

Uso de un consorcio microbiano del sureste coahuilense con potencial para su aplicación como biofertilizante

Adriana Rosabel Marín-Cortez¹

Rosalinda Mendoza-Villarreal^{2,§}

Valentín Robledo-Torres²

Adalberto Benavides-Mendoza²

Homero Ramírez-Rodríguez²

María Laura González-Reséndiz³

1 Doctorado en Ciencias en Agricultura Protegida-Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Calzada Antonio Narro #1923, Buenavista, Saltillo, Coahuila, México. CP. 25315.

2 Departamento de Horticultura-Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Calzada Antonio Narro #1923, Buenavista, Saltillo, Coahuila, México. CP. 25315.

3 Facultad de Ciencias-Universidad Nacional Autónoma de México. Coyoacán, , México, Ciudad de México, México. CP. 04510. AP. 70-474.

Autora para correspondencia: rosalinda.mendoza@uaaan.edu.mx.

Resumen

Cada vez es de mayor importancia la sostenibilidad ambiental y en el caso de la agricultura se busca que los recursos sean económicamente sostenibles maximizando producción y minimizando costos. Entre las opciones actuales, los biofertilizantes han tomado relevancia al ser una alternativa prometedora al mejorar la nutrición de las plantas y reforzar defensas con el uso de microorganismos benéficos de la rizosfera. Aunque la producción de biofertilizantes tradicionalmente se centra en la selección, caracterización y formulación de aislamientos individuales (cepas) con los rasgos deseados para promover el crecimiento de las plantas, la evidencia sugiere que los bioinoculantes aumentan la eficacia cuando se utilizan comunidades microbianas (consorcios). El objetivo de este trabajo se centró en evaluar el potencial biotecnológico de un consorcio microbiano obtenido del sureste Coahuilense, identificado vía secuenciación masiva del gen 16SrARN y el gen 18SrARN conformado principalmente por los géneros de levaduras *Meyerozyma* spp., *Debaryomyces* spp. y *Kurtzmaniella* spp.; así como, bacterias del género *Bacillus*. La evaluación como biofertilizante se realizó con tres formulados, medio de cultivo con consorcio [Med+C] y dos alternativos, melaza con consorcio y medio de cultivo más melaza con consorcio [Mel+C y Med+Mel+C], se evaluaron en condiciones de invernadero en *Spinacea oleracea* (espinaca) teniendo además un control (agua) y un producto comercial como tratamientos. Obteniendo que la aplicación de los diferentes formulados, en particular Med +C tiende a incrementar las variables agronómicas del cultivo (altura, diámetro de tallo, largo y ancho de hoja, peso fresco y peso seco) y la cantidad de minerales (Fe, K y Cu) respecto al tratamiento control. Los resultados obtenidos indican que la aplicación de consorcios microbianos, logran reducir de manera significativa el uso de fertilizantes químicos.

Palabras clave:

Debaryomyces spp, *Kurtzmaniella* spp, *Meyerozyma* spp, levaduras, *Bacillus*, Bioinoculante.

Introducción

La sostenibilidad ambiental ha cobrado importancia, sobre todo en la agricultura, con recursos económicamente sostenibles maximizando producción y minimizando costos. Entre las opciones que se tienen actualmente, los biofertilizantes han tomado relevancia, ya que incluyen microorganismos vivos y productos químicos que regulan el crecimiento de las plantas y aportan beneficios al suelo, lo que hace que sean cada vez más reconocidos (Ding *et al.*, 2024). Una alternativa prometedora para mejorar la nutrición de las plantas y reforzar sus defensas es el uso de microorganismos benéficos de la rizosfera, como las 'rizobacterias y hongos promotores del crecimiento de las plantas' (Sevillano-Cano, 2024).

Debido principalmente a sus variados mecanismos de acción y a que son de menor riesgo a la salud y al ambiente. Incluso, el utilizar biofertilizantes mejora las condiciones del suelo y aumenta la capacidad de proporcionar nutrientes, con gran impacto en el crecimiento de las plantas y la producción de cultivos (Mashatleh *et al.*, 2024). Sin duda, una doble ventaja con la aplicación de inoculantes microbianos al suelo, es primero, aumentan las ventajas directas al cultivo en nutrición, y en segunda, ayudar a la salud y recuperación de suelos (Bhattacharyya y Jha, 2012). Por otro lado, la coinoculación (planta-microorganismos) ha demostrado estimular el crecimiento, nodulación y fijación de nitrógeno en plantas (Muthusamy *et al.*, 2023).

Aun cuando es bien conocido el papel y la importancia que juegan estos microorganismos, y la gran diversidad que se puede encontrar en el suelo y con características de interés; hay apenas unos pocos microorganismos que se utilizan y comercializan como biofertilizantes, apenas ~50 cepas funcionales que se aplican en la agricultura (Pirtila *et al.*, 2021).

En la producción de biofertilizantes tradicionalmente se destaca la selección, aislamiento y caracterización de especies microbianas, también conocidos como bioinoculantes, con características que promuevan entre otras, un mayor crecimiento de las plantas, sin embargo, hay evidencia que sugiere un aumento en la eficacia del bioinoculante cuando está compuesto de varios microorganismos en lugar de especies individuales (Hernández-Álvarez *et al.*, 2023).

Esto último es interesante ya que, una de las principales causas de tener pocas cepas funcionales, es la complejidad en el aislamiento y caracterización individual, por lo que, un consorcio puede ser una alternativa eficiente, incluso tomando en cuenta la sinergia producida en un consorcio derivado de los diferentes mecanismos de acción en los microorganismos presentes, a veces superpuestos a los mecanismos de protección de las plantas (Vassilev *et al.*, 2006).

El uso de biofertilizantes conformados por consorcios microbianos de múltiples características ofrece una gran oportunidad, ya que tales consorcios pueden proporcionar beneficios a los cultivos, entre otros incluyen mayor absorción de nutrientes, resistencia a enfermedades y tolerancia al estrés (Yadav y Yadav, 2024). El objetivo del trabajo fue evaluar el potencial biofertilizante en pruebas en invernadero, de un consorcio obtenido del suelo en el sureste de Coahuila.

Materiales y métodos

Aislamiento: se colectaron muestras de raíz del cultivo de tomate que se desarrolló en suelo calcáreo de General Cepeda, Coahuila cuyas coordenadas son, 25° 32' 00" latitud norte 102° 32' 00" longitud oeste, realizando el aislamiento por el método de diluciones seriadas y recuento en placa (Hoben y Somasegaran, 1982). Los consorcios aislados corresponden al laboratorio de microbiología hortícola del Departamento de Horticultura en la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro (UAAAN).

Condiciones de cultivo y caracterización molecular. La muestra del consorcio utilizado se hizo crecer en matraces Erlenmeyer de 500 ml con medio Rennie modificado (Rennie, 1981), con temperatura controlada a 28 °C, agitación orbital a 120 rpm por 48 h. Para conocer la diversidad de especies y correlacionar con su papel en el consorcio microbiano se realizó un análisis de taxonomía metagenómica; por tanto, la extracción de ADN se obtuvo mediante el Kit DNeasy PowerSoil (Qiagen) de acuerdo con las instrucciones del fabricante.

Posteriormente la muestra fue amplificada por PCR con los primers universales para genes ribosomales 16SrRNA, 27F; AGAGTTTGATCCTGGCTCAG y 1492R; GGTTACCTTGTTACGACTT) y 18SrRNA (18SF; AACCTGGTTGATCCTGCCAGT y 18SR; TTGATCCTTCTGCAGGTTCCACC). Los amplicones obtenidos se purificaron mediante QIAquick® PCR Purification Kit de acuerdo con las instrucciones del fabricante. La calidad y cantidad de amplicones obtenidos fueron determinados mediante su concentración y pureza, usando un NanoDrop One((Thermo), visualizados en un gel de agarosa al 1%, TBE 0.5x.

La secuenciación y análisis de diversidad taxonómica se realizó con vía secuenciación Oxford Nanopore en Secoya Labs SC, CdMx. Tratamientos. El consorcio utilizado como biofertilizante, se creció en tres formulados, medio de cultivo Rennie modificado (Med+C) y dos medios alternativos: melaza (Mel+C) y medio de cultivo+melaza (Med+Mel+C). Los crecimientos obtenidos se utilizaron en los experimentos de invernadero.

Se usó el cultivo de espinaca (*Spinacea oleracea* L.), al que se aplicaron 6 ml L-1 con 6.3×10^{10} UFC ml-1 de biofertilizante. Estas dosis se establecieron con experimentación previa de los formulados en priming (imbibición durante 24 h), en semillas. Además de los tres formulados, se utilizó un tratamiento comercial (Inobac, BioJal®) y un tratamiento control sólo agua.

Experimentación en campo. Fue realizado durante los meses de abril a junio de 2023, el experimento se estableció en un invernadero de tipo túnel con pared húmeda y con cubierta de polietileno, en el Departamento de Horticultura de la UAAAN, ubicada en localidad Buenavista, al sur del Municipio de Saltillo, en el estado de Coahuila de Zaragoza, México, cuyas coordenadas geográficas son 25° 21' 20.79" latitud norte y 101° 1' 52.87" longitud oeste a una altitud de 1 779 m.

Se estableció un cultivo de espinaca (HortaFlor, Rancho Los Molinos, % germinación 92%) con siembra directa en suelo en surcos con previo agregado de composta, y un sistema de riego por goteo con 10 cm de distanciamiento entre goteros. Se realizó un priming (24 h) de las semillas con cada tratamiento previo a su siembra directa y dos aplicaciones de los tratamientos a los 15 y a los 30 días después de la emergencia de las plántulas, mediante aplicación vía drench.

Muestreo de variables agronómicas Todas las variables agronómicas se obtuvieron mediante medición manual con flexómetro (Truper 3 m) y con vernier análogo (Scienceware()). Para la toma de datos de ancho y largo de hoja se eligió la primera hoja adulta de la base de la planta que no presentara daños y en la misma posición para todas las unidades experimentales. En el caso del peso fresco y peso seco se obtuvieron con una balanza gravimétrica (Ohaus()) y el porcentaje de humedad por diferencia de estas dos medidas.

Análisis elemental y mineral. La biomasa obtenida de los diferentes experimentos se utilizó para realizar el análisis del contenido elemental carbono (C), hidrógeno (H), oxígeno (O) nitrógeno y azufre. La cual se midió en un analizador elemental (Elemental Analyzer Flash 2000, Thermo Scientific()) utilizando metionina como estándar. Cada muestra fue secada y pulverizada para pesar de 2 a 4 µg de biomasa.

El porcentaje relativo de oxígeno fue calculado por diferencia del porcentaje relativo de CHNS (Kumar, 2014). El análisis mineral de los contenidos de K, Mg, Cu, Fe y Zn en el tejido de las hojas de espinaca se evaluaron en las muestras secas, molidas, con homogenización de tamaño de partícula y digeridas con HCl 1:1 aforados a 50 ml (Kavanagh, 1981), para analizarlas con un espectrofotómetro de absorción atómica (GBC, Scientific Equipment()), calibrado mediante curvas estándar para cada mineral evaluado.

Análisis estadístico

Se usó un diseño de bloques completos al azar. Debido a una observación previa de normalidad de los datos obtenidos, mediante una prueba Shapiro Wilks, se optó por realizar el análisis de datos de las variables agronómicas mediante la prueba estadística no paramétrica de Kruskal Wallis con análisis post hoc con un nivel de significancia estadística de $p \leq 0.05$. Las pruebas anteriores y el análisis de componentes principales para establecer la relación de variables con tratamientos, se realizó con ayuda del software Infostat versión 2020. El estudio de las variables minerales, con gráficos de correlación de Pearson se obtuvo con software Minitab 19 Statistical Software.

Resultados y discusión

Identificación metagenómica. Con los amplicones obtenidos se realizó un análisis de taxonomía metagenómica del consorcio. El análisis de diversidad de especies presentes en el consorcio utilizado, indica que algunas de las especies más representativas por su abundancia ya han sido reportadas en trabajos previos por promover el crecimiento de plantas (Robas-Mora *et al.*, 2022).

Entre las especies que reporta el análisis metagenómico se destacan *Meyerozyma guilliermondii*; *M. athensensis*; *M. caribbica*; *M. smithsonii* y *M. carpophila*, *Debaryomyces udanii*; *D. mycophilus* y *D. hansenii*; además de la especie *Kurtzmaniella* sp. Aunque también cabe destacar la presencia de organismos del género *Bacillus* (*B. toyonensis* y *B. mobilis*).

Esto implica que el consorcio, aunque en su mayoría está conformado por levaduras, también existen bacterias en coexistencia. Aunque en la actualidad los biofertilizantes están enfocados en bacterias promotoras del crecimiento vegetal, hay una iniciativa de explorar diversas levaduras con potencial biofertilizante (bioprospección). Entre estos microorganismos destacan rizobacterias promotoras del crecimiento de las plantas (PGPR), hongos micorrízicos arbusculares (AMF), bacterias que ayudan a la micorriza (MHB), entre otros que trabajan juntos en formulaciones de biofertilizantes en consorcio (Odoh *et al.*, 2020).

El género *Meyerozyma guilliermondii* ha estado relacionado con el mejoramiento en la solubilidad del fosfato y la productividad mejorada del maíz (*Zea mays* L.) (Nakayan *et al.*, 2013). En este sentido de Robador *et al.* (2023), estudió este género y lo reportaron como agente de control biológico (ACB) en la inducción de respuestas defensivas en plantas de vid.

Por otro lado, Sevillano-Cano *et al.* en 2024, reportaron que la especie *Debaryomyces hansenii* no sólo mejora la absorción de nutrientes y estimula el crecimiento de las plantas y el desarrollo de las flores, sino que también podría amplificar la resistencia sistémica inducida (RSI) en cultivos de pepino (*Cucumis sativus* L.), esta especie también es registrada en el consorcio aquí reportado.

Algunas de las características que hacen a las levaduras una fuente potencial de biofertilizantes van desde su capacidad de ser abundantes en suelo, por su metabolismo y ciclo de vida. Las levaduras son anaerobios facultativos que se reproducen por gemación o fisión celular, lo que les permitió adaptarse a una gran diversidad de ambientes (Hernández-Fernández *et al.*, 2021).

Las levaduras tienen gran potencial como promotoras del crecimiento de las plantas, en suelos son importantes para los procesos relacionados con las transformaciones de nutrientes y el mantenimiento de la estructura, ya que mejoran la estabilidad de los agregados del suelo, lo que afecta la capacidad de retención de agua y la fertilidad del sustrato (Botha, 2011). Por otro lado, se ha reportado la capacidad de algunas levaduras de producir ácido indol-3-acético, amonio, poliaminas, así como la capacidad de solubilización de fosfato de calcio y óxido de zinc (Fu *et al.*, 2016).

Entre las especies encontradas del género *Bacillus*, destaca *B. toyonensis* la cual tiene potencial para producir varios antimicrobianos, lo que le hace potencialmente útil para el desarrollo de nuevas estrategias de control de enfermedades microbianas en plantas (Luo *et al.*, 2021). Así también se encontró la presencia de *Bacillus mobilis* que es una bacteria endófito que se ha reportado con actividad antifúngica contra especies patógenas de *Botryosphaeriaceae* (Romero-Cuadrado *et al.*, 2024). De esta forma, se puede inferir que estos microorganismos, aunque en menor medida, también tienen potencial como biopesticidas.

Pruebas en campo. Un factor determinante en el proceso de selección o bioprospección de microorganismos prometedores para su uso como biofertilizante son las pruebas en cultivos en campo, especialmente en las variables agronómicas, que son los aspectos más visibles para el usuario final. En este caso (Cuadro 1), se observó que, aunque no se presentan diferencias estadísticamente significativas para todas las variables, existe una tendencia a obtener valores mayores en los tratamientos donde se encuentra incluido el consorcio.

Cuadro 1. Resultados estadísticos mediante prueba de Kruskal Wallis de las variables agronómicas evaluadas en *Spinacea oleracea* (espinaca).

Tratamiento	Altura (cm)		Diámetro de tallo (cm)		Largo de hoja (cm)		Ancho de hoja (cm)		Peso fresco (g)		Peso seco (g)		Humedad (%)	
	Mediana	DE	Mediana	DE	Mediana	DE	Mediana	DE	Mediana	DE	Mediana	DE	Mediana	DE
Mel+C	32	1.79	4.3	0.61	19	3.16	14	1.94	303.34 ^{AB}	59.09	17.01 ^{AB}	4.04	94.07	0.89
Med	34	3.74	3.9	0.74	18	3.27	13	3.3	218.29 ^{BC}	67.59	11.34 ^B	5.49	94.81	0.91
+Mel+C														
Med+C	30	4.9	4.8	0.79	21	4.19	13	2.92	334.52 ^A	73.9	22.68 ^A	4.28	93.22	2.11
Comercial	30	5.67	4.4	0.66	19	4.88	12	1.42	175.77 ^C	67.65	11.34 ^B	5.07	93.75	1.84
Testigo	32	4.24	3.9	0.72	17	2.95	11	2	280.66 ^{AB}	123.75	17.01 ^B	9.74	94.17	1.44
H-valor	4.68		8.46		2.73		4.81		13.4		12.14		6.55	
p-valor	0.3125		0.0748		0.5989		0.2967		0.0095		0.0149		0.1613	

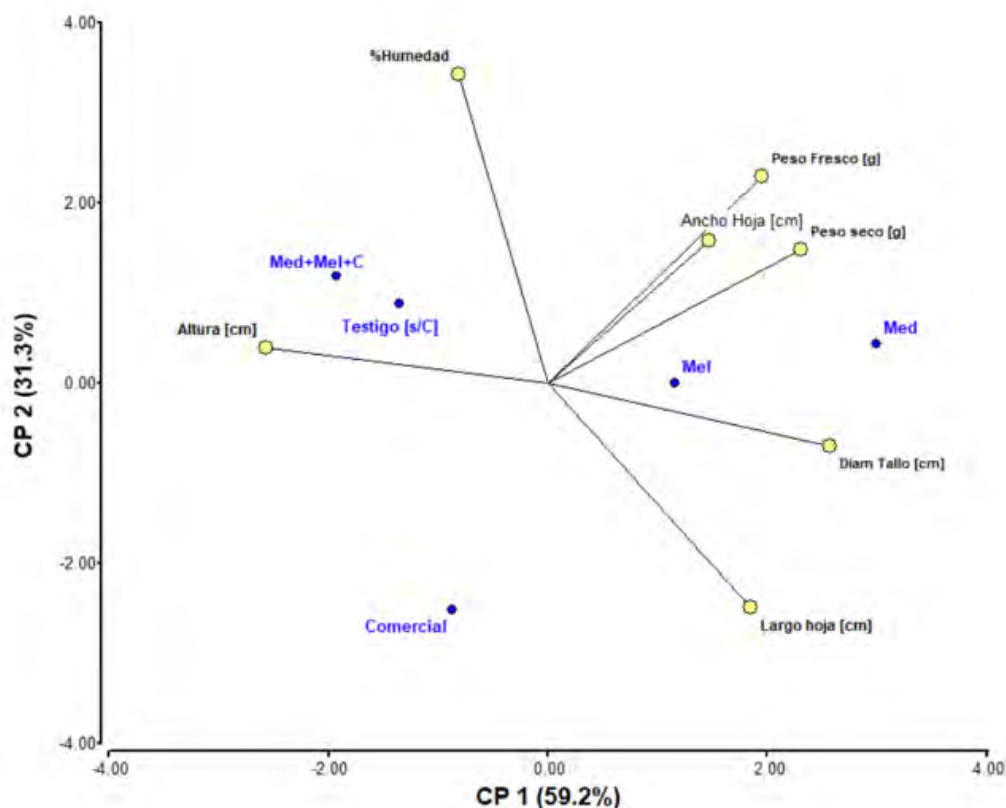
Tratamientos: mel+C (melaza+consorcio), med+mel+C (medio+melaza+consorcio) med+C (medio+consorcio); comercial (Inobac, BioJA[®]), testigo (agua). ^{A, B y C} = representan diferencias significativas mediante la comparación Kruskal-Wallis ($p < 0.05$); DE= desviación estándar; H-valor= valor Chi-cuadrada de Kruskal-Wallis.

Especialmente las variables de PS y PF son las que se ven mayormente beneficiadas, con medianas más altas con respecto al tratamiento control, especialmente en el tratamiento Med+C. Los resultados de campo son mayores en varias de las variables agronómicas comparadas con estudios similares (Shafeek *et al.*, 2021; Safdar *et al.*, 2022).

Correlación de variables y tratamientos. Se realizó un gráfico biplot (Figura 1) con el resultado de un análisis de componentes principales, con la suma de CP1 y CP2, para examinar la interrelación entre las variables agronómicas y los tratamientos tienen un rango de 90.5%, lo que implica que se representa ese porcentaje de la información.



Figura 1. Componentes principales de CP1 y CP2, usando las variables agronómicas y como tratamientos los formulados Med+C, Mel+C, Med+Mel+C, comercial y testigo (agua).



Cuando el ángulo entre los vectores en la figura es $<90^\circ$, hay una relación positiva; si es $>90^\circ$, hay una relación negativa y si el ángulo entre los vectores es 90° , no hay una relación significativa (Seymen, 2021), la altura y largo de hoja tienen poca relación entre variables, pero en cambio las variables peso seco y peso fresco, ancho de hoja al considerar la amplitud de los ángulos entre sí y su cercanía en el cuadrante están más asociadas a los tratamientos de Mel+C y Med+C.

Análisis elemental y fórmula empírica de la biomasa. Al realizar el análisis elemental de la biomasa de espinaca, obtenida por triplicado de los diferentes tratamientos (Cuadro 2) se obtuvieron valores $>30\%$ de carbono para todos los tratamientos, lo que corresponde a lo descrito por Méndez *et al.* (2023), explicando que las especies de biomasa herbácea presentan menor contenido de carbono que las de biomasa leñosa, lo que corresponde con la espinaca al tratarse de una especie herbácea.



Cuadro 2. Análisis elemental de la biomasa de *Spinacea oleracea* en la cosecha, dado en porcentaje de peso de biomasa seca (DW) y expresado en los diferentes formulados aplicados.

Biomasa de <i>Spinacea</i> <i>oleracea</i> en formulado	Análisis elemental (%) DW					Fórmula empírica de la biomasa	Relación C/N
	C	H	O	N	S		
Med+C	32.23	4.33	58.67	4.2	0.57	$\text{CH}_{1.601}\text{O}_{1.387}\text{N}_{0.110}\text{S}_{0.006}$	7.67
Mel+C	32.6	4.36	58.15	4.35	0.35	$\text{CH}_{1.595}\text{O}_{1.341}\text{N}_{0.114}\text{S}_{0.006}$	7.5
Med+Mel+C	30.99	4.17	60.12	4.24	0.49	$\text{CH}_{1.603}\text{O}_{1.458}\text{N}_{0.117}\text{S}_{0.005}$	7.31
Comercial	32.13	4.29	58.79	4.46	0.32	$\text{CH}_{1.592}\text{O}_{1.376}\text{N}_{0.118}\text{S}_{0.003}$	7.2
Testigo (agua)	31.77	4.27	59.35	4.2	0.41	$\text{CH}_{1.600}\text{O}_{1.406}\text{N}_{0.113}\text{S}_{0.004}$	7.56
EE	1.17	0.15	1.63	0.3	0.13		

Tratamientos= mel+C (melaza+consorcio), med+mel+C (medio+melaza+consorcio) med+C (medio+consorcio); comercial (Inobac, bioJal[®]), testigo (agua). EE= error estándar.

Entre los resultados a destacar, también se encuentra el azufre (S) ya que este es un elemento que debe ser agregado en la nutrición, la mayor cantidad se presenta en el tratamiento Med+C, lo que implica una mayor absorción de este nutriente, el azufre es imprescindible para las proteínas que requieren las plantas, como parte de su estructura (Milera-Rodríguez *et al.*, 2024).

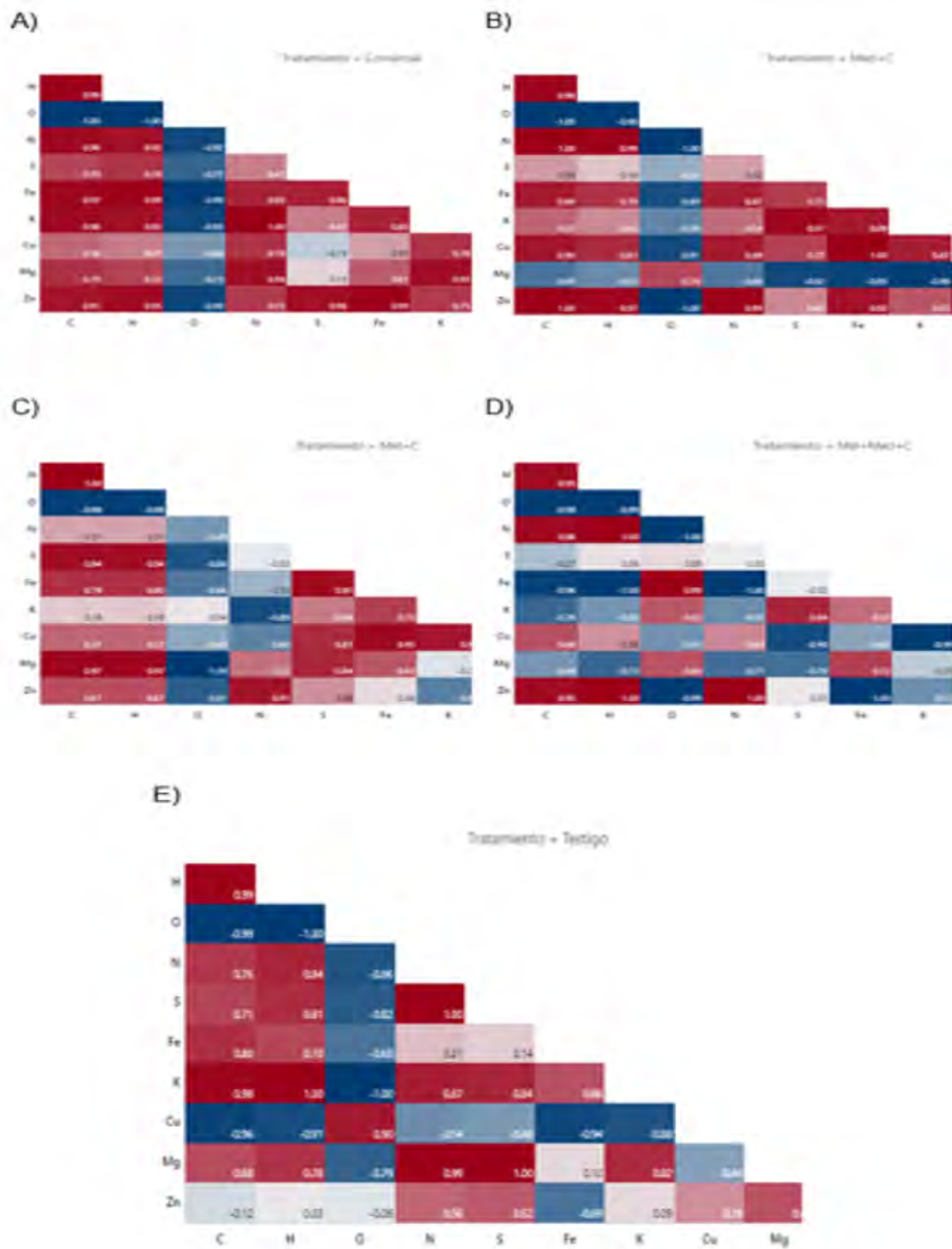
La fórmula molecular de la biomasa de *S. oleracea* se determinó con base en el porcentaje relativo de C, H, O y N, de acuerdo con fórmulas descritas por Kumar (2014). De igual forma, la relación C/N (que puede asociarse con la eficiencia del uso de nitrógeno) presenta valores #7.2, recordemos que entre más bajo sea este valor C/N implica que la planta usa el nitrógeno disponible para priorizar su crecimiento, especialmente esto es congruente con especies herbáceas que le da prioridad a la formación de proteínas, especialmente las que intervienen en la fotosíntesis (Zhang *et al.*, 2020).

Análisis de correlación entre minerales. El aporte de minerales en la fertilización es un aspecto importante que influye de forma significativa en alcanzar mejores rendimientos (Coraspe-León, 2009). Sin embargo, el comprender como se correlacionan entre sí en la planta también es de suma importancia, especialmente al explicar la forma en la que interviene el microbioma para la absorción de nutrientes tanto los presentes naturalmente en el suelo como los utilizados en la nutrición.

En los correlogramas presentados (Figura 2A, 2B, 2C, 2D y 2E), puede analizarse de una mejor forma la correlación presente entre nutrientes, y aunque correlación no implica necesariamente causalidad, sirve como un acercamiento entre los nutrientes que la planta ha obtenido a través de su ciclo de vida. Influenciados seguramente por la biofertilización, al comparar respecto al tratamiento testigo, se puede notar especialmente la interacción del oxígeno con otros elementos, ya que pueden formar óxidos de diferentes tipos que pueden intervenir en el desarrollo de la planta, como el caso de Cu, donde su única correlación positiva se presenta en el control.



Figura 2A, 2B, 2C, 2D y 2E. Correlación entre elementos de importancia (C, H, O, N, S, Fe, Cu, K y Mg), para cada tratamiento evaluado (Med+C, Mel+C, Med+Mel+C, comercial y testigo).



Si bien, usar mezclas de microorganismos con potencial biofertilizante como *Bacillus amyloliquefaciens*, *Nostoc mucorum* y *Saccharomyces cerevisiae* (Omer et al., 2023) se han obtenido mejoras en las estructuras histológicas de las plantas; lo que demuestra la capacidad de trabajar en conjunto para los diferentes microorganismos presentes en un consorcio.

También se han reportado las especies: *Meyerozyma guilliermondii*, *Debaryomyces hansenii* y *Rhodotorula mucilaginosa*, con la capacidad de producción de AIA, solubilización de zinc, producción de NH_3 , catalasa, proteasa y solubilización de fósforo (Bilek *et al.*, 2020). Especialmente las levaduras del género *Meyerozyma* que son capaces de sintetizar compuestos indólicos y probablemente tengan la capacidad para la producción de sideróforos (De Lima *et al.*, 2022), los cuales están especialmente implicados en la absorción del Fe, Cu y Zn.

Conclusiones

El emplear consorcios de microorganismos es una forma de potencializar la efectividad de un biofertilizante, especialmente cuando estos tienen variadas funciones. En esta investigación, se utilizó un consorcio de una región donde las condiciones ambientales son principalmente adversas debido a temperaturas extremas y baja precipitación, características del sureste coahuilense, y que además esté conformado de levaduras y bacterias, donde las primeras tienen un efecto importante al proveer de CO_2 necesario a la planta, así como de ayudar a la asimilación de nutrientes, como los minerales presentados (especialmente Zinc, Cu y Fe).

Seguramente por la presencia de sideróforos; y que en el caso de especies de bacterias obtenidas en el muestreo pueden ser complementarias al ser antagonistas con varios microorganismos fitopatógenos (se sugiere análisis posteriores para evaluar esta capacidad), ayuda además a enriquecer la microbiota natural del suelo, debido a principalmente se están utilizando microorganismos aislados de la misma región. De igual forma, al probar los diferentes formulados, se puede concluir que estos también tienen un papel importante en la aplicación en campo, además de su crecimiento en laboratorio.

Aunque el medio de cultivo más el consorcio [Med+C] parece ser el mejor tratamiento respecto a las diferentes variables evaluadas, debemos puntualizar que los otros tratamientos de formulados también tienen un impacto positivo en las plantas, además que la intención de utilizar otros medios de crecimiento para los microorganismos se planteó para que la producción a mayor escala sea más fácil y asequible. Aunque todavía queda trabajo por realizar, estos hallazgos convierten a este consorcio microbiano en un candidato prometedor para su uso en la gestión integrada de cultivos sostenible y respetuosa con el medio ambiente.

Bibliografía

- 1 Bhattacharyya, P. N. and Jha, D. K. 2012. Plant growth-promoting rhizobacteria (PGPR): emergence in agriculture. *World Journal of Microbiology and Biotechnology*. 28(1):1327-1350.
- 2 Botha, A. 2011. The importance and ecology of yeasts in soil. *Soil Biology and Biochemistry*. 43(1): 1-8. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2010.10.001>.
- 3 Coraspe-León, H. M., Muraoka, T., Franzini, V. I., De Stefano-Piedade, S. M. and do Prado-Granja, N. 2009. Absorción de macronutrientes por plantas de papa (*Solanum Tuberosum* L.) en la producción de tubérculo-semilla. *Interciencia*. 34(1):057-063. <http://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci-arttext&pid=S0378-18442009000100011&lng=es&tlng=es>.
- 4 Ding, B. X.; Cao, H. X.; Bai, Y. A.; Guo, S. C.; Zhang, J. H.; He, Z. J.; Wang, B.; Jia, Z. L.; Liu, H. B. 2024. Effect of biofertilizer addition on soil physicochemical properties, biological properties, and cotton yield under water irrigation with different salinity levels in Xinjiang, China. *Field Crops Research*. 308(1):109300. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2024.109300>.
- 5 Fu, S. F.; Sun, P. F.; Lu, H. Y.; Wei, J. Y.; Xiao, H. S.; Fang, W. T. and Chou, J. Y. 2016. Plant growth-promoting traits of yeasts isolated from the phyllo sphere and rhizosphere of *Drosera spatulata* Lab. *Fungal Biology*. 120(3):433-448. <https://doi.org/10.1016/j.funbio.2015.12.006>.

- 6 Hernández-Álvarez, C.; Peimbert, M.; Rodríguez-Martin, P.; Trejo-Aguilar, D. and Alcaraz, L. D. 2023. A study of microbial diversity in a biofertilizer consortium. Plos one. 18(8):e0286285. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0286285>.
- 7 Hernández-Fernández, M.; Cordero-Bueso, G.; Ruiz-Muñoz, M. and Cantoral, J. M. 2021. Culturable yeasts as biofertilizers and biopesticides for a sustainable agriculture: a comprehensive review. Plants. 10(5):822. <https://doi.org/10.3390/plants10050822>.
- 8 Hoben, H. J. and Somasegaran, P. 1982. Comparison of the pour, spread and drop plate methods for enumeration of *Rhizobium* spp. in inoculants made from presterilized peatt. Applied and Environ Mental Microbiology. 44(5):1246-1247. DOI: 10.1128/aem.44.5.1246-1247.1982.
- 9 Kavanagh, F. 1981. Métodos oficiales de análisis de la AOAC, 13^{va} Ed. Editado por William Horwitz. Asociación de químicos analíticos oficiales. Revista de Ciencias Farmacéuticas. 70(4):468.
- 10 Kumar, K.; Dasgupta, C. N. and Das, D. 2014. Cell growth kinetics of *Chlorella sorokiniana* and nutritional values of its biomass. Bioresource Technology. 167(1):358-366. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2014.05.118>.
- 11 Luo, J. C.; Long, H.; Zhang, J.; Zhao, Y. and Sun, L. 2021. Characterization of a deep-sea *Bacillus toyonensis* isolate genomic and pathogenic features. Frontiers in Cellular and Infection Microbiology. 11(1):629116. <https://doi.org/10.3389/fcimb.2021.629116>.
- 12 Mashatleh, M.; Assayed, A.; Al-Hmoud, N.; Alhaj-Ali, H.; Al-Abaddi, R. and Alrwashdeh, M. 2024. Enhancing sustainable solutions for food security in Jordan: using bacterial biofertilizer to promote plant growth and crop yield. Frontiers in Sustainable Food Systems. 8(1):1423224. <https://doi.org/10.3389/fsufs.2024.1423224>.
- 13 Mendez, F. D.; Pintor-Ibarra, L.; Rutiaga-Quifones, J. y Alvarado-Flores, J. 2023. Capítulo 6: análisis elemental en la biomasa con fines energéticos. Aplicaciones Energéticas de la biomasa: perspectivas para la caracterización local de biocombustibles sólidos. 117-134 pp. <https://repositoriouiim.mx/xmlui/handle/123456789/141>.
- 14 Milera-Rodríguez, M. C.; Alonso-Amaro, O.; Iglesias-Gómez, J. M. y Medina-Salas, R. 2024. El azufre, mineral esencial en el manejo agroecológico de los sistemas agropecuarios. Pastos y Forrajes. 47. <http://ref.scielo.org/b698hp>.
- 15 Muthusamy, Y.; Sengodan, K.; Arthanari, M.; Kandhasamy, R. and Gobianand, K. 2023. Biofertilizer and consortium development: an updated review. Current Agriculture Research Journal. 11(1):1-17. <http://dx.doi.org/10.12944/CARJ.11.1.01>.
- 16 Odoh, C. K.; Sam, K.; Zabbey, N.; Eze, C. N.; Nwankwegu, A. S. and Laku, C. and Dumpe, B. B. 2020. Microbial consortium as biofertilizers for crops growing under the extreme habitats. Plant Microbiomes for Sustainable Agriculture. 381-424 pp. <http://dx.doi.org/10.1007/978-3-030-38453-1-13>.
- 17 Pirttilä, A. M.; Mohammad-Parast, T. H.; Baruah, N. and Koskimäki, J. J. 2021. Biofertilizers and biocontrol agents for agriculture: how to identify and develop new potent microbial strains and traits. Microorganisms. 9(4):817. <https://doi.org/10.3390/microorganisms9040817>.
- 18 Rennie, R. J. 1981. A single medium for the isolation of acetylene-reducing (dinitrogen-fixing) bacteria from soils. Canadian Journal of Microbiology. 27(1):8-14. <https://doi.org/10.1139/m81-002>.
- 19 Robas-Mora, M.; Fernández-Pastrana, V. M.; Probanza-Lobo, A. and Jiménez-Gómez, P. A. 2022. Valorization as a biofertilizer of an agricultural residue leachate: Metagenomic characterization and growth promotion test by PGPB in the forage plant *Medicago sativa* (alfalfa). Frontiers in Microbiology. 13(1):1048154. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2022.1048154>.

- 20 Romero#Cuadrado, L.; Picos, M. C.; Camacho, M.; Ollero, F. J. and Capote, N. 2024. Biocontrol of almond canker diseases caused by Botryosphaeriaceae fungi. Pest Management Science. 80(4):1839-1848. <https://doi.org/10.1002/ps.7919>.
- 21 Safdar, H.; Jamil, M.; Hussain, A.; Albalawi, B. F. A.; Ditta, A.; Dar, A. and Ahmad, M. 2022. The effect of different carrier materials on the growth and yield of spinach under pot and field experimental conditions. Sustainability. 14(19):12255. <https://doi.org/10.3390/su141912255>.
- 22 Sevillano-Caño, J.; García, M. J.; Córdoba-Galván, C.; Luque-Cruz, C.; Agustí-Brisach, C.; Lucena, C. and Romera, F. J. 2024. Exploring the role of *Debaryomyces hansenii* as biofertilizer in iron-deficient environments to enhance plant nutrition and crop production sustainability. International Journal of Molecular Sciences. 25(11):5729. <https://doi.org/10.3390/ijms25115729>.
- 23 Seymen, M. 2021. Comparative analysis of the relationship between morphological, physiological, and biochemical properties in spinach (*Spinacea oleracea* L.) under deficit irrigation conditions. Turkish Journal of Agriculture and Forestry. 45(1):55-67. <https://doi.org/10.3906/tar-2004-79>.
- 24 Shafeek, M. R.; Mahmoud, A. R.; Helmy, Y. I.; Omar, N. M. and El-Dewiny, C. Y. 2021. Effect of Potassium Levels as Soil Application and Foliar Spray with Silicon and Boron on Yield and Root Quality of Sugar Beet under Clay Soil Middle east journal of agriculture research. 10(2):483-492. <https://doi.org/10.36632/mejar/2021.10.1.12>.
- 25 Vassilev, N.; Vassileva, M.; Lopez, A.; Martos, V.; Reyes, A.; Maksimovic, I. and Malusa, E. 2015. Unexploited potential of some biotechnological techniques for biofertilizer production and formulation. Applied Microbiology and Biotechnology. 99(12):4983-4996. <https://doi.org/10.1007/s00253-015-6656-4>.
- 26 Yadav, A. and Yadav, K. 2024. Desafíos y oportunidades en la comercialización de biofertilizantes. SVOA Microbiol. 5(1):1-14. <http://dx.doi.org/10.58624/SVOAMB.2024.05.037>.
- 27 Zhang, J.; He, N.; Liu, C.; Xu, L.; Chen, Z.; Li, Y. and Reich, P. B. 2020. Variation and evolution of C: N ratio among different organs enable plants to adapt to N#limited environments. Global Change Biology. 26(4):2534-2543. <https://doi.org/10.1111/gcb.14973>.
- 28 Zhang, L.; Chen, F.; Zeng, Z.; Xu, M.; Sun, F.; Yang, L. and Xie, Y. 2021. Advances in metagenomics and their application in environmental microorganisms. Frontiers in Microbiology. 12:766364. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2021.766364>.



Uso de un consorcio microbiano del sureste coahuilense con potencial para su aplicación como biofertilizante

Journal Information
Journal ID (publisher-id): remexca
Title: Revista mexicana de ciencias agrícolas
Abbreviated Title: Rev. Mex. Cienc. Agríc
ISSN (print): 2007-0934
Publisher: Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias

Article/Issue Information
Date received: 00 February 2025
Date accepted: 00 May 2025
Publication date: 15 October 2025
Publication date: Sep-Oct 2025
Volume: 16
Issue: esp30
Electronic Location Identifier: e4046
DOI: 10.29312/remexca.v16i30.4046
Article Id (other): 00009

Categories

Subject: Artículos

Palabras clave:

Palabras clave:

Debaryomyces spp.

Kurtzmaniella spp.

Meyerozyma spp.

levaduras

Bacillus

Bioinoculante

Counts

Figures: 2

Tables: 2

Equations: 0

References: 28