

1 **TITULO** Explorando el papel de los microorganismos en mitigación del estrés causado por el uso  
2 excesivo de fertilizantes químicos en el cultivo de café (*Coffea arabica* L.). Una Revisión

3 **TITLE** Exploring the role of microorganisms in mitigating stress caused by excessive use of chemical  
4 fertilizers in coffee (*Coffea arabica* L.). A review.

5 **Autor:** Angela María Meneses Yara  
6 Orcid: 0009-0001-7858-315X  
7 Universidad de Cundinamarca, Fusagasugá- Cundinamarca  
8 E-mail: [ammeneses@ucundinamarca.edu.co](mailto:ammeneses@ucundinamarca.edu.co)  
9 Pilar rojas Gracia  
10 Orcid: <https://orcid.org/0000-0002-2960-4129>  
11 Universidad de Cundinamarca, Fusagasugá- Cundinamarca  
12 E-mail: [projasg@ucundinamarca.edu.co](mailto:projasg@ucundinamarca.edu.co)

## 14 **RESUMEN**

15 Esta revisión se basa en el impacto del estrés abiótico, especialmente el estrés salino provocado por  
16 la excesiva fertilización química, que afecta negativamente el crecimiento y desarrollo de las plantas.  
17 La acumulación de sal en el suelo causa efectos adversos, como el aumento de la presión osmótica  
18 intracelular, lo que resulta en una disminución en la capacidad de las plantas para absorber agua y  
19 nutrientes, así como en una acumulación perjudicial de sodio. Esto provoca daños en las hojas  
20 fotosintéticas jóvenes y acelera su proceso de senescencia. En esta revisión, se resumen los avances  
21 recientes en la regulación del estrés salino en suelos agrícolas y se destaca el papel de los  
22 microorganismos benéficos en la mitigación. La potenciación de las defensas naturales mediante la  
23 acción de microorganismos, fitohormonas y biofertilizantes puede lograrse a través de tratamientos  
24 externos, lo que conduce a una mayor capacidad de supervivencia y desarrollo en condiciones de  
25 estrés. Así mismo, los bioestimulantes han adquirido una importancia crucial en los esfuerzos por  
26 mitigar los efectos negativos del estrés abiótico en los cultivos. Se discuten diversas alternativas para  
27 abordar este problema, como la implementación de bacterias fijadoras de nitrógeno y hongos  
28 micorrízicos arbusculares, así como la eficacia de las poliaminas como bioestimulantes en la  
29 mitigación de los efectos adversos del estrés abiótico. Además, se examina el proceso de priming o  
30 "estado de alerta" en las plantas, que les confiere una mayor capacidad de supervivencia y desarrollo  
31 en condiciones estresantes. En conjunto, estos hallazgos proporcionan información valiosa para  
32 desarrollar alternativas sostenibles que mejoren la productividad y, a largo plazo, promuevan prácticas  
33 agro-sostenibles en el cultivo de café.

34 **Palabras Clave:** Adaptación, bioestimulante, crecimiento, estrés abiótico, fitorreguladores, salinidad

## 35 **ABSTRACT**

36 This review focuses on the impact of abiotic stress, particularly salt stress caused by excessive  
37 chemical fertilization, which negatively affects plant growth and development. The accumulation of salt  
38 in the soil leads to adverse effects, such as increased intracellular osmotic pressure, resulting in a  
39 decreased ability of plants to absorb water and nutrients, as well as a harmful buildup of sodium. This  
40 causes damage to young photosynthetic leaves and accelerates their senescence process. In this  
41 review, recent advances in the regulation of salt stress in agricultural soils are summarized, and the  
42 role of beneficial microorganisms in mitigating salt stress is highlighted. The enhancement of natural  
43 defenses through the action of microorganisms, phytohormones, and biofertilizers can be achieved  
44 through external treatments, leading to increased survival and development capacity under stress  
45 conditions. Likewise, biostimulants have gained crucial importance in efforts to mitigate the negative  
46 effects of abiotic stress on crops. Various alternatives to address this issue are discussed, such as the  
47 implementation of nitrogen-fixing bacteria and arbuscular mycorrhizal fungi, as well as the  
48 effectiveness of polyamines as biostimulants in mitigating the adverse effects of abiotic stress.  
49 Additionally, the priming process or "alert state" in plants is examined, which provides them with a  
50 greater capacity for survival and development under stressful conditions. Together, these findings  
51 provide valuable information for developing sustainable alternatives that improve productivity and, in  
52 the long term, promote agro-sustainable practices in coffee cultivation.

53

54 **Keywords:** Bio-stimulant, Growth, Abiotic stress, Phytohormones, Salinity

55

## 56 **INTRODUCCIÓN**

57

58 El café (*Coffea arabica* L) es oriundo de las tierras altas de Etiopía, ubicada a elevaciones que oscilan  
59 entre los 1,350 y los 2,000 msnm. Es posiblemente nativo de otras partes de África y Arabia (1). De  
60 las diversas variedades de cafeto, sólo tres son de importancia comercial, de las cuales dos son  
61 ampliamente utilizadas: *Coffea arabica*, es la que más se cultiva y tiene mayor demanda, crece en  
62 tierras altas a 1000 y 2000 msnm (2), *C. robusta* es una variedad más resistente que se cultiva a  
63 menor altura y menores precipitaciones y de menor demanda la variedad *C. liberica*, la cual también  
64 es resistente y se cultiva en tierras bajas (3).

65 Colombia es el tercer productor mundial de café, después de Brasil y Vietnam y el primer productor de  
66 café arábigo suave lavado en el mundo (4). El nivel de producción colombiano compromete a 590  
67 municipios y los departamentos andinos del país (5). El área disponible para el cultivo del café es de  
68 cerca de 3,6 millones de hectáreas y se cultiva en 842,40 mil hectáreas a nivel nacional (5). De los  
69 cuales son principales departamentos productores del café en Colombia : Huila, Tolima, Antioquia y  
70 Cauca, debido a la cordillera de los andes al brindar a los suelos cafeteros cenizas volcánicas óptimas  
71 para un buen desarrollo de la planta de café (6). Colombia tuvo una producción para el año 2022 de  
72 11,1 millones de sacos de 60 kg de café verde. Alrededor del 97% de café producido a finales del 2021

73 y el año del 2022 se destinó a la exportación, el cual pertenece a 13,1 millones de sacos de 60kg, lo  
74 cual genera ingresos por divisas equivalentes a US \$3.488 millones, y lo posiciona como segundo país  
75 exportador de café en términos de valor, después de Brasil (7).

76 La actividad cafetera se ve afectada por distintos factores abióticos como lo son la sequía, la salinidad  
77 por el exceso de fertilizantes, afectando la producción, la presencia y distribución de plagas y  
78 enfermedades (8), así como el incremento en la dinámica poblacional y competencia interespecifica  
79 de arvenses agresivas y a su vez la disminución de la interacción de microfauna benéfica del suelo.  
80 Según el autor Park (9) existen cambios fenotípicos en la planta cuándo está sometida a estrés salino,  
81 el cual rompe la homeostasis del potencial hídrico y la distribución de iones, afectando directamente  
82 las variaciones en la concentración y en la relación de las hormonas endógenas estimuladoras e  
83 inhibidoras del crecimiento de las plantas (10). Así mismo, el estrés salino puede generar problemas  
84 en el cultivo de café como desbalances nutricionales; en casos severos se produce toxicidad e incluso  
85 la muerte de la planta (11). Consecuentemente, provoca cambios complejos en la fisiología y el  
86 metabolismo de las plantas, que tratan de hacer frente a los estreses asociados como: estrés iónico,  
87 osmótico y oxidativo (12).

88 Por esta razón el uso de los microorganismos en la agricultura se ha establecido como una alternativa  
89 sostenible y eficaz para mejorar tanto la productividad, así como la calidad de los cultivos. Esta práctica  
90 contribuye a reducir la dependencia de fertilizantes químicos y pesticidas, lo que resulta en beneficios  
91 tanto para el medio ambiente como para la salud del suelo (13). Algunos microorganismos tienen la  
92 capacidad de modular la señalización celular mediante la producción de fitorreguladores o sus  
93 precursores (11), lo que favorece el crecimiento, desarrollo y adaptación de las plantas en condiciones  
94 ambientales adversas y estrés relacionado con la contaminación química (14). Estos factores tienen  
95 un impacto significativo en las interacciones planta-microbio (15). Además, los simbioses de las  
96 plantas, como los hongos micorrícicos y los rizobios, desempeñan un papel crucial en la adquisición  
97 de nutrientes, como la solubilización de fósforo en el suelo y la mejora del crecimiento de las plantas  
98 (16). En conjunto, el uso de microorganismos en la agricultura representa una estrategia prometedora  
99 para promover la sustentabilidad y la eficiencia en la producción de alimentos (17) (18).

100 En este sentido, este trabajo pretende realizar una búsqueda bibliográfica para investigar y evaluar el  
101 impacto de la aplicación de microorganismos benéficos en la mitigación del estrés ocasionado por el  
102 uso excesivo de fertilizantes de síntesis química en el cultivo de café, con el fin de desarrollar  
103 alternativas sostenibles que mejoren la productividad y a largo plazo desarrollar producciones agro-  
104 sostenibles del cultivo de café.

## 105 **MATERIALES Y MÉTODOS**

106

107 La metodología usada en esta investigación es de tipo revisión descriptiva y mayormente sistemática,  
108 de carácter explicativo y analítico. El trabajo se basa en su mayoría en una búsqueda de 78 artículos

109 científicos de revistas indexadas para contextualizar los estudios realizados sobre el efecto del papel  
110 de los microorganismos en la mitigación y adaptación al estrés abiótico en plantas.

111

112 El desarrollo del artículo comprendió tres etapas. La primera se orientó a una búsqueda de artículos  
113 indexados en inglés y español de los últimos diez años en bases de datos como Google Académico,  
114 Scopus, ScienceDirect, Pubmed, Springer, Koreascience y NCBI (*National Center for Biotechnology  
115 Information*). Así mismo, se utilizaron estrategias de búsqueda como la definición de las palabras clave  
116 como: adaptación, bioestimulante, crecimiento, estrés abiótico, fitoreguladores, salinidad. De igual  
117 manera para optimizar la ecuación de búsqueda y establecer una relación entre las palabras clave, se  
118 implementaron conectores booleanos lógicos como and, or not y and not, además los operadores  
119 lógicos de: comillas, paréntesis para optimizar la búsqueda bibliográfica y llegar a encontrar  
120 los artículos relacionados estrechamente con el tema, posteriormente se realizó la lectura de los  
121 artículos y se determinó si la información encontrada correspondía a lo que se pretendía buscar, lo  
122 cual se llevó a cabo gracias a una matriz de búsqueda, la cual permitiera organizar y esclarecer mejor  
123 la información encontrada por medio de los filtros aplicados a los artículos encontrados como:  
124 objetivos, título y resultados de las investigaciones. La investigación actual se centra en la recopilación  
125 de estudios que analizan el papel de los microorganismos en las respuestas de las plantas frente a  
126 tensiones abióticas, investigando las rutas de señalización y los mecanismos de modulación del estrés  
127 abiótico.

128

## 129 **RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

130

### 131 **Efectos nocivos de una excesiva aplicación por fertilizantes inorgánicos**

132 Se define como fertilizante a toda sustancia, de origen natural o artificial, orgánica o inorgánica, que  
133 provee a las plantas uno o varios de los elementos químicos esenciales requeridos para su adecuado  
134 desarrollo (19). En el área cafetera, son muchos los fertilizantes inorgánicos que se llegan a utilizar de  
135 forma irracional, con el propósito de aumentar el rendimiento, el cual puede ser transitorio, y finalmente  
136 no se refleja en la mejora de las propiedades físicas, químicas y biológicas de los suelos y, por el  
137 contrario, se pueden llegar a deteriorar, ya sea por factores edafoclimáticos por incrementos de la  
138 acidez, la salinidad, la alcalinidad o por la cantidad de nutrientes no balanceados adecuadamente en  
139 los suelos agrícolas (20), A largo plazo, estas propiedades deterioradas se irán a reflejar en una  
140 apreciable disminución de los rendimientos y peor aún, en un incremento en la susceptibilidad del café  
141 a la incidencia de agentes plaga que pueden ocasionar disminución de la productividad y pérdidas  
142 económicas (10).

143 El estrés ocasionado por la presencia de altos niveles de sal en el suelo representa una amenaza  
144 significativa para el crecimiento y desarrollo de los cultivos, desde la etapa de germinación de las  
145 semillas hasta el rendimiento final (21). Esta condición ha sido responsable de una disminución del

146 30% en la producción global de alimentos (22). A nivel mundial, se estima que aproximadamente mil  
147 millones de hectáreas de suelo se encuentran afectadas por la salinización (22).

148

149 El estrés salino es causado por un alto contenido de sodio (Na) y cloruro (Cl<sup>+−</sup>) (23) y por la  
150 acumulación excesiva de calcio, magnesio, potasio, cloruro, sodio y algunos aniones como  
151 carbonatos, sulfatos, nitratos, bicarbonatos (24). A diferencia de las halófitas, que son plantas capaces  
152 de tolerar la salinidad, los glucófitos (plantas sensibles a la sal) experimentan una reducción  
153 significativa en su productividad debido al estrés salino (25). En relación con este tema, es crucial  
154 hacer una distinción entre suelo salino y suelo sódico. La sodicidad se refiere a la cantidad de sodio  
155 presente en el suelo (24). La presencia de sodicidad indica que las concentraciones de sodio son un  
156 5% más elevadas en comparación con las concentraciones catiónicas generales (26). La salinidad  
157 obstaculiza el movimiento del aire y el agua, además de provocar una expansión excesiva de la arcilla  
158 cuando se encuentra húmeda, lo que resulta en un sistema de drenaje deficiente (27).

159 En este orden de ideas, se ha adoptado el enfoque eficiente de aplicar fertilizante nitrogenado (N) en  
160 los suelos. Sin embargo, esta práctica conlleva problemas relacionados con la emisión y lixiviación de  
161 N, así como alteraciones significativas en las actividades microbianas del suelo (28). En un estudio  
162 reciente realizado por Gul (27) descubrió que la aplicación de N afecta la diversidad bacteriana y las  
163 estructuras de las comunidades en los sistemas de cultivo, respaldando así la idea planteada por Chen  
164 (30) de que se requiere un nivel óptimo de aporte químico para mantener el funcionamiento beneficioso  
165 de los microorganismos.

166 Por otra parte, se llevó a cabo una evaluación del cobre (Cu) como metal pesado por el autor Duan  
167 (31), examinando sus efectos en el crecimiento de la alfalfa y las características microbianas del suelo  
168 bajo estrés de Cobre, el estudio reveló que la inoculación de rizobios tuvo un impacto notable en el  
169 alivio de la inhibición del crecimiento inducida por Cu en la alfalfa. Este efecto positivo se manifestó  
170 mediante el aumento del contenido de clorofila, la altura y la biomasa de la planta, así como los niveles  
171 de N y P. Los hallazgos de esta investigación ofrecen una visión más clara sobre el mecanismo de  
172 acción del sistema simbiótico leguminosa-rizobio en la mitigación del estrés causado por el cobre Cu.

173

174 Los cultivos que presentan los niveles más bajos de conductividad eléctrica (CE) en el suelo saturado  
175 (ECe) (un índice estándar utilizado para medir la salinidad del suelo y evaluar la tolerancia de las  
176 plantas a la sal) y superan los cuatro decisiemens/metro, finalmente muestran una disminución en el  
177 rendimiento de los cultivos cuando se cultivan en condiciones de alta salinidad. (26). En un estudio  
178 realizado en plantas de café, se aplicaron sales como sulfatos de potasio, calcio y magnesio, además  
179 dos meses después se aplicaron 2 g de fósforo (P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>) en forma de fosfato diamónico-DAP (18% de N  
180 y 46% de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>), los valores más bajos de CE (Conductividad eléctrica) se alcanzaron con el sulfato  
181 de potasio, mientras que en el de Magnesio y Calcio, se obtuvieron valores que iban de 2 a 5,1 dS m<sup>-1</sup>.  
182 En este experimento, se encontró que conforme los aumentos de la CE se presentaba una  
183 disminución significativa del crecimiento de la planta, disminución del peso de estas, e incluso la

184 muerte de algunas plantas, pocos días después del trasplante. Se determinó un nivel crítico promedio  
185 de 1,1 dS m<sup>-1</sup> para la CE a partir del cual se pueden dar afectaciones considerables (32).

186 Siguiendo lo anterior, el autor Antonio en el año 2014 (33), reportan valores similares, ya que afirman  
187 que para el valor crítico de café variedad Catuai se presenta a partir de una CE de (1,2 y 0,9 dS m<sup>-1</sup>).  
188 Estos mismos autores señalan que la salinidad extrema resultante de la fertirrigación con urea y KCl  
189 causaba la muerte de las plantas (33). De igual manera, estas inadecuadas prácticas agrícolas puede  
190 acidificar el suelo y disminuir el peso de la planta y por ende su producción, en respuesta al estrés  
191 salino.

192 Posteriormente, el autor (34) en el año 2010, se encontró que existen fertilizantes que tienen  
193 residualidad alta en cuanto al índice de salinidad, un ejemplo de estos es fertilizantes como: la urea;  
194 con un valor de 75,5, fosfato monoamónico; 69, nitrato de amonio; 104,7, cloruro de potasio; 116,3.  
195 Por la investigación anteriormente mencionada, se debe tener en cuenta el índice de salinidad, que  
196 presentan los fertilizantes como se observa en la (tabla 1) para no aplicar en exceso y no generar  
197 repercusiones negativas en las plantas. De igual manera, el autor Alejandro (33), quien expone el  
198 caso que después de un valor de 1,2 dsm<sup>-1</sup> en la conductividad eléctrica (CE), la planta comienza a  
199 sufrir daños en la morfología y fisiología, disminuyendo las actividades metabólicas de la planta.  
200 Además, en un estudio realizado por Sadeghian y Zapata (32), se examinó el impacto de la salinidad  
201 generada por fertilizantes inorgánicos en el crecimiento del café (*Coffea arabica* L.) durante la etapa  
202 de almácigo, en dicha investigación los resultados revelaron que el límite crítico para la conductividad  
203 eléctrica (CE) es de 1,1 dS m<sup>-1</sup>. Superado este nivel, la planta experimenta daños severos que pueden  
204 conducir a su deterioro y senescencia prematura (34).

205

206 **Tabla 1** Equivalentes de acidez o basicidad residual e índices de salinidad de algunos fertilizantes  
 207 comerciales. Tomado de IFDC (1979).

| Fertilizante        | Equivalente de acidez (-) o basicidad (+)<br>kg de Ca CO <sub>3</sub> /100 kg de fertilizante | Índice de salinidad<br>NaNO <sub>3</sub> = 100 |
|---------------------|---|--|
| Urea                | -84   | 75,4   |
| Nitrato de amonio   | -63   | 104,7  |
| Sulfato de amonio   | -112  | 69,0   |
| MAP                 | -65   | 29,9   |
| DAP                 | -64   | 34,2   |
| Superfosfato triple | 0   | 10,1   |
| Roca fosfórica      | +56   | -  |
| Cloruro de potasio  | 0   | 116,3  |
| Sulfato de potasio  | 0   | 46,1   |
| Sulpomag            | 0   | 43,2   |
| Nitrato de potasio  | 0   | 40,2   |
| Sulfato de calcio   | 0   | 8,1  |
| Cales calcíticas    | +80 a + 95  | 4,7  |
| Cales dolomíticas   | +90 a +100  | 0,8  |
| Azufre elemental    | -312  | -  |

208  
 209

210 En este modo aplicar fertilizantes inorgánicos de forma desmesurada aumenta la concentración de sal  
 211 en el suelo y, en consecuencia, incrementa la presión osmótica del agua en el entorno donde se  
 212 encuentran las raíces de las plantas hasta niveles que son difíciles de tolerar. Una elevada presión  
 213 osmótica en la solución del suelo disminuye la disponibilidad de agua, lo que tiene un impacto negativo  
 214 en la absorción del agua y ciertos nutrientes por parte de las plantas (32).

215

216 Como alternativa de mejora, se recomienda realizar adecuados planes de fertilización con base a un  
 217 análisis de suelo o foliar, con el fin de conocer la fertilidad natural del suelo y, los nutrientes que están  
 218 siendo asimilados por la planta, los cuales se ajusten a las necesidades según las etapas fisiológicas  
 219 de las plantas y con ello, lograr disminuir el uso excesivo de fertilizantes, pues excederse en la  
 220 aplicación de fertilizantes puede ocasionar daños irreversibles tanto para la planta como para el suelo.

221

222

223 **Visión general de la salinización del suelo: efectos y consecuencias en la respuesta fisiológica**  
 224 **de las plantas**

225 La acumulación de exceso de sales solubles en el suelo se llama salinización del suelo (35). Existen  
 226 múltiples agentes responsables de las condiciones abióticas, tales como la salinidad. Entre los  
 227 principales factores que contribuyen a este fenómeno, se encuentran representados en dos tipos de  
 228 salinización; la primaria se refiere a la salinización natural del suelo. Debido al aumento de  
 229 temperaturas, la escasez de agua, presencia de la roca madre en los estratos superficiales del suelo,  
 230 la intrusión del agua de mar o la presencia de sal transportado por el viento, la cual ocurre

231 principalmente en zonas climáticas áridas y semiáridas (36), la cual representa una mayor  
232 evapotranspiración que la tasa de precipitación.

233 Por el contrario, la salinización secundaria se refiere, a las modificaciones que se presentan por las  
234 actividades antropogénicas, la cual es causada por el cambio climático, la degradación de los  
235 ecosistemas, la pérdida de hábitat, la desertificación (37). Además, la presencia de metales tóxicos  
236 por el uso inadecuado de fertilizantes químicos sintéticos constituye otro elemento crucial en la  
237 salinización del suelo (38). La salinización secundaria del suelo se está expandiendo en todo el mundo,  
238 imponiendo efectos nocivos y un impacto significativo en la disminución de la productividad agrícola  
239 (39), calidad y rendimiento de los cultivos, representando un desafío significativo para la agricultura  
240 sostenible. Del mismo modo, la salinidad del suelo ocasiona un impacto perjudicial en el desarrollo de  
241 las plantas al provocar un crecimiento insuficiente, alteraciones genéticas o la supresión de procesos  
242 bioquímicos y fisiológicos (38).

243 Las plantas que se encuentran bajo condiciones de estrés salino pueden experimentar una  
244 acumulación de iones de sodio a niveles tóxicos, lo cual puede afectar el metabolismo y generar estrés  
245 oxidativo en las plantas (40). El estrés causado por la salinidad provoca consecuentemente estrés  
246 osmótico y iónico, lo cual afecta el desarrollo de las plantas al generar deficiencias nutricionales. Las  
247 altas concentraciones de sal consistentemente disminuyen el potencial osmótico del suelo (41), lo cual  
248 impide que las soluciones de nutrientes del suelo sean accesibles para las plantas (42). En  
249 consecuencia, las raíces se vuelven incapaces de absorber agua del suelo (sequía fisiológica). Al  
250 mismo tiempo, la acumulación gradual de sales en los tejidos vegetales a lo largo del tiempo provoca  
251 estrés iónico (43).

252 Para enfrentar entornos con altos niveles de salinidad, las plantas han desarrollado diversos  
253 mecanismos de adaptación. Estos mecanismos incluyen la regulación del equilibrio de los iones, la  
254 activación de la vía de respuesta al estrés osmótico, la participación en la señalización de las  
255 hormonas vegetales (26), así como la modulación de la estructura del citoesqueleto y la composición  
256 de la pared celular (44).

257 La planta experimenta estrés abiótico que afecta su crecimiento, desarrollo y rendimiento, debido a  
258 factores ambientales como salinidad, deficiencias hídricas, altas temperaturas, precipitación, luz solar  
259 y viento. Estos factores externos tienen el potencial de alterar los procesos fisiológicos y metabólicos  
260 de la planta (40). La producción de café también se ve afectada por este estrés, ya que las plantas  
261 son sensibles al exceso de sales en el suelo (40).

262 Se ha investigado la respuesta fisiológica de las plantas de café sometidas a estrés salino, ya que se  
263 han observado cambios fenotípicos, que incluyen la alteración de la homeostasis del potencial hídrico  
264 y la distribución de iones (9). Los autores (43) también han estudiado el comportamiento estructural  
265 de la planta frente al estrés salino, demostrando que este estrés afecta los polisacáridos de la pared  
266 celular, la anatomía de las células de la hoja de café y la composición de componentes esenciales. La

267 composición monosacárida de la pectina y hemicelulosa, con aumentos en el ácido urónico en todas  
268 las fracciones y daño estructural a las células de la mesófila (17).

269 Así mismo, en el ámbito fisiológico, el autor Dawood (45), evaluó como las concentraciones de  
270 melatonina mejora los mecanismos de tolerancia y recuperación de plantas con daños de estrés salino  
271 en la especie (*Vicia faba* L.), encontraron que dichas concentraciones ayudaron a la recuperación de  
272 tejidos dañados a causa de la tensión abiótica generada (46). Finalmente, uno de los factores  
273 principales que contribuyen a los efectos negativos en el crecimiento de las plantas en condiciones de  
274 salinidad es la alteración en la concentración y la proporción de las hormonas endógenas que  
275 estimulan e inhiben el crecimiento (10).

### 276 **Papel de los microorganismos en la disponibilidad de nutrientes para las plantas y** 277 **enriquecimiento del suelo.**

278

279 Tradicionalmente, los agricultores han empleado fertilizantes sintéticos como método para mejorar la  
280 fertilidad del suelo. El uso excesivo de estos químicos ha provocado la acumulación de contaminantes  
281 en los suelos agrícolas (52). Como consecuencia de ello, se han observado importantes daños en  
282 cultivos debido a la salinidad generada en los suelos (53). Para combatir esos efectos, los  
283 microorganismos son clave en la agricultura, ya que permite a las plantas el acceso mediante la  
284 movilización y solubilización de nutrientes esenciales que no estarían disponibles para su fácil  
285 absorción (54). Estos organismos, incluyen bacterias y hongos, los cuales producen compuestos  
286 orgánicos y enzimas que transforman los nutrientes en formas más accesibles para las plantas.

287 El autor Rodríguez (51), concluyó que una de las estrategias más utilizadas para corregir la  
288 contaminación del suelo es el uso de microorganismos. Estos microorganismos tienen la capacidad  
289 de absorber las sustancias orgánicas presentes en el suelo, utilizándolas como fuente de carbono para  
290 su crecimiento y energía para sus procesos metabólicos (49). Este enfoque se basa en la capacidad  
291 de los microorganismos para utilizar y degradar las sustancias contaminantes, lo que contribuye a la  
292 descontaminación del suelo por el efecto de la salinización con metales pesados.

293

294 Los biofertilizantes agrícolas son formulaciones que albergan microorganismos vivos, los cuales, al  
295 ser administrados en el suelo, optimizan la asimilación de nutrientes por parte de las plantas y  
296 fomentan su desarrollo. Estos microorganismos pueden pertenecer a diversas categorías, según su  
297 metabolismo y pueden así mismo fijar nitrógeno, solubilizar fosfatos y producir sustancias promotoras  
298 del crecimiento vegetal, como hormonas y enzimas (47).

299 El uso de microorganismos fijadores de nitrógeno, como *Azospirillum*, cianobacterias y actinomicetos  
300 del género *Frankia*, en forma de biofertilizantes, ofrece a las plantas la capacidad de obtener nitrógeno  
301 directamente del aire y el suelo, reduciendo así la dependencia de fertilizantes químicos. Este enfoque  
302 no solo aumenta la resistencia de las plantas a diferentes tipos de estrés, tanto bióticos como abióticos,

303 sino que también mejora la calidad nutricional de los alimentos y contribuye al desarrollo sostenible de  
304 la agricultura (48).

305 Entre los principales biofertilizantes comerciales disponibles en el mercado, incluyen productos como  
306 Azotobacterina (basada en *Azotobacter chroococcum*), nitraginas (basadas en *Rhizobium* spp y  
307 *Bradyrhizobium* spp), fosfobacterinas y fosforinas (basadas en *Bacillus megaterium*) y micorrizas  
308 (basadas en hongos de los géneros *Gomus*, *Acuolospora*, *Entrophospora* y *Gigaspora*) (49). Un  
309 ejemplo exitoso en la agricultura fue la aplicación del lixiviado de vermicomposta y microorganismos  
310 eficientes en cultivos de cebolla (*Allium cepa* L., cv. Caribe-71). Se observó que este tratamiento tuvo  
311 un efecto positivo en el crecimiento y desarrollo de las plantas, superando los resultados de la  
312 fertilización química convencional (50). Esto indica que los biofertilizantes pueden ser una alternativa  
313 prometedora y sostenible para mejorar la productividad de los cultivos y reducir la dependencia de los  
314 fertilizantes químicos en la agricultura (51).

315 Según el autor Rezende (55), se ha observado que el fósforo, es un nutriente esencial para el  
316 crecimiento y desarrollo de las plantas, el cual puede ser solubilizado por ciertos microorganismos  
317 presentes en el suelo (55). Específicamente, las bacterias del género *Pseudomonas* y los hongos  
318 micorrízicos han demostrado tener la capacidad de convertir el fósforo de formas insolubles a solubles,  
319 lo que facilita su acceso y absorción por parte de las raíces de las plantas. Este proceso se lleva a  
320 cabo mediante la producción de ácidos orgánicos y enzimas por parte de los microorganismos, los  
321 cuales desempeñan un papel crucial en la movilización y disponibilidad del fósforo para las plantas  
322 (54). Estos hallazgos resaltan la importancia de estos microorganismos en la mejora de la  
323 disponibilidad de fósforo en el suelo, lo que tiene implicaciones significativas para el desarrollo y  
324 crecimiento saludable de las plantas.

325

326 Algunos microorganismos también pueden producir sideróforos, compuestos que tienen la capacidad  
327 de quelar y solubilizar metales, como el hierro, facilitando su absorción por las plantas, esta  
328 solubilización de nutrientes es especialmente importante en suelos con condiciones extremas de pH,  
329 donde la disponibilidad de nutrientes puede verse limitada (50).

330 De igual manera, los hongos micorrízicos arbusculares (HMA) se encuentran ampliamente distribuidos  
331 en entornos agrícolas y naturales. Estos hongos forman una relación de simbiosis mutualista con las  
332 raíces de las plantas (56). formando estructuras especializadas llamadas arbusculos en la corteza  
333 radicular, donde tiene lugar el intercambio de nutrientes (56). Una vez establecida la simbiosis, la  
334 planta suministra fotosintéticos y lípidos al hongo, mientras que los HMA mejoran la disponibilidad de  
335 nutrientes minerales y la absorción de agua de la planta. Además de estos beneficios, las plantas  
336 asociadas a HMA muestran una mayor resistencia al estrés abiótico (57).

337

338 La utilización de estos microorganismos en la agricultura puede mejorar la eficiencia en el uso de  
339 nutrientes, reducir la dependencia de fertilizantes químicos y promover prácticas agrícolas sostenibles

340 (54). Además, los microorganismos pueden aumentar la resistencia de las plantas a estreses bióticos  
341 y abióticos, mejorando la calidad nutricional de los alimentos y promoviendo el desarrollo sostenible  
342 de la agricultura (50).

### 343 **Modulación microbiana de la señalización hormonal ante el estrés abiótico en plantas**

344

345 Las interacciones microbianas en el suelo desempeñan un papel fundamental en el desarrollo de las  
346 plantas, al tiempo que fortalecen los mecanismos naturales de defensa contra enfermedades e  
347 insectos (58). Estos microorganismos pueden responder a las vías de señalización hormonal de las  
348 plantas, protegiéndolas y promoviendo su crecimiento. Además, optimizan la captación de nutrientes  
349 disponibles en el suelo, lo que resulta en un aumento de la productividad de los cultivos (23). Se  
350 emplea una táctica para fomentar el crecimiento de las plantas que consiste en la introducción de  
351 microorganismos en las semillas, lo cual tiene el efecto de alterar las comunidades microbianas en las  
352 proximidades de las plantas y estimular su crecimiento y rendimiento (59).

353 Lo que conlleva a tener relación con los resultados encontrados ya que prácticamente la relación  
354 microorganismo-planta sucede en estructuras, mediante la introducción de células bacterianas en la  
355 superficie de semillas, raíces y tubérculos (59). Se ha comprobado en investigaciones previas  
356 realizadas en otras plantas que la biofertilización tiene efectos positivos en la germinación, crecimiento  
357 y producción de frutos en el pimentón y otras plantas de la familia Solanáceas (60). Según Marquina,  
358 la inoculación de semillas de pimentón con rizobacterias de los géneros *Azotobacter* y *Rhizobium*  
359 aumentó significativamente el índice de germinación, mientras que la presencia de *Azospirillum* y  
360 *Azotobacter* aumentó el peso seco de la planta (60).

361 La salinidad tiene un efecto negativo en la vida vegetal causando un crecimiento deficiente,  
362 mutaciones o inhibición de mecanismos bioquímicos y fisiológicos (61). En la respuesta al estrés  
363 abiótico interactúan los fitorreguladores vegetales del etileno, el ácido jasmónico y el ácido abscísico  
364 ABA, donde este último presenta una mayor interacción con este tipo de estrés, de igual manera,  
365 según Lumba (62) el etileno, el ácido jasmónico AJ (ácido jasmónico) y el ácido abscísico ABA son  
366 fitorreguladores del crecimiento vegetal con un papel bien documentado en la respuesta de la planta  
367 frente al estrés abiótico. Por su parte, el etileno es una hormona del estrés importante porque sus  
368 síntesis se inducen bajo diferentes ambientes oxidativos, regulando el estrés salino en las plantas de  
369 café (63); Estos hallazgos se fundamentan en los mecanismos de señalización desencadenados por  
370 un factor abiótico y pueden ser influenciados tanto por el ácido abscísico, en conjunto con la  
371 acumulación de proteínas asociadas a la patogénesis, como por el ácido jasmónico y el etileno. Las  
372 señales generadas por un inductor abiótico siguen únicamente la vía del ácido jasmónico, ácido  
373 abscísico y etileno, que se conoce como resistencia sistémica inducida (64).

374 Además, se ha investigado el uso de compuestos exógenos como el ácido cafeico, la prolina y el ácido  
375 ascórbico para contrarrestar los efectos adversos del estrés salino en el crecimiento y desarrollo de

376 las plantas. Estudios han explorado la aplicación de estos compuestos como una estrategia para  
377 mitigar los impactos negativos causados por el estrés salino (65). El autor Campos (66), describe el  
378 papel fundamental de la melatonina, la cual reduce el estrés oxidativo y promueve la tolerancia a la  
379 sequía en las plantas jóvenes de café. Así mismo, la interacción del aminoácido prolina mantiene el  
380 ajuste osmótico, previene la deshidratación ayudando a reducir el potencial hídrico y se puede concluir  
381 que es una alternativa para contrarrestar el efecto salino en las plantas de café.

382 Por su parte, la tolerancia de la planta al déficit hídrico implica la acumulación de solutos orgánicos,  
383 como la prolina, que funcionan para mantener su ajuste osmótico. En este sentido, la prolina aumenta  
384 la resistencia a deshidratación, ayudando a reducir el potencial hídrico, ya que permite el movimiento  
385 de agua al interior de las células, minimizando el daño causado por el exceso de iones (66). Otra  
386 alternativa para mitigar los efectos del estrés salino es recurrir a los inoculantes micorrízicos (IM),  
387 gracias a sus beneficios planta suelo afectados por el estrés salino y poder recuperarse parcialmente  
388 (67).

389 Teniendo en cuenta que los microorganismos juegan un papel importante en la planta, las bacterias y  
390 los hongos se relacionan con hormonas para estimularse de forma simbiótica con las rutas de  
391 señalización hormonal. Las bacterias que estimulan el crecimiento de las plantas son beneficiosas en  
392 la agricultura al contribuir y mejorar el rendimiento de los cultivos aumentando la disponibilidad de  
393 nutrientes esenciales disponibles para las plantas, además de proteger contra fitopatógenos y mejorar  
394 la tolerancia al estrés abiótico (68).

395 Los hongos y bacterias son organismos vivos que interactúan entre sí con la planta, en la consulta de  
396 información se encontró que las bacterias se relacionan principalmente con el etileno. La producción  
397 de etileno por parte de bacterias incluye *Escherichia coli*, *Rhizobium trifoli*, *P. syringae* (bacteria  
398 fitopatógena), entre otros, (69). Mientras que por el lado de los grupos de hongos se destacan el ácido  
399 salicílico, auxinas, ácido abscísico ABA y el etileno (70).

400

#### 401 **Papel de los microorganismos en el efecto *Priming***

402

403 Se entiende por estado de priming o estado de alerta a la fase fisiológica en la cual las plantas pueden  
404 activar de manera más ágil y eficiente respuestas defensivas ante situaciones de estrés (71). La  
405 duración de este estado de preparación la determinan varios factores, como el tipo de estímulo de  
406 estrés, el agente de preparación utilizado y la condición fisiológica de la planta (72). Los agentes de  
407 preparación pueden desencadenar el estrés directamente o actuar como un compuesto o estímulo  
408 que anticipa la aparición del estrés.

409

410 En el fenómeno conocido como cis-priming, se desarrolla en el momento que tanto el estímulo de  
411 cebado como el estímulo desencadenante de la respuesta son idénticos. Por ejemplo, se ha observado

412 que un déficit de agua a corto plazo mejora la capacidad de las plantas para sobrevivir a sequías  
413 posteriores (73). En el caso de la tolerancia a metales pesados causado por la salinidad, donde las  
414 plantas se someten a un estrés metálico transitorio, especialmente de baja o leve intensidad, muestran  
415 un fenómeno denominado efecto hormético (74). El cual se refiere a la estimulación del crecimiento y  
416 al mejor rendimiento fisiológico general tras aplicar dosis bajas no letales de un agente potencialmente  
417 tóxico (75). Se postula que la hormesis es una respuesta adaptativa al estrés que permite compensar  
418 una pérdida de equilibrio interno en el organismo afectado (75). Finalmente, se ha observado que los  
419 iones de metales de transición, especialmente aquellos considerados elementos esenciales, pueden  
420 utilizarse con éxito como agentes de priming para inducir respuestas de defensa ante otras tensiones,  
421 como la sequía, la salinidad y el estrés oxidativo (76).

422

423 Por otro lado, según la investigación llevada a cabo por Hernández (77), se examinó el impacto del  
424 pretratamiento con putrescina (Put) y sus precursores ornitina (Orn) y 1,3-diaminopropano (DAP) en  
425 dos concentraciones distintas (0.1 y 1 mM) como agentes de priming en semillas de Arabidopsis. El  
426 estudio se llevó a cabo utilizando plántulas cultivadas in vitro bajo condiciones óptimas y el estrés  
427 osmótico y salino (77).

428

429 Según Hernández (77), Orn es un aminoácido esencial en el metabolismo de asimilación de nitrógeno  
430 que se produce a partir del glutamato (Glu). Además, se destaca su participación en la síntesis de  
431 arginina (Arg), el ciclo de la urea y su papel como precursor de diversos compuestos relacionados con  
432 el estrés (78). Los resultados obtenidos del estudio de Hernández indicaron que el estrés osmótico y  
433 salino redujeron significativamente el tamaño de la roseta de Arabidopsis en un 70% y 78%,  
434 respectivamente, en comparación con las plántulas cultivadas en condiciones de control. Estos efectos  
435 negativos fueron contrarrestados por el pretratamiento con DAP, Orn y Put, actuando como agentes  
436 de priming.

437

438 Finalmente, según las conclusiones de los autores, se determinó que el pretratamiento de las semillas  
439 de Arabidopsis con poliaminas, en particular putrescina (Put) y espermina (Spd), mediante el efecto  
440 priming, resulta en un mejor crecimiento de las plantas en condiciones óptimas y una mayor tolerancia  
441 al estrés salino. Estas poliaminas se identifican como bioestimulantes altamente efectivos basados en  
442 moléculas pequeñas para contrarrestar los efectos adversos del estrés abiótico (77)

443

## 444 **CONCLUSIONES**

445 La presente investigación se enfoca en cómo las comunidades microbianas y sus funciones influyen  
446 en el rendimiento de las plantas cuando se enfrentan a diferentes tensiones abióticas, como el efecto  
447 que genera el estrés salino en la especie de (*Coffea arabica* L.), repercute directamente en el  
448 crecimiento y desarrollo de sus tejidos vegetales, debido a que se activa un sistema de retención de

449 agua por el estrés osmótico, y en ocasiones finales deshidratación completa de sus tejidos y por ende  
450 se presenta una senescencia total de la planta.

451 Este estudio presenta una colección diversa de investigaciones realizadas por diferentes autores de  
452 artículos indexados y libros, no solo en el cultivo de café, sino también en otros cultivos. Los autores  
453 han investigado el alivio del estrés salino y la relación directa de los microorganismos en la disminución  
454 de las tensiones abióticas de las plantas expuestas a este tipo de estrés. El estrés salino provoca  
455 consecuentemente estrés osmótico y iónico, lo cual afecta el desarrollo de las plantas al generar  
456 deficiencias nutricionales. Para mitigar tal efecto, las bacterias fijadoras de nitrógeno y hongos  
457 micorrícicos arbusculares pueden fijar nitrógeno, solubilizar fosfatos y producir sustancias promotoras  
458 del crecimiento vegetal, como hormonas y enzimas, por ejemplo: el etileno, ácido abscísico, ácido  
459 cafeico y las eficiencias de las moléculas pequeñas de poliaminas como bioestimulante en la  
460 mitigación de los efectos adversos del estrés abiótico.

461 De igual manera la hormona melatonina según estudios encontrados, ayuda a el regeneramiento de  
462 los tejidos de la planta y resistencia al estrés salino, además de ser un bioestimulante de crecimiento.

463 En cuanto a el efecto del proceso de priming o "estado de alerta" en las plantas, que les confiere una  
464 mayor capacidad de supervivencia y desarrollo en condiciones estresantes. Este proceso logra ser  
465 más efectivo que el uso de productos químicos sintéticos y no repercute en un daño sino al contrario  
466 en un beneficio tanto para la planta como para el ambiente.

## 467 **RECOMENDACIONES**

468 De acuerdo con los criterios establecidos por Richards (1954) en el Manual 60 de USDA, y adoptado  
469 mundialmente hasta el día de hoy, se recomienda hacer un uso mesurado de fertilizantes inorgánicos  
470 para no llegar a el valor crítico de un suelo salino cuando la C.E. de éste sea igual o mayor a 2,0 dS  
471 m<sup>-1</sup>, para el cual se espera una reducción del 50% en la producción de la mayoría de los cultivos.

472 Se recomienda la incorporación de microorganismos benéficos ya que es considerada una buena  
473 práctica en la agricultura al aumentar la eficacia de los fertilizantes inorgánicos, mejora el desarrollo  
474 fenológico y ayuda a la asimilación de nutrientes del suelo hacia la planta. Así como el uso de  
475 hormonas y enzimas que actúan como bioestimulante de crecimiento y reducen el estrés abiótico.

## 476 **AGRADECIMIENTOS**

477 Se agradecen los apoyos prestados del Programa de ingeniería agronómica de la Universidad de  
478 Cundinamarca, a todos los revisores que contribuyeron a este tema de investigación. Especialmente  
479 a los comentarios y sugerencias de mi tutora Pilar Rojas García sobre el presente artículo de revisión  
480 los cuales fueron muy apreciados y de gran ayuda para ejecutar el tema de investigación.

481

482

483 **DECLARACIÓN DE CONFLICTO DE INTERESES:**

484 No aplica

485 **BIBLIOGRAFÍA**

- 486 1. Jiménez, H. Generalidades del cultivo del café. Diplomado, en producción sostenible y  
487 empresarial de café. [Internet] 2018 [consultado 2021 abril 12]. Universidad ISA. Disponible  
488 en: [https://procagicard.com/download/45/modulo-1-contexto-del-cultivo-de-cafe-en-la-](https://procagicard.com/download/45/modulo-1-contexto-del-cultivo-de-cafe-en-la-republica-dominicana-y-el-mundo-produccion-de-plantas-y-manejo-deplantaciones/1104/1-1-aspectos-generales.pdf)  
489 [republica-dominicana-y-el-mundo-produccion-de-plantas-y-manejo-deplantaciones/1104/1-1-](https://procagicard.com/download/45/modulo-1-contexto-del-cultivo-de-cafe-en-la-republica-dominicana-y-el-mundo-produccion-de-plantas-y-manejo-deplantaciones/1104/1-1-aspectos-generales.pdf)  
490 [aspectos-generales.pdf](https://procagicard.com/download/45/modulo-1-contexto-del-cultivo-de-cafe-en-la-republica-dominicana-y-el-mundo-produccion-de-plantas-y-manejo-deplantaciones/1104/1-1-aspectos-generales.pdf)  
491
- 492 2. Arcila, J. Farfán, F. Moreno, A. Salazar, L. Sistemas de producción de café en Colombia, 2007  
493 Blanecolor Ltda, cenicafé, Colombia, p 309. Disponible en:  
494 [https://biblioteca.cenicafe.org/bitstream/10778/720/1/Sistemas%20producci%C3%B3n%20c-](https://biblioteca.cenicafe.org/bitstream/10778/720/1/Sistemas%20producci%C3%B3n%20caf%C3%A9%20Colombia.pdf)  
495 [af%C3%A9%20Colombia.pdf](https://biblioteca.cenicafe.org/bitstream/10778/720/1/Sistemas%20producci%C3%B3n%20caf%C3%A9%20Colombia.pdf).  
496
- 497 3. Cálculos a partir de FNC (1970) Censo Nacional Cafetero y FNC (2021) Sistema de  
498 Información Cafetera - SICA.  
499
- 500 4. Herrera, J. C., & Cortina, H. A. (2013). Taxonomía y clasificación del café. En Federación  
501 Nacional de Cafeteros de Colombia, Manual del cafetero colombiano: Investigación y  
502 tecnología para la sostenibilidad de la caficultura (Vol. 1, pp. 117–121). Cenicafé; 7.  
503 [https://doi.org/10.38141/cenbook-0026\\_07](https://doi.org/10.38141/cenbook-0026_07)  
504
- 505 5. Pérez, J. 2013. Economía cafetera y desarrollo económico en Colombia, Economía cafetera,  
506 Bogotá Colombia, Universidad de Bogotá Jorge Tadeo Lozano, p. 25-30. ISBN: 978-958-725-  
507 125-8.  
508
- 509 6. González-Osorio, H., & Lince-Salazar, L. A. (2013). Suelos de la zona cafetera. En Federación  
510 Nacional de Cafeteros de Colombia, Manual del cafetero colombiano: Investigación y  
511 tecnología para la sostenibilidad de la caficultura (Vol. 1, pp. 239–268). Cenicafé.  
512 [https://doi.org/10.38141/cenbook0026\\_11](https://doi.org/10.38141/cenbook0026_11)  
513
- 514 7. FNC. Cálculos propios con base en información de la FNC (base 2022). [Publicado en 2021]  
515 Disponible en: [https://federaciondefcafeteros.org/wp/listado-noticias/produccion-anual-de-](https://federaciondefcafeteros.org/wp/listado-noticias/produccion-anual-de-cafe-de-colombia-cierra-2022-en-111-millones-de-sacos/)  
516 [cafe-de-colombia-cierra-2022-en-111-millones-de-sacos/](https://federaciondefcafeteros.org/wp/listado-noticias/produccion-anual-de-cafe-de-colombia-cierra-2022-en-111-millones-de-sacos/)  
517

- 518 8. Turbay, B. Nates, F. Jaramillo, J. Vélez y L. Ocampo (2014). Adaptación a la variabilidad  
519 climática entre los caficultores de las cuencas de los ríos Porce y Chinchiná, Colombia.  
520 Investigaciones Geográficas. Boletín del Instituto de Geografía, 2014(85), 95- 112.  
521 <https://doi.org/10.14350/rig.42298>  
522
- 523 9. Park, H. Kazerooni, E. Kang, S. Sandi, A. Lee, J. Melatonin Enhances the Tolerance and  
524 Recovery Mechanisms in Brassica juncea (L.) Czern. Under Saline Conditions. 2021 Doctoral  
525 tesis. School of Applied Biosciences, Kyungpook National University, Daegu, South Korea. Vol  
526 12, Article number 593717. DOI: 10.3389/fpls.2021.593717  
527
- 528 10. Sadeghian, k., S. Fertilidad del suelo y nutrición del café en Colombia: Guía práctica. [Internet]  
529 2013 [consultado 2021 mayo 10] ISSN 0120-047-X. CENICAFE. Manual del cafetero  
530 colombiano: Investigación y tecnología para la sostenibilidad de la caficultura. Centro de  
531 Investigaciones del Café. Chinchiná. Disponible en: <http://hdl.handle.net/10778/587>  
532
- 533 11. Salamanca, J., A.; Sadeghian K., S. Almácigos de café con distintas proporciones de  
534 lombrinaza en suelos con diferente contenido de materia orgánica. 2008. ISSN 0120-0275.  
535 Cenicafé. Vol. 59 (2). p. 91-102. Disponible en: <http://hdl.handle.net/10778/217>  
536
- 537 12. Li, H., Zhao, H. M., Purchase, D., & Chen, X. W. (2022). Editorial: Microbial communities and  
538 functions contribute to plant performance under various stresses. *Frontiers in microbiology*,  
539 13, 992909. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2022.992909>  
540
- 541 13. Bartels, D., Ramanjula, S. Drought and salt tolerance in plants. *Critical reviews in the plants*  
542 *sciences*, [Internet] 2007 [consultado 2021 Abril 10]. Volumen 24, p 23-27. Disponible en:  
543 <https://doi.org/10.1080/07352680590910110>.  
544
- 545 14. Rodríguez, D.G. (2003). El papel de los microorganismos en la biodegradación de compuestos  
546 tóxicos. DOI:10.7818/RE.2014.12-2.00  
547
- 548 15. Berg G., Cernava T. (2022). La firma del microbiota vegetal del Antropoceno como un desafío  
549 para la investigación del microbioma. *Microbioma* 10, 54. doi: 10.1186/s40168-021-01224-5  
550
- 551 16. Martin F. M., Uroz S., Barker D. G. (2017). Ancestral alliances: plant mutualistic symbioses  
552 with fungi and bacteria. *Science* 356, DOI: [10.1126/science.aad4501](https://doi.org/10.1126/science.aad4501)  
553
- 554 17. Caballero, R. L. A. Insectos escama (Hemiptera: Coccoidea) en la rizósfera de cafetales de  
555 Norte de Santander y Valle del Cauca. 2015. Bogotá. Universidad Nacional de Colombia. Tesis  
556 Ingeniero Agrónomo

557  
558  
559  
560  
561  
562  
563  
564  
565  
566  
567  
568  
569  
570  
571  
572  
573  
574  
575  
576  
577  
578  
579  
580  
581  
582  
583  
584  
585  
586  
587  
588  
589  
590  
591  
592  
593  
594

18. Sevilla, F. (2015). The tirodoxin/ peroxiredoxin/ sulfiredoxin system: Current overview in its redox fuction in plantas and regulation by reactive oxygen and nitrogen species. *Journal of Experimental Botany*. <https://doi.org/10.1093/jxb/erv146>
19. GUERRERO, R.R. 2001. Propiedades generales de los fertilizantes químicos. En: Silva, F. Ed. *Fertilidad de Suelos Diagnóstico y Control*. Segunda Edición, p.221- 245.
20. Haile, M. Transcriptome profiling of the coffee (*C. arabica* L.) seedlings under salt stress condition (2018). ISSN 1229-2818. *Revista J Plant Biotechnol. Universidad Nacional, Chuncheon* 24341. Vol 45. P. 45-54.
21. Mogy M.M., Garchery C., Stevens R (2018). Irrigation with Salt Water Affects Growth, Yield, Fruit Quality, Storability and Marker-Gene Expression in Cherry Tomato. *Acta Agric. Scand. Sect. B Soil Plant Sci*; 68:727–737. doi: 10.1080/09064710.2018.1473482.
22. Machado R.M.A., Serralheiro R.P. Soil Salinity: Effect on Vegetable Crop Growth. Management Practices to Prevent and Mitigate Soil Salinization. *Horticulturae*, 3:30. doi: 10.3390/horticulturae3020030.
23. Ismail, A., Takeda, S., & Nick, P. (2014). Life and death under salt stress: same players, different timing?. *Journal of experimental botany*, 65(12), 2963–2979. <https://doi.org/10.1093/jxb/eru159>
24. Eynard, A., Lal, R., & Wiebe, K. (2005). Crop response in salt-affected soils. *Journal of sustainable agriculture*, 27(1), 5-50.
25. Flores, T. J., y Colmer, T. D. (2008). Tolerancia a la salinidad en halófitas. *El Nuevo Fitólogo*, 179(4), 945–963. <https://doi.org/10.1111/j.1469-8137.2008.02531.x>
26. Gul, Z., Tang, Z. H., Arif, M. y Ye, Z. (2022). Una visión del estrés abiótico y los mecanismos de tolerancia a la afluencia en las plantas para hacer frente a los ambientes salinos. *Biología*, 11(4), 597. <https://doi.org/10.3390/biology11040597>
27. Munns, R., & Tester, M. (2008). Mechanisms of salinity tolerance. *Annual review of plant biology*, 59, 651–681. <https://doi.org/10.1146/annurev.arplant.59.032607.092911>
28. Zhang, J, Fu-Ping, Z., Jin-Hua, Y., Jin-Ping, W., Ming-Li, C., Li, C. F., & Cao, C. G. (2011). Emissions of N2O and NH3, and nitrogen leaching from direct seeded rice under different

- 595 tillage practices in central China. *Agriculture, ecosystems & environment*, 140(1-2), 164-173.  
596 DOI: 10.1016/j.agee.2010.11.023  
597
- 598 29. Gu, Y. Wang, J. Cai, W. Guoliang, L (2021). Different Amounts of Nitrogen Fertilizer  
599 Applications Alter the Bacterial Diversity and Community Structure in the Rhizosphere Soil of  
600 Sugarcane. *Front. Microbiol*, DOI: <https://doi.org/10.3389/fmicb.2021.721441>  
601
- 602 30. Chen, S., Waghmode, T. R., Sun, R., Kuramae, E. E., Hu, C., & Liu, B. (2019). Root-associated  
603 microbiomes of wheat under the combined effect of plant development and nitrogen  
604 fertilization. *Microbiome*, 7(1), 136. <https://doi.org/10.1186/s40168-019-0750-2>  
605
- 606 31. Duan, C. Yuxia, Y. Qiang, W. Yuhan, L. Qi, H (2022). Rhizobium Inoculation Enhances the  
607 Resistance of Alfalfa and Microbial Characteristics in Copper-Contaminated Soil, *Frontiers in*  
608 *Microbiology*. Vol, 12, DOI:10.3389/fmicb.2021.781831  
609
- 610 32. Osorio, H. G., Sadeghian k., S. Respuesta del café (*coffea arabica* L.) a fuentes y dosis de  
611 nitrógeno en la etapa de almácigo (2014) ISSN: 0120-0275. *Cenicafé* Vol. 65. p. 34-43. 2014.  
612 Disponible en: <http://hdl.handle.net/10778/542>  
613
- 614 33. Antonio, P. Cícero, S. Erico, T (2015). Crecimiento de cultivares de cafeeiro conilon submetidas  
615 ao estresse salino-hídrico. ISSN 0100-316X. *Revista Caatinga*. Universidade Federal Rural do  
616 Semi-Árido. Disponible en: <http://periodicos.ufersa.edu.br/revistas/index.php/sistema>  
617
- 618 34. Datos tomados por International fertilizer development center. 1979. *Fertilizer Manual*. Muscle  
619 shoals, Alabama, IFDC. 353 p  
620
- 621 35. Bockheim J.G., Gennadiyev A.N (2000). The Role of Soil-Forming Processes in the Definition  
622 of Taxa in Soil Taxonomy and the World Soil Reference Base. *Geoderma*.  
623 [https://doi.org/10.1016/S0016-7061\(99\)00083-X](https://doi.org/10.1016/S0016-7061(99)00083-X)  
624
- 625 36. Shrivastava, P., & Kumar, R. (2015). Soil salinity: A serious environmental issue and plant  
626 growth promoting bacteria as one of the tools for its alleviation. *Saudi journal of biological*  
627 *sciences*, 22(2), 123–131. <https://doi.org/10.1016/j.sjbs.2014.12.001>  
628
- 629 37. Rogel, J.A., Ariza, F.A. & Silla, R.O (2001). Soil salinity and moisture gradients and plant  
630 zonation in Mediterranean salt marshes of Southeast Spain. *Wetlands* 20, 357–372.  
631 [https://doi.org/10.1672/0277-5212\(2000\)020\[0357:SSAMGA\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1672/0277-5212(2000)020[0357:SSAMGA]2.0.CO;2)  
632

- 633 38. Hanin, M., Ebel, C., Ngom, M., Laplaze, L., & Masmoudi, K. (2016). New Insights on Plant Salt  
634 Tolerance Mechanisms and Their Potential Use for Breeding. *Frontiers in plant science*, 7,  
635 1787. <https://doi.org/10.3389/fpls.2016.01787> (Hanin., et al, 2016)  
636
- 637 39. Ondrasek, G., & Rengel, Z. (2021). Environmental salinization processes: Detection,  
638 implications & solutions. *The Science of the total environment*, 754, 142432.  
639 <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.142432>  
640
- 641 40. Zhao, S., Zhang, Q., Liu, M., Zhou, H., Ma, C. y Wang, P. (2021). Regulación de las respuestas  
642 de las plantas al estrés salino. *Revista internacional de ciencias moleculares*, 22(9), 4609.  
643 <https://doi.org/10.3390/ijms22094609>  
644
- 645 41. Khan, N., Bano, A., & Babar, M. D. A. (2019). The stimulatory effects of plant growth promoting  
646 rhizobacteria and plant growth regulators on wheat physiology grown in sandy soil. *Archives*  
647 *of microbiology*, 201(6), 769–785. <https://doi.org/10.1007/s00203-019-01644-w>  
648
- 649 42. Farsi, S. M., Nawaz, A., Nadaf, S. K., Al-Sadi, A. M., Siddique, K. H., & Farooq, M. (2020).  
650 Effects, tolerance mechanisms and management of salt stress in lucerne (*Medicago*  
651 *sativa*). *Crop and pasture science*, 71(5), 411-428. doi: 10.1071/CP20033  
652
- 653 43. Lima, R. Santos, T. Esteves, L. Ferrarese, M. Torres, M. Oliveira, L. Salt stress alters the cell  
654 wall polysaccharides and anatomy of coffee (*Coffea arabica* L.) leaf cells. [Internet] 2014  
655 [consultado 2021 abril 25]. *Carbohydrate Polymers*. ISSN 0144-8617. Vol 112, p. 686-694.  
656 Disponible en: [https://doi-](https://doi-org.ucundinamarca.basesdedatosezproxy.com/10.1016/j.carbpol.2014.06.042)  
657 [org.ucundinamarca.basesdedatosezproxy.com/10.1016/j.carbpol.2014.06.042](https://doi-org.ucundinamarca.basesdedatosezproxy.com/10.1016/j.carbpol.2014.06.042).  
658
- 659 44. Caballero, R. L. A. Insectos escama (Hemiptera: Coccoidea) en la rizósfera de cafetales de  
660 Norte de Santander y Valle del Cauca. 2015. Bogotá. Universidad Nacional de Colombia. Tesis  
661 Ingeniero Agrónomo.  
662
- 663 45. Dawood MG. Alleviation of salinity stress on *Vicia faba* L. plants via seed priming with  
664 melatonin. *Acta biol. Colomb.* [Internet]. 1 de mayo de 2015 [citado 5 de junio de 2021];20(2).  
665 Disponible en: <https://revistas.unal.edu.co/index.php/actabiol/article/view/43291>.  
666
- 667 46. Sanchez, D. Parra, J (2019). Fumonisin – Síntesis y función en la interacción *Fusarium*  
668 *verticillioides*-maíz. Mexico, ciencias químicas. DOI: 10.1016/S1405-888X (14)70321-3  
669
- 670 47. Peña, J.A. (1994). Los biofertilizantes en la agricultura.

- 671  
672 48. Quiroga, M.F., Agüero, D., Zapata, R.R., Busilacchi, H., & Bueno, M.S. (2016).  
673 ACTIVADORES DE CRECIMIENTO Y BIOFERTILIZANTES COMO ALTERNATIVA AL USO  
674 DE FERTILIZANTES QUÍMICOS EN CULTIVO DE CHÍA (*Salvia hispanica* L.).  
675
- 676 49. Unday, Z.G., Henderson, D.H., Hurtado, A.C., & Hernández, J.J. (2018). USO DE EFLUENTE  
677 DE PLANTA DE BIOGÁS Y MICROORGANISMOS EFICIENTES COMO  
678 BIOFERTILIZANTES EN PLANTAS DE CEBOLLA (*Allium cepa* L., cv. 'Caribe-71').  
679
- 680 50. Lopes, M.J., Santiago, B.S., Silva, I.F., & Gurgel, E.S. (2021). Biotecnologia microbiana:  
681 inoculação, mecanismos de ação e benefícios às plantas. *Research, Society and*  
682 *Development*. DOI:10.33448/rsd-v10i12.20585  
683
- 684 51. Rodríguez, D.G. (2003). El papel de los microorganismos en la biodegradación de compuestos  
685 tóxicos. DOI:10.7818/RE.2014.12-2.00  
686
- 687 52. Ibrahim, M. S., & Ikhajagbe, B. (2021). The growth response of rice (*Oryza sativa* L. var. FARO  
688 44) in vitro after inoculation with bacterial isolates from a typical ferruginous ultisol. *Bulletin of*  
689 *the National Research Centre*, 45, 1-20.  
690
- 691 53. Herren, G. L., Habraken, J., Waeyenberge, L., Haegeman, A., Viaene, N., Cougnon, M.,  
692 Reheul, D., Steel, H., & Bert, W. (2020). Effects of synthetic fertilizer and farm compost on soil  
693 nematode community in long-term crop rotation plots: A morphological and metabarcoding  
694 approach. *PloS one*, 15(3), e0230153. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0230153>  
695
- 696 54. Posso, S., & José, E. (2019). Evaluación de la producción de ácidos orgánicos en  
697 Microorganismos rizosféricos y sus efectos en la solubilización de fosfatos.  
698
- 699 55. Rezende, C.C., Silva, M.A., Frasca, L.L., Faria, D.R., Filippi, M.C., Lanna, A.C., & Nascente,  
700 A.S. (2021). Microorganismos multifuncionais: utilização na agricultura. *Research, Society and*  
701 *Development*, 10. DOI:10.33448/RSD-V10I2.12725  
702
- 703 56. Gutjahr, C., & Parniske, M. (2013). Cell and developmental biology of arbuscular mycorrhiza  
704 symbiosis. *Annual review of cell and developmental biology*, 29, 593–617.  
705 <https://doi.org/10.1146/annurev-cellbio-101512-122413>  
706
- 707 57. Miransari M. (2010). Contribution of arbuscular mycorrhizal symbiosis to plant growth under  
708 different types of soil stress. *Plant biology (Stuttgart, Germany)*, 12(4), 563–569.  
709 <https://doi.org/10.1111/j.1438-8677.2009.00308.x>

710

711 58. Kumar, V. Satyanarayana, K. V., Sarala Itty, S., Indu, E. P., Giridhar, P., Chandrashekar, A.,  
712 Ravishankar, G. A. Stable transformation and direct regeneration in *Coffea canephora* P ex.  
713 Fr. by *Agrobacterium rhizogenes* mediated transformation without hairy-root phenotype.  
714 [Internet] 2006 [consultado 2021 abril 08]. *Plant cell reports*, Vol 25 (3), p. 214–222. Disponible  
715 en: <https://doi.org/10.1007/s00299-005-0045-x>.

716

717 59. Bécquer, C., Salas, B. Slaski, J.; Archambault, D. y Anya, A. (2013). Influencia de bacterias  
718 rizosféricas en la germinación y crecimiento inicial de *Sporobolus cryptandrus* (Torr.) A. Gray.  
719 *Revista Cubana de Ciencia Agrícola*, 47 (4). p 431-436.  
720 <https://www.redalyc.org/pdf/1930/193029815018.pdf>

721

722 60. Marquina, M & Castro, Y. (2018). Efecto de bacterias rizosféricas en la germinación y  
723 crecimiento del pimentón *Capsicum annum* L. var. Cacique Gigante. *Bioagro*, 30(1), 3-16.  
724 Recuperado en 19 de mayo de 2023, de [http://homolog-  
725 ve.scielo.org/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1316-  
726 33612018000100001&lng=es&tlng=es](http://homolog-ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1316-33612018000100001&lng=es&tlng=es).

727

728 61. Shrivastava P., Kumar R. Salinidad del suelo: un problema ambiental grave y bacterias  
729 promotoras del crecimiento de las plantas como una de las herramientas para su alivio. *Saudi*  
730 *J. Biol. Sci.* 2015; 22:123–131. doi: 10.1016/j.sjbs.2014.12.001

731

732 62. Lumba, S. y Cutler, S. (2010). Plant nuclear hormone receptors: a role for small molecules in  
733 protein-protein interactions. *Annual Review of Cell and Developmental Biology*. 26 p. 445-469.  
734 <https://sci-hub.se/10.1146/annurev-cellbio-100109-103956>

735

736 63. Alejandro, G. Marta, M. Andrés, A. Responses of Arabica coffee (*Coffea arabica* L. var. Catuai)  
737 cell suspensions to chemically induced mutagenesis and salinity stress under in vitro culture  
738 conditions. *In Vitro Cellular & Developmental Biology – Plant*. [Internet] 2018 [consultado 2021 mayo  
739 24]. Disponible en: <https://doi.org/10.1007/s11627-018-9918-x>

740

741 64. Li, H., Zhao, H. M., Purchase, D., & Chen, X. W. (2022). Editorial: Microbial communities and  
742 functions contribute to plant performance under various stresses. *Frontiers in microbiology*, 13,  
743 992909. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2022.992909>

744

745 65. Mehmood, H., Abbasi, G. H., Jamil, M., Malik, Z., Ali, M., & Iqbal, R. (2021). Assessing the  
746 potential of exogenous caffeic acid application in boosting wheat (*Triticum aestivum* L.) crop  
747 productivity under salt stress. *PloS one*, 16(11), e0259222.  
748 <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0259222>

749

750

66. Campos, C. Avilab, R. Dazio, K. R., Azevedo L. M., Alves, J. D. Melatonin reduces oxidative stress and promotes drought tolerance in young *Coffea arabica* L. plants. [Internet] 2018 [consultado 2021 abril 20]. *Gestión del agua agrícola* Volumen 211 p. 37-47. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2018.09.025>.

754

755

67. Quiñones, E., Hernández, L., López, L. y Rincón, G. (2018). Efectividad de hongos micorrízicos arbusculares nativos de rizósfera de *Agave* como promotores de crecimiento de papaya. *Revista Terra Latinoamericana*. 37. p. 163-174. 2395-8030-tl-37-02-163.pdf (scielo.org.mx) (Quiñones, 2018) (10)

759

760

68. Desgarenes, D. Carrión, G (2021). *LAS BACTERIAS QUE AYUDAN A LAS PLANTAS A CRECER*, INECOL <https://elportal.mx/princ/las-bacterias-que-ayudan-a-las-plantas-a-crecer/>.

762

763

69. Camelo, M., Vera, S. y Bonilla, R. 2011. Mecanismos de acción de las rizobacterias promotoras del crecimiento vegetal. *Revista Corpoica - Ciencia y Tecnología Agropecuaria* (2011) 12(2), 159-166. <http://revistacta.agrosavia.co/index.php/revista/article/view/227/233>

766

767

70. Puga, R. y Blouin, M. (2015). A review of the effects of soil organisms on plant hormone signalling pathways. *Revista Elsevier*. 114. p. 104-116. A review of the effects of soil organisms on plant hormone signalling pathways – ScienceDirect

770

771

71. Filippou, P., Tanou, G., Molassiotis, A., & Fotopoulos, V. (2013). Plant acclimation to environmental stress using priming agents. *Plant acclimation to environmental stress*, 1-27.

773

774

72. Leuendorf, J. E., Frank, M., & Schmölling, T. (2020). Acclimation, priming and memory in the response of *Arabidopsis thaliana* seedlings to cold stress. *Scientific reports*, 10(1), 689. <https://doi.org/10.1038/s41598-019-56797-x>

777

778

779

73. Rowland D.L., Faircloth W.H., Payton P., Tissue D.T., Ferrell J.A., Sorensen R.B., Butts C.L (2012). Primed acclimation of cultivated peanut (*Arachis hypogaea* L.) through the use of deficit irrigation timed to crop developmental periods. *Agric. Water Manag*; 113:85–95. doi: 10.1016/j.agwat.2012.06.023.

783

784

74. Wiszniewska, A., Muszyńska, E., Hanus-Fajerska, E., Dziurka, K., & Dziurka, M. (2018). Evaluation of the protective role of exogenous growth regulators against Ni toxicity in woody shrub *Daphne jasminea*. *Planta*, 248(6), 1365–1381. <https://doi.org/10.1007/s00425-018-2979-6>

787

788  
789  
790  
791  
792  
793  
794  
795  
796  
797  
798  
799  
800  
801  
802  
803  
804  
805

75. Calabrese E.J., Blain R.B. Hormesis and plant biology. *Environ. Pollut.* 2009; 157:42–48. doi: 10.1016/j.envpol.2008.07.028.
76. Sivritepe N., Sivritepe H., Eris A. The effects of NaCl priming on salt tolerance in melon seedlings grown under saline conditions (2013). *Sci. Hortic.* 97:229–237. doi: 10.1016/S0304-4238(02)00198-X.
77. Hernández, A. E., Aucique-Perez, C. E., Cavar Zeljković, S., Štefelová, N., Salcedo Sarmiento, S., Spíchal, L. y De Diego, N. (2022). Preparación con bioestimulantes basados en moléculas pequeñas para mejorar la tolerancia al estrés abiótico en *Arabidopsis thaliana*. *Plantas* (Basilea, Suiza), 11(10), 1287. <https://doi.org/10.3390/plants11101287>
78. Sanmartín N, Pastor V, Pastor J, Flors V, Pozo M (2020). Role and mechanisms of callose priming in mycorrhiza-induced resistance. *J Exp Bot.* 9;71(9):2769-2781. doi: 10.1093/jxb/eraa030