproductos secundarios o residuos generados al procesar los cultivos cosechados (por ejemplo, mazorcas, cáscaras, pulpas y bagazo) (Valdez-Vazquez *et al.*, 2010). Aunque se desconoce el volumen exacto de subproductos agroindustriales generados en México; se han llevado a cabo esfuerzos para estimar su producción (figura 2).

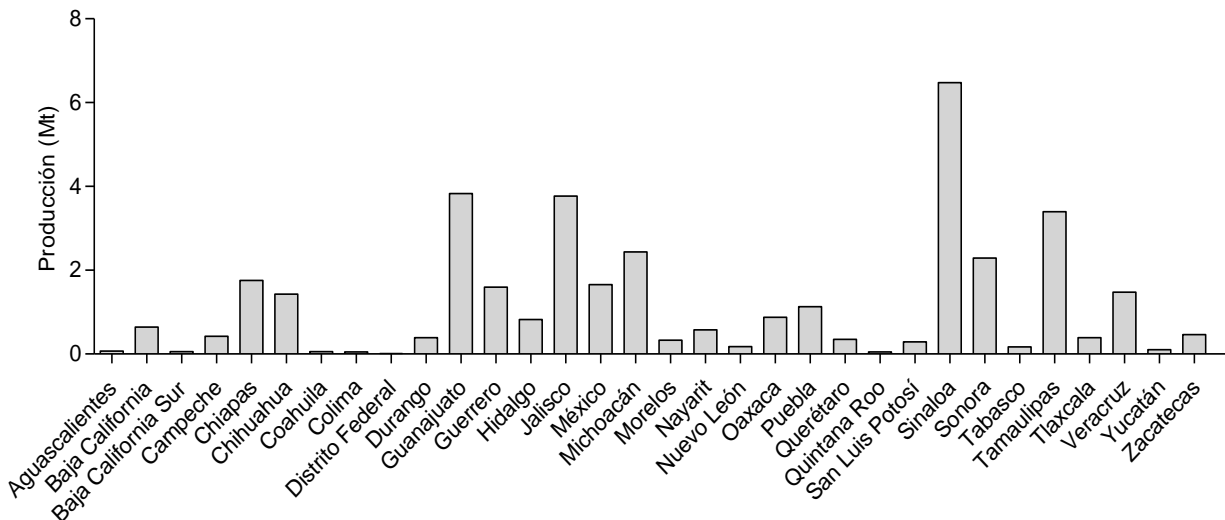


Figura 2. Producción de subproductos agroindustriales en México, 2008–2011 (SAGARPA, 2015)

En México, las principales regiones productoras de subproductos son las siguientes: en el noroeste del país se incluye a los municipios de Ahome, Angostura, Culiacán, Guasave, Navolato, Sinaloa de Leyva (Sinaloa), Cajeme, Etchojoa y Navojoa (Sonora) y Mexicali (Baja California). Además, los municipios de Cuauhtémoc (Chihuahua), Matamoros, Reynosa, Río Bravo, San Fernando y Valle Hermoso (Tamaulipas), que también han sido considerados áreas con alta producción de subproductos. En la zona central del país, La Barca y San Martín Hidalgo (Jalisco), y en el sur de México, Venustiano Carranza (Estado de Chiapas), Hopelchen (Campeche), Othon P. Blanco (Quintana Roo), Tuxtepec, Acatlán de Pérez Figueroa, San Juan Bautista (Oaxaca), y los municipios de Cosamaloapan de Carpio, Pánuco y Tres Valles (Veracruz), han sido considerados zonas estratégicas para la obtención de subproductos agroindustriales (Valdez-Vazquez *et al.*, 2010).



Sin embargo, en el país existen vacíos legales que no permiten establecer una regulación clara para su reducción o reutilización (SAGARPA, 2015). A pesar de lo anterior, en México el uso de subproductos agroindustriales cobra especial interés por su disponibilidad, bajo costo y sus componentes (nutrientes y compuestos bioactivos); los cuales podrían considerarse como una alternativa para la obtención de ingredientes con potencial para su incorporación en alimentos balanceados (SAGARPA, 2015; Valdez-Vazquez *et al.*, 2010).

Composición química de los subproductos agroindustriales

La composición química de los subproductos agroindustriales es variable, y depende de la fuente natural (especie vegetal), la región anatómica (pulpa, cáscara y semilla) y las condiciones de procesamiento (fresco o seco). La composición química aproximada de algunos subproductos agroindustriales se muestra en la tabla 1. Los principales componentes de los subproductos agroindustriales son proteínas, carbohidratos y grasas (Gazalli *et al.*, 2013; Kruczek *et al.*, 2017; Mussatto *et al.*, 2011); mientras que en menor proporción se encuentran las cenizas (Kruczek *et al.*, 2017; Talabi *et al.*, 2016). Por otra parte, el contenido de materia seca es muy variable y depende de las condiciones del tratamiento térmico, ya que este parámetro aumenta en el material vegetal durante el tratamiento térmico por pérdida de agua (Gazalli *et al.*, 2013; Mussatto *et al.*, 2011).

Tabla 1. Composición nutrimental de algunos subproductos agroindustriales

Material	Subproducto	Composición	Referencia
Manzana	Pulpa seca	Composición proximal: CH (3.9-10.8%), CP (2.9-5.7%), CG (1.2-2.9%), CC (0.5-6.1%), CCH (48.0-62.0%), y CF (4.7-51.1%). Ácidos grasos: C16:0, C18:0, C18:1, C18:2, y C18:3 Minerales: P, K, Ca, Na, Mg, Cu, Zn, Mn, y Fe Azúcares: Glc, Fru, Xil, Man, Gal, Ara, y Ram	Kruczek <i>et al.</i> (2017)
	Pulpa seca	Aminoácidos: Ser, His, Ala, Gly, Tyr, y Cys Azúcares: arabinosa, glucosa, fructosa, y sacarosa	Dadwal <i>et al.</i> (2018)
	Semilla seca	Aminoácidos: His, Gly, Tyr, y Cys Azúcares: Ara, Glu, Fru, y Sac	Dadwal <i>et al.</i> (2018)
	Pulpa seca	Composición proximal: CP (5.1%), CG (3.1%), CC (5.1%), y CF (24.7%)	Gazalli <i>et al.</i> (2013)
Aguacate	Semilla seca	Composición proximal: CH (26.3%), CP (6.3%), CG (16.8%), CC (5.2%), CCH (67.7%), y CF (4.0%) Minerales: Ca, Na, K, y P Vitaminas: A, C, y E	Talabi <i>et al.</i> (2016)
	Pulpa fresca	Composición proximal: CH (72.3%), CP (2.0%), CG (15.4%), CC (1.7%), CCH (8.6%), y CF (6.8%) Ácidos grasos: C16:1, C18:1, y C18:3 Minerales: Ca, Fe, Mg, P, K, Na, Zn, Cu, Mn, y Se Vitaminas: A, C, K1, B2, B3, B5, B6, y B12	Dreher & Davenport (2013)
	Cáscara, pulpa y semilla fresca	Composición proximal: CH (76.0, 77.4 y 55.8%, respectivamente), CP (1.8, 1.8 y 2.2%), CG (1.0, 15.8 y 1.4%), y CC (0.9, 1.0 y 0.7%)	Rodríguez-Carpena <i>et al.</i> (2011)
Zanahoria	Pulpa seca	Composición proximal: CP (6.2%), CG (2.4%), CC (4.0%), y CF (20.1%)	Gazalli <i>et al.</i> (2013)
Café	Bagazo de café seco	Minerales: K, P, Mg, Ca, Mn, Cu, Na, Fe, y Zn Azúcares: Man, Gal, y Glc	Scully <i>et al.</i> (2016)
	Pulpa seca	Aminoácidos: Ala, Arg, Asp, Cys, Glu, Gly, His, Ile, Leu, Lys, Met, Phe, Pro, Ser, Thr, Tyr, y Val	Campos-Vega <i>et al.</i> (2015)



	Bagazo de café	Ácidos grasos: C12:0, C14:0, C18:0, C16:1, C18:1, C18:2, y C18:3	Campos-Vega <i>et al.</i> (2015)
	Cascarilla de café seca	Composición proximal: CP (18.6%), CG (2.2%), CC (7.0%), y CF (62.4%) Azúcares: Xil, Ara, Gal, y Man	Mussatto <i>et al.</i> (2011)
	Bagazo de café	Composición proximal: CP (13.6%) y CC (1.6%) Azúcares: Ara, Gal, y Man	Mussatto <i>et al.</i> (2011)
Uva	Piel de orujo	Composición proximal: CP (6.5-12.3%), CG (1.1-6.3%), CC (3.3-7.2%), CCH (1.4-77.5%), y CF (28.0-56.3%) Azúcares: Xil, Gal, Ara, y Man	Deng <i>et al.</i> (2011)
	Pulpa y tallo fresco	Composición proximal: CH (53.9 y 61.5%, respectivamente), CP (3.8 y 2.2%), CG (0.5 y 0.9%), CC (2.1 y 4.3%), CCH (2.4 y 2.9%), y CF (37.4 y 28.8%) Azúcares: Ram, Fuc, Ara, Xil, Man, Gal, y Glc	González-Centeno <i>et al.</i> (2010)
Limón	Cáscara seca	Minerales: Cd, Cr, Cu, Fe, Mn, Mg, y Zn	Saleem & Saeed (2020)
	Cáscara	Vitaminas: vitamina C	M'hiri <i>et al.</i> (2017)
Mandarina	Cáscara	Vitaminas: vitamina C	M'hiri <i>et al.</i> (2017)
Naranja	Cáscara seca	Minerales: Cd, Cr, Cu, Fe, Mn, Mg, y Zn	Saleem & Saeed (2020)
	Cáscara y semilla seca	Composición proximal: CH (9.7 y 8.3%, respectivamente), CP (11.0 y 6.8%), CG (6.3 y 0.8%), CC (4.9 y 3.0%), CCH (54.2 and 67.8%), y CF (14.0 y 3.0%)	Egbonu & Osuji (2016)
	Cáscara fresca	Composición proximal: CH (76.1%), CP (8.1%), CG (0.8%), CC (3.2%), y CCH (46.2%) Vitaminas: vitamina C	M'hiri <i>et al.</i> (2015)
Papa	Cáscara fresca	Composición proximal: CH (82.3-83.5%) y CP (1.57-1.8%) Aminoácidos: Ser, Asn, Thr, Glu, Ala, Val, Met, Ile, Lys, His, y Arg Azúcares: Fru, Glc, y Sac	Choi <i>et al.</i> (2016)
	Cáscara seca	Composición proximal: CP (13.7%), CG (0.7%), CC (8.1%), CCH (73.4%), y CF (4.2%)	Kleekayai & Suntornsuk (2011)
Arroz	Cáscara seca	Composición proximal: CP (13.2%), CG (18.2%), CC (12.0%), CCH (52.1%), y CF (4.5%)	Schmidt & Furlong (2012)

Contenido de humedad (CH), proteína (CP), grasa (CG), ceniza (CC), carbohidratos (CCH), fibra (CF). Ácidos grasos: láurico (C12:0), mirístico (C14:0), palmítico (C16:0), esteárico (C18:0), palmitoleico (C16:1), oleico (C18:1), linoleico (C18:2), y linolénico (C18:3). Aminoácidos: alanina (Ala), arginina (Arg), ácido aspártico (Asp), cisteína (Cys), ácido glutámico (Glu), glicina (Gly), histidina (His), isoleucina (Ile), leucina (Leu), lisina (Lys), metionina (Met), fenilalanina (Phe), prolina (Pro), serina (Ser), treonina (Thr), tirosina (Tyr), y valina (Val). Minerales: cadmio (Cd), cromo (Cr), selenio (Se), fósforo (P), potasio (K), calcio (Ca), sodio (Na), magnesio (Mg), cobre (Cu), zinc (Zn), manganeso (Mn), y hierro (Fe). Azúcares: glucosa (Glc), fructosa (Fru), fucosa (Fuc), xilosa (Xil), manosa (Man), galactosa (Gal), arabinosa (Ara), ramnosa (Ram), y sacarosa (Sac).

Además, los subproductos agroindustriales son considerados una fuente importante de proteína debido a su perfil de aminoácidos esenciales, incluyendo a la Cys, Phe, Ile, Leu, Lys, Met, Tyr, Thr, y Val. También, son fuente importante de aminoácidos no esenciales como la Ala, Arg, Asp, Gly, Glu, His, Pro y Ser (Dadwal *et al.*, 2018; Campos-Vega *et al.*, 2015; Choi *et al.*, 2016). Por otra parte, como parte de la composición de los subproductos agroindustriales, se han identificado diferentes minerales como el Ca, Cu, Fe, Mg, P, K, Na y Zn (Dreher & Devenport, 2013; Saleem & Saeed, 2020; Scully *et al.*, 2016). Otro de los compuestos importantes es el perfil de ácidos grasos, se ha demostrado la presencia de ácido oleico, linoleico, palmítico, esteárico, entre otros (Campos-Vega *et al.*, 2015;



Dreher & Davenport, 2013). Respecto al perfil de carbohidratos de los subproductos, algunos trabajos, indican la presencia de Ara, Gal, Glc, Fru, Man, Ram, y Xil (Choi *et al.*, 2016; González-Centeno *et al.*, 2010; Kruczek *et al.*, 2017).

Asimismo los subproductos agroindustriales contienen varias vitaminas primarias, que incluyen a la vitamina A, vitamina C, vitamina K1, tiamina, riboflavina, niacina, ácido pantoténico, vitamina B6, folato, colina, betaína y vitamina B12 (Dreher & Davenport, 2013; M'hiri *et al.*, 2017; Talabi *et al.*, 2016). Sin embargo, algunos estudios han reportado la presencia de ciertos compuestos antinutricionales, algunos polímeros como pectina y otras sustancias orgánicas como los taninos (Deng *et al.*, 2011; Talabi *et al.*, 2016). En semilla seca de aguacate se ha informado acerca de la presencia de antinutrientes como alcaloides, taninos, ácido fítico, saponinas y oxalato (Talabi *et al.*, 2016); mientras que en cáscara seca de papa, se identificó la presencia de alcaloides, incluyendo a la α -chaconina y α -solanina (Friedman *et al.*, 2017).

Además, existe evidencia reciente de algunos ácidos orgánicos (níttrico y cítrico, entre otros) encontrados en subproductos agroindustriales; así como pigmentos (carotenos) y compuestos fenólicos (figura 3), que incluyen a los ácidos fenólicos y flavonoides (Dreher & Davenport, 2013; M'hiri *et al.*, 2017; Rosero *et al.*, 2019; Scully *et al.*, 2016). De este último grupo de compuestos, en semilla seca de manzana y pulpa, se han identificado a los ácidos gálico, cafeico, y protocatecuico (Dadwal *et al.*, 2018); además, se encontró la presencia al ácido cinámico y clorogénico en pulpa seca de manzana (Dadwal *et al.*, 2018; García *et al.*, 2009). Por otra parte, se ha reportado la presencia de ácidos cafeico, *p*-cumárico, ferúlico, sinápico, siríngico y vanílico, así como los flavonoides (+)-catequina, quercetina, apigenina y kaempferol en semilla y cáscara fresca de aguacate (Rosero *et al.*, 2019). Mientras que en cáscara de zanahoría seca, cáscara seca y fresca de papa, así como en bagazo de café, algunos estudio reportan la presencia de ácido clorogénico (Friedman *et al.*, 2017; Panusa *et al.*, 2013; Zhang y Hamazu, 2004). Otros de los subproductos que se han analizado son las cáscaras de toronja, limón y mandarina, en las cuales se reporta la presencia de los ácidos cafeico, *p*-cumárico, ferúlico y sinápico; así como, los flavonoides hesperidina y naringenina (M'hiri *et al.*, 2017). Estos flavonoides se han encontrado también en semilla seca de mandarina y naranja (Moulehi *et al.*, 2012).

Otra fuente importante de ácidos cafeico y gálico son la mazorca de maíz y las hojas que la recubren (Dong *et al.*, 2014); sin embargo, aún se desconoce información sobre el valor nutricional y los compuestos bioactivos de algunos subproductos agroindustriales, los cuales, podrían obtenerse o recuperarse para el desarrollo de medicamentos y como ingredientes de alimentos, así como aditivos para la alimentación de aves.



Extracción de compuestos de subproductos agroindustriales

Los procesos de separación, esterilización y reducción de partículas (láminas/escamas o harina), se consideran los primeros pasos del tratamiento de los subproductos agroindustriales, y se utilizan para separar impurezas, eliminar microorganismos que puedan alterar la composición, así como aumentar la recuperación de los compuestos (Azmir *et al.*, 2013; Trakulvichean *et al.*, 2017). No obstante, es necesario utilizar un método adecuado de extracción para recuperar cualquier componente (Friedman *et al.*, 2017; Kruczek *et al.*, 2017; Mussatto *et al.*, 2011; Saleem & Saeed, 2020).

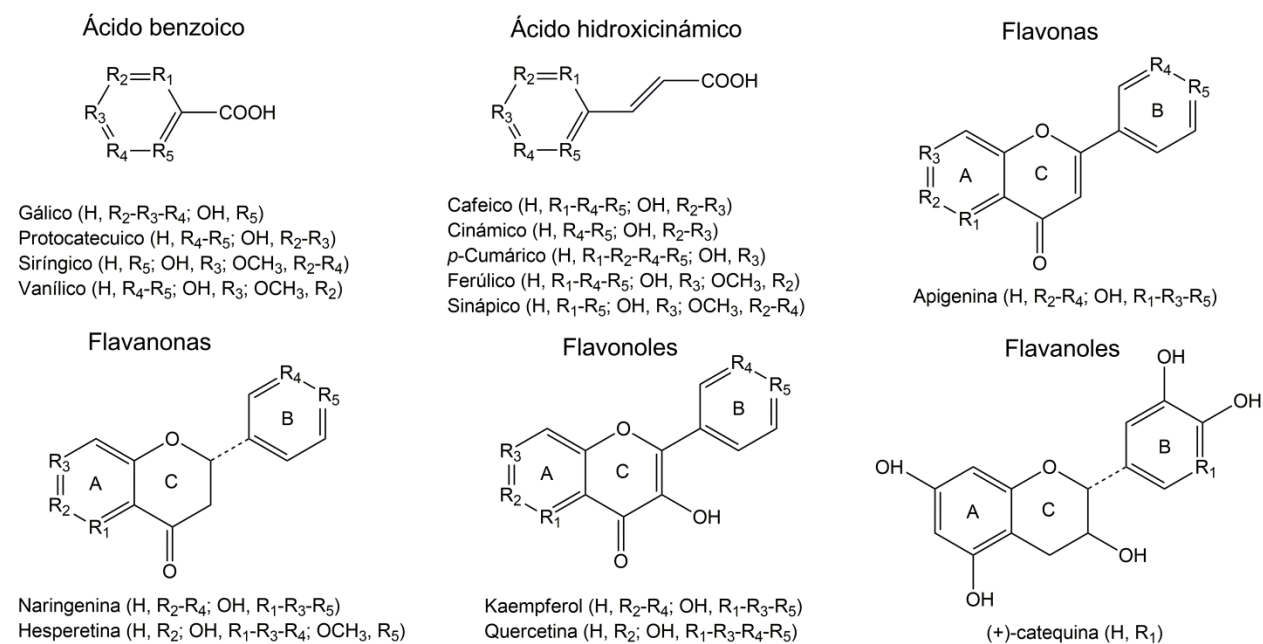


Figura 3. Compuestos fenólicos presentes en algunos subproductos agroindustriales

Por ejemplo, Zhang & Hamazu (2004), utilizaron cáscara de zanahoria para la obtención de compuestos bioactivos. La cáscara fue sometida a un proceso de reducción de tamaño, y los compuestos fueron recuperados con acetona durante 60 minutos (maceración). Posteriormente, para separar el sólido del solvente se utilizó un proceso de separación (centrifugación); mientras que los compuestos se concentraron mediante evaporación del solvente mediante vacío a 35 °C. En otro trabajo, García *et al.* (2009) utilizaron pulpa de manzana para la obtención de compuestos bioactivos, la cual fue previamente sometida a un proceso de reducción de tamaño de partícula (molienda y prensado), y sometida a un proceso de extracción de compuestos, utilizando como solvente de extracción una mezcla de acetona y agua (7:3), y como método de recuperación la extracción asistida por ultrasonido. Después los sólidos fueron separados por centrifugación (17,000xg/10 °C/10 min) y el solvente se evaporó mediante vacío a 30 °C, para la recuperación del extracto seco. Mientras que, Moulehi *et al.* (2012)



recolectaron semillas de cítricos, los cuales fueron sometidas a un proceso de desinfección, secado y reducción de tamaño de partícula. Posteriormente los compuestos bioactivos se recuperaron, utilizando como solvente de extracción etanol durante 30 min (maceración). El solvente se filtró y evaporó mediante vacío, para obtener el extracto seco. Además, [Friedman et al. \(2017\)](#) colectaron diferentes especies de papas, las cuales fueron sometidas a un proceso de desinfección; así como separación, secado (liofilización) y pulverizado de la cáscara. Los compuestos de la harina de cáscara de papa obtenida fueron recuperados con una mezcla de metanol y agua (8:2), utilizando como método de extracción ultrasonido (60 min a 60 °C). Después, la muestra se centrifugó (18,000xg/1 °C/10 min) y filtró (0.45 µm), para separar el residuo sólido, y obtener el extracto líquido.

En este contexto, los métodos convencionales (extracción por maceración, Soxhlet e hidroddestilación) y los métodos no convencionales (extracción asistida por enzimas, microondas, líquido a presión, fluidos supercríticos y ultrasonido) se utilizan comúnmente para extraer compuestos bioactivos. Sin embargo, es necesaria la combinación de estos métodos con otros factores, como la polaridad del solvente utilizado durante la extracción, las mezclas de solventes, la relación solvente-sólido, pH del solvente, tamaño de las partículas sólidas, temperatura, tiempo y el vacío; así como las condiciones de fermentación ([Azmir et al., 2013](#); [Chawla et al., 2017](#); [Morales et al., 2018](#)). Adicionalmente, el uso de métodos biotecnológicos como es la fermentación fúngica en medio líquido y sólido, es considerada como un método alternativo para la recuperación de compuestos bioactivos a partir de subproductos agroindustriales ([Vargas-Sánchez et al., 2021](#)).

Fermentación en estado sólido

La fermentación en estado sólido (FES) se usa ampliamente para el crecimiento o cultivo de hongos, en un material o sustrato sólido, con bajo contenido de humedad ([Chawla et al., 2017](#); [Wang et al., 2019](#)). La FES se considera una tecnología limpia para la producción o recuperación de compuestos bioactivos de fuentes naturales y sus residuos; sin embargo, la eficiencia de este proceso depende de la especie fúngica, así como de las condiciones ambientales y del sustrato utilizado ([Chawla et al., 2017](#); [Pleissner et al., 2015](#); [Rajavat et al., 2020](#)). En cuanto a las condiciones ambientales, se ha demostrado el efecto del pH y la composición de ingredientes del medio, la temperatura y el tiempo de incubación, entre otros ([Pleissner et al., 2015](#); [Xu et al., 2019](#)). Por ejemplo, un estudio previo indicó que los componentes del medio de cultivo (fructosa, glicerina, peptona, minerales y vitaminas), la temperatura (22–32 °C) y el tiempo (1–11 días) eran factores clave para la producción de polisacáridos de arroz fermentado (agrosustrato) en estado sólido con *Cordyceps militaris* ([Xu et al., 2019](#)).

En lo que respecta al sustrato, algunas investigaciones indican que el crecimiento de hongos y la recuperación de compuestos bioactivos están altamente correlacionados con



la composición del material (contenido de agua), las características físicas del material (porosidad de la matriz, tamaño de poro, diámetro de partícula) y el tipo de material (Egbonu & Osuji, 2016; Shankar & Mulimani, 2007; Saber *et al.*, 2010; Torrado *et al.*, 2011; Wang *et al.*, 2019). En otras investigaciones, se han utilizado subproductos agroindustriales como agrosustratos para la producción de hongos; por ejemplo, subproductos de plantas de gramo rojo, planta de garbanzo, harina de garbanzo rojo, cáscara de garbanzo rojo, salvado de trigo, salvado de arroz, residuos de piña, manzana y naranja; así como torta de maní, bagazo de caña, vaina de algarrobo, mazorca de maíz y salvado de trigo (Shankar & Mulimani, 2007; Torrado *et al.*, 2011; Wang *et al.*, 2019).

Aditivos para alimento de codorniz obtenidos por FES

Por lo anterior, se ha demostrado que la FES podría usarse para obtener o recuperar ingredientes que puedan ser utilizados en el alimento para codorniz (tabla 2), incluidas las proteínas y los aminoácidos, los ácidos grasos, los compuestos antioxidantes y antimicrobianos, las enzimas, las vitaminas y los minerales; a partir de subproductos agroindustriales como agrosustratos.

Estos componentes desempeñan un papel importante y específico en el rendimiento de las codornices (consumo de alimento, ganancia de peso corporal y tasa de conversión alimenticia), rendimiento de la canal y la carne, así como la calidad de la carne. Por lo tanto, la suplementación dietética con proteínas se ha utilizado como una estrategia para aumentar el peso corporal y mantener el color rojo característico de la carne de la pechuga de codorniz (Cullere *et al.*, 2016; Mosaad & Iben, 2009); así como disminuir la pérdida de peso por cocción y la dureza de las pechugas (Cullere *et al.*, 2016). Además, se ha demostrado el efecto positivo de la suplementación dietética con aminoácidos en el consumo de alimento, ganancia de peso y tasa de conversión alimenticia de codornices sujetas a estrés por calor (Baylan *et al.*, 2006; Del Vesco *et al.*, 2014).

También se determinó el efecto del tamaño de partícula (0.18–0.39 mm) y la concentración de sulfato de amonio sobre la producción de biomasa y proteína en la solución nutritiva de salvado de arroz fermentado en estado sólido con *Rhizopus oryzae*. Los resultados demostraron que una reducción en el tamaño de las partículas y un aumento en el nivel de sulfato de amonio, incrementó la ganancia de proteína. Además, los autores concluyeron que el proceso de fermentación aumenta el valor de los componentes recuperados para su uso potencial en formulaciones de alimentos (Schmidt & Furlong, 2012). En otra investigación, se utilizaron hojas de yuca y harinas de mesocarpio de babasú (*Orbignya sp.*) fermentadas en estado sólido con *Rhizopus oligosporus*, estos residuos fueron sometidos a evaluación del contenido de proteína. Los resultados demostraron un aumento en el contenido de proteína y en la digestibilidad de la proteína de las hojas de yuca después del proceso de fermentación, y concluyeron que la FES de los subproductos agroindustriales puede ser utilizada para producir alimentos



más nutritivos a través de la transformación de alimentos energéticos en alimentos estructurales con más proteínas (Morales *et al.*, 2018).

Tabla 2. Posibles aditivos de piensos producidos por fermentación fúngica en estado sólido utilizando subproductos agroindustriales como agrosustratos

Aditivos	Agrosustrato/Hongo	Resultados relevantes	Referencia
Proteína/aminácidos	Sustrato: paja de trigo Hongo: <i>Aspergillus</i> spp. and <i>Trichoderma</i> spp.	(↑) contenido de proteína	Rajavat <i>et al.</i> (2020)
	Sustrato: mazorca de maíz Hongo: <i>Phellinus igniarius</i>	(↑) contenido de proteína	Wang <i>et al.</i> (2019)
	Sustrato: grano gastado - industria cerveza Hongo: <i>Rhizopus</i> spp.	(↑) contenido de proteína y aminoácidos (↑) contenido de proteína soluble (↑) contenido de His, Ile, Leu, Lys, Met, Cys, Phe, Tyr, Thr, Val, Arg, Asp, Ser, Glu, Gly, Ala, y Pro	Ibarru <i>et al.</i> (2019)
	Sustrato: hojas de yuca Hongo: <i>Rhizopus oligosporus</i>	(↑) contenido de proteína y aminoácidos	Morales <i>et al.</i> (2018)
	Sustrato: salvado de arroz Hongo: <i>Rhizopus oryzae</i>	(↑) contenido de proteína	Schmidt & Furlong (2012)
	Sustrato: semilla de mango Hongo: <i>Aspergillus niger</i> , <i>Penicillium chrysogenum</i> , <i>Rhizopus oligosporus</i> , y <i>Rhizopus stolonifer</i>	(↑) Contenido de Thr, Glu, y Pro content (<i>A. niger</i>) (↑) Contenido de Lys, His, Thr, Glu, Pro, Cys, Ile, Leu, y Tyr (<i>P. chrysogenum</i>) (↑) Contenido de His, Thr, Cys, Ile, y Tyr (<i>R. oligosporus</i>) (↑) Contenido de Lys, His, Arg, Asp, Thr, Ser, Pro, Gly, Cys, Ile, Leu, y Tyr (<i>R. stolonifer</i>)	Kayode & Sani (2010)
	Ácidos grasos	Sustrato: grano gastado - industria cerveza Hongo: <i>Rhizopus</i> spp.	(↑) contenido de ácidos grasos saturados, mono- y poli-insaturados (↑) contenido de 16:0, 18:0, 18:1n9, 20:0, 20:1n9, 22:0, y 24:0
Sustrato: residuos de panadería Hongo: <i>Aspergillus oryzae</i>		(↑) contenido de ácido grasos: mirístico, palmítico, palmitoleico, esteárico, oleico, araquidónico, linoleico, y linoléico	Pleissner <i>et al.</i> (2015)
Antioxidantes y antibacterianos	Sustrato: arroz Hongo: <i>Cordyceps militaris</i>	(↑) Contenido de polisacáridos (↑) Inhibición del radical DPPH	Xu <i>et al.</i> (2019)
	Sustrato: cáscara de papa Hongo: <i>Morchella</i> spp.	(↑) Polisacáridos – contenido de quitina	Papadaki <i>et al.</i> (2019)
	Sustrato: mazorca de maíz Hongo: <i>Phellinus igniarius</i>	(↑) Contenido de flavonoides	Wang <i>et al.</i> (2019)
	Sustrato: grano gastado - industria cerveza Hongo: <i>Rhizopus</i> spp.	(↑) contenido de fenoles (↑) Inhibición del radical DPPH	Ibarru <i>et al.</i> (2019)
	Sustrato: orujo de uva Hongo: <i>Aspergillus niger</i>	(↑) contenido de fenoles, antocianidinas y proantocianidinas (↑) Inhibición del radical ABTS	Teles <i>et al.</i> (2018)
	Sustrato: Salvado de arroz Hongo: <i>Rhizopus oryzae</i>	(↑) ácidos fenólicos: gálico, protocatecuico, clorogénico, <i>p</i> -hidroxibenzoico, cafeico, siringico, vanilina, <i>p</i> -cumárico, y ferúlico (↑) Inhibición del radical DPPH, y de las enzimas peroxidada y polifenol oxidasa	Schmidt <i>et al.</i> (2014)
	Sustrato: cáscara de granada Hongo: <i>Aspergillus niger</i>	(↑) contenido de fenoles, inhibición del radical DPPH, y protección contral la oxidación del β -caroteno	Bind <i>et al.</i> (2014)



		(↓) cuenta total de <i>Staphylococcus aureus</i> , <i>Escherichia coli</i> , <i>Klebsiella pneumoniae</i> , y <i>Pseudomonas aeruginosa</i>	
	Sustrato: salvado de arroz Hongos: <i>Rhizopus oryzae</i>	(↑) contenido de fenoles	Schmidt & Furlong (2012)
	Sustrato: cáscara de papa Hongos: <i>Rhizopus oryzae</i>	(↑) polisacáridos – contenido de quitosano	Kleekayai & Suntornsuk (2011)
	Sustrato: pulpa de arándano Hongos: <i>Lentinus edodes</i>	(↑) contenido de fenoles (↓) cuenta total de <i>Listeria monocytogenes</i> , <i>Vibrio parahaemolyticus</i> , y <i>Escherichia coli</i>	Vattem <i>et al.</i> (2004)
Enzimas	Sustrato: paja de trigo Hongos: <i>Aspergillus</i> spp. and <i>Trichoderma</i> spp.	(↑) contenido de endoglucanasa, exoglucanasa, xilanasa, y celobiasa	Rajavat <i>et al.</i> (2020)
	Sustrato: cáscara de pistacho Hongos: <i>Lentinus tigrinus</i>	(↑) contenido de lacasa	Sadeghian-Abadi <i>et al.</i> (2019)
	Sustrato: jugo de cebolla Hongos: <i>Pleurotus sajor-caju</i>	(↑) contenido de pectinasa	Pereira <i>et al.</i> (2017)
	Sustrato: residuo de papa Hongos: <i>Aspergillus ficuum</i>	(↑) contenido de fitasa	Tian & Yuan (2016)
	Sustrato: residuo de procesamiento del vinagre Hongos: <i>Aspergillus ficuum</i>	(↑) contenido de fitasa	Wang <i>et al.</i> (2011)
	Sustrato: salvado de arroz, trigo y gram negro, residuo de aceite de coco y aceite de maní Hongos: <i>Aspergillus niger</i>	(↑) contenido de α -amilasa	Suganthi <i>et al.</i> (2011)
	Sustrato: salvado de trigo, naranja y caña de azúcar Hongos: <i>Thermomucor indicaeudaticae</i>	(↑) contenido de pectinasa	Martin <i>et al.</i> (2010)
	Sustrato: residuo semilla de arroz Hongos: <i>Aspergillus niger</i>	(↑) contenido de β -glucanasa y xilanasa	Wang & Feng (2009)
	Sustrato: Residuos de garbanzo, salvado de trigo y arroz, piña, manzana, naranja, cacahuete, caña de azúcar y algarroba Hongos: <i>Aspergillus oryzae</i>	(↑) contenido de α -galactosidasa	Shankar & Mulimani (2007)
	Sustrato: Residuo de aceite de babasú Hongos: <i>Penicillium restrictum</i>	(↑) contenido de lipasa, proteasa y amilasa	Palma <i>et al.</i> (2000)
Acidificantes	Sustrato: cáscara de naranja Hongos: <i>Aspergillus niger</i>	(↑) contenido de ácido cítrico	Torrado <i>et al.</i> (2011)
	Sustrato: tallos de paja de arroz Hongos: <i>Alternaria</i> spp., <i>Aspergillus</i> spp., <i>Penicillium</i> spp., y <i>Stachybotrys</i> spp.	(↑) contenido de ácido acético, cítrico, fórmico, málico, succínico, y oxálico	Saber <i>et al.</i> (2010)
	Sustrato: pulpa de caña de azúcar Hongos: <i>Rhizopus oryzae</i>	(↑) contenido de ácido láctico	Soccol <i>et al.</i> (1994)
Vitaminas	Sustrato: tallos de paja de arroz Hongos: <i>Alternaria</i> spp., <i>Aspergillus</i> spp., <i>Penicillium</i> spp., y <i>Stachybotrys</i> spp.	(↑) contenido de vitamina C	Saber <i>et al.</i> (2010)
	Sustrato: pasta de soya Hongos: <i>Lentinus edodes</i>	(↑) contenido de vitamina D	Choi <i>et al.</i> (2005)
Minerales	Sustrato: guisante de ojo negro Hongos: <i>Aspergillus oryzae</i>	(↑) contenido de hierro y zinc	Chawla <i>et al.</i> (2017)

(↑), incremento respecto al control; (↓), reducción respecto al control.



Por otra parte, se ha demostrado que la suplementación dietética con ácidos grasos de cadena media aumentó la respuesta inmune y redujo el colesterol total y los triglicéridos de las aves; así como el contenido de grasa abdominal de las pechugas de codorniz (Saeidi *et al.*, 2016). En consecuencia, estas condiciones de alimentación pueden mejorar la estabilidad oxidativa de la carne de codorniz y aumentar la calidad de la carne durante el almacenamiento (Ghazaghi *et al.*, 2014).

Las fuentes naturales de compuestos antioxidantes y antimicrobianos se ha utilizado para aumentar el consumo de alimento, ganancia de peso, rendimiento de la canal de las codornices, disminuir las poblaciones microbianas dañinas en el intestino, y reducir la oxidación de lípidos en la carne de pechuga y muslo de codorniz (Ghazaghi *et al.*, 2014; Ghasemi-Sadabadi *et al.*, 2020). En este contexto, Bind *et al.* (2014), en un trabajo previo, se evaluaron los componentes fenólicos antioxidantes y antimicrobianos de cáscaras de granada fermentada en estado sólido con *Aspergillus niger*. Los resultados demostraron un aumento de compuestos fenólicos, actividad antioxidante contra el radical libre DPPH y propiedades antibacterianas contra *Klebsiella pneumoniae*. También concluyeron que la FES de subproductos agroindustriales es una estrategia potencial para obtener compuestos antioxidantes y antibacterianos (Bind *et al.*, 2014).

Adicionalmente, se han empleado enzimas (fitasa, α -galactosidasa, β -glucosidasa, β -glucanasa, endo y exocelulasa, lipasa, proteasas y xilanasas) como aditivos alimentarios para aves las cuales se caracterizan por poseer diferentes funciones. Por ejemplo, la fitasa descompone el ácido fítico no digerible (fitato) y libera fósforo, calcio y otros nutrientes digeribles (Shehab *et al.*, 2012); mientras que la α -galactosidasa libera polisacáridos de fuentes botánicas mejorando su digestión y absorción (Munir & Maqsood, 2013). Además, las enzimas β -glucosidasa, β -glucanasa y endo y exocelulasa degradan la estructura de la pared celular de las fuentes botánicas y aumentan la digestión y absorción de nutrientes (Kilany & Mahmoud, 2014; Munir & Maqsood, 2013). También estas enzimas reducen la viscosidad del tracto intestinal, eliminan el factor antinutricional, aumentan la inmunidad y mejoran el rendimiento de las codornices (Chawla *et al.*, 2017; Kilany & Mahmoud, 2014).

Otras enzimas como la xilanasas se caracterizan por descomponer el xilano del material botánico, y el producto de descomposición del xilano-oligosacárido formado puede mejorar la flora y la respuesta inmunitaria de los microorganismos intestinales benéficos (Munir & Maqsood, 2013). Mientras que las lipasas y proteasas se usan comúnmente para estimular la excreción de enzimas digestivas endógenas, mejorando la eficiencia energética, el sabor, digestión y la absorción de lípidos y proteínas, respectivamente (Munir & Maqsood, 2013; Mnisi & Mlambo, 2018). En un trabajo previo, se evaluó la producción de fitasa a partir de residuos de papa mediante FES con *Aspergillum ficuum*. Los resultados de este trabajo mostraron un aumento en la producción de fitasa después del proceso de fermentación; indicando que el pH, el nivel de inóculo y el contenido de humedad no afectaron la producción de fitasa. Por lo anterior, concluyeron que la FES



puede ser utilizada para aprovechar los residuos de alimentos y producir productos de valor agregado (Tian & Yuan, 2016).

En la producción avícola, la alimentación inadecuada de las aves es uno de los problemas más comunes que conducen a deficiencias de vitaminas y minerales, lo que aumenta los problemas de salud y la mortalidad. Por lo tanto, la suplementación dietética de vitaminas y minerales en la dieta de las codornices es una práctica común y rutinaria (Imik *et al.*, 2010; Sahin *et al.*, 2005). En este sentido, la suplementación dietética con vitamina E y C disminuyó la oxidación de lípidos, los recuentos de aeróbicos totales y coliformes en la carne de pechuga de codorniz, y mejoró el color rojo de las muestras (Imik *et al.*, 2010). La suplementación dietética con minerales mejora el rendimiento y el estado antioxidante de las codornices afectadas por el calor (Sahin *et al.*, 2005). Además, la suplementación dietética con ácidos orgánicos se ha considerado una estrategia para evitar el uso de antibióticos y aumentar el consumo de alimento y la ganancia de peso de las codornices (Khan *et al.*, 2016). Por lo que, en un estudio previo se investigó la producción de vitamina D en pasta de soya por FES con *Lentinus edodes* y *Pleurotus eryngii*. El contenido de vitamina D₂ aumentó por el proceso de fermentación; además, la FES aumentó la fortificación nutricional de los materiales vegetales (Choi *et al.*, 2005).

Otro estudio determinó el efecto de la FES con *A. oryzae* sobre el contenido minerales de la harina de semilla de *Vigna unguiculata*, revelando un aumento de los componentes minerales (hierro y zinc), después del proceso de fermentación. Los autores concluyeron que la FES mejoró la biodisponibilidad de minerales (Chawla *et al.*, 2017).

CONCLUSIÓN

La fermentación fúngica en estado sólido utilizando subproductos agroindustriales como agrosustratos, puede ser una estrategia prometedora para obtener aditivos para alimento de codorniz, incluidos proteínas y aminoácidos, ácidos grasos, compuestos antioxidantes y antibacterianos, enzimas, acidificantes, vitaminas y minerales.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen al programa de Investigadoras e Investigadores por México del CONACYT (Proyecto #739).

LITERATURA CITADA

AZMIR J, Zaidul ISM, Rahman MM, Sharif KM, Mohamed A, Sahena F, Jahurul MHA, Omar AKM. 2013. Techniques for extraction of bioactive compounds from plant materials: a review. *Journal of Food Engineering*. 117(4):426-436. ISSN: 0260-8774. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2013.01.014>



BAYLAN M, Canogullari S, Ayasan T, Sahin A. 2006. Dietary threonine supplementation for improving growth performance and edible carcass parts in Japanese quails, *Coturnix coturnix japonica*. *International Journal of Poultry Science*. 5(7):635-638. ISSN: 1994-7992. <https://dx.doi.org/10.3923/ijps.2006.635.638>

BIND A, Singh SK, Prakash V, Kumar M. 2014. Evaluation of antioxidants through solid state fermentation from pomegranate peels using *Aspergillus niger* and its antibacterial properties. *International Journal of Pharmacy and Biological Sciences*. 4(1):104-112. ISSN: 2230-7605. https://www.ijpbs.com/ijpbsadmin/upload/ijpbs_531c25c89a0c5.pdf

CAMPOS-VEGA R, Loarca-Piña G, Vergara-Castañeda HA, Oomah BD. 2015. Spent coffee grounds: a review on current research and future prospects. *Trends in Food Science & Technology*. 45(1):24-36. ISSN: 0924-2244. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2015.04.012>

CHAWLA P, Bhandari L, Sadh PK, Kaushik R. 2017. Impact of solid-state fermentation (*Aspergillus oryzae*) on functional properties and mineral bioavailability of black-eyed pea (*Vigna unguiculata*) seed flour. *Cereal Chemistry*. 94(3):437-442. ISSN: 1943-3638. <https://doi.org/10.1094/CCHEM-05-16-0128-R>

CHOI HS, Kim MK, Kim MK, Park HS, Song GS, Lee KK, Kim JG. 2005. An approach to increase vitamin D₂ level in doenjang (fermented soybean paste) using mushrooms. *Food Science and Biotechnology*. 14(6):828-831. ISSN: 2092-6456. <https://www.koreascience.or.kr/article/JAKO200509905837867.pdf>

CHOI SH, Kozukue N, Kim HJ, Friedman M. 2016. Analysis of protein amino acids, non-protein amino acids and metabolites, dietary protein, glucose, fructose, sucrose, phenolic, and flavonoid content and antioxidative properties of potato tubers, peels, and cortexes (pulp). *Journal of Food Composition and Analysis*. 50:77-87. ISSN: 0889-1575. <https://doi.org/10.1016/j.jfca.2016.05.011>

CULLERE M, Tasoniero G, Giaccone V, Miotti-Scapin R, Claeys E, De Smet S, Dalle Zotte A. 2016. Black soldier fly as dietary protein source for broiler quails: apparent digestibility, excreta microbial load, feed choice, performance, carcass and meat traits. *Animal*. 10(12):1923-1930. ISSN: 1751-7311. <https://doi.org/10.1017/S1751731116001270>

DADWAL V, Agrawal H, Sonkhla K, Joshi R, Gupta M. 2018. Characterization of phenolics, amino acids, fatty acids and antioxidant activity in pulp and seeds of high altitude Himalayan crab apple fruits (*Malus baccata*). *Journal of Food Science and Technology*. 55:2160-2169. ISSN:0975-8402. <https://doi.org/10.1007/s13197-018-3133-y>



DEL VESCO AP, Gasparino E, Grieser DO, Zancanela V, Gasparin FRS, Constantin J, Neto AR. O. 2014. Effects of methionine supplementation on the redox state of acute heat stress-exposed quails. *Journal of Animal Science*. 92(2):806-815. ISSN: 1525-3163.

<https://doi.org/10.2527/jas.2013-6829>

DENG Q, Penner MH, Zhao Y. 2011. Chemical composition of dietary fiber and polyphenols of five different varieties of wine grape pomace skins. *Food Research International*. 44(9):2712-2720. ISSN: 0963-9969.

<https://doi.org/10.1016/j.foodres.2011.05.026>

DONG J, Cai L, Zhu X, Huang X, Yin T, Fang H, Ding Z. 2014. Antioxidant activities and phenolic compounds of cornhusk, corncob and *Stigma maydis*. *Journal of the Brazilian Chemical Society*. 25(11):1956-1964. ISSN: 0103-5053. <https://doi.org/10.5935/0103-5053.20140177>

DREHER ML, Davenport AJ. 2013. Hass avocado composition and potential health effects. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*. 53(7):738-750. ISSN: 1549-7852.

<https://doi.org/10.1080/10408398.2011.556759>

EGBUONU ACC, Osuji CA. 2016. Proximate compositions and antibacterial activity of *Citrus sinensis* (sweet orange) peel and seed extracts. *European Journal of Medicinal Plants*. 12(3):1-7. ISSN: 2231-0894. <https://doi.org/10.9734/EJMP/2016/24122>

FRIEDMAN M, Kozukue N, Kim HJ, Choi SH, Mizuno M. 2017. Glycoalkaloid, phenolic, and flavonoid content and antioxidative activities of conventional nonorganic and organic potato peel powders from commercial gold, red, and Russet potatoes. *Journal of Food Composition and Analysis*. 62:69-75. ISSN: 0889-1575.

<https://doi.org/10.1016/j.jfca.2017.04.019>

GAZALLI H, Malik AH, Jalal H, Afshan S, Mir A. 2013. Proximate composition of carrot powder and apple pomace powder. *International Journal of Food Nutrition and Safety*. 3(1):25-28. ISSN: 2165-896X.

<http://www.modernscientificpress.com/Journals/ViewArticle.aspx?6ZIT7oAL6Lqarm6Ljqm1AFd38l/toHXS9J0w9g5EID7eA3M11wtoOlhT0ONvOOkG#:~:text=The%20proximate%20compositions%20of%20carrot,%25%20and%20crude%20fibre%2024.66%25>

GARCÍA YD, Valles BS, Lobo AP. 2009. Phenolic and antioxidant composition of by-products from the cider industry: apple pomace. *Food Chemistry*. 117(4):731-738. ISSN: 0308-8146. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2009.04.049>



GHASEMI-SADABADI M, Veldkamp T, van Krimpen M, Ebrahimnezhad Y, Ghalehkandi JG, Salehi A, Didehvar M, Khodaei M, Mehdizadeh A. 2020. Determining tolerance of Japanese quail to different dietary fat peroxidation values by supplementation with rosemary and aloe vera on performance and meat quality. *Animal Feed Science and Technology*. 114574. ISSN: 0377-8401.

<https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2020.114574>

GHAZAGHI M, Mehri M, Bagherzadeh-Kasmani F. 2014. Effects of dietary *Mentha spicata* on performance, blood metabolites, meat quality and microbial ecosystem of small intestine in growing Japanese quail. *Animal Feed Science and Technology*. 194:89-98. ISSN: 0377-8401.

<https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2014.04.014>

GONZÁLEZ-CENTENO MR, Rosselló C, Simal S, Garau MC, López F, Femenia, A. 2010. Physico-chemical properties of cell wall materials obtained from ten grape varieties and their byproducts: grape pomaces and stems. *LWT-Food Science and Technology*. 43(10):1580-1586. ISSN: 0023-6438.

<https://doi.org/10.1016/j.lwt.2010.06.024>

HANKAR SK, Mulimani VH. 2007. α -Galactosidase production by *Aspergillus oryzae* in solid-state fermentation. *Bioresource Technology*. 98(4):958-961. ISSN: 0960-8524.

<https://doi.org/10.1016/j.biortech.2006.03.013>

IBARRURI J, Cebrián M, Hernández I. 2019. Solid state fermentation of brewer's spent grain using *Rhizopus* sp. to enhance nutritional value. *Waste and Biomass Valorization*. 10:3687-3700.

<https://doi.org/10.1007/s12649-019-00654-5>

IMIK H, Atasever MA, Koc M, Atasever M, Ozturan K. 2010. Effect of dietary supplementation of some antioxidants on growth performance, carcass composition and breast meat characteristics in quails reared under heat stress. *Czech Journal of Animal Science*. 55(5):209-220. ISSN: 1805-9309.

<https://doi.org/10.17221/147/2009-CJAS>

KAYODE RMO, Sani A. 2010. Mineral composition and amino acid profile of mono-culture fungal fermented mango (*Mangifera indica*) kernel cake. *Journal of Agricultural Science*. 2(3):69-74. ISSN: 1916-9760.

<https://pdfs.semanticscholar.org/babd/d3a72fc151ae4f0fd897a47b18c9250b4c85.pdf>

KHAN RU, Chand N, Akbar A. 2016. Effect of organic acids on the performance of Japanese quails. *Pakistan Journal of Zoology*. 48(6):1799-1803. ISSN: 0030-9923.

[http://zsp.com.pk/pdf48/1799-1803%20\(27\)%20QPJZ-0606-2015%20%2015-8-16%20revised%20version.pdf](http://zsp.com.pk/pdf48/1799-1803%20(27)%20QPJZ-0606-2015%20%2015-8-16%20revised%20version.pdf)



KILANY OE, Mahmoud MM. 2014. Turmeric and exogenous enzyme supplementation improve growth performance and immune status of Japanese quail. *World's Veterinary Journal*. 4(3):20-29. ISSN: 2322-4568. <http://dx.doi.org/10.5455/wvj.20140841>

KLEEKAYAI T, Suntornsuk W. 2011. Production and characterization of chitosan obtained from *Rhizopus oryzae* grown on potato chip processing waste. *World Journal of Microbiology and Biotechnology*. 27:1145-1154. ISSN: 1573-0972. <https://doi.org/10.1007/s11274-010-0561-x>

KRUCZEK M, Gumul D, Kačániová M, Ivanišhová E, Mareček J, Gambuś H. 2017. Industrial apple pomace by-products as a potential source of pro-health compounds in functional food. *Journal of Microbiology, Biotechnology and Food Sciences*. 7(1):22-26. ISSN: 1338-5178. <https://doi.org/10.15414/jmbfs.2017.7.1.22-26>

M'HIRI N, Ioannou I, Ghouli M, Boudhrioua NM. 2015. Proximate chemical composition of orange peel and variation of phenols and antioxidant activity during convective air drying. *Journal of New Sciences*. 9:881-890. ISSN: 2286-5314. <https://www.jnsciences.org/agri-biotech/40-volume-special-journees-scientifiques-de-l-inat/190-proximate-chemical-composition-of-orange-peel-and-variation-of-phenols-and-antioxidant-activity-during-convective-air-drying.html>

M'HIRI N, Ioannou I, Ghouli M, Mihoubi Boudhrioua, N. 2017. Phytochemical characteristics of citrus peel and effect of conventional and nonconventional processing on phenolic compounds: A review. *Food Reviews International*. 33(6):587-619. ISSN: 1525-6103. <https://doi.org/10.1080/87559129.2016.1196489>

MARTIN N, Guez MAU, Sette LD, Da Silva R, Gomes E. 2010. Pectinase production by a Brazilian thermophilic fungus *Thermomucor indicae-seudaticae* N31 in solid-state and submerged fermentation. *Microbiology*. 79(3):306-313. ISSN: 0026-2617. <https://doi.org/10.1134/S0026261710030057>

MNISI CM, Mlambo V. 2018. Protease treatment of canola meal-containing Japanese quail diets: effect on physiological parameters and meat quality traits. *Journal of Applied Animal Research*. 46(1):1389-1394. ISSN: 0974-1844. <https://doi.org/10.1080/09712119.2018.1516670>

MORALES EM, Domingos RN, Angelis DF. 2018. Improvement of protein bioavailability by solid-state fermentation of babassu mesocarp flour and cassava leaves. *Waste and Biomass Valorization*. 9:581-590. ISSN: 1877-265X. <https://doi.org/10.1007/s12649-016-9759-y>



MOSAAD GMM, Iben C. 2009. Effect of dietary energy and protein levels on growth performance, carcass yield and some blood constituents of Japanese quails (*Coturnix coturnix japonica*). *Die Bodenkultur*. 60(4):39-46. ISSN: 0006-5471. <https://diebodenkultur.boku.ac.at/volltexte/band-60/heft-4/mosaad.pdf>

MOULEHI I, Bourgou S, Ourghemmi I, Tounsi MS. 2012. Variety and ripening impact on phenolic composition and antioxidant activity of mandarin (*Citrus reticulata* Blanco) and bitter orange (*Citrus aurantium* L.) seeds extracts. *Industrial Crops and Products*. 39:74-80. ISSN: 0926-6690. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2012.02.013>

MUNIR K, Maqsood S. 2013. A review on role of exogenous enzyme supplementation in poultry production. *Emirates Journal of Food and Agriculture*. 25(1):66-80. ISSN: 2079-0538. <https://doi.org/10.9755/ejfa.v25i1.9138>

MUSSATTO SI, Machado EM, Martins S, Teixeira JA. 2011. Production, composition, and application of coffee and its industrial residues. *Food and Bioprocess Technology*. 4:661. ISSN: 1935-5149. <https://doi.org/10.1007/s11947-011-0565-z>

NRC (National Research Council). 1994. Nutrient Requirements of Poultry: Ninth Revised Edition, 1994. Washington, DC: The National Academies Press. ISBN:978-0-309-04892-7.

PALMA MB, Pinto AL, Gombert AK, Seitz KH, Kivatinitz SC, Castilho LR, Freire DM. 2000. Lipase production by *Penicillium testricum* using solid waste of industrial babassu oil production as substrate. In: Twenty-First Symposium on Biotechnology for Fuels and Chemicals. Pp. 1137-1145. Totowa, NJ: Humana Press. ISBN: 978-1-4612-1392-5. https://doi.org/10.1007/978-1-4612-1392-5_89

PANUSA A, Zuorro A, Lavecchia R, Marrosu G, Petrucci R. 2013. Recovery of natural antioxidants from spent coffee grounds. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 61(17):4162-4168. ISSN: 1420-5118. <https://doi.org/10.1021/jf4005719>

PAPADAKI A, Diamantopoulou P, Papanikolaou S, Philippoussis A. 2019. Evaluation of biomass and chitin production of Morchella mushrooms grown on starch-based substrates. *Foods*. 8(7):239. ISSN: 2304-8158. <https://doi.org/10.3390/foods8070239>

PEREIRA GS, Cipriani M, Wisbeck E, Souza O, Strapazzon J, Gern RM. 2017. Onion juice waste for production of *Pleurotus sajor-caju* and pectinases. *Food and Bioprocess Processing*. 106:11-18. ISSN: 0960-3085. <https://doi.org/10.1016/j.fbp.2017.08.006>



PLEISSNER D, Lau KY, Schneider R, Venus J, Lin CSK. 2015. Fatty acid feedstock preparation and lactic acid production as integrated processes in mixed restaurant food and bakery wastes treatment. *Food Research International*. 73:52-61. ISSN: 0963-9969. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2014.11.048>

RAJAVAT AS, Rai S, Pandiyan K, Kushwaha P, Choudhary P, Kumar M, Chackdar H, Singh A, Karthikeyan N, Bagul SY, Agnihotri A, Agnihotri A. 2020. Sustainable use of the spent mushroom substrate of *Pleurotus florida* for production of lignocellulolytic enzymes. *Journal of Basic Microbiology*. 60(2):173-184. ISSN: 1521-4028. <https://doi.org/10.1002/jobm.201900382>

RODRÍGUEZ-CARPENA JG, Morcuende D, Andrade MJ, Kylli P, Estévez M. 2011. Avocado (*Persea americana* Mill.) phenolics, *in vitro* antioxidant and antimicrobial activities, and inhibition of lipid and protein oxidation in porcine patties. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 59(10):5625-5635. ISSN: 1420-5118. <https://doi.org/10.1021/jf1048832>

ROSERO JC, Cruz S, Osorio C, Hurtado N. 2019. Analysis of phenolic composition of byproducts (seeds and peels) of avocado (*Persea americana* Mill.) cultivated in Colombia. *Molecules*. 24(17):3209. ISSN: 1420-3049. <https://doi.org/10.3390/molecules24173209>

SABER WIA, El-Naggar NE, AbdAl-Aziz SA. 2010. Bioconversion of lignocellulosic wastes into organic acids by cellulolytic rock phosphate-solubilizing fungal isolates grown under solid-state fermentation conditions. *Research Journal of Microbiology*. 5(1):1-20. ISSN: 1816-4935. <https://dx.doi.org/10.3923/jm.2010.1.20>

SAEIDI E, Shokrollahi B, Karimi K, Amiri-Andi M. 2016. Effects of medium-chain fatty acids on performance, carcass characteristics, blood biochemical parameters and immune response in Japanese quail. *British Poultry Science*. 57(3):358-363. ISSN: 1466-1799. <https://doi.org/10.1080/00071668.2016.1169508>

SADEGHIAN-ABADI S, Rezaei S, Yousefi-Mokri M, Faramarzi MA. 2019. Enhanced production, one-step affinity purification, and characterization of laccase from solid-state culture of *Lentinus tigrinus* and delignification of pistachio shell by free and immobilized enzyme. *Journal of Environmental Management*. 244:235-246. ISSN: 0301-4797. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2019.05.058>

SAGARPA (Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación). 2015. Plan de manejo de residuos generados en actividades agrícolas primera etapa: diagnóstico nacional. México. Pp. 32. https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/346978/Manejo_de_residuos_Detallado.pdf



SAHIN K, Smith MO, Onderci M, Sahin N, Gursu MF, Kucuk O. 2005. Supplementation of zinc from organic or inorganic source improves performance and antioxidant status of heat-distressed quail. *Poultry Science*. 84(6):882-887. ISSN: 0032-5791.

<https://doi.org/10.1093/ps/84.6.882>

SALEEM M, Saeed MT. 2020. Potential application of waste fruit peels (orange, yellow lemon and banana) as wide range natural antimicrobial agent. *Journal of King Saud University - Science*. 32(1):805-810. ISSN: 1018-3647.

<https://doi.org/10.1016/j.jksus.2019.02.013>

SCHMIDT CG, Furlong EB. 2012. Effect of particle size and ammonium sulfate concentration on rice bran fermentation with the fungus *Rhizopus oryzae*. *Bioresource Technology*. 123:36-41. ISSN: 0960-8524. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2012.07.081>

SCHMIDT CG, Gonçalves LM, Prietto L, Hackbart HS, Furlong EB. 2014. Antioxidant activity and enzyme inhibition of phenolic acids from fermented rice bran with fungus *Rhizopus oryzae*. *Food Chemistry*. 146:371-377. ISSN: 0308-8146.

<https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2013.09.101>

SCULLY DS, Jaiswal AK, Abu-Ghannam N. 2016. An investigation into spent coffee waste as a renewable source of bioactive compounds and industrially important sugars. *Bioengineering*. 3(4): 33. ISSN: 2306-5354.

<https://doi.org/10.3390/bioengineering3040033>

SHEHAB AE, Kamelia MZ, Khedr NE, Tahia EA, Esmail FA. 2012. Effect of dietary enzyme supplementation on some biochemical and hematological parameters of Japanese quails. *Journal of Animal Science Advances*. 2(9):734-739. ISSN: 2251-7219.

https://fvtm.stafpu.bu.edu.eg/Nutrient%20and%20clinical%20Nutrition/1063/publications/Fathy%20Attia%20Ismail%20Abdelfattah_2-2012-%20quail%203.pdf

SOCCOL CR, Marin B, Raimbault M, Lebeault JM. 1994. Potential of solid state fermentation for production of L(+)-lactic acid by *Rhizopus oryzae*. *Applied Microbiology and Biotechnology*. 41:286-290. ISSN: 1432-0614. <https://doi.org/10.1007/BF00221220>

SUGANTHI R, Benazir JF, Santhi R, Ramesh Kumar V, Hari A, Meenakshi N, Nidhiya KA, Kavitha G, Lakshmi R. 2011. Amylase production by *Aspergillus niger* under solid state fermentation using agroindustrial wastes. *International Journal of Engineering Science and Technology*. 3(2):1756-1763. ISSN: 0975-5462.

https://www.researchgate.net/profile/J-Fathima-Benazir/publication/50407003_Amylase_production_by_Aspergillus_Niger_under_solid_state_fermentation_using_agroindustrial_wastes/links/02e7e534d1324a553e000000/Amylase-production-by-Aspergillus-Niger-under-solid-state-fermentation-using-agroindustrial-wastes.pdf



TALABI JY, Osukoya OA, Ajayi OO, Adegoke GO. 2016. Nutritional and antinutritional compositions of processed Avocado (*Persea americana* Mill) seeds. *Asian Journal of Plant Science and Research*. 6(2):6-12. ISSN: 2249-7412.

https://www.researchgate.net/profile/Olubode-Ajayi-2/publication/305991055_Nutritional_and_antinutritional_compositions_of_processed_Avocado_Persea_americana_Mill_seeds/links/610e42ba0c2bfa282a2b309f/Nutritional-and-antinutritional-compositions-of-processed-Avocado-Persea-americana-Mill-seeds.pdf

TELES AS, Chávez DW, Oliveira RA, Bon EP, Terzi SC, Souza EF, Gottshcalk LMF, Tonon RV. 2019. Use of grape pomace for the production of hydrolytic enzymes by solid-state fermentation and recovery of its bioactive compounds. *Food Research International*. 120:441-448. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2018.10.083>

TIAN M, Yuan Q. 2016. Optimization of phytase production from potato waste using *Aspergillus ficuum*. *3 Biotech*. 6:256. ISSN: 2190-5738. <https://doi.org/10.1007/s13205-016-0573-9>

TORRADO AM, Cortés S, Salgado JM, Max B, Rodríguez N, Bibbins BP, Converti A, Domínguez JM. 2011. Citric acid production from orange peel wastes by solid-state fermentation. *Brazilian Journal of Microbiology*. 42(1):394-409. ISSN: 1517-4405. <https://doi.org/10.1590/S1517-83822011000100049>

TRAKULVICHEAN S, Chaiprasert P, Otmakhova J, Songkasiri W. 2017. Comparison of fermented animal feed and mushroom growth media as two value-added options for waste cassava pulp management. *Waste Management & Research*. 35(12):1210-1219. ISSN: 1096-3669. <https://doi.org/10.1177%2F0734242X17730135>

USDA (United States Department of Agriculture). 2019. Livestock and poultry: world markets and trade. USA. Pp. 22. https://www.magyp.gob.ar/new/0-0/programas/dma/usda/livestock_and_poultry-world_markets_and_trade/dlp-2019-2_octubre.pdf

VALDEZ-VAZQUEZ I, Acevedo-Benítez JA, Hernández-Santiago C. 2010. Distribution and potential of bioenergy resources from agricultural activities in Mexico. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 14(7):2147-2153. ISSN: 1364-0321. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2010.03.034>



VARGAS-SÁNCHEZ RD, Torres-Martínez BM, Torrescano-Urrutia GR, Sánchez-Escalante A, Esqueda M. 2021. Extraction of phenolic compounds from agro-industrial by-products by fungal fermentation with potential use as additives for meat and meat products. A review. *Biotecnia*. 23(3):66-77. ISSN: 1665-1456. <https://doi.org/10.18633/biotecnia.v23i3.1305>

VATTEM DA, Lin YT, Labbe RG, Shetty K. 2004. Phenolic antioxidant mobilization in cranberry pomace by solid-state bioprocessing using food grade fungus *Lentinus edodes* and effect on antimicrobial activity against select food borne pathogens. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*. 5(1):81-91. ISSN: 1466-8564. <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2003.09.002>

WANG X, Feng M. 2009. Optimized solid-state fermentation of *Aspergillus niger* for production of feed-purpose β -glucanase and xylanase using rice residues from mass production of fungal biocontrol agents. *Journal of Zhejiang University (Agriculture and Life Sciences)*. 35(1):39-44. ISSN: 1008-9209. <https://www.semanticscholar.org/paper/Optimized-solid-state-fermentation-of-Aspergillus-Xiaoxiao-Mingguang/937998954ad4ca3801dcf347bcd608ef8b7e7eb6>

WANG ZH, Dong XF, Zhang GQ, Tong JM, Zhang Q, Xu SZ. 2011. Waste vinegar residue as substrate for phytase production. *Waste Management & Research*. 29(12):1262-1270. ISSN: 1096-3669. <https://doi.org/10.1177%2F0734242X11398521>

WANG Y, Ran Z, Tan X, Ge J, Jin H. 2019. Study on the biological materials produced by *Phellinus igniarius* fermenting spent mushroom substrate and corn cob. In IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 252(2):022083. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/252/2/022083>

XU L, Wang F, Zhang Z, Terry N. 2019. Optimization of polysaccharide production from *Cordyceps militaris* by solid-State fermentation on rice and its antioxidant activities. *Foods*. 8(11):590. ISSN: 2304-8158. <https://doi.org/10.3390/foods8110590>

ZHANG D, Hamauzu, Y. 2004. Phenolic compounds and their antioxidant properties in different tissues of carrots (*Daucus carota* L.). *Journal of Food Agriculture and Environment*. 2(1):95-100. ISSN: 1459-0263. <https://doi.org/10.1234/4.2004.102>

[Errata Erratum](#)

<https://abanicoacademico.mx/revistasabanico-version-nueva/index.php/abanico-veterinario/errata>