



ARTÍCULO ORIGINAL · CIENCIA, TECNOLOGÍA E INNOVACIÓN TERRITORIAL

Valorización del bagazo cervecero para la producción de hongos comestibles y desarrollo local en Puebla

Jose Roberto Xochipa-Morante^{1*}, Reyna Concepción Xochipa-Morante², Huberth Vargas-Picado³, Antonio Macías-López⁴

¹ Colegio de Postgraduados, Campus Puebla, Programa en Estrategias para el Desarrollo Agrícola Regional, San Pedro Cholula, Puebla, México

² El Colegio de Tlaxcala A.C., Centro de Estudios en Desarrollo Regional y Análisis Económico, Maestría en Desarrollo Regional, San Pablo Apetatlán, Tlaxcala, México

³ Universidad de Costa Rica (UCR), Escuela de Geografía, Facultad de Ciencias Sociales, Montes de Oca/San Pedro, Costa Rica

⁴ Colegio de Postgraduados, Campus Puebla, San Pedro Cholula, Puebla, México

* Autor(a) por correspondencia: robertxocmor10@gmail.com · ORCID: 0000-0002-3803-4340

RESUMEN

El bagazo cervecero es el principal subproducto sólido de la industria cervecera artesanal y representa un residuo con alto potencial biotecnológico para la producción de hongos comestibles. El presente artículo tiene como objetivo caracterizar el manejo actual del bagazo cervecero generado por cervecerías artesanales del estado de Puebla, y evaluar el nivel de conocimiento e interés de los cerveceros respecto a su aprovechamiento en el cultivo de hongos comestibles como alternativa de desarrollo sustentable. Se aplicó un cuestionario semiestructurado a 25 cervecerías, ubicadas en los municipios de Puebla (48%), San Pedro Cholula (32%), San Andrés Cholula (16%) y Cuautlancingo (4%), mediante muestreo intencional con técnica de bola de nieve. Los resultados indican que el 72% de las cervecerías genera entre 20 y 270 kg de bagazo húmedo por mes, con un promedio de 250 kg por unidad productiva. El destino mayoritario es la alimentación de ganado (64%), mientras que el 20% lo desecha sin uso alguno. La totalidad de los establecimientos refirieron que mantener el bagazo en las instalaciones genera problemas operativos como plagas, contaminación por mohos y reducción de espacio. En cuanto al aprovechamiento micológico, el 52% de los cerveceros conocía la posibilidad de producir hongos comestibles con bagazo, pero el 72% desconoce el proceso biotecnológico. Sin embargo, el 72% manifestó interés en el tema, el 88% estaría dispuesto a capacitarse y el 40% consideraría producir sus propios hongos. Estos hallazgos sugieren un escenario favorable para implementar cadenas de valor circulares que articulen la producción cervecera artesanal con el cultivo de hongos comestibles, generando beneficios ambientales, sociales y económicos en la región.

Palabras clave: bagazo cervecero; hongos comestibles; desarrollo sustentable; biotecnología; cervecerías artesanales; estado de Puebla

ABSTRACT

Brewer's spent grain is the main solid byproduct of the craft brewing industry and represents a residue with high biotechnological potential for the production of edible mushrooms. This article aims to characterize the current management of brewer's spent grain generated by craft breweries in the state of Puebla and to evaluate the level of knowledge and interest of brewers regarding its use in the cultivation of edible mushrooms as a sustainable development alternative. A semi-structured questionnaire was administered to 25 breweries located in the municipalities of Puebla (48%), San Pedro Cholula (32%), San Andrés Cholula (16%), and Cuautlancingo (4%), using purposive snowball sampling. The results indicate that 72% of the breweries generate between 20 and 270 kg of wet spent grain per month, with an average of 250 kg per production unit. The majority of the spent grain is used as livestock feed (64%), while 20% discard it without any use. All of the establishments reported that storing spent grain on their premises creates operational problems such as pests, mold contamination, and reduced space. Regarding the use of mushrooms, 52% of the brewers were aware of the possibility of producing edible mushrooms from spent grain, but 72% were unfamiliar with the biotechnological process. However, 72% expressed interest in the topic, 88% would be willing to receive training, and 40% would consider producing their own mushrooms. These findings suggest a favorable scenario for implementing circular value chains that link craft beer production with the cultivation of edible mushrooms, generating environmental, social, and economic benefits in the region.

Keywords: brewer's spent grain; edible mushrooms; sustainable development; biotechnology; craft breweries; State of Puebla

Cómo citar: Xochipa-Morante, J.R., Xochipa-Morante, R.C., Vargas-Picado, H. & Macías-López, A. (2026). Valorización del bagazo cervecero para la producción de hongos comestibles y desarrollo local en Puebla. *Interserrana: Ciencia, Cultura y Territorio*, 1(1), 53–62.

Recibido: mayo 2026 · **Aceptado:** junio 2026 · **Publicado:** 2026

Copyright: Artículo de acceso abierto bajo licencia Creative Commons Atribución-NoComercial 4.0 Internacional. **CC BY-NC 4.0**

INTRODUCCIÓN

La industria cervecera artesanal ha mostrado un crecimiento acelerado en México durante la reciente década, consolidándose como un sector con importante presencia económica y cultural en regiones como la Zona Metropolitana de Puebla. Paralelamente, esta expansión ha incrementado la generación de residuos sólidos, siendo el bagazo cervecero, internacionalmente denominado *Brewer's Spent Grain* (BSG), el subproducto mayoritario, representando el 85% de los residuos totales producidos en el proceso de elaboración de cerveza (Lynch *et al.*, 2016).

El bagazo cervecero es el residuo insoluble que resulta de la maceración y filtración de la cebada malteada durante la producción del mosto cervecero. Este subproducto contiene entre el 75 y 80% de humedad inicial, además de niveles considerables de polisacáridos, azúcares fermentables residuales y proteínas, condiciones que lo convierten en un sustrato orgánico con características idóneas para el cultivo de hongos comestibles (Nigam, 2017). No obstante, cuando no es adecuadamente gestionado, puede constituir un foco de contaminación ambiental, al generar metano por descomposición anaeróbica, un gas de efecto invernadero 25 veces más potente que el CO₂, así como afectaciones al suelo, agua y atmósfera circundantes (Lynch *et al.*, 2016).

Los hongos comestibles constituyen la cadena agroalimentaria microbiana emergente más relevante de México. En 2020, la producción nacional superó las 63 mil toneladas de hongos frescos, con un valor económico por encima de los 200 millones de dólares anuales y la generación de más de 25 mil empleos directos e indirectos (SAGARPA-SIACON, 2020). Entre sus ventajas destaca la capacidad de los hongos para crecer sobre una gran diversidad de residuos agroindustriales, aprovechando su sistema multienzimático lacasas, celulasas, xilanasas, manganeso-peroxidasas, entre otras, que les permite degradar eficientemente la materia orgánica compleja (Kumla *et al.*, 2020; Piña-Guzmán *et al.*, 2017). Este potencial biotecnológico ha sido documentado en distintos sistemas productivos regionales, incluyendo estudios sobre hongos comestibles silvestres en la Sierra Nevada de Puebla, donde se ha identificado su importancia como alternativa de diversificación productiva y desarrollo territorial (Xochipa-Morante *et al.*, 2024).

Desde el enfoque del desarrollo sustentable, la producción de hongos comestibles sobre bagazo cervecero representa una oportunidad para articular tres dimensiones: la ambiental, me-

diante la reducción de residuos y emisiones contaminantes; la social, a través de la seguridad alimentaria y la generación de empleos; y la económica, al transformar un residuo de bajo valor en un producto de alto valor comercial (Purvis *et al.*, 2019). Esta propuesta es también compatible con los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) de la Agenda 2030, particularmente el objetivo 12 sobre producción y consumo responsable, y con la Ley de Cambio Climático del Estado de Puebla (Gobierno del Estado de Puebla, 2023).

En el contexto de los sistemas agroalimentarios locales, la valorización de subproductos como el bagazo cervecero se articula con dinámicas más amplias de economía circular y bioeconomía territorial. Dey *et al.* (2022) señalan que los sistemas de producción familiar en el estado de Puebla enfrentan retos estructurales vinculados al acceso a tecnología y a la diversificación de ingresos, lo que otorga especial relevancia al diseño de estrategias que aprovechen residuos locales para generar nuevos productos con valor agregado. En este marco, la articulación entre cervecerías artesanales y productores de hongos comestibles podría configurarse como un circuito corto de valorización agroindustrial (Velenturf y Purnell, 2021).

A pesar de estas potencialidades, en México existe escasa investigación sobre el nivel de conocimiento y disposición de los productores cerveceros artesanales para incorporar la producción de hongos comestibles como una estrategia de valorización de sus residuos. El estado de Puebla, si bien se encuentra entre los 15 estados con mayor producción de hongos del país, carece de políticas públicas específicas para fomentar esta cadena productiva (Ruan-Soto *et al.*, 2025; Xochipa-Morante *et al.*, 2024).

Por lo mencionado, el presente estudio tiene como objetivo caracterizar el manejo actual del bagazo cervecero generado por las cervecerías artesanales de la Zona Metropolitana de Puebla y evaluar el nivel de conocimiento e interés de los cerveceros en torno a la producción de hongos comestibles a partir de dicho residuo, como alternativa de desarrollo sustentable. Con ello, se pretende generar información de base para el diseño de estrategias de transferencia tecnológica, capacitación y políticas públicas orientadas a la valorización de subproductos agroindustriales en el estado de Puebla.

METODOLOGÍA

Se realizó un estudio de tipo descriptivo-transversal con enfoque cuantitativo. El universo de análisis correspondió a las cervec-

rías artesanales establecidas en los municipios de Puebla, San Andrés Cholula, San Pedro Cholula y Cuautlancingo.

Área de estudio

La investigación se realizó en municipios del estado de Puebla pertenecientes a la Zona Metropolitana, reconocida como la cuarta zona metropolitana más poblada de México con más de tres millones de habitantes (INEGI, 2020). Esta zona concentra una importante actividad industrial, comercial y gastronómica que ha propiciado el desarrollo de la cervecería artesanal como una actividad productiva emergente. Los municipios de Puebla, San Andrés Cholula y San Pedro Cholula son municipios con un gran número de cervecerías artesanales del Estado de Puebla

(Unión cervecera independiente, 2022), característica que determinó la delimitación geográfica (Figura 1).

Geográficamente, el municipio de Puebla constituye el núcleo urbano principal, mientras que San Andrés y San Pedro Cholula representan municipios periurbanos con alta densidad de micro y pequeñas empresas cerveceras, muchas de las cuales operan en espacios reducidos con limitadas opciones de gestión de residuos. Este contexto espacial es relevante porque determina las condiciones en las que se genera y dispone el bagazo cervecero, así como las posibilidades reales de implementar módulos de producción de hongos comestibles *in situ*.

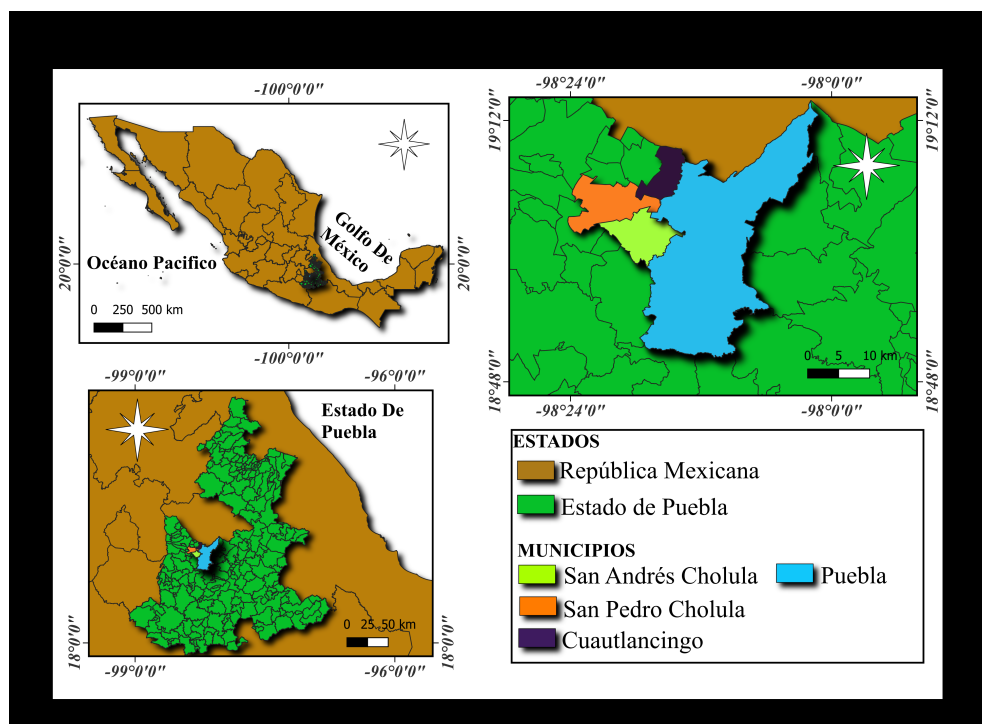


Figura 1

Ubicación geográfica de la zona de estudio.

Nota. Elaborado por Seth Galindo Juárez usando el software QGIS versión 3.40 a partir de metadatos de la Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad, CONABIO (2024).

Población y muestra

Dada la dispersión geográfica de los establecimientos y la ausencia de un marco poblacional y muestral completo, se optó por un muestreo no probabilístico por conveniencia con técnica intencional, complementado con la técnica de bola de nieve. En dichos municipios, donde, en palabras de los productores, se concentra un número significativo de productores artesanales, se aplicaron un total de 25 cuestionarios. Es importante señalar que, dado el tipo de muestreo utilizado, la muestra no es estadísticamente representativa de la población total. Los resultados deben interpretarse como hallazgos exploratorios-descriptivos, válidos para la muestra estudiada, y constituyen insumos para futuras investigaciones con diseños probabilísticos.

Instrumento de recolección de datos

Se diseñó y aplicó un cuestionario semiestructurado integrado por bloques temáticos: datos generales, generación y manejo actual del bagazo cervecero, y conocimiento e interés en la producción de hongos comestibles. El instrumento incluyó preguntas cerradas de opción múltiple, escalas Likert de cinco niveles para medir el grado de interés y disposición y pregunta abierta. Previamente a su aplicación, el cuestionario fue revisado por expertos y sometido a una prueba piloto con cinco cerveceros para verificar la claridad y comprensión de los reactivos.

El cuestionario incluyó preguntas de aplicación general y preguntas condicionadas a determinadas características o prácticas reportadas por los establecimientos. Por ello, el número de respuestas válidas (n) pudo variar entre los diferentes reactivos. En

las preguntas condicionadas, únicamente se solicitó respuesta a los establecimientos que cumplieran con el criterio establecido en el instrumento; en consecuencia, los porcentajes correspondientes a cada reactivo se calcularon con base en el número de respuestas válidas para esa pregunta y no necesariamente sobre el total de los 25 cuestionarios aplicados.

Para el bloque de bagazo cervecero se evaluaron: cantidad de bagazo generado por mes (kg), destino actual del residuo, problemática asociada a su almacenamiento y percepción sobre su impacto ambiental. Para el bloque de producción de hongos comestibles se midieron: nivel de conocimiento previo, grado de exposición al tema, conocimiento del proceso biotecnológico, grado de interés, disposición para recibir capacitación y probabilidad de adopción de la práctica productiva.

Análisis de datos

El procesamiento de datos se realizó en Microsoft Excel y posteriormente los datos obtenidos se procesaron mediante estadística descriptiva en el software estadístico SPSS: frecuencias absolutas y relativas. Para las variables con escala Likert se calcularon distribuciones de frecuencia por categoría. Los resultados se presentan mediante cuadros de contingencia y descripción narrativa de las tendencias identificadas, enriquecida con fragmentos representativos de los testimonios de los encuestados que ilustran cualitativamente las respuestas cuantitativas. Cabe precisar que dichos fragmentos no constituyen citas textuales o *verbatim*, sino testimonios reconstruidos a partir de respuestas representativas de los encuestados, tal como se detalla en el apartado de Consideraciones éticas.

Consideraciones éticas

La participación fue voluntaria e informada. Los datos individuales de los establecimientos participantes son tratados con

confidencialidad y los fragmentos narrativos presentados en la sección de resultados corresponden a testimonios reconstruidos a partir de respuestas representativas, sin identificar a los participantes. No se requirió aprobación por comité de bioética al no involucrar sujetos humanos en situación de vulnerabilidad. Se respetaron los principios de honestidad, transparencia y no maleficencia en el manejo de la información.

RESULTADOS

Caracterización de la muestra: distribución municipal

La muestra de 25 cervecerías encuestadas se distribuyó en cuatro municipios de la Zona Metropolitana de Puebla (Tabla 1). El municipio de Puebla concentró la mayor proporción de establecimientos participantes con el 48% (n=12), seguido de San Pedro Cholula con el 32% (n=8), San Andrés Cholula con el 16% (n=4) y Cuautlancingo con el 4% (n=1).

Generación y manejo actual del bagazo cervecero

En 2025, la mayoría de las cervecerías artesanales cercanas a Puebla capital produjeron mensualmente entre 20 y 270 kg de bagazo húmedo (72%), con un promedio de 250 kg por establecimiento (Tabla 1). En cuanto a la pregunta "¿La necesidad de deshacerse del bagazo le representa algún inconveniente?", es importante precisar que el reactivo se aplicó únicamente a la muestra que reportó manipular el bagazo generado en su propia planta de producción.

Tabla 1

Variables relacionadas al bagazo cervecero generado por las cervecerías artesanales en la Zona Metropolitana de Puebla, 2025

Variables	Respuestas	Frecuencia	Porcentaje (%)
Cantidad de bagazo generado (kg/mes)	20 a 270 / 270 a 520 / 520 a 770 / 770 a 1000	18 / 2 / 3 / 2	72 / 8 / 12 / 8
¿Cuál es el destino habitual del bagazo que obtiene?	Desecho o tiro / Lo doy a quien me lo pide / Lo ocupo / Otro	5 / 16 / 3 / 1	20 / 64 / 12 / 4
¿La necesidad de deshacerse del bagazo le representa algún inconveniente?	Sí / No	4 / 2	66.6 / 33.3
Almacenar el bagazo en sus instalaciones por un tiempo, ¿le ocasiona algún tipo de complicación?	Sí	10	100
¿El hecho de desechar el bagazo en el entorno o ambiente puede generar consecuencias perjudiciales?	Sí / No	16 / 9	64 / 36
¿Qué afectaciones ambientales cree que puede ocasionar el desecho inadecuado del bagazo?	Contaminación / Emisión de gases de efecto invernadero	15 / 1	93.75 / 6.25

Nota. Elaboración propia con base en encuesta aplicada a 25 cervecerías artesanales, 2025. El número de respuestas válidas (n) varió entre los reactivos debido a la aplicación de preguntas condicionadas; los porcentajes se calcularon con base en el (n) de respuestas válidas para cada pregunta.

Solo el 8% de las unidades productivas generó entre 770 y 1,000 kg mensuales, lo que corresponde a las empresas con mayor capacidad instalada. Estos datos evidencian que la producción artesanal en la región opera mayormente en rangos de pequeña escala, con una generación de residuos que, en términos agregados, podría superar las 15 toneladas mensuales de bagazo húmedo considerando todas las cervecerías de Puebla.

En cuanto al destino del bagazo generado, el uso predominante fue la entrega gratuita para alimentación de ganado (64%), práctica que, si bien representa una alternativa de disposición básica, no genera ningún ingreso económico adicional para las cervecerías y constituye una relación asimétrica de transferencia de recursos. El 20% de los establecimientos declaró desechar el bagazo sin ningún uso, mientras que el 12% refirió emplearlo como compost o alimento para mascotas, y el 4% señaló otras alternativas como dejarlo en el jardín etnobotánico de la BUAP.

La percepción sobre la carga que representa gestionar el bagazo fue dividida: el 66.6% de los encuestados reconoció que deshacerse del subproducto les genera algún inconveniente operativo o logístico, mientras que el 33.3% restante no lo considera un problema. Sin embargo, independientemente de esta percepción, la práctica de disposición predominante revela una asimetría notable: quienes transfieren su bagazo a terceros lo hacen en su totalidad sin recibir ninguna compensación económica a cambio (100%), y el receptor en todos los casos lo emplea como alimento para ganado (100%).

Un cervecero de San Pedro Cholula resumió esta situación con claridad: *"Se lo llevan gratis y tú hasta agradeces que vengan a recogerlo, porque si no, tienes que tirarlo tú mismo."*

Igualmente, algunos cerveceros de municipios como San Andrés Cholula y Puebla expresaron la tensión entre la generación del

residuo y la falta de opciones de valorización accesibles. Un cervecero del municipio de Puebla señaló:

"El bagazo se acumula después de cada cocción y si no llega el señor que me lo pide para su ganado, ya no sé qué hacer con él. Me ocupa espacio, me genera humedad y olores, y al final lo termino tirando. Ojalá hubiera una manera de darle otro uso."

Esta lógica de cesión sin retorno económico ilustra la ausencia de una alternativa de aprovechamiento para el bagazo cervecero en la región y subraya el potencial que tendría su valorización biotecnológica como alternativa de generación de ingresos complementarios.

Este tipo de testimonios refleja una problemática recurrente en el sector: la ausencia de alternativas formales de valorización del bagazo a pequeña escala, que deriva en prácticas de desecho poco sostenibles. Un aspecto relevante es que la totalidad de los cerveceros que mantienen bagazo en sus instalaciones reportaron que ello genera problemas operativos, principalmente: proliferación de plagas, contaminación por hongos y mohos no deseados, y reducción del espacio productivo disponible. Esta situación es consistente con las características fisicoquímicas del bagazo fresco, cuya alta humedad (75-80%) y contenido de nutrientes favorece el crecimiento acelerado de microorganismos saprófitos (Lynch *et al.*, 2016; Mitri *et al.*, 2022).

Con respecto a la percepción ambiental, el 64% de los cerveceros consideró que el desecho de subproductos en el ambiente genera efectos negativos, siendo la contaminación del agua y suelo la preocupación más mencionada (93.75%), seguida de la emisión de gases de efecto invernadero (6.25%). Cabe destacar que el 36% restante no percibió consecuencias negativas asociadas

al desecho de bagazo. Sobre este punto, uno de los cerveceros de San Pedro Cholula comentó:

"Nosotros lo damos gratis al rancho de un conocido, así que no lo vemos como un problema ambiental. Pero si me preguntan si es lo más correcto o si le estamos sacando todo el jugo que tiene, pues la respuesta honesta es que no."

Este testimonio ilustra la diferencia entre la percepción del residuo como un problema resuelto y su comprensión como un recurso potencialmente subaprovechado, lo que señala la necesidad de estrategias de concientización y educación ambiental dirigidas al sector (Aguilar *et al.*, 2022).

Conocimiento e interés en la producción de hongos comestibles

El segundo bloque temático reveló un panorama mixto en cuanto al conocimiento previo y la disposición de los cerveceros para incursionar en la producción de hongos comestibles (Tabla 2).

En términos de conocimiento declarativo, el 52% de los encuestados afirmó conocer la posibilidad de producir hongos comestibles a partir del bagazo cervecero, mientras que el 48% desconocía esta opción. Sin embargo, cuando se indagó sobre el conocimiento del proceso biotecnológico específico para su cultivo, el panorama se revirtió: el 72% reconoció no saber o conocer muy poco sobre el proceso productivo, el 16% manifestó tener un conocimiento intermedio, y solo el 12% indicó conocerlo bien o muy bien.

Tabla 2
Variables relacionadas con la producción de hongos comestibles en las cervecerías artesanales del estado de Puebla, 2025

Variables	Respuestas	Frecuencia	Porcentaje (%)
¿Conocimiento del uso del bagazo como sustrato para el cultivo de hongos comestibles?	Sí / No	13 / 12	52 / 48
¿Con qué frecuencia ha tenido acceso a información sobre el cultivo y producción de hongos comestibles?	Nada / Poco / Algo	5 / 17 / 3	20 / 68 / 12
¿Qué tan familiarizado está con el proceso biotecnológico que implica la producción de hongos comestibles?	No / Poco / Algo / Sí conoce / Conoce mucho	10 / 8 / 4 / 2 / 1	40 / 32 / 16 / 8 / 4
¿En qué medida le resulta atractiva la idea de producir hongos comestibles a partir de residuos de su proceso productivo?	Nada / Poco / Regular / Interesante / Muy interesante	1 / 2 / 4 / 12 / 6	4 / 8 / 16 / 48 / 24
Si se le ofreciera capacitación para aprender a cultivar hongos comestibles usando bagazo, ¿qué tan interesado estaría en participar?	Nada / Poco / Algo / Sí estoy interesado / Muy interesado	1 / 2 / 9 / 11 / 2	4 / 8 / 36 / 44 / 8
¿En qué grado estaría dispuesto a incorporar la producción de hongos comestibles como una actividad complementaria?	No / Poco / Algo / Sí lo consideraría / Mucho lo consideraría	2 / 5 / 8 / 9 / 1	8 / 20 / 32 / 36 / 4

Nota. Elaboración propia con base en encuesta aplicada a 25 cervecerías artesanales, 2025. Las escalas Likert de 5 puntos corresponden a las preguntas sobre interés y disposición.

La exposición previa al tema también fue limitada: el 68% de los encuestados señaló haber escuchado poco al respecto, el 20% nunca lo había escuchado, y solo el 12% manifestó cierto nivel de familiaridad con el tema. Estos resultados coinciden con lo documentado por Xochipa-Morante *et al.* (2024) en estudios sobre recolección de hongos comestibles silvestres en la Sierra Nevada de Puebla, donde se identificó que, aun en comunidades con tradición fúngica arraigada, el conocimiento sobre procesos biotecnológicos de cultivo controlado es escaso y requiere intervención institucional para su difusión.

Un cervecero de San Pedro Cholula que sí conocía la posibilidad de cultivar hongos con bagazo explicó cómo llegó a saberlo:

"Me lo contó un amigo que estudia biotecnología. Me pareció fascinante que el mismo desperdicio que me genera dolor de cabeza cada fin de semana pueda convertirse en algo que se vende caro en el mercado. Pero de ahí a saber cómo hacerlo hay un mundo. Nunca encontré información sencilla ni nadie que me enseñara."

Este testimonio subraya que la difusión del conocimiento sobre producción micológica llega mayoritariamente a través de redes informales y no por canales institucionales de extensión o trans-

ferencia tecnológica, lo que representa una debilidad sistémica en la cadena de valor de los hongos comestibles a escala regional.

En cuanto al nivel de interés declarado, el 72% de los cerveceros calificó el tema de producción de hongos comestibles como interesante o muy interesante, el 16% lo consideró de interés regular y solo el 12% manifestó poco o ningún interés. Un cervecero del municipio de Puebla que se identificó como "algo interesado" explicó sus reservas de la siguiente manera:

"Me llama la atención, pero tengo miedo de meterme en algo que no conozco. Somos una empresa pequeña y no podemos arriesgarnos a perder dinero en un experimento. Si hubiera alguien que nos acompañara en el proceso, ya sería otra cosa."

Esta voz sintetiza la posición de un segmento importante de los encuestados: el interés existe, pero está condicionado por la percepción de riesgo asociado a la falta de acompañamiento técnico. Esta barrera es consistente con los hallazgos de Pale y Guzmán (2021) sobre la expansión del cultivo de hongos comestibles en comunidades de Chiapas, donde el factor más determinante para la adopción no fue el interés inicial sino la disponibilidad de acompañamiento técnico continuo.

La disposición para recibir capacitación fue favorable: el 88% se manifestó algo interesado, interesado o muy interesado en participar en un programa de formación, mientras que únicamente el 12% mostró baja disposición. Al consultar sobre ello, un cervecero de San Pedro Cholula que se identificó como "muy interesado" comentó:

"Si me dices que hay un curso para aprender a producir hongos con mi propio bagazo, me apunto mañana mismo. Resolvería dos problemas de un solo golpe: qué hago con el bagazo y cómo genero un ingreso extra para la cervecería."

Finalmente, respecto a la probabilidad de adopción práctica, el 40% de los cerveceros señaló que sí lo consideraría o lo consideraría mucho, el 32% manifestó considerarlo en algún grado ("algo"), el 20% lo consideraría poco y solo el 8% descartó la posibilidad. En términos agregados, el 72% mostró algún nivel de disposición positiva hacia la producción de hongos comestibles en sus instalaciones, lo que constituye un indicador promisorio para el diseño de programas piloto de valorización de bagazo cervecero en la región.

DISCUSIÓN

Los resultados obtenidos ofrecen evidencia empírica sobre el estado actual del manejo del bagazo cervecero en la región Puebla y permiten trazar un diagnóstico de partida para el diseño de estrategias de valorización biotecnológica. En primer lugar, la concentración de la generación de bagazo en el rango de 20-270 kg/mes (72% de las cervecerías) y el promedio de 250 kg por establecimiento señalan que se trata de volúmenes manejables a

escala de pequeña empresa, lo que hace técnicamente viable la instalación de módulos de producción de hongos comestibles en las propias instalaciones cerveceras sin requerir infraestructura de gran escala.

El hecho de que el 64% de los cerveceros entregue el bagazo gratuitamente para alimentación de ganado refleja una práctica de disposición de bajo nivel de valorización. Aunque representa una alternativa al desecho directo, no genera valor económico para el productor cervecero ni aprovecha el potencial nutricional y biotecnológico del sustrato. Por el contrario, la producción de hongos comestibles como *Pleurotus ostreatus* (setas) sobre bagazo cervecero ha sido documentada con tasas de eficiencia biológica de hasta 60-80% en condiciones controladas, lo que implica que por cada 100 kg de sustrato húmedo es posible obtener entre 12 y 20 kg de hongos frescos con alto valor comercial (Piña-Guzmán *et al.*, 2017). De manera complementaria, Wang *et al.* (2001) evaluaron experimentalmente el uso de bagazo cervecero (BSG) como sustrato para el cultivo de *Pleurotus ostreatus*. Los autores encontraron que el bagazo cervecero sin pretratamiento puede emplearse como sustrato base para el cultivo de *P. ostreatus*, reportando una eficiencia biológica de 19.1% cuando el bagazo fue suplementado con salvado de trigo, mientras que el bagazo utilizado de manera aislada presentó una formación limitada de cuerpos fructíferos. Estos resultados aportan evidencia experimental sobre la posibilidad de utilizar el BSG para la producción de *P. ostreatus* y, al mismo tiempo, muestran que el rendimiento depende de la formulación y las condiciones del sustrato. En el contexto de los volúmenes identificados en las cervecerías estudiadas, estos antecedentes respaldan la pertinencia de explorar esquemas de valorización a pequeña escala o artesanal, cuya viabilidad deberá evaluarse mediante ensayos experimentales bajo las condiciones locales.

La problemática reportada por el 100% de los cerveceros que almacenan bagazo en sus instalaciones, plagas, contaminación por mohos no deseados y reducción de espacio, es consistente con lo documentado en la literatura sobre el manejo de residuos con alta humedad y contenido orgánico (Macías y Sevilla, 2021; Terefe, 2022). Esta situación representa, paradójicamente, tanto un problema como una oportunidad: el bagazo fresco, al ser procesado rápidamente como sustrato de hongos, reduce el tiempo de permanencia en las instalaciones y con ello los riesgos asociados a su almacenamiento prolongado. Los testimonios recogidos refuerzan esta lectura: los cerveceros no perciben el bagazo como un activo, sino como una carga operativa, lo que sugiere que las estrategias de transferencia tecnológica deberían posicionarse explícitamente como soluciones a este problema antes que como oportunidades de negocio adicional.

La distribución municipal de la muestra, con predominio de cervecerías en Puebla (48%), San Pedro Cholula (32%) y San Andrés Cholula (16%), es coherente con la concentración geográfica del sector cervecero artesanal en la entidad y permite identi-

car estos tres municipios como territorios prioritarios para el diseño de intervenciones de valorización. La proximidad geográfica entre estos municipios facilita además la implementación de modelos colaborativos de gestión del bagazo, donde varias cervecerías puedan compartir infraestructura de producción de hongos, reduciendo así los costos de inversión inicial.

La brecha entre conocimiento declarativo (52% afirmó saber que es posible producir hongos con bagazo) y conocimiento procedimental (72% desconoce el proceso) es un hallazgo clave que coincide con lo observado por Xochipa-Morante *et al.* (2024) en el estudio de sistemas de recolección de hongos silvestres en la Sierra Nevada de Puebla: en ambos casos, el conocimiento sobre los hongos como recurso existe de manera difusa en el territorio, pero no se traduce en prácticas productivas sistemáticas por falta de acompañamiento técnico y canales de transferencia de conocimiento. Este patrón, ampliamente documentado en la literatura de adopción de innovaciones (Montes de Oca *et al.*, 2021), subraya la importancia de intervenciones de capacitación prácticas que articulen teoría y práctica en contextos reales de producción.

El elevado interés declarado (72% lo calificó como interesante o muy interesante) y la alta disposición a capacitarse (88%) contrastan positivamente con la brecha de conocimiento técnico, lo que sugiere que las barreras de adopción son principalmente de tipo informacional y de acceso a recursos técnicos, no de resistencia actitudinal. Los testimonios recopilados en este estudio son ilustrativos al respecto: los cerveceros reconocen el valor potencial de la propuesta, pero condicionan su adopción al acceso a acompañamiento técnico confiable. Según Pale y Guzmán (2021), la expansión de la producción de hongos comestibles en México ha estado históricamente vinculada a programas de capacitación comunitaria y a la disponibilidad de material de siembra (semilla de hongo). En este sentido, la disposición expresada podría capitalizarse a través de modelos de transferencia tecnológica acompañada, vinculando a las cervecerías con instituciones de investigación como el Colegio de Postgraduados o el INIFAP.

Desde la perspectiva del desarrollo sustentable, la producción de hongos comestibles a partir de bagazo cervecero representa un caso paradigmático de economía circular: el residuo de un proceso industrial se convierte en insumo de otro proceso productivo, generando alimentos nutritivos, reduciendo la presión sobre el sistema de gestión de residuos y creando valor económico adicional (Rodríguez *et al.*, 2017). Esta cadena de valorización es coherente con las metas de los ODS 2030, especialmente el objetivo 12 (producción y consumo responsables) y el objetivo 2 (hambre cero), dado que los hongos comestibles son reconocidos como un alimento funcional con propiedades nutricionales y medicinales que contribuyen a la seguridad alimentaria (El-Ramady *et al.*, 2022). En regiones como la Sierra Nevada de Puebla, los hongos comestibles, tanto silvestres como cultivados, ya forman parte de los denominados alimentos locales, saludables y

de especialidad, que están adquiriendo relevancia en circuitos comerciales de proximidad (Xochipa-Morante *et al.*, 2025).

En términos de limitaciones, el diseño muestral no probabilístico impide generalizar los resultados al universo total de cervecerías de la región. Asimismo, el tamaño de muestra ($n=25$) limita la aplicación de análisis multivariados que permitan identificar perfiles de adopción diferenciados por tamaño de empresa, años de operación o capacidad productiva. Futuras investigaciones deberían contemplar diseños muestrales probabilísticos, la inclusión de análisis fisicoquímicos del bagazo generado por distintas cervecerías para caracterizar su variabilidad como sustrato, y el desarrollo de experimentos de producción de hongos a escala piloto en cervecerías participantes. Igualmente, sería pertinente evaluar la viabilidad económica y ambiental de la cadena bagazo-hongo comestible mediante análisis de ciclo de vida y modelos de costo-beneficio.

CONCLUSIONES

El presente estudio ofrece un diagnóstico inicial sobre la gestión del bagazo cervecero en la Zona Metropolitana de Puebla y el potencial de su aprovechamiento para la producción de hongos comestibles. Los principales hallazgos permiten formular las siguientes conclusiones:

Las cervecerías artesanales de la región generan volúmenes de bagazo húmedo mensual que, si bien son variables según la escala de cada establecimiento, resultan manejables para la implementación de módulos de producción micológica sin requerir infraestructura de gran escala. Los municipios de Puebla, San Pedro Cholula y San Andrés Cholula concentran la mayor densidad de unidades productivas, lo que los convierte en los territorios prioritarios para el diseño de estrategias de valorización. La práctica de disposición predominante, la entrega gratuita del bagazo para alimentación de ganado, refleja un subaprovechamiento sistemático del potencial biotecnológico del residuo, mientras que una proporción relevante de establecimientos opta por desecharlo sin uso alguno, lo que representa un riesgo ambiental concreto. De manera consistente, los cerveceros que mantienen el bagazo en sus instalaciones reportaron que su acumulación genera complicaciones operativas recurrentes, entre ellas proliferación de plagas, contaminación por mohos no deseados y reducción del espacio productivo disponible.

El estudio identificó una brecha clara entre el conocimiento declarativo, saber que es posible producir hongos comestibles a partir del bagazo, y el conocimiento técnico-procedimental necesario para llevarlo a la práctica. Los testimonios de los cerveceros evidencian que esta brecha no responde a desinterés ni a resistencia actitudinal, sino a la ausencia de canales institucionales de transferencia de conocimiento accesibles para el sector. En este sentido, el interés ampliamente expresado por los productores, así como su disposición favorable hacia la capacita-

ción, señalan que las barreras de adopción son principalmente de orden informacional y técnico. Las voces recogidas en el estudio apuntan de manera consistente a que el acompañamiento técnico continuo es la condición fundamental para convertir esa disposición en acción productiva concreta.

Los resultados configuran un escenario favorable para el diseño e implementación de programas piloto de valorización del bagazo cervecero mediante la producción de hongos comestibles en municipios del estado de Puebla. Esta propuesta tendría impactos positivos en las tres dimensiones del desarrollo sustentable: ambiental, mediante la reducción de residuos y emisiones; social, fortaleciendo la seguridad alimentaria y generando empleo local; y económica, al transformar un residuo de bajo valor en un producto de alto valor comercial articulado con circuitos cortos de comercialización.

Se recomienda diseñar e implementar programas de capacitación técnica en buenas prácticas de producción de hongos comestibles sobre sustratos agroindustriales, articulados entre las

cervecerías participantes, instituciones de investigación y dependencias gubernamentales con competencia en desarrollo agropecuario. Asimismo, se sugiere explorar modelos colaborativos de gestión del bagazo entre cervecerías cercanas geográficamente, y realizar estudios complementarios con muestreo probabilístico, análisis fisicoquímicos del bagazo y evaluaciones piloto de producción que permitan escalar las conclusiones de este diagnóstico exploratorio.

AGRADECIMIENTOS

Se agradece a los cerveceros artesanales de Puebla que participaron voluntariamente en el estudio.

CUMPLIMIENTO EDITORIAL

Los autores declaran que este manuscrito es original, no está en evaluación en otra revista, y cumple con el límite de autorías. Además, los autores declaran que no hay ningún conflicto de intereses con la revista Interserrana: Ciencia, Cultura y Territorio.

REFERENCIAS

- Aguiar, S., Enríquez, E. M., y Uvidia, C. H. (2022). Residuos agroindustriales: su impacto, manejo y aprovechamiento. *Axioma*, 1(27), 5–11. <https://doi.org/10.26621/ra.v1i27.803>
- Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. (2024). *División política*. <http://www.conabio.gob.mx/informacion/gis/>
- Dey, P. K., Malesios, C., De, D., Budhwar, P., Chowdhury, S., y Cheffi, W. (2022). Circular economy to enhance sustainability of small and medium sized enterprises. En *Supply chain sustainability in small and medium sized enterprises* (pp. 10–45). Routledge. <https://www.taylorfrancis.com/chapters/edit/10.4324/9781003018551-2>
- El-Ramady, H., Abdalla, N., Badgar, K., Llanaj, X., Törös, G., Hajdú, P., Eid, Y., y Prokisch, J. (2022). Edible mushrooms for sustainable and healthy human food: Nutritional and medicinal attributes. *Sustainability*, 14(9), 4941. <https://doi.org/10.3390/su14094941>
- Gobierno del Estado de Puebla. (2023). Ley de Cambio Climático del Estado de Puebla (reforma agosto 2023). Honorable Congreso del Estado. https://www.congresopuebla.gob.mx/index.php?option=com_docman&task=doc_download&gid=14128&Itemid=
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía. (2020). *Censo de Población y Vivienda 2020*. <https://www.inegi.org.mx/programas/ccpv/2020/>
- Kumla, J., Suwannarach, N., Sujarit, K., Penkhru, W., Kakumyan, P., Jatuwong, K., Vadthananat, S., y Lumyong, S. (2020). Cultivation of mushrooms and their lignocellulolytic enzyme production through the utilization of agro-industrial waste. *Molecules*, 25(12), 2811. <https://doi.org/10.3390/molecules25122811>
- Lynch, K. M., Steffen, E. J., y Arendt, E. K. (2016). Brewers' spent grain: A review with an emphasis on food and health. *Journal of the Institute of Brewing*, 122(4), 553–568. <https://doi.org/10.1002/jib.363>
- Macías, M. A. y Sevilla, G. Y. L. (2021). Desarrollo agroindustrial y degradación ambiental en México (1941–2021). *Observatorio Medioambiental*, 24, 195–228. <https://doi.org/10.5209/obmd.79522>
- Mitri, S., Salameh, S. J., Khelfa, A., Leonard, E., Maroun, R. G., Louka, N., y Koubaa, M. (2022). Valorization of brewers' spent grains: Pretreatments and fermentation, a review. *Fermentation*, 8(2), 50. <https://doi.org/10.3390/fermentation8020050>
- Montes de Oca, M. O., Pannell, D. J., y Llewellyn, R. (2021). Understanding the adoption of innovations in agriculture: A review of selected conceptual models. *Agronomy*, 11(1), 139. <https://doi.org/10.3390/agronomy11010139>
- Nigam, P. S. (2017). An overview: Recycling of solid barley waste generated as a by-product in distillery and brewery. *Waste Management*, 62, 255–261. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2017.02.018>
- Pale, S. H. y Guzmán, A. O. (2021). El territorio y actores sociales del sistema de producción de hongo comestible (*Pleurotus ostreatus*, sp.) en Aldama, Chiapas. *Horizontes Territoriales*, 1(2), 1–25. <https://horizontesterritoriales.unach.mx/index.php/Revista/article/view/6>
- Piña-Guzmán, A. B., Nieto-Monteros, D. A. y Robles-Martínez, F. (2017). Utilización de residuos agrícolas y agroindustriales en el cultivo y producción del hongo comestible seta (*Pleurotus* spp.). *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*, 32, 141–151. <https://doi.org/10.20937/RICA.2016.32.05.10>
- Purvis, B., Mao, Y., y Robinson, D. (2019). Three pillars of sustainability: In search of conceptual origins. *Sustainability Science*, 14, 681–695. <https://doi.org/10.1007/s11625-018-0627-5>
- Rodríguez, G. A., Mondaini, A. O. y Hirschfeld, A. M. (2017). *Bioeconomía en América Latina y el Caribe, contexto global y regional y perspectivas*. Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL). <https://hdl.handle.net/11362/42427>
- Ruan-Soto, F., Sánchez, J. E., Noyola-Méndez, L., Ramírez-Terrazo, A., Garibay-Orijel, R., y Cifuentes, J. (2025). Aprovechamiento de los hongos comestibles en México: una tradición que trasciende al futuro. *Lilloa*, 62(S1), 181–202. <https://doi.org/10.30550/j.lil/1822>
- SAGARPA-SIACON. (2020). *Sistema de Información Agroalimentaria de Consulta*. Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación. <http://infosiap.siap.gob.mx/gobmx/datosAbiertos.php>
- Terefe, G. (2022). Preservation techniques and their effect on nutritional values and microbial population of brewer's spent grain: A review. *CABI Agriculture and Bioscience*, 3(1), 51. <https://doi.org/10.1186/s43170-022-00120-8>
- Unión cervecera independiente. (2022). *Reporte de la industria cervecera independiente mexicana 2021*. <https://unioncervecera.mx/>
- Velenturf, A. P., y Purnell, P. (2021). Principles for a sustainable circular economy. *Sustainable Production and Consumption*, 27, 1437–1457. <https://doi.org/10.1016/j.spc.2021.02.018>
- Wang, D., Sakoda, A., y Suzuki, M. (2001). Biological efficiency and nutritional value of *Pleurotus ostreatus* cultivated on spent beer grain. *Bioresource Technology*, 78(3), 293–300. [https://doi.org/10.1016/S0960-8524\(01\)00002-5](https://doi.org/10.1016/S0960-8524(01)00002-5)

Xochipa-Morante, J. R., Xochipa-Morante, R. C., Carmona-Silva, J. L., Vargas-Picado, H., y Macías-López, A. (2024). Recolección de hongos comestibles silvestres en la Sierra Nevada de Puebla: alternativa de diversificación productiva y desarrollo territorial. *Revista Ciencia, Tecnología y Sociedad*, 4(1), 51–59. <https://academiajournals.dropmark.com/1659375/35179617>

Xochipa-Morante, R. C., Rosas-Gallo, A., Xochipa-Morante, J. R., Lacayo-Romero, M. L., Carmona-Silva, J. L., Macías-López, A., y Cantellano-Rodríguez, H. (2025). Anthocyanins in local, healthy and specialty agrifood from the Sierra Nevada of Puebla. *Agro Productividad*, 18(11), 135–143. <https://doi.org/10.32854/9y46z730>