



Capacidad antioxidante de *Lentinula edodes* Berk en fermentación fase sólida de granos *Chenopodium quinoa* Willd

ARTÍCULO GENERAL



Escanea en tu dispositivo móvil
o revisa este artículo en:
<https://doi.org/10.33996/revistaalfa.v7i20.215>

Antioxidant capacity of *Lentinula edodes* Berk in solid phase fermentation of *Chenopodium quinoa* Willd grains

Capacidade antioxidante de *Lentinula edodes* Berk na fermentação em fase sólida de grãos *Chenopodium quinoa* Willd

Gladys Marilú Castro Pérez gcastro@unamba.edu.pe

Saul Moreano Carrasco smoreano@unamba.edu.pe

Carlos Enrique Coacalla Castillo carlosec2020@gmail.com

Carla Taipe Carrasco carlataipecarrasco94@gmail.com

Escuela Profesional de Ingeniería Agroindustrial, Universidad Nacional
Micaela Bastidas de Apurímac, Abancay, Perú

Artículo recibido el 15 de marzo 2023 / Arbitrado el 26 de abril 2023 / Publicado el 20 de mayo 2023

RESUMEN

Los hongos se consideran alimentos de nueva generación y son de creciente interés para los consumidores. Se caracterizan por un alto contenido de compuestos biológicamente activos. El objetivo fue evaluar la capacidad antioxidante de *Lentinula edodes* Berk en fermentación fase sólida en granos de *Chenopodium quinoa* Willd. Las condiciones de fermentación se optimizaron mediante el diseño factorial y para la comparación de medias el ANOVA y prueba de Tukey. Las variables de respuesta evaluadas fueron: el contenido de proteínas, carbohidratos, cenizas, grasas, fenoles totales, vitamina C y capacidad antioxidante en muestras fermentadas y quinoa pura (QP). Los resultados de FFS mostraron mayor contenido de proteínas a los 60 días con 19.40 g/100 g, con un incremento significativo de 32.56%, los carbohidratos se redujeron significativamente ($P<0.05$), de 69.00 g/100 g a 49.83 g/100 g, la QP presentó valores de 5.87 para vitamina C y polifenoles totales 68.89 mg/100 g. La capacidad antioxidante a los 60 días de incubación fue 1066.52 $\mu\text{MolTE}/100\text{ g}$ superior en 39.96% con respecto a la QP que presento 640.36 $\mu\text{MolTE}/100\text{ g}$. Por lo tanto, los resultados demuestran que la FFS de la quinoa fermentada con shiitake incremento significativo de las propiedades nutricionales y funcionales, este producto sería una alternativa prometedora para la alimentación.

Palabras clave: Compuestos bioactivos; Quinoa; Hongo; Componentes nutricionales; Fermentación

ABSTRACT

Mushrooms are considered new generation foods and are of growing interest to consumers. They are characterized by a high content of biologically active compounds. The objective was to evaluate the antioxidant capacity of *Lentinula edodes* Berk in solid phase fermentation in *Chenopodium quinoa* Willd. grains. The fermentation conditions were optimized by factorial design and for the comparison of means the ANOVA and Tukey's test. The response variables evaluated were: protein, carbohydrate, ash, fat, total phenols, vitamin C and antioxidant capacity in fermented samples and pure quinoa (QP). The FFS results showed higher protein content at 60 days with 19.40 g/100 g, with a significant increase of 32.56%, carbohydrates were significantly reduced ($P<0.05$), from 69.00 g/100 g to 49.83 g/100 g, the QP presented values of 5.87 for vitamin C and total polyphenols 68.89 mg/100 g. The antioxidant capacity at 60 days of incubation was 1066.52 $\mu\text{MolTE}/100\text{ g}$, which was 39.96% higher than that of QP, which presented 640.36 $\mu\text{MolTE}/100\text{ g}$. Therefore, the results show that the FFS of quinoa fermented with shiitake significantly increased the nutritional and functional properties, this product would be a promising alternative for food.

Key words: Bioactive compounds; Quinoa; Fungus; Nutritional components; Fermentation

RESUMO

Os cogumelos são considerados alimentos da próxima geração e são de interesse crescente. Os cogumelos são considerados alimentos de nova geração e são de interesse crescente para os consumidores. Eles são caracterizados por um alto teor de compostos biologicamente ativos. O objetivo foi avaliar a capacidade antioxidante do *Lentinula edodes* Berk em fermentação em fase sólida em grãos de *Chenopodium quinoa* Willd. As condições de fermentação foram otimizadas com o uso de um projeto fatorial e, para a comparação das médias, foram usados os testes ANOVA e Tukey. As variáveis de resposta avaliadas foram: proteína, carboidrato, cinzas, gordura, fenóis totais, vitamina C e capacidade antioxidante nas amostras fermentadas e na quinoa pura (QP). Os resultados do FFS mostraram maior teor de proteína aos 60 dias com 19,40 g/100 g, com um aumento significativo de 32,56%, os carboidratos foram significativamente reduzidos ($P<0,05$), de 69,00 g/100 g para 49,83 g/100 g, a QP apresentou valores de 5,87 para vitamina C e polifenóis totais 68,89 mg/100 g. A capacidade antioxidante aos 60 dias de incubação foi de 1066,52 $\mu\text{MolTE}/100\text{ g}$, 39,96% maior em relação à PQ, que apresentou 640,36 $\mu\text{MolTE}/100\text{ g}$. Portanto, os resultados mostram que a FFS de quinoa fermentada com shiitake aumentou significativamente as propriedades nutricionais e funcionais e que esse produto seria uma alternativa promissora para a alimentação.

Palavras-Chave: Compostos bioativos; Quinoa; Fungo; Componentes nutricionais; Fermentação

INTRODUCCIÓN

El cultivo de hongos comestibles se desarrolló hace más de 200 años en Europa con el cultivo del champiñón *Agaricus bisporus* y en Asia con el cultivo de especies *Lentinula edodes* y *Auricularia* spp. (1). En Latinoamérica se inicia a finales de los años 30 (2). En Perú se inicia a partir de 1960, pese a ello no existen centros de capacitación e investigación, por lo cual algunas empresas de producción de hongos desarrollaron propias tecnologías (3). Los hongos son consumidos por miles de años; los antiguos griegos creían que los fortalecía, los antiguos egipcios lo valoraban por su delicadeza, en la época anterior los habitantes chinos lo llamaban “el elixir de la vida” por sus propiedades nutritivas (4,5).

El shiitake (*Lentinula edodes* Berk.) es el segundo hongo consumido a nivel mundial y está en continuo aumento (6), solo China produjo más de 11 millones de toneladas en 2019, que representa el 30% de la producción de hongos (7). Se reportó que el Shiitake tiene un gran valor nutricional y su consumo brinda beneficios por el contenido de fibra, nutrientes y metabolitos funcionales (8), los extractos y compuestos puros del Shiitake mostraron actividades antibacterianas, antifúngicas, citostáticas y antioxidantes (9,8). Algunos compuestos como el polisacárido lentinan, la proteína lentin (10,11), el alcaloide eritadenina (12) han mostrado actividades anticancerígenas, antivirales y antihipertensivas.

Las semillas de quinua libre de gluten contienen de 10 a 16 g de fibra, compuestos

bioactivos y contiene todos los aminoácidos esenciales, antioxidantes, minerales y vitaminas en comparación con otros cereales (13). La quinua es una proteína completa con una alta concentración de aminoácidos esenciales, ácidos grasos esenciales y fuente de vitamina C, E y complejo B, en proteína oscila entre 14 y 18% (14). La quinua también contiene calcio, magnesio, zinc y hierro. Algunos estudios mencionaron que las semillas de quinua contienen gran cantidad de fitoquímicos importante como ácidos fenólicos, flavonoides, vitaminas liposolubles, oligoelementos y ácidos grasos (15).

Los compuestos bioactivos han despertado un interés particular, por sus potenciales beneficiosos en la salud humana (16,17). Los compuestos bioactivos pueden reducir o prevenir la oxidación de moléculas orgánicas mediante la disminución de reacciones químicas que involucran oxígeno. Algunos de estos compuestos tienen la capacidad de neutralizar la acción oxidativa mediante el barrido de especies reactivas de oxígeno (ROS) y especies reactivas de nitrógeno (NOS) (18-20). En tal sentido la presente investigación tiene como objetivo evaluar la capacidad antioxidante de *Lentinula edodes* Berk en fermentación fase sólida en sustrato de granos *Chenopodium quinoa* Willd.

MATERIALES Y MÉTODOS

Producción del microorganismo (micelio)

El micelio de *Lentinula edodes* (Shiitake) se obtuvo del banco de ceparios del Laboratorio de

Microbiología de la UNAMBA, luego se mantuvo en refrigeración en Agar Papa Dextrosa (PDA), en tubos de ensayo a 8 °C en condiciones asépticas y previa esterilización de materiales y del medio de cultivo Agar Papa Dextrosa (PDA), se procedió con el repique del micelio desde los tubos de ensayo a placas petri conteniendo el PDA, se sembró y se dejó en incubación a 25 °C, durante 12 días, hasta su desarrollo completo en toda superficie de la placa petri.

Acondicionamiento de granos de quinua

Se empleó quinua variedad Blanca de Junín, de la comunidad de San Luis del distrito de Curahuasi. Los granos se desaponificaron mediante lavado continuo con agua y abrasión manual. Posteriormente los granos se secaron al medio ambiente. Se realizó la limpieza de los granos con la finalidad de separar las impurezas (tierra, arenilla y otros restos), y el lavado con abundante agua para eliminar residuos de saponina, seguidamente se realizó la cocción durante 10 minutos y finalmente escurrirlos. Una vez escurrido la quinua, se procedió a colocar en frasco tapa rosca 250 g y esterilizados en autoclave a 121 °C/15 Lb/40 minutos.

Procedimiento de la fermentación en estado sólido

Las inoculaciones se realizaron utilizando fragmento de PDA impregnado con micelio (3 discos de 10 mm de diámetro), según recomendaciones de (21,22). Los frascos fueron

incubados a 25 °C, el contenido de los granos fermentados se cosechó a los 10, 20, 30, 40, 50 y 60 días, para su análisis en laboratorio.

Toma de muestra para análisis

Las muestras para el análisis de laboratorio fueron tomadas en seis diferentes tiempos, y un testigo. Las muestras fueron deshidratadas en un horno de convección forzada durante 24 horas a 50 °C, hasta obtener peso constante. Los cuales se utilizaron para la determinación de los principales componentes nutricionales y propiedades antioxidantes en Calidad Total Laboratorio de la Universidad Nacional Agraria La Molina.

Determinación de Vitamina C

Se determinó cuantitativamente por el método espectrofotométrico, basado en la reducción del colorante 2,6 diclorofenolindofenol, por medio de una solución de ácido ascórbico a una longitud de onda 515 nm (23). Se procedió a pesar 0.75 g de cada muestra fermentada [10, 20, 30, 40, 50, 60 días] y la muestra testigo (QP), en tubos de plástico con tapa rosca previamente rotulado, protegiéndose de la luz. Se adicionó 45 ml de metanol al 80%. Luego se dejó reposar por 20 horas a 4 °C. Transcurrido este tiempo se centrifugaron los tubos a 4000 RPM por 15 minutos. Las muestras centrifugadas se filtraron con papel Whatman N° 1, y se trasvasaron los sobrenadantes a frascos de vidrio color ámbar, para ser conservado a -20 °C, para su posterior análisis.

Determinación del contenido de polifenoles totales

El contenido de polifenoles totales fue determinado usando el método de Folin-Ciocalteu y reportado como equivalentes de ácido gálico, a través de una curva de calibración (24). Se tomaron 20 μL de muestra diluida con agua destilada, o solución estándar de ácido gálico en el caso de la curva, se agregaron 1580 μL de agua, 100 μL de reactivo Folin-Ciocalteu y 300 μL de solución de carbonato de sodio al 20% (m/v). La mezcla fue agitada e incubada por 60 min en la oscuridad. La absorbancia fue medida a 725 nm usando como blanco agua (G10S UV-Vis). Las soluciones acuosas de ácido gálico (0 y 1000 ppm) fueron usadas para la curva de calibración. Los resultados fueron expresados como mg equivalentes de ácido gálico (GAEs)/g de muestra seca.

Determinación de la actividad antioxidante

La capacidad antioxidante in vitro evaluó el efecto secuestrante de radicales libres en los ensayos DPPH, TEAC, FRAP y Folin-Ciocalteu. La

actividad antioxidante final determinada a través de todos los métodos se calculó mediante una ecuación de regresión entre la concentración de Trolox (0–20 μM) y los cambios de absorbancia. Los resultados finales se expresaron en micro moles equivalentes de Trolox (25-28).

Análisis estadístico

Los resultados se realizaron por triplicado, mediante ANOVA unidireccional, seguido de una prueba Tukey para comparar las medias individuales, con un 95% de significancia ($P \leq 0,05$). Todos los análisis estadísticos se efectuaron con el Software R Studio libre.

RESULTADOS

Componentes nutricionales de la quinua fermentada con micelio del shiitake

Los principales componentes nutricionales del producto fermentado y del control (quinua pura sin fermentar) se presenta en la Tabla 1.

Tabla 1. Principales componentes nutricionales de la quinua fermentada con micelio del shiitake.

Fermentación (días)	Composición (g/100 g)			
	Proteínas	Carbohidratos	Grasas	Cenizas
0*	13.08 \pm 0,16 ^e	69.00 \pm 0,46 ^a	6.04 \pm 0,038 ^{bc}	3.28 \pm 0,08 ^a
10	13.68 \pm 0,17 ^d	67.85 \pm 0,73 ^a	6.15 \pm 0,06 ^{ab}	3.31 \pm 0,10 ^a
20	14.17 \pm 0,09 ^d	65.22 \pm 0,20 ^b	5.83 \pm 0,03 ^d	3.32 \pm 0,10 ^a
30	16.35 \pm 0,15 ^c	60.18 \pm 0,03 ^c	5.43 \pm 0,02 ^e	3.33 \pm 0,09 ^a
40	17.20 \pm 0,10 ^b	58.48 \pm 0,31 ^d	5.94 \pm 0,02 ^c	3.40 \pm 0,08 ^a
50	17.59 \pm 0,25 ^b	56.27 \pm 0,112 ^e	6.13 \pm 0,03 ^{ab}	3.26 \pm 0,06 ^a
60	19.40 \pm 0,36 ^a	49.83 \pm 0,43 ^f	6.19 \pm 0,08 ^a	3.23 \pm 0,10 ^a

*0: quinua sin fermentar.

La Tabla 1 muestra el contenido de proteínas de la quinua fermentada que se incrementó de 13.08 a 19.40 g/100 g. A los 60 días la proteína fue 19.40g/100 g, con un incremento del 32.56% más que el QP, estos resultados muestran diferencias significativas al ANOVA ($P < 0.05$).

Los carbohidratos totales disminuyeron estadísticamente ($P < 0.05$), reduciéndose de 69.00 g/100 g en el día cero después de los 60 días fue 49.83 g/100 g (Tabla 1), al respecto (22) indican que, los hongos producen la enzima α -amilasa durante la fermentación en fase sólida y esta enzima ataca al almidón para degradar en glucosas y formar otros compuestos y energía. Así atribuyen que la α -amilasa del *G. lucidum*, específicamente el micelio en contacto con el almidón del sustrato genera altas tasas de degradación del almidón.

La Tabla 1 muestra los valores del contenido de grasa de los granos de QP con hongo Shiitake, incrementándose ligeramente durante los

días 10, 50 y 60 con 6.15, 6.13 y 6.19 mg/100 g respectivamente, estos valores muestran una diferencia significativa, en cambio el contenido de cenizas en la QP al día 0 y 50 días no hay diferencias significativas a la prueba de comparación múltiple de Tukey

Los valores del contenido de cenizas (Tabla 1), muestran que no existen diferencias significativas al ANOVA $P > 0.05$, a las comparaciones múltiples Tukey $\alpha = 5\%$. El promedio del contenido de cenizas durante los diferentes tiempos de fermentación es igual.

Contenido de compuestos bioactivos y capacidad antioxidantes muestras fermentadas

En la Tabla 2 se muestra los valores del contenido de polifenoles totales en la quinua sin fermentar y los incrementos a medida que transcurre el tiempo de fermentación.

Tabla 2. Compuestos bioactivos y capacidad antioxidante de quinua fermentadas con micelio del hongo shiitake.

Fermentación (días)	Polifenoles totales (mg/100 g)	Vitamina C (mg/100 g)	Capacidad antioxidante ($\mu\text{MolTE}/100\text{ g}$)
0*	68,89 \pm 0,57 ^f	5,87 \pm 0,010 ^d	640,36 \pm 010 ^f
10	69,63 \pm 1,20 ^f	6,28 \pm 0,06 ^d	671,65 \pm 024 ^f
20	115,92 \pm 0,27 ^e	10,32 \pm 9,25 ^b	737,4 \pm 0.45 ^e
30	164,00 \pm 3.10 ^b	11,50 \pm 0,13 ^a	1185,93 \pm 0.60 ^b
40	156,88 \pm 0,76 ^c	9,20 \pm 0,60 ^c	944,27 \pm 0.23 ^c
50	152,13 \pm 1,54 ^d	11,28 \pm 0,16 ^a	1066,52 \pm 0.02 ^d
60	169,00 \pm 1,63 ^a	11,55 \pm 0,05 ^a	1331,17 \pm 0-25 ^a

*0: quinua sin fermentar.

En la Tabla 2 los polifenoles totales de la QP fue 68.89 mg/100 g. El mayor contenido de polifenoles se observa a los 30 y 60 días de fermentación con 164.00 y 169.00 mg/100 respectivamente; al respecto (29,30) mencionan que los hongos filamentosos *Aspergillus oryzae* y *Aspergillus awamori*, utilizados en FES, son efectivos al mejorar los fenoles y los antioxidantes de los granos de trigo en comparación con granos de trigo no fermentados.

El tiempo de fermentación dio como resultado un cambio significativo en el contenido de polifenoles totales después de la FES de la quinua con micelio del Shiitake, donde existe una diferencia significativa del contenido de polifenoles totales durante el tiempo de fermentación al ANOVA ($P<0.05$), demostrándose que a los 60 días de fermentación fue significativamente mayor, con un resultado de 169 mg/100 g, valor superior a la QP que reportó 68.89 mg/100 g.

La Tabla 2 muestra el contenido de vitamina C, donde a los 30 y 60 días de fermentación con 11.50 y 11.55 mg/100 respectivamente son mayores respecto a los anteriores. El tiempo de fermentación dio como resultado un cambio significativo en el contenido de vitamina C, en el transcurso del tiempo de fermentación. Se expresa una diferencia significativa de vitamina C según el ANOVA ($P<0.05$), demostrándose que a los 60 días de fermentación la vitamina C se incrementó en 49.18 mg/100 g en comparación a la QP 5.87 mg/100 g.

La Tabla 2 muestra resultados de capacidad antioxidante, de la QP que fue 640.36 $\mu\text{Mol}/100\text{ g}$, presentándose valores superiores a los 30 y 60 días 1,185.93 y 1,331.17 $\mu\text{Mol}/100\text{ g}$ respectivamente, donde se observa un incremento de 46% y 51.89% respectivamente. Existiendo una diferencia altamente significativa al ANOVA ($P<0.05$).

DISCUSIÓN

Las muestras fermentadas mostraron un incremento nutricional y funcional, respecto al contenido de proteínas totales las muestras fermentadas a los 60 días presentaron el valor más alto con 19.40 g/100 g a los 60 días. Chen et al. (29,31) menciona que la *Lentinula edodes* es un hongo comestible con un alto contenido de proteínas y polisacáridos, varias enzimas activas de carbohidratos como las glicosidasas participan en la síntesis y la ruptura de enlaces glicosídicos, lo que indica que *L. edodes* tiene alto potencial de degradación del almidón. En Japón *L. edodes* es aprovechado por la biotecnología moderna por el valor nutricional, terapéutico con efectos antifúngicos, antibacterianos, inmunomoduladores, antitumorales (32).

La quinua como pseudocereal andino contiene 14.6% de proteínas de alta calidad, particularmente rica en histidina y lisina, 3.2 y 6.1% respectivamente (33-35). El contenido de proteínas totales en los 7 cereales fermentados fue mayor al del control, los contenidos de proteínas más altos fueron 19.0g/100g, 16.91g/100g, 15.10g/100g, 13.20

g/100g, 12.9g/100g para trigo, arroz, maíz, mijo y mijo perla respectivamente (22). La importancia destaca en mejorar el contenido proteico de la quinua mediante FFS, así que la *Lentinula edodes* sintetiza proteínas durante la FFS en granos de quinua. Eliopoulos et al. (36) reporta que el contenido de proteínas aumentó gradualmente durante la incubación, probablemente debido a la excreción de enzimas extracelulares durante el metabolismo del hongo.

El almidón es el principal componente en la quinua, al respecto Repo et al. (37) indica que el almidón es el carbohidrato más importante y representa cerca del 58.1% al 64,2% de la materia seca total. El almidón de la quinua es la principal fuente de energía fisiológica para la dieta humana (38).

Investigaciones recientes indican que los hongos tienen la capacidad de producir enzimas (22), mientras que el hongo *Agaricus blazei*, produce α -amilasa mediante FFS y los componentes nutricionales del sustrato mejoran después de la fermentación por hongos superiores. Koziol (35) reportó que el contenido de almidón de la quinua oscila entre 52-60g/100g, sin embargo, la presente investigación mostró 69.0% de carbohidratos de QP.

La grasa de la quinua oscila entre 5.0-7.2 g/100 g, siendo los más importantes el ácido linoleico y linolénico representando el 55 - 63% de la fracción lipídica (35). Para el efecto de la FFS con *G. lucidum* en harina de maíz, la grasa en la muestra control es mayor (10.0/100)g que la muestra

fermentada (8.0/100) g. (39), mientras que en la FFS de soya con *Morchella esculenta*, disminuyó significativamente la grasa (40).

En la ceniza no se encontraron diferencias entre las muestras fermentadas y no fermentadas; igualmente en la FFS de cuajada de soya con hongo *Morchella esculenta*, no hubo ningún cambio en el contenido de cenizas entre las muestras fermentadas y muestras no fermentadas (40). Los hongos también tienen una gran posibilidad de fabricar compuestos bioactivos como antioxidantes durante la fermentación de frijoles negros con hongos filamentosos, se incrementó la cantidad de fenoles totales, antocianina y la actividad antioxidante (30). Los compuestos fenólicos tienen propiedades antioxidantes y algunos estudios han demostrado efectos favorables sobre la trombosis y la tumorigénesis (41), los compuestos bioactivos más comunes incluyen metabolitos como antibióticos, micotoxinas, alcaloides, pigmentos, factores de crecimiento vegetal y compuestos fenólicos (42,43).

El empleo de residuos de cuajada de soya (RCS) como sustrato de fermentación para el hongo *Morchella esculenta*, evaluó los aminoácidos libres y polifenoles totales en residuos de cuajada de soya no fermentada y muestras fermentadas de cuajada de soya fermentada (RCSF) donde el contenido de polifenoles totales aumentó de 599 a 770 mg/100 g (40). En la investigación los hallazgos del contenido de polifenoles totales a los 60 días de fermentación fueron de 169.00 mg/100 g.

La vitamina C en la quinua fermentada se incrementó durante los diferentes tiempos de fermentación a los días 20 y 30 de 10.32 a 11.50 mg/100 g con respecto al control que reportó 5.87 mg/100 g. El máximo valor se presentó al día 60 con 11.55 mg/100 g superando al control en 49.18%.

Los resultados también mostraron que las propiedades antioxidantes de la quinua fermentada mejoraron en el tiempo de fermentación en comparación con el control, esto coincide con los cereales fermentados que presentó mayor actividad antioxidante (22). Además, cuando evaluaron el efecto de la fermentación sobre el contenido de nutrientes y antioxidantes de la quinua fermentada por tres hongos demostraron que estos granos fermentados contenían propiedades antioxidantes que juegan un papel importante en el cuidado de la salud (34). Los residuos de soya fermentada por *Ganoderma lucidum* (FSGL) y *Lentinula edodes* (FSLE) la capacidad antioxidante fue de 144 y 45 $\mu\text{Mol}/100\text{ g}$, y las muestras de soya no fermentada presentaron 15 $\mu\text{Mol}/100\text{ g}$ (44). Los hallazgos de la investigación son consistentes y superiores con respecto a la capacidad antioxidante, encontramos 1331.17 $\mu\text{Mol}/100\text{ g}$ a los 60 días de fermentación con micelio de *L. edodes* en granos de quinua.

CONCLUSIONES

Luego de haber sometido a diferentes tiempos de fermentación se concluye que el tiempo de fermentación tuvo efectos significativos sobre

el contenido de componentes nutricionales y la actividad antioxidante. El proceso de fermentación en fase sólida de granos de quinua con micelio del hongo Shiitake, incrementó el contenido de proteínas totales, presentando a los 60 días de incubación un valor superior al de la quinua sin fermentar con 31.6%, el contenido de carbohidratos del proceso de fermentación en fase sólida de granos de quinua con micelio del hongo Shiitake redujo de 69.0 g/100 g a 49.83 g/100 g, el contenido de cenizas no presentó diferencias significativas con respecto a la quinua sin fermentar, mientras que el contenido de polifenoles totales, vitamina C y capacidad antioxidante se incrementó con el transcurso del tiempo y llegando a valores más altos a los 60 días de fermentación.

CONFLICTO DE INTERESES. Los autores declaran que no existe conflicto de intereses para la publicación del presente artículo científico.

AGRADECIMIENTO. Los autores agradecen al Vicerrectorado de Investigación de la Universidad Nacional Micaela Bastidas de Apurímac por financiar este proyecto de investigación.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Sánchez E, Royse D. La biología y el cultivo de *Pleurotus* spp. Editorial UTEHA noriega editores República de México. 2001;1 – 268. <https://medioambiente.ulibros.com/la-biologia-y-el-cultivo-de-pleurotus-spp-n0zc0.html>
2. Fernández F. Guía Práctica de Producción de Setas (*Pleurotus* Spp). Fungitec Asesorías, Guadalajara, Jalisco. México, 2004; 14 – 25. <https://n9.cl/mwvpv0>
3. Chimey C, Holgado M. Los hongos comestibles silvestres y cultivados en Perú. Editor. Hacia un Desarrollo Sostenible del Sistema de Producción Consumo de los Hongos Comestibles y Medicinales

en Latinoamérica: Avances y Perspectivas en el Siglo XXI. Cap. 21. 2010;381-395. <http://www.hongoscomestiblesymedicinales.com/Libro%20info-Spanish%20290710s.pdf>

4. Gaitán-Hernández R. Cultiva hongos comestibles. ¡Aprovecha sus propiedades nutricionales y medicinales! Instituto de Ecología, A.C; 2020. <https://www.inecol.mx/inecol/index.php/es/2013-06-05-10-34-10/17-ciencia-hoy/484-grow-edible-mushrooms>

5. De La Cruz-Marcos R, Areche F, Segura S, López J, De La Cruz-Calderón G, Solano M, Onofre A, Camayo-Lapa B, Otivo J, Flores D, Pairazaman M, Domínguez J, Aguilar S, Aguirre L. and Paricanaza-Ticona D. Possible effects of different types of agricultural wastes on food security and mushroom (*Pleurotus ostreatus*) production. *Brazilian Journal of Biology*. 2023; 83: e273829. DOI:10.1590/1519-6984.273829

6. Chung I, Kim Y, Moon H. Improved accuracy of geographical origin identification of shiitake grown in sawdust medium: A compound-specific isotope model-based pilot study. *Food Chem*. 2022; 369:130955. DOI: 10.1016/j.foodchem.2021.130955

7. Sharma V, Kamal S, Singh M. Especie y producción regional de hongos en los principales países productores de hongos: China, Japón, EE. UU., Canadá e India. *Champiñón Res*. 2022; 30:99–108. DOI: 10.36036/MR.30.2.2021.119394

8. Niego A, Rapior S, Thongklang N, Raspe O, Jaidee W, Lumyong S, Hyde K. Macrofungi as a Nutraceutical Source: Promising Bioactive Compounds and Market Value. *J Fungi (Basel)*. 2021; 7(5):397. DOI:10.3390/jof7050397

9. Citores L, Ragucci S, Russo R. Structural and functional characterization of the cytotoxic protein ledodin, an atypical ribosome-inactivating protein from shiitake mushroom (*Lentinula edodes*). *Protein Science*. 2023; 32(4): e4621. DOI:10.1002/pro.4621

10. Sheng K, Wang C, Chen B, Kang M, Wang M, Liu K, Wang M. Recent advances in polysaccharides from *Lentinula edodes* (Berk.): Isolation, structures and bioactivities. *Food Chem*. 2021; 358:129358-

129883. DOI: 10.1016/j.foodchem.2021.129883

11. Ngai P, Ng T. Lentin, a novel and potent antifungal protein from shiitake mushroom with inhibitory effects on activity of human immunodeficiency virus-1 reverse transcriptase and proliferation of leukemia cells. *Life Science*. 2003; 73(26):3363-3374. DOI: 10.1016/j.lfs.2003.06.023

12. Afrin S, Rakib M, Kim B, Kim J, Ha Y. Eritadenine from Edible Mushrooms Inhibits Activity of Angiotensin Converting Enzyme in Vitro. *J Agric Food Chem*. 2016; 64(11):2263-2268. DOI: 10.1021/acs.jafc.5b05869

13. Okon O. The Nutritional Applications of Quinoa Seeds. A. Varma (eds). *Biology and Biotechnology of Quinoa*. Singapore. 2021;35-49. DOI:10.1007/978-981-16-3832-9_3

14. Gordillo-Bastidas E, Diaz-Rizzolo D, Roura E, Massanés T, Gomis R. Quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd), from nutritional value to potential health benefits: An integrative review. *Journal of Nutrition & Food Sciences*, 2016, 6(3):497. DOI:10.4172/2155-9600.1000497

15. Kilinc O, Ozgen S, Selamoglu Z. Bioactivity of triterpene saponins from quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.). *Research & Reviews: Research Journal of Biology*. 2016; 4(4):25-28. <https://www.rroij.com/open-access/bioactivity-of-triterpene-saponins-from-quinoa-chenopodium-quinoa-willd-.pdf>

16. Huchin V M, Estrada-Mota I. Estrada-León R, Cuevas-Glory L, Ortiz-Vázquez E, Vargas M, Betancur-Ancona D, Sauri-Duch E. Determination of some physicochemical characteristics, bioactive compounds and antioxidant activity of tropical fruits from Yucatan, Mexico. *Food Chemistry*. 2014; 152(1):508–515. DOI: 10.1016/j.foodchem.2013.12.013

17. Swallah M, Sol H, Affoh R, Fu H, Yu H. Antioxidant potential overviews of secondary metabolites (polyphenols) in fruits. *International Journal of Food Science*, 2020;1-8. DOI:10.1155/2020/9081686

18. Nimse S, Pal D. Free radicals, natural antioxidants, and their reaction mechanisms. *RSC*

- Advances. 2015; 5:27986-28006. DOI:10.1039/C4RA13315C
- 19.** Starzynska-Janiszewska A, Stodolak B, Dulinski R, Mickowska B, Sabat R. Fermentation of colored quinoa seeds with *neurospora intermedia* to obtain oncom-type products of favorable nutritional and bioactive characteristics. *Cereal Chem.* 2017; 94(3):619–624. DOI:10.1094/CCHEM-10-16-0264-R.
- 20.** Shi M, Yang Y, Wang Q, Zhang Y, Wang Y, Zhang Z. Production of total polyphenol from fermented soybean curd residue by *Lentinula edodes*, *Int. J. Food Sci. Technol.* 2012;47(6):1215-1221. DOI:10.1111/j.1365-2621.2012.02961.x
- 21.** Tang Y, Li X, Chen P. Caracterización de las composiciones de ácidos grasos, carotenoides, tocoferol/tocotrienol y actividades antioxidantes en semillas de tres *Chenopodium quinoa* Willd. genotipos. *Química alimentaria.* 2015; 174:502-508. DOI: 10.1016/j.foodchem.2014.11.040
- 22.** Zhai F, Wang Q, Han J. Nutritional components and antioxidant properties of seven kinds of cereals fermented by the basidiomycete *Agaricus blazei*. *J. Cereal Sci.* 2015; 65(4):202-208. DOI: 10.1016/j.jcs.2015.07.010
- 23.** AOAC, Official methods of Analysis. 2000.
- 24.** Lester G, Lewers K, Medina M, Saftner R. Análisis comparativo de fenoles totales de fresa a través de Fast Blue BBvs. Folin-Ciocalteu: Ensayo de interferencia por ácido ascórbico. *J. Alimentos Compos. Anal.* 2012; 27:102–107. DOI:10.1016/j.jfca.2012.05.003
- 25.** Brand-Williams W, Cuvelier M, Berset C. Use of free radical method to evaluate antioxidant activity. *LWT-Food Sci. Technol.* 1995; 28: 25–30. DOI:10.1016/S0023-6438(95)80008-5
- 26.** Re R, Pellegrin N, Proteggente A, Pannala A, Yang M, Rice-Evans C. Antioxidant activity applying an improved ABTS radical cation decoloration assay. *Free Radic. Biol. Med.* 1999; 26: 1231–1237. DOI: 10.1016/S0891-5849(98)00315-3
- 27.** Benzie I, Strain J. Ferric reducing antioxidant power assay: Direct measure of total antioxidant activity of biological fluids and modified version for simultaneous measurements of total antioxidant power and ascorbic acid concentration. *Methods Enzymol.* 1999; 299: 15–27. DOI:10.1016/S0076-6879(99)99005-5
- 28.** Singleton V, Orthofer R, Lamuela-Raventos R. Analysis of total phenols and other oxidation substrates and antioxidants by means of Folin-Ciocalteu reagent. *Methods Enzymol.* 1999; 299: 152–178. [https://doi.org/10.1016/S0076-6879\(99\)99017-1](https://doi.org/10.1016/S0076-6879(99)99017-1)
- 29.** Bhanja T, Kumari A, Banerjee R. Enrichment of phenolics and free radical scavenging property of wheat koji prepared with two filamentous fungi. *Bioresour. Technol.* 2009; 100(11):2861–2866, DOI: 10.1016/j.biortech.2008.12.055.
- 30.** Hur S, Lee S, Kim Y, Choi I, Kim G. Effect of fermentation on the antioxidant activity in plant-based foods. *Food Chem.* 2014; 160:346–356. DOI: 10.1016/j.foodchem.2014.03.112
- 31.** Chen L, Gong Y, Cai Y. Genome Sequence of the Edible Cultivated Mushroom *Lentinula edodes* (Shiitake) Reveals Insights into Lignocellulose Degradation. *PLoS One.* 2016;11(8): e0160336. DOI: 10.1371/journal.pone.0160336.
- 32.** Bisen P, Baghel R, Sanodiya B, Thakur G, Prasad G. *Lentinula edodes*: a macrofungus with pharmacological activities. *Curr Med Chem.* 2010;17(22):2419-2430. doi:10.2174/092986710791698495
- 33.** Abugoch J. Quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.): composition, chemistry, nutritional, and functional properties. *Adv Food Nutr Res.* 2009; 58:1-31. DOI:10.1016/S1043-4526(09)58001-1.
- 34.** Xu L, Guo S, Zhang S. Effects of solid-state fermentation on the nutritional components and antioxidant properties from quinoa. *Emir J Food Agric.* 2019; 31(1):39-45. DOI:10.9755/ejfa.2019.v31.i1.1898
- 35.** Koziol-Latinreco M. Chemical Composition and Nutritional Evaluation of Quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.). *J. Food Compos. Anal.*, 1992; 5:35–68. DOI: 10.1016/0889-1575(92)90006-6.
- 36.** Eliopoulos C, Arapoglou D, Chorianopoulos N, Markou G, Haroutounian S. Conversion of brewers' spent grain into proteinaceous animal feed using

solid state fermentation. *Environ Sci Pollut Res Int.* 2022; 29(20):29562-29569. DOI:10.1007/s11356-021-15495-w

37. Repo-Carrasco R, Espinoza C, Jacobsen S. Valor nutricional y uso de los cultivos andinos de quinua (*Chenopodium quinoa*) y kaniwa (*Chenopodium pallidicaule*). *Reseñas Aliment. Int.*, 2003; 19:179–189 DOI:10.1081/FRI-120018884

38. Qian JY, Kuhn M. Characterization of *Amaranthus cruentus* and *Chenopodium quinoa* Starch. *Starch/Staerke*, 1999; 5 (4):116–120, DOI:10.1002/(sici)1521-379x (199904)51:4<116:aid-star116>3.3.co;2-i.

39. Han J, An C, Yuan J. Solid-state fermentation of cornmeal with the basidiomycete *Ganoderma lucidum* for degrading starch and upgrading nutritional value. *J Appl Microbiol.* 2005;99(4):910-915. DOI:10.1111/j.1365-2672.2005.02672.x

40. Li S, Chen Y, Li K, Lei Z, Zhang Z. Characterization of physicochemical properties of fermented soybean curd residue by *Morchella esculenta*. *Int. Biodeterior. Biodegrad.*, 2016; 109:113–118. DOI: 10.1016/j.ibiod.2016.01.020

41. Kris-Etherton P, Hecker K, Bonanome A. Bioactive compounds in foods: their role in the prevention of cardiovascular disease and cancer. *Am J Med.* 2002;113 Suppl 9B:71S-88S. DOI:10.1016/s0002-9343(01)00995-0

42. Silva A, Neuza J. Antioxidant properties of *Lentinula edodes* and *Agaricus blazei* extracts. *J. Food Qual.*, 2011; 34 (6): 386–394. DOI:10.1111/j.1745-4557.2011.00416.x

43. Silva E, Cavallazzi J, Müller G, Souza J. Biotechnological applications of *Lentinula edodes*. *J. food, Agric. Environ.*, 2007; 5(3): 403–407. DOI:10.1234/4.2007.1254.

44. Yang L, Fu T, Yang F. Biovalorization of soybean residue (okara) via fermentation with *Ganoderma lucidum* and *Lentinula edodes* to attain products with high anti-osteoporotic effects. *J Biosci Bioeng.* 2020;129(4):514-518. DOI: 10.1016/j.jbiosc.2019.10.003