



## Artículo de divulgación científica

<https://doi.org/10.61767/mjte.004.1.0416>

Pérez-Contreras et al., 2025

Recibido: 01-02-2025

Revisado: 18-02-2025

Aceptado: 07-03-2025

Publicado: 01-04-2025

## Neurospora: A casi 200 años de su primer reporte, un hongo con historia y ciencia

## Neurospora: Nearly 200 years after its discovery, a fungus with history and science

Serafín Pérez-Contreras<sup>1\*</sup>, Dora Angélica Ávalos de la Cruz<sup>1</sup>, Manuel Alejandro Lizardi Jiménez<sup>2</sup>, José Andrés Herrera Corredor<sup>1</sup>, Obdulia Baltazar Bernal<sup>1</sup> y Ricardo Hernández Martínez<sup>1,\*</sup>

<sup>1</sup> Colegio de Postgraduados Campus Córdoba, Carretera Federal Córdoba-Veracruz Km.348, Amatlán de los Reyes, C.P.94946, Veracruz. México.

<sup>2</sup> SECIHTI-Universidad Autónoma de San Luis Potosí, Sierra Leona Sierra Leona 550, 2da. Sección, C. P. 78210 San Luis Potosí, San Luis Potosí, México.

\*Correspondencia: [odracirhema@gmail.com](mailto:odracirhema@gmail.com)

### Resumen

El género de hongos filamentosos *Neurospora* tuvo su primer reporte en el año 1843 como un contaminante persistente en panaderías francesas, desde entonces, ha evolucionado de ser una plaga para convertirse en un organismo modelo fundamental para la ciencia. Su relevancia inició en los años 40 con los trabajos de Beadle y Tatum, quienes realizaron estudios con *Neurospora crassa* para establecer la relación resumida en "un gen, una proteína", revolucionando la genética y la bioquímica, al punto de ser acreedores al premio nobel de Fisiología o Medicina en 1958. Además, estudios posteriores revelaron su papel en la comprensión de los ritmos circadianos, identificando mecanismos moleculares conservados en eucariotas, como los bucles de retroalimentación entre proteínas reguladoras. En biotecnología, la investigación con *Neurospora* ha tenido aportaciones por su capacidad para producir enzimas hidrolíticas (celulasas, xilanasas, amilasas) con capacidad para degradar la biomasa vegetal, ofreciendo alternativas para la producción de biocombustibles y compuestos industriales. Así mismo, han existido estudios enfocados en la fermentación de residuos agrícolas para mejorar su valor nutricional, destacando aplicaciones en alimentación sostenible. Con un ciclo de vida corto, una mayor complejidad en comparación a las levaduras y facilidad en su manejo, *Neurospora* sigue siendo una herramienta versátil en investigación. Su historia ejemplifica cómo un organismo que fue considerado un problema se convirtió en un aliado científico multidisciplinario, con potencial continuo para la innovación en sostenibilidad y biotecnología.

**Palabras clave:** Organismo modelo, *Neurospora crassa*, hongos filamentosos.



## Artículo de divulgación científica

Pérez-Contreras et al., 2025

### Abstract

The filamentous fungus genus *Neurospora* was first reported in 1843 as a persistent contaminant in French bakeries. Since then, it has evolved from a pest into a key model organism in scientific research. Its significance emerged in the 1940s with the notable work of Beadle and Tatum, who used *Neurospora crassa* to establish the "one gene, one enzyme" hypothesis, revolutionizing genetics and biochemistry—an achievement that earned them the 1958 Nobel Prize in Physiology or Medicine. Further studies revealed *Neurospora's* role in understanding circadian rhythms, uncovering conserved molecular mechanisms in eukaryotes, such as feedback loops between regulatory proteins. In biotechnology, *Neurospora* research has contributed to the production of hydrolytic enzymes (cellulases, xylanases, amylases) capable of breaking down plant biomass, offering promising alternatives for biofuel and industrial compound production. Additionally, studies have explored its use in fermentation of agricultural residues to enhance their nutritional value, highlighting applications in sustainable food production. With a short life cycle, greater complexity than yeasts, and ease of handling, *Neurospora* remains a versatile research tool. Its history exemplifies how an organism once considered as a problem became a multidisciplinary scientific ally with continuous potential for innovation in sustainability and biotechnology.

**Keywords:** model organism, *Neurospora crassa*, filamentous fungi.

### 1. Introducción

*Neurospora* es un género de hongos filamentosos que ha sido protagonista en la ciencia durante más de un siglo, aunque su fama inicial no fue precisamente positiva: durante décadas, fue conocido como una plaga persistente en las panaderías de Francia. Este hongo tiene una capacidad asombrosa para crecer de manera prolífica sobre el pan, produciendo masas de esporas de color salmón que, al dispersarse, forman densas nubes. Antes de la introducción de inhibidores de mohos en el pan comercial, las infestaciones de *Neurospora* eran un problema serio para los panaderos (Beadle, 1945).

Las estrategias para el control de *Neurospora* no fueron eficientes hasta los descubrimientos de Shear y Dodge (1927), quienes describieron sus estados sexuales y revelaron que sus ascosporas pueden soportar temperaturas altas. Esto explicó por qué era tan difícil controlar su propagación en las panaderías. Pero *Neurospora* no es solo un molesto invasor: en los trópicos, este hongo juega un papel ecológico clave como uno de los primeros colonizadores en campos de siembra

quemados. Además de su relevancia científica y ecológica, *Neurospora* también ha tenido un lugar en la cultura culinaria. En la isla de Java, en Indonesia, se utiliza tradicionalmente para preparar un alimento llamado oncom. Este platillo se elabora a partir de harina de cacahuete (obtenida tras la extracción de su aceite), que se extiende en láminas sobre hojas de plátano y se inocula con *Neurospora*. Tras unos días de fermentación, el cacahuete adquiere un color naranja brillante debido a la presencia de los conidios del hongo, señal de que el oncom está listo para consumirse (Beadle, 1945).

En este artículo exploraremos la importancia de *Neurospora* como organismo modelo en el avance científico, en áreas como la genética, los ritmos circadianos, la biotecnología, la producción de enzimas hidrolíticas y la evolución fúngica. Finalmente, abordaremos dos cuestiones centrales: ¿Qué características consolidaron a *Neurospora* como referente científico? y ¿Hacia qué temáticas se está orientando la investigación con *Neurospora* para enfrentar desafíos actuales?



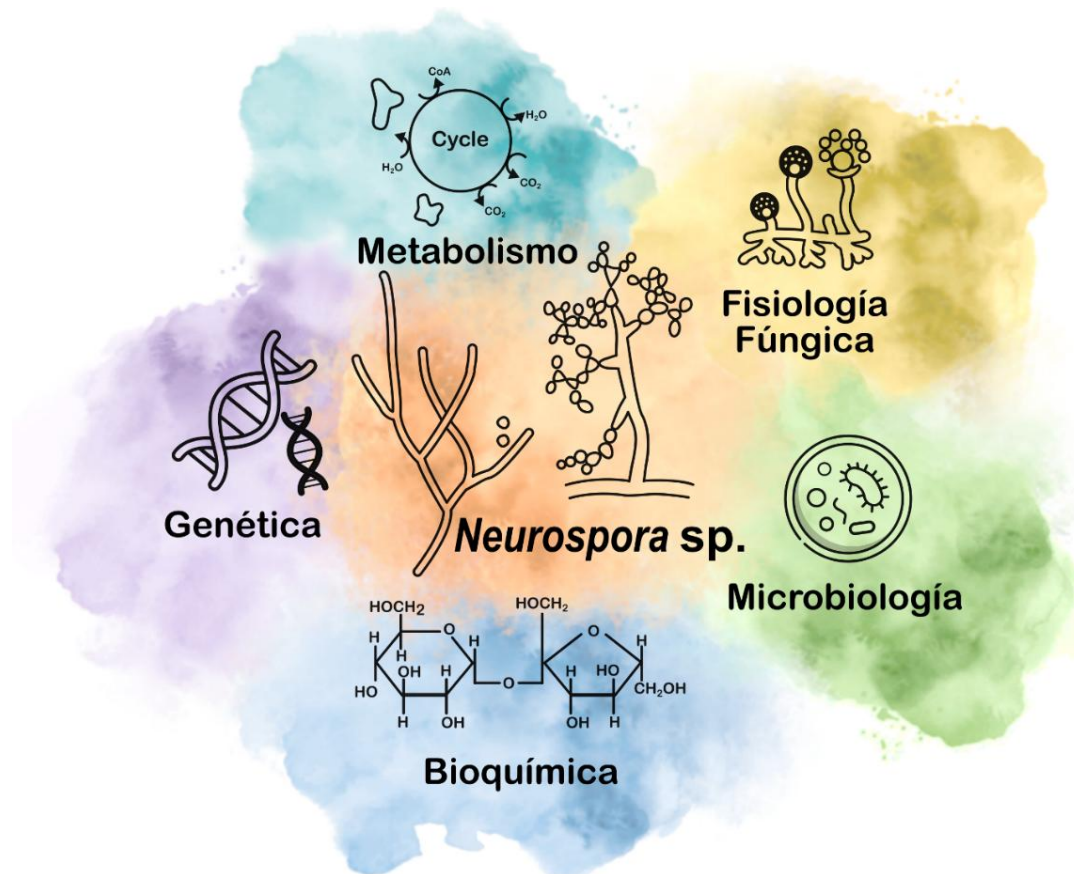
## Artículo de divulgación científica

Pérez-Contreras et al., 2025

### 2. *Neurospora crassa*: El hongo que revolucionó la genética

El interés científico por *Neurospora* comenzó a principios del siglo XX, y desde entonces, este hongo ha dejado una huella importante en la genética y la biología molecular. Aunque fue reportado por primera vez en 1843 como un simple contaminante en las panaderías de París, no fue hasta la década de 1920 que *N. crassa* se consolidó como un organismo modelo clave para la investigación científica (Kollath-Leiß et al., 2024; Galagan et al., 2003).

Más allá de su uso en la cocina tradicional de Java, *Neurospora* captó la atención de investigadores entre las décadas de 1930 y 1950. Durante este periodo, científicos como Barratt y Garnjobst (1949), Beadle et al. (1947), Bonner (1946), Colson (1934), Dodge (1939), Emerson (1950), Goddard (1935), Horowitz (1950), Houlahan et al. (1949), Lindegren (1936) y Tatum y Bell (1946) realizaron contribuciones fundamentales en áreas como la genética, la bioquímica, el metabolismo, la microbiología y la fisiología fúngica (Fig. 1).



**Figura 1.** Representación esquemática de los aportes de *Neurospora* a múltiples disciplinas científicas.

Uno de los hitos más importantes en la biología molecular ocurrió en 1940, cuando el Biólogo Edward L. Tatum y el genetista George W. Beadle demostraron la relación directa entre los genes y

las proteínas. Sus investigaciones revelaron que los genes controlan, en última instancia, todos los procesos bioquímicos de los seres vivos; que cada uno de estos procesos resulta de una secuencia



## Artículo de divulgación científica

Pérez-Contreras et al., 2025

de reacciones químicas interconectadas; y que una única mutación genética puede alterar por completo un proceso al afectar un solo paso químico. Estos hallazgos dieron origen a la famosa hipótesis de "un gen, una proteína", que sentó las bases para comprender cómo los genes regulan los procesos bioquímicos en los organismos vivos (Strauss, 2016; Galagan *et al.*, 2003). La trascendencia de este descubrimiento fue tal que, en 1958, Beadle y Tatum recibieron el Premio Nobel de Fisiología o Medicina, siendo este avance considerado, en muchos casos, el primer gran hallazgo de la biología molecular.

Además de estos avances, otros estudios destacados incluyen el de Emerson en 1950, quien comparó el crecimiento y desarrollo de *Neurospora* con organismos unicelulares como bacterias y levaduras. También es notable la revisión de Beadle en (1945), cuyos avances nos permitieron estudiar la herencia de caracteres como el color de las flores, hasta comprender cómo los genes influyen en las vías metabólicas y los procesos químicos de los seres vivos. Este enfoque no solo permitió avances en la genética, sino que también sentó las bases para entender enfermedades humanas relacionadas a defectos metabólicos.

### 3. El secreto detrás de los ciclos Circadianos: Lo que aprendimos de *Neurospora*

Además de sus contribuciones a la genética y la bioquímica, *Neurospora* y la especie *N. crassa* han sido actores clave en el estudio de los ciclos circadianos, esos ritmos biológicos que regulan los procesos fisiológicos en un ciclo de aproximadamente 24 horas. Desde 1966 hasta 2010, una serie de investigaciones pioneras han utilizado a *Neurospora* como organismo modelo para desentrañar los mecanismos moleculares detrás de estos relojes internos.

Entre los trabajos más influyentes destacan los de Lee *et al.* (2000), Liu *et al.* (1997), Cheng *et al.* (2001), Loros *et al.* (1989), Feldman y Hoyle (1973), Bell-Pedersen *et al.* (1992), Mellow *et al.* (1999), Schafmeier *et al.* (2005), En particular, el

estudio de Lee *et al.* en 2000, titulado "Interconnected feedback loops in the *Neurospora* circadian system", reveló detalles fascinantes sobre cómo funciona el reloj circadiano en *Neurospora*. Este trabajo se centró en la interacción entre el activador transcripcional de WC-1 (proteína que permite la percepción de luz) y la proteína FRQ (Proteína acumulativa en el citoplasma), sugiriendo la existencia de bucles de retroalimentación interconectados, en donde la sobreacumulación de FRQ inhibe la expresión de WC-1. Estos mecanismos son sorprendentemente similares a los encontrados en organismos tan diversos como la mosca de la fruta (*Drosophila*) y algunos mamíferos, lo que indica que los sistemas de cronometraje circadiano están conservados en todos los eucariotas.

Otro estudio clave fue el de Liu *et al.* en 1997, que identificó dos formas de la proteína FRQ esenciales para la regulación de los ritmos circadianos. Además, este trabajo destacó cómo la temperatura influye en la proporción de estas dos formas, demostrando que los ciclos circadianos no solo responden a la luz, sino también a otros factores ambientales.

El conocimiento generado a partir de estos estudios no solo ha ampliado nuestra comprensión de los ritmos circadianos en eucariotas, sino que también tiene aplicaciones prácticas. Como señala Hotta, (2021), entender estos mecanismos puede conducir a una agricultura más sostenible. Por ejemplo, al sincronizar los ritmos circadianos de las plantas con su entorno, es posible diseñar estrategias de gestión más eficientes que maximicen la productividad y reduzcan el uso de recursos. Los ritmos circadianos permiten a los organismos anticipar cambios diarios o estacionales, organizar su metabolismo y responder de manera óptima a señales externas o internas. En resumen, las plantas con un reloj circadiano bien ajustado no solo son más productivas, sino también más eficientes.



## Artículo de divulgación científica

Pérez-Contreras et al., 2025

### 4. *Neurospora* y su impacto en la biotecnología

Además de su papel fundamental en la genética y la biología molecular, *Neurospora* ha demostrado ser un recurso invaluable en el campo de la biotecnología. Varios investigadores, como Coradetti *et al.* (2013), Dogaris *et al.* (2009), Mishra *et al.* (1984), Romero *et al.* (1999), Schmoll *et al.* (2012), Yazdi *et al.* (1990), entre otros, han centrado sus estudios en la producción y optimización de enzimas como celulasas, xilanasas y amilasas, utilizando *N. crassa* y *N. intermedia* como organismos modelo.

Uno de los trabajos más destacados es el de Romero *et al.* en 1999, quienes emplearon *N. crassa* en un sistema de fermentación sumergida utilizando rastrojo de trigo como inductor. Este estudio no solo demostró la capacidad del hongo para producir enzimas celulolíticas (como  $\beta$ -glucosidasa, exoglucanasa y endoglucanasa), sino que también identificó las condiciones óptimas para su producción: un 5% de rastrojo de trigo, un pH inicial de 6 y una temperatura de 30°C. Estos hallazgos son cruciales para aplicaciones industriales, como la producción de biocombustibles a partir de biomasa vegetal.

En el caso de las xilanasas, el trabajo de Mishra *et al.* en 1984 también ha sido un trabajo relevante. Utilizando *N. crassa* y un sistema de fermentación sumergida y xilano comercial como fuente de carbono, los investigadores lograron cuantificar la actividad enzimática de endo-xilanasas y  $\beta$ -xilanosidasas después de cuatro días de fermentación. Además, determinaron propiedades clave de estas enzimas, como su punto isoeléctrico (4.8 y 4.5, respectivamente) y sus pesos moleculares (33,000 y 30,000 Da). Estos datos son esenciales para optimizar su uso en procesos industriales, como la producción de papel y alimentos.

En investigaciones más recientes, Verma y Kumar (2020) exploraron la producción de celulasas mediante fermentación en estado sólido, utilizando diversos polisacáridos de plantas, como bagazo hervido, paja de trigo e incluso papel de

periódico reciclado. Mediante un diseño experimental Box-Behnken, optimizaron factores como la temperatura, el pH, el tamaño de partícula y el tiempo de incubación, demostrando el potencial de *N. crassa* para convertir desechos agrícolas en productos de valor añadido.

En la misma línea, Shahryari *et al.* (2019) investigaron la producción de amilasas y celulasas utilizando *N. intermedia* en un sistema de fermentación sumergida. Los autores emplearon tanto un medio sintético como uno suplementado con vinaza delgada y salvado de trigo, identificando las condiciones óptimas de temperatura (65°C) y pH (5) para maximizar la actividad xilanasas (5.48 U/mL y 2.58 U/mL). Estos resultados subrayan la versatilidad de *Neurospora* en la producción de enzimas industriales.

El uso de especies de *Neurospora* para la producción de enzimas hidrolíticas como celulasas, xilanasas y amilasas usando sistemas de fermentación ha sido explorado desde la década de 1980. Sin embargo, el interés en este género de hongos no ha disminuido; al contrario, se ha renovado con el uso de enfoques modernos, como la optimización de procesos mediante metodologías de superficie de respuesta y sistemas de fermentación en estado sólido (Fig. 2). Estos avances permiten aprovechar residuos agroindustriales de manera más eficiente, convirtiendo desechos en recursos valiosos.

#### 4.1. *Neurospora* y sus enzimas hidrolíticas para el aprovechamiento de la biomasa lignocelulolítica

Las enzimas hidrolíticas, como las celulasas y xilanasas, juegan un papel crucial en el aprovechamiento de la biomasa lignocelulósica, uno de los recursos más abundantes en la naturaleza. Esta biomasa, que forma la estructura principal de las paredes celulares de las plantas, está compuesta principalmente por celulosa y hemicelulosa. Las enzimas hidrolíticas descomponen estos polisacáridos en azúcares monoméricos, que pueden ser utilizados como





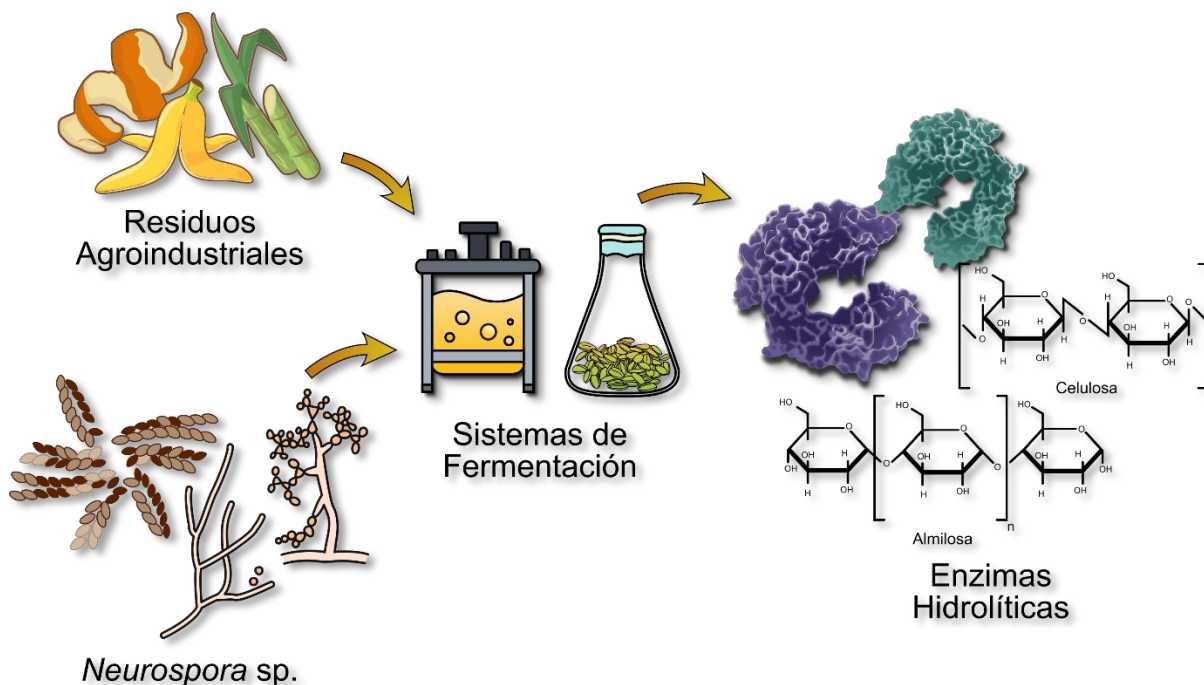
## Artículo de divulgación científica

Pérez-Contreras et al., 2025

fuentes de carbono en diversos procesos biotecnológicos (Chávez-Escalante *et al.*, 2022; Socol *et al.*, 2017).

Una propuesta innovadora en este campo es la de Zhao *et al.* (2024), quienes sugieren un bioproceso consolidado para la conversión completa de biomasa lignocelulósica (mediante acción enzimática celulasa) en productos útiles en un solo sistema. En su estudio los autores

proponen la producción de ácido itacónico, un compuesto no tóxico con múltiples aplicaciones industriales. Este ácido dicarboxílico de 5 carbonos puede servir como alternativa sostenible al petróleo, utilizándose en la síntesis de lubricantes, adhesivos, aditivos para detergentes, agentes antioxidantes y aceleradores de gelificación.



**Figura 2.** Producción de enzimas hidrolíticas con *Neurospora sp.* y residuos agroindustriales.

Otra alternativa prometedora es la propuesta por Alhomodi *et al.* en 2022, quienes exploraron el uso de especies fúngicas como *Aureobasidium pullulans*, *Neurospora crassa* y *Trichoderma reesei* para incrementar el valor nutricional de la pasta de canola. Estos investigadores demostraron que la fermentación fúngica, mediante acción enzimática de celulasas, reduce los factores antinutricionales presentes en la pasta de canola, mejorando su calidad como posible alimento para humanos y animales. Este enfoque no solo aprovecha los residuos agrícolas, sino que también puede contribuir a la seguridad alimentaria.

## 5. El papel de *Neurospora* en la comprensión de la evolución fúngica

*Neurospora* no solo ha sido fundamental en la genética y la biotecnología, sino que también ha desempeñado un papel clave en el estudio de la evolución del reino fungi. Investigaciones como la de Menkis *et al.* (2008) han utilizado a *Neurospora tetrasperma*, un ascomiceto filamentosos, para explorar la evolución del cromosoma de tipo de apareamiento. Mediante el análisis de divergencia génica, genética clásica



## Artículo de divulgación científica

Pérez-Contreras et al., 2025

y filogenética, estos investigadores descubrieron que la falta de recombinación en este cromosoma ocurrió en dos etapas evolutivas distintas. Este hallazgo es particularmente relevante porque sugiere que los cromosomas de los hongos pueden evolucionar de manera similar a los cromosomas sexuales en animales y plantas, a pesar de que los hongos no tienen sexos separados.

Otro estudio destacado es el de Dettman y Taylor (2004), quienes analizaron 147 individuos de 8 especies diferentes de *Neurospora*, centrándose en la mutación y evolución de loci microsatélites. Los microsatélites son secuencias cortas de ADN que se repiten y son útiles para estudiar la diversidad genética. Este trabajo proporcionó información detallada sobre la variación genética entre especies de *Neurospora*, ayudando a los científicos a comprender cómo estos hongos han evolucionado y se han adaptado a lo largo del tiempo.

Además, el estudio de Dettman y Taylor reveló patrones interesantes sobre las mutaciones en regiones microsatélites y sus alrededores. Estas mutaciones no solo afectan la diversidad genética, sino que también pueden influir en cómo se interpretan las relaciones evolutivas entre especies. Este tipo de investigación ha sido crucial para entender los mecanismos que impulsan la evolución en los hongos y cómo estos procesos se comparan con los de otros organismos.

### 6. *Neurospora* en el laboratorio: Un aliado sencillo pero poderoso

Como hemos mencionado, *Neurospora* ha sido un organismo modelo en la investigación por diversas razones, entre ellas su fácil manejo, rápido desarrollo y ciclo de vida corto. Históricamente, fue elegido para estudios de laboratorio debido a sus múltiples ventajas. Un ejemplo clave es B. O. Dodge, quien describió la fase sexual de *Neurospora tetrasperma* en 1927 y fue pionero en la caracterización de su ciclo de

vida. Dodge al visualizar el potencial del microorganismo para el estudio de la genética, intentó convencer a T. H. Morgan y su equipo, centrados en el estudio de *Drosophila*, para que lo adoptaran como modelo experimental. Sin embargo, no fue hasta que el entonces estudiante de posgrado Carl Lindegren comenzó a explorar su potencial, que *Neurospora* empezó a ganar reconocimiento en este ámbito (Beadle, 1945; Perkins *et al.*, 2000).

Una década después, los conocimientos aportados por Dodge y Lindegren permitieron que Beadle y Tatum adoptaran *Neurospora* en su búsqueda de mutantes genéticos. Los resultados de sus estudios otorgaron un amplio reconocimiento a este hongo, consolidándolo como el equivalente fúngico de *Drosophila* en la investigación genética.

Además, *Neurospora* no solo es diferente de la levadura *Saccharomyces*, un organismo modelo clásico para el estudio de organismos eucariotas, sino que también es un organismo más complejo en términos de estructura fúngica y ciclo de vida. De hecho, más de la mitad de los genes expresados identificados en *Neurospora* no tienen una contraparte en el genoma de *Saccharomyces*. Aunque *Escherichia coli* y *Saccharomyces* han sido los principales organismos modelo para el estudio de la genética y la biología molecular, *Neurospora* ha sido el modelo de referencia para la investigación de hongos filamentosos y la opción preferida para abordar problemas que no pueden estudiarse con bacterias o levaduras (Perkins *et al.*, 2000).

Hablando en específico de una especie, *N. crassa* es un organismo modelo excepcional para la investigación científica debido a su rápido crecimiento y facilidad de cultivo en condiciones simples. Este hongo, de naturaleza eucariota, ha permitido valiosas comparaciones entre organismos procariontes y eucariotas, lo que ha sido fundamental en estudios de biología molecular. Además, cuenta con necesidades nutricionales mínimas, ya que puede utilizar diversas fuentes de carbono y nitrógeno, lo que



## Artículo de divulgación científica

Pérez-Contreras et al., 2025

facilita su manejo en el laboratorio (Fig. 3). Adicionalmente, su estructura multicelular y genética accesible a manipulaciones han permitido investigaciones sobre desarrollo celular y genética de mutaciones, haciendo de *N. crassa* una herramienta importante en la investigación genética y microbiológica (Davis y de Serres, 1970).

### 7. El futuro de la investigación con *Neurospora*

La investigación en torno a *Neurospora* está lejos de concluir. En los últimos años, diversos estudios han explorado nuevas aplicaciones de *Neurospora crassa* en distintos campos. Por ejemplo, Zheng *et al.* (2020) analizaron la producción de enzimas proteasas alcalinas en un sistema de fermentación en estado sólido a partir de nuevos aislados de *N. crassa*. Por otro lado, Honda *et al.* en 2020, propusieron el uso de *N. crassa* como organismo modelo para el estudio

de la virología fúngica, destacando su capacidad para permitir la replicación de múltiples virus identificados en hongos del género *Neurospora*.

La investigación genética con *Neurospora* también continúa. Svedberg *et al.* en (2021) estudiaron los mecanismos de impulso meiótico presentes en *N. sitophila*, en particular cómo ciertos genes pueden sesgar la herencia de los alelos durante la meiosis, dando lugar a una transmisión desigual del material genético. Otro enfoque reciente es el de Yu *et al.* (2020), quienes exploraron el uso de *N. crassa* para mejorar el valor nutricional del residuo de soya. Sus hallazgos demostraron que la fermentación del residuo con *Neurospora* incrementó la abundancia de oligosacáridos y polisacáridos, así como la presencia de microflora benéfica como Prevotellaceae y Lactobacillales.

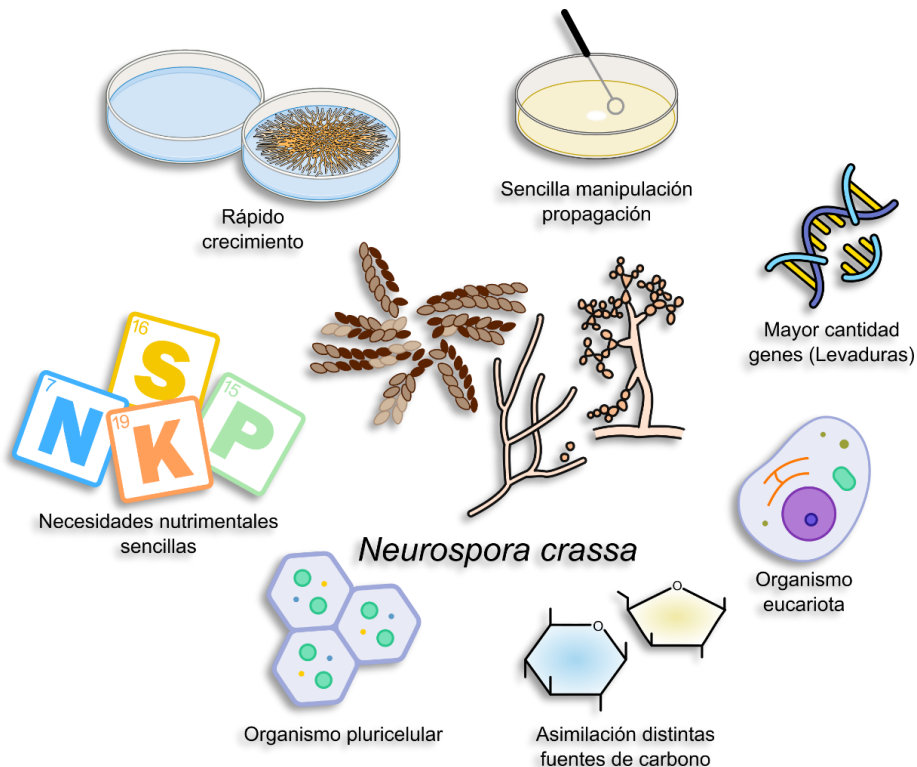


Figura 3. Ventajas del uso de *Neurospora crassa* en el laboratorio.





## Artículo de divulgación científica

Pérez-Contreras et al., 2025

En el ámbito de la alimentación, Bartholomai *et al.* (2022) evaluaron el potencial nutricional y la seguridad del consumo de micoproteína (micelio entero) de *N. crassa* mediante pruebas de toxigenicidad genómica e *in vitro*. No se detectaron toxinas en la micoproteína de *N. crassa*, y su análisis nutricional reveló que es una fuente de proteína completa, además de ser rica en fibra, potasio y hierro. Dado su historial de consumo sin efectos adversos en humanos y animales, los autores concluyeron que los alimentos elaborados con *N. crassa* pueden considerarse generalmente seguros.

Como podemos ver, la investigación usando *Neurospora* sigue siendo relevante incluso después de décadas de estudio en genética. Sus aplicaciones abarcan múltiples áreas, muchas de ellas con impacto en la sostenibilidad. Por ejemplo, se ha investigado su uso en la producción de enzimas hidrolíticas para el aprovechamiento de azúcares de la biomasa lignocelulósica. También se ha propuesto su empleo en la mejora del valor nutricional de residuos destinados a la alimentación animal e incluso en la producción de alternativas a la carne, gracias a su perfil proteico completo y a la ausencia de toxinas perjudiciales.

Todo esto nos invita a reflexionar sobre el potencial de *Neurospora* como una herramienta biotecnológica clave para el aprovechamiento de recursos renovables y el desarrollo sostenible.

### 8. Conclusiones

Sin lugar a duda, *Neurospora* ha sido un género de hongos fundamental en la historia de la ciencia, contribuyendo significativamente al avance del conocimiento en genética, ritmos circadianos, producción de enzimas, metabolismo, evolución, reproducción y muchas otras áreas. Es fascinante pensar que un microorganismo que alguna vez fue considerado un problema en las panaderías se haya convertido en un pilar en la investigación de hongos filamentosos.

Lejos de perder relevancia, la investigación en torno a *Neurospora* y en particular *N. crassa*, sigue evolucionando, con aplicaciones prometedoras en diversos campos. Su potencial como herramienta biotecnológica para el desarrollo del conocimiento y la valorización de recursos con un enfoque sostenible, lo posiciona como un organismo relevante en el futuro de la investigación científica.

### Agradecimientos

Serafín Pérez Contreras agradece a la secretaría de Ciencia, Humanidades, Tecnología e Innovación (SECIHTI) por la beca 62331007 otorgada para continuar con los estudios de doctorado.

### Declaraciones y afirmaciones

**Fondos:** Los autores declaran que no recibieron financiamiento para este trabajo

**Conflicto de interés:** Los autores declaran que no existe conflicto de interés

**Aprobación de ética:** no aplica

**Disponibilidad de los datos:** Contactar a los autores en caso de requerir las bases de datos de esta investigación

**Contribución de los autores:** Conceptualización, R.H.-M. y M.A.L.-J.; metodología, S.P.-C.; software, S.P.C.; validación, D.A.A.D. y O.B.-B.; análisis formal, R.H.-M.; investigación, S.P.-C.; recursos, R.H.-M.; curación de datos, D.A.A.-D.; redacción del borrador original, S.P.-C. y R.H.-M.; redacción, revisión y edición, R.H.-M.; visualización, J.A.H.-C. y M.A.L.-J.; supervisión, R.H.-M.; administración del proyecto, R.H.-M. Todos los autores han leído y aceptado la versión publicada del manuscrito.

### Referencias

1. Alhomodi, A. F., Gibbons, W. R., & Karki, B. (2022). Estimation of cellulase production by *Aureobasidium pullulans*, *Neurospora crassa*, and *Trichoderma reesei* during solid and submerged state fermentation of raw



## Artículo de divulgación científica

Pérez-Contreras et al., 2025

- and processed canola meal. *Bioresource Technology Reports*, 18, 101063. <https://doi.org/10.1016/j.biteb.2022.101063>
- Barratt, R. W., & Garnjobst, L. (1949). Genetics of a colonial microconidiating mutant strain of *Neurospora crassa*. *Genetics*, 34(4), 351–369. <https://doi.org/10.1093/genetics/34.4.351>
  - Bartholomai, B. M., Ruwe, K. M., Thurston, J., Jha, P., Scaife, K., Simon, R., Abdelmoteleb, M., Goodman, R. E., & Farhi, M. (2022). Safety evaluation of *Neurospora crassa* mycoprotein for use as a novel meat alternative and enhancer. *Food and Chemical Toxicology*, 168, 113342. <https://doi.org/10.1016/j.fct.2022.113342>
  - Beadle, G. W. (1945). Genetics and metabolism in *Neurospora*. *Physiological Reviews*, 25(4), 643–663. <https://doi.org/10.1152/physrev.1945.25.4.643>
  - Beadle, G. W., Mitchell, H. K., & Nyc, J. F. (1947). Kynurenine as an Intermediate in the Formation of Nicotinic Acid from Tryptophane by *Neurospora*. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 33(6), 155–158. <https://doi.org/10.1073/pnas.33.6.155>
  - Bell-Pedersen, D., Dunlap, J. C., & Loros, J. J. (1992). The *Neurospora* circadian clock-controlled gene, *cgc-2*, is allelic to *eas* and encodes a fungal hydrophobin required for formation of the conidial rodlet layer. *Genes & Development*, 6(12a), 2382–2394. <https://doi.org/10.1101/gad.6.12a.2382>
  - Bonner, D. (1946). Further studies of mutant strains of *Neurospora* requiring isoleucine and valine. *Journal of Biological Chemistry*, 166(2), 545–554. [https://doi.org/10.1016/s0021-9258\(17\)35192-x](https://doi.org/10.1016/s0021-9258(17)35192-x)
  - Chávez-Escalante, G., Méndez-González, F., Espinosa-Ramírez, B., & Estrada-Martínez, R. (2022). Biotransformation of the organic fraction of municipal solid wastes to bioethanol. *Mexican Journal of Technology and Engineering*, 1(1), 9–14. <https://doi.org/10.61767/mjte.001.1.0914>
  - Cheng, P., Yang, Y., & Liu, Y. (2001). Interlocked feedback loops contribute to the robustness of the *Neurospora* circadian clock. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 98(13), 7408–7413. <https://doi.org/10.1073/pnas.121170298>
  - Colson, B. (1934). The Cytology and Morphology of *Neurospora tetrasperma* Dodge. *Annals of Botany*, 48(1), 211–224. <https://doi.org/10.1093/oxfordjournals.aob.a090436>
  - Coradetti, S. T., Xiong, Y., & Glass, N. L. (2013). Analysis of a conserved cellulase transcriptional regulator reveals inducer-independent production of cellulolytic enzymes in *Neurospora crassa*. *MicrobiologyOpen*, 2(4), 595–609. <https://doi.org/10.1002/mbo3.94>
  - Davis, R. H., & De Serres, F. J. (1970). [4] Genetic and microbiological research techniques for *Neurospora crassa*. In *Methods in enzymology on CD-ROM/Methods in enzymology* (pp. 79–143). [https://doi.org/10.1016/0076-6879\(71\)17168-6](https://doi.org/10.1016/0076-6879(71)17168-6)
  - Dettman, J. R., & Taylor, J. W. (2004). Mutation and evolution of microsatellite Loci in *Neurospora*. *Genetics*, 168(3), 1231–1248. <https://doi.org/10.1534/genetics.104.029322>
  - Dodge, B. O. (1939). A new dominant lethal in *Neurospora*\*. *Journal of Heredity*, 30(11), 466–474.



## Artículo de divulgación científica

Pérez-Contreras et al., 2025

- <https://doi.org/10.1093/oxfordjournals.jher.ed.a104632>
15. Dogaris, I., Vakontios, G., Kalogeris, E., Mamma, D., & Kekos, D. (2008). Induction of cellulases and hemicellulases from *Neurospora crassa* under solid-state cultivation for bioconversion of sorghum bagasse into ethanol. *Industrial Crops and Products*, 29(2–3), 404–411. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2008.07.008>
  16. Emerson, S. (1950). The growth phase in *Neurospora* corresponding to the logarithmic phase in unicellular organisms. *Journal of Bacteriology*, 60(3), 221–223. <https://doi.org/10.1128/jb.60.3.221-223.1950>
  17. Feldman, J. F., & Hoyle, M. N. (1973). Isolation of circadian clock mutants of *Neurospora crassa*. *Genetics*, 75(4), 605–613. <https://doi.org/10.1093/genetics/75.4.605>
  18. Galagan, J. E., Calvo, S. E., Borkovich, K. A., Selker, E. U., Read, N. D., Jaffe, D., FitzHugh, W., Ma, L., Smirnov, S., Purcell, S., Rehman, B., Elkins, T., Engels, R., Wang, S., Nielsen, C. B., Butler, J., Endrizzi, M., Qui, D., Ianakiev, P., . . . Birren, B. (2003). The genome sequence of the filamentous fungus *Neurospora crassa*. *Nature*, 422(6934), 859–868. <https://doi.org/10.1038/nature01554>
  19. Goddard, D. R. (1935). The reversible heat activation inducing germination and increased respiration in the ascospores of *Neurospora tetrasperma*. *The Journal of General Physiology*, 19(1), 45–60. <https://doi.org/10.1085/jgp.19.1.45>
  20. Honda, S., Eusebio-Cope, A., Miyashita, S., Yokoyama, A., Aulia, A., Shahi, S., Kondo, H., & Suzuki, N. (2020). Establishment of *Neurospora crassa* as a model organism for fungal virology. *Nature Communications*, 11(1). <https://doi.org/10.1038/s41467-020-19355-y>
  21. Horowitz, N. (1950). Biochemical genetics of *Neurospora*. *Advances in Genetics*, 33–71. [https://doi.org/10.1016/s0065-2660\(08\)60082-6](https://doi.org/10.1016/s0065-2660(08)60082-6)
  22. Hotta, C. T. (2021). From crops to shops: how agriculture can use circadian clocks. *Journal of Experimental Botany*, 72(22), 7668–7679. <https://doi.org/10.1093/jxb/erab371>
  23. Houlahan, M. B., Beadle, G. W., & Calhoun, H. G. (1949). Linkage studies with biochemical mutants of *Neurospora crassa*. *Genetics*, 34(5), 493–507. <https://doi.org/10.1093/genetics/34.5.493>
  24. Kollath-Leiß, K., Repnik, U., Winter, H., Winkelmann, H., Freund, A. S., & Kempken, F. (2024). The First Observation of the Filamentous Fungus *Neurospora crassa* Growing in the Roots of the Grass *Brachypodium distachyon*. *Journal of Fungi*, 10(7), 487. <https://doi.org/10.3390/jof10070487>
  25. Lee, K., Loros, J. J., & Dunlap, J. C. (2000). Interconnected feedback loops in the *Neurospora* circadian system. *Science*, 289(5476), 107–110. <https://doi.org/10.1126/science.289.5476.107>
  26. Lindegren, C. C. (1936). A six-point map of the sex-chromosome of *Neurospora crassa*. *Journal of Genetics*, 32(2), 243–256. <https://doi.org/10.1007/bf02982680>
  27. Liu, Y., Garceau, N. Y., Loros, J. J., & Dunlap, J. C. (1997). Thermally regulated translational control of FRQ mediates aspects of temperature responses in the *Neurospora* circadian clock. *Cell*, 89(3), 477–486. [https://doi.org/10.1016/s0092-8674\(00\)80228-7](https://doi.org/10.1016/s0092-8674(00)80228-7)



## Artículo de divulgación científica

Pérez-Contreras et al., 2025

28. Loros, J. J., Denome, S. A., & Dunlap, J. C. (1989). Molecular cloning of genes under control of the circadian clock in *Neurospora*. *Science*, 243(4889), 385–388. <https://doi.org/10.1126/science.2563175>
29. Menkis, A., Jacobson, D. J., Gustafsson, T., & Johannesson, H. (2008). The Mating-Type Chromosome in the Filamentous Ascomycete *Neurospora tetrasperma* Represents a Model for Early Evolution of Sex Chromosomes. *PLoS Genetics*, 4(3), e1000030. <https://doi.org/10.1371/journal.pgen.1000030>
30. Merrow, M., Brunner, M., & Roenneberg, T. (1999). Assignment of circadian function for the *Neurospora* clock gene frequency. *Nature*, 399(6736), 584–586. <https://doi.org/10.1038/21190>
31. Mishra, C., Keskar, S., & Rao, M. (1984). Production and Properties of Extracellular Endoxylanase from *Neurospora crassa*. *Applied and Environmental Microbiology*, 48(1), 224–228. <https://doi.org/10.1128/aem.48.1.224-228.1984>
32. Perkins, D. D., Radford, A., & Sachs, M. S. (2000). *The Neurospora Compendium: Chromosomal loci*. <https://ci.nii.ac.jp/ncid/BA84287773>
33. Romero, M., Aguado, J., González, L., & Ladero, M. (1999). Cellulase production by *Neurospora crassa* on wheat straw. *Enzyme and Microbial Technology*, 25(3–5), 244–250. [https://doi.org/10.1016/s0141-0229\(99\)00035-6](https://doi.org/10.1016/s0141-0229(99)00035-6)
34. Schafmeier, T., Haase, A., Káldi, K., Scholz, J., Fuchs, M., & Brunner, M. (2005). Transcriptional feedback of *Neurospora* circadian clock gene by Phosphorylation-Dependent inactivation of its transcription factor. *Cell*, 122(2), 235–246. <https://doi.org/10.1016/j.cell.2005.05.032>
35. Schmoll, M., Tian, C., Sun, J., Tisch, D., & Glass, N. L. (2012). Unravelling the molecular basis for light modulated cellulase gene expression - the role of photoreceptors in *Neurospora crassa*. *BMC Genomics*, 13(1), 127. <https://doi.org/10.1186/1471-2164-13-127>
36. Shahryari, Z., Fazaelpoor, M. H., Ghasemi, Y., Lennartsson, P. R., & Taherzadeh, M. J. (2019). Amylase and Xylanase from Edible Fungus *Neurospora intermedia*: Production and Characterization. *Molecules*, 24(4), 721. <https://doi.org/10.3390/molecules24040721>
37. Shear, C. L., y Dodge, B. O. (1927). Life histories and heterothallism of the red bread-mold fungi of the *Monilia sitophila* group (pp. 1019-1042). Washington, DC: US Government Printing Office. <https://eurekamag.com/research/024/949/024949842.php?srsId=AfmBOop43BLfWARb7eyKLBqAEShaPYPx9GqHTmdF9oURQdDHT--Javfh>
38. Soccol, C. R., Da Costa, E. S. F., Letti, L. a. J., Karp, S. G., Woiciechowski, A. L., & De Souza Vandenberghe, L. P. (2017). Recent developments and innovations in solid state fermentation. *Biotechnology Research and Innovation*, 1(1), 52–71. <https://doi.org/10.1016/j.biori.2017.01.002>
39. Strauss, B. S. (2016). Biochemical Genetics and Molecular Biology: the contributions of George Beadle and Edward Tatum. *Genetics*, 203(1), 13–20. <https://doi.org/10.1534/genetics.116.188995>
40. Svedberg, J., Vogan, A. A., Rhoades, N. A., Sarmarajeewa, D., Jacobson, D. J., Lascoux, M., Hammond, T. M., & Johannesson, H. (2021). An introgressed gene causes meiotic



## Artículo de divulgación científica

Pérez-Contreras et al., 2025

drive in *Neurospora sitophila*. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 118(17).  
<https://doi.org/10.1073/pnas.2026605118>

LWT, 122, 108990.  
<https://doi.org/10.1016/j.lwt.2019.108990>

41. Tatum, E. L., & Bell, T. T. (1946). *Neurospora*. III. Biosynthesis of thiamin. *American Journal of Botany*, 33(1), 15.  
<https://doi.org/10.2307/2437486>
42. Verma, N., & Kumar, V. (2020). Impact of process parameters and plant polysaccharide hydrolysates in cellulase production by *Trichoderma reesei* and *Neurospora crassa* under wheat bran based solid state fermentation. *Biotechnology Reports*, 25, e00416.  
<https://doi.org/10.1016/j.btre.2019.e00416>
43. Yazdi, M. T., Woodward, J. R., & Radford, A. (1990). The cellulase complex of *Neurospora crassa*: activity, stability and release. *Journal of General Microbiology*, 136(7), 1313–1319.  
<https://doi.org/10.1099/00221287-136-7-1313>
44. Yu, J., Fu, Y., Deng, Z., Fan, Y., & Li, H. (2020). Effects of soluble dietary fiber from soybean residue fermented by *Neurospora crassa* on the intestinal flora in rats. *Food & Function*, 11(9), 7433–7445.  
<https://doi.org/10.1039/d0fo01093f>
45. Zhao, C., Zhao, J., Han, J., Mei, Y., & Fang, H. (2024). Improved consolidated bioprocessing for itaconic acid production by simultaneous optimization of cellulase and metabolic pathway of *Neurospora crassa*. *Biotechnology for Biofuels and Bioproducts*, 17(1).  
<https://doi.org/10.1186/s13068-024-02505-5>
46. Zheng, L., Yu, X., Wei, C., Qiu, L., Yu, C., Xing, Q., Fan, Y., & Deng, Z. (2019). Production and characterization of a novel alkaline protease from a newly isolated *Neurospora crassa* through solid-state fermentation.