

HORIZONTE A

SAFRINHA NÃO TEM FIM

Por Paulina Lescano



MAÍZ NK

Un portfolio con la mejor genética y tecnología,
para alcanzar el máximo potencial.



BIOLÓGICOS

Nutrición biológica nitrogenada en maíz: ¿Cuánto debería fijar por planta para igualar en porcentaje a la soja?

Por: Ing. Agr. (Dr.) Carlos Fabián Piccinetti
Laboratorio de Bacterias Promotoras del
Crecimiento Vegetal-IMYZA- INTA Castelar
Mesa de Nutrición Biológica

La nutrición nitrogenada en soja y maíz

La soja es una planta de la familia de las Leguminosas de gran importancia económica y nutricional en todo el mundo. La disponibilidad de nitrógeno (N) es uno de los factores clave que influyen en el crecimiento y el rendimiento de la soja. De forma natural tiene la capacidad de adquirir N por dos fuentes naturales, como la disponible en el suelo (básicamente nitrato y amonio) y desde la simbiosis mutualista facultativa con *Bradyrhizobium* (*B. japonicum*, *B. elkanii* y *B. diazoefficiens*). El aporte promedio desde la fijación biológica de N (FBN) para Argentina se encuentra alrededor del 60%. Y a su vez, esta fuente es la que está relacionada con el potencial de rendimiento de granos (Piccinetti y Peticari, 2023). La soja tiene altas demandas de N para producir el rendimiento (70-80 kg N/Mg de grano producido). La cantidad de nitrógeno aportado por la FBN o “nutrición biológica de N” pue-

de variar en función de varios factores, como el ambiente, la genética de la planta y las cepas presentes en el simbiosoma. Según los estudios de Herridge et al. (2008); Unkovich et al. (2010) estimaron que una planta de soja puede fijar entre 100 y 400 miligramos de nitrógeno por simbiosis, aunque los estudios de Piccinetti (2018) observó que una planta de soja en promedio acumuló 542 mg de N derivado de la FBN.

El maíz es una planta de la familia Gramíneas (C4), igual que la soja, la nutrición nitrogenada es crucial para alcanzar altos rendimientos. Aunque, la principal fuente de N es el aportado por el suelo y la fertilización, también tiene otra fuente natural potencialmente interesante como es la nutrición biológica (Montañez et al, 2009), pero hasta el momento sabemos que es a través de una relación asociativa y/o endófito (*Azospirillum* sp, *Herbaspirillum* sp, *Gluconacetobacter* sp.). La densidad óptima de plantas por hectárea puede variar según las condiciones locales, pero se ha observado

que densidades entre 60.000 y 80.000 plantas por hectárea suelen ser adecuadas para maximizar el rendimiento de maíz (Borrás et al., 2003; Ciampitti et al., 2012). Y en cuanto a la cantidad de nitrógeno que requiere acumular por planta varía entre 2 y 4 g de N, y según estudios de Piccinetti (2018) el maíz acumuló por planta 2,2 g de N y 20 kg N/Mg de grano producido.

La fijación biológica de nitrógeno y los métodos de medición

La FBN es un proceso microbiano, especialmente bacterias, convierten el nitrógeno atmosférico en formas utilizables, como el amonio, que puede ser aprovechado por las plantas. La medición de la fijación biológica de nitrógeno es fundamental para evaluar la capacidad de los organismos de fijar nitrógeno y su contribución a la disponibilidad de este elemento en los ecosistemas. Los métodos más utilizados para medir el aporte desde la FBN en cultivos son: a. Método de abundancia natural de ^{15}N ; b. Método de dilución isotópica de ^{15}N ; c. Método de reducción de acetileno y d. Método de medición de ureidos.

a. Método de la abundancia natural de ^{15}N : Este método se basa en la medición de la proporción de los isótopos estables de nitrógeno ($^{15}\text{N}/^{14}\text{N}$) en las muestras de tejido vegetal o de suelo. La fijación biológica de nitrógeno a menudo involucra la incorporación preferencial del isótopo más liviano (^{14}N) en comparación con el isótopo más pesado (^{15}N). La determinación de las diferencias isotópicas entre las plantas fijadoras de nitrógeno y las no fijadoras permite estimar la contribución relativa de la fijación biológica de nitrógeno. Este método se utiliza en estudios de campo y requiere equipos especializados, como espectrómetros de masas. (Gutschick, V.P., 1981).

b. Método de la dilución isotópica: Este método se basa en la incorporación de un isótopo marcado, como ^{15}N , en las plantas o en el suelo. Se agrega una fuente de nitrógeno enriquecida con ^{15}N , y se sigue la absorción y redistribución del nitrógeno enriquecido a través de las plantas y el suelo. La fijación biológica de nitrógeno se puede estimar midiendo la dilución del isótopo marcado debido a la incorporación de nitrógeno atmosférico. Este método también requiere el uso de espectrómetros de masas y equipos especializados. (Unkovich et al., 2010).

c. Método de la reducción de acetileno: Este método se basa en la capacidad de ciertas bacterias fijadoras de nitrógeno para reducir el acetileno a etileno. El etileno producido por la actividad enzimática de la nitrogenasa puede ser cuantificado mediante cromatografía de gases. La tasa de reducción del acetileno

Figura 1. Lugares de ingreso y de ubicación de las bacterias benéficas PGPR en las raíces de las plantas en relaciones asociativas (asociativa externa y endofítica)

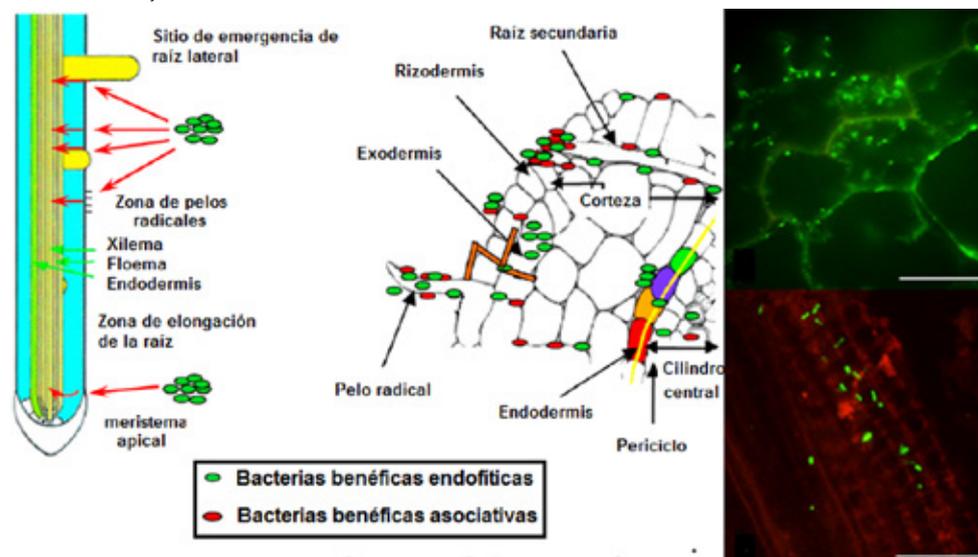


Figura 2. Mucílago sobre raíces aéreas donde se detectaron las condiciones para la fijación biológica de N en maíces de Sierra Mixe (Oaxaca, México).



no se utiliza como una medida indirecta de la actividad de fijación de nitrógeno. Este método es ampliamente utilizado en estudios de laboratorio y en el campo. (Hardy et al., 1968).

d. Método de medición de ureidos: Los ureidos son compuestos orgánicos que se producen como resultado de la fijación biológica de nitrógeno en leguminosas y algunas otras plantas. La medición de ureidos en las plantas o en las raíces puede ser utilizada como un indicador de la actividad de fijación de nitrógeno. Este método implica la extracción de ureidos de tejidos vegetales o de las raíces y su posterior cuantificación mediante técnicas analíticas, como la cromatografía líquida de alto rendimiento (HPLC) o la espectrofotometría. La concentración de ureidos en los tejidos de las plantas es proporcional a la actividad de fijación de nitrógeno. (Ku, S.B. and Edwards, J., 1999).

Es importante tener en cuenta que cada método tiene sus ventajas y limitaciones, una de las más importantes limitantes es el coeficiente de variación, es decir, que bajos porcentajes de FBN tendrán poca certeza de la información generada. Por lo tanto, ante bajos aportes de FBN y dar robustez a los resultados será necesario elegir el mejor método o un conjunto de métodos para medirla y que dependerá también del contexto de estudio y de los recursos disponibles.

En el caso del maíz, no todos los métodos se pueden utilizar y a menudo medir la FBN presenta limitaciones en términos de precisión y sensibilidad, y los resultados pueden tener un alto coeficiente de variación. Además, la FBN en el maíz puede verse afectada por varios factores, como las condiciones del suelo, la disponibilidad de nitrógeno en el ambiente (y fuente del fertilizante), las interacciones con otras bacterias y microorganismos del suelo, entre otros.

Aunque la cuantificación exacta de la FBN en el maíz puede ser desafiante, es importante tener en cuenta que la FBN sigue siendo un proceso biológico relevante en este cultivo. Aunque su contribución puede ser menor en comparación con otros cultivos, la asociación con bacterias diazotróficas y la capacidad de fijación de nitrógeno puede desempeñar un papel significativo en el suministro de nutrientes para el maíz, especialmente en condiciones de baja disponibilidad de nitrógeno en el suelo. Las condiciones del ambiente tienen un alto impacto en la nutrición biológica, como es el caso de maíces nativos de

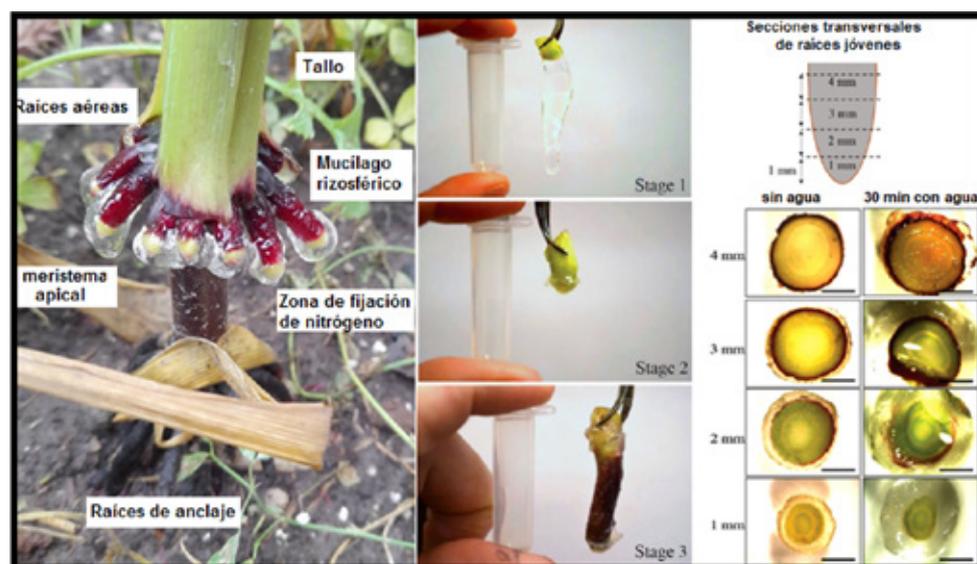
Sierra Mixe (Oaxaca, México), mostrado en la figura 1, donde se determinaron rangos de aportes de la FBN entre 30 y 80%, en el cual, utilizaron un conjunto de métodos para asegurar la certeza y sensibilidad de las determinaciones (Van Deynze et al, 2018).

En la figura 2 se muestra en la foto izquierda obtenida de nuestros ambientes sobre una raza de maíces nativos (Piccinetti, marzo de 2022) y a la derecha, la capacidad de formación de mucílago según el estadio de crecimiento de las raíces aéreas y en cortes transversales las

zonas con mayor cantidad de mucílago y posiblemente más activas en la fijación de nitrógeno (adaptado de Pankievicz et al, 2022).

En la tabla 1) se presenta un análisis comparativo de las cantidades medidas del %FBN y su aporte en kg N/ha en soja y un cálculo teórico de los aportes que debería realizar de la FBN tanto en soja como en maíz y el %FBN que debería tener el maíz para igualar a soja. Sabemos que la simbiosis en soja es un proceso efectivo de aporte de N (muy estudiado) y que ingresa e impacta directamente sobre la planta, mientras que en maíz los mecanismos de fijación como de ingreso de N a la planta están todavía desarrollándose en diferentes estudios.

Figura 3. En la foto de la izquierda se muestra cómo es la formación de mucílago sobre las raíces sobre razas nativas (Piccinetti, 2022) y a la derecha se muestra la formación de mucílago según el estadio el crecimiento de las raíces aéreas con las secciones con las zonas con más mucílago y posiblemente más activas para la fijación de nitrógeno (Adaptado de Pankievicz et al, 2022).



¿Cuán efectiva debería ser la asociación entre bacterias diazotróficas y el maíz?

La relación de cantidad de N acumulado por planta para este análisis es de 2,75 veces más por planta de maíz que por planta de soja. Lo que se deduce de este análisis sin entrar en aspectos particulares de manejo del cultivo de maíz, es que tiene que fijar más N por planta para igualar en porcentaje a soja, que es leguminosa simbiótica. En esta tabla una planta de soja con un 20% de FBN debería fijar 158 mg, en cambio, una planta de maíz debería fijar 435 mg. Este porcentaje lo consideramos bajo en términos de %FBN para soja y con baja precisión del aporte utilizando el método de abundancia natural de 15N.

Tabla 1. Análisis comparativo entre soja y maíz para determinar cuánto N deberían aportar las bacterias diazotróficas asociadas al maíz para igualar en porcentaje el aporte de la fijación biológica de nitrógeno de soja. * Datos medidos por Piccinetti (2018). # Datos no evaluados para maíz.

Cultivo	Densidad (pl/ha)	Biomasa aérea total (Mg/ha)	Rendimiento de granos (Mg/ha)	N acumulado en la biomasa aérea total (kg N/ha)	N acumulado por planta (mg)	%FBN#	NdFBN (kg/ ha)	NdFBN (g/m ²)	NdFBN por planta (mg)
SOJA*	250000	9,2	2,8	198	792	68,4	135,4	13,54	542
MAÍZ*	80000	21,7	8,7	174	2175	-	-	-	-
<i>Análisis teórico exploratorio</i>									
SOJA	250000	9,2	2,8	198	792	60	118,8	11,88	475
MAÍZ	80000	21,7	8,7	174	2175	60	104,4	10,44	1305
SOJA	250000	9,2	2,8	198	792	50	99,0	9,90	396
MAÍZ	80000	21,7	8,7	174	2175	50	87,0	8,70	1088
SOJA	250000	9,2	2,8	198	792	40	79,2	7,92	317
MAÍZ	80000	21,7	8,7	174	2175	40	69,6	6,96	870
SOJA	250000	9,2	2,8	198	792	30	59,4	5,94	238
MAÍZ	80000	21,7	8,7	174	2175	30	52,2	5,22	653
SOJA	250000	9,2	2,8	198	792	20	39,6	3,96	158
MAÍZ	80000	21,7	8,7	174	2175	20	34,8	3,48	435
SOJA	250000	9,2	2,8	198	792	10	19,8	1,98	79
MAÍZ	80000	21,7	8,7	174	2175	10	17,4	1,74	218
SOJA	250000	9,2	2,8	198	792	5	9,9	0,99	40
MAÍZ	80000	21,7	8,7	174	2175	5	8,7	0,87	109
SOJA	250000	9,2	2,8	198	792	1	2,0	0,20	8
MAÍZ	80000	21,7	8,7	174	2175	1	1,7	0,17	22

Al menos, con las alternativas que disponemos para medir FBN en campo con elevado coeficiente de variación surge que con este análisis que es muy difícil, al menos por ahora, determinar con precisión el aporte desde la FBN en maíz. En la tabla 1 están remarcados los valores de aporte que se observan en la bibliografía, pero a ciencia cierta todavía no está clara para nuestros ambientes.

Los inoculantes cuyo principal activo son bacterias PGPR tienen en muchas cepas una alta capacidad de fijar N y que seguramente el aporte de N puede ser relevante. Pero tal vez, por ahora, no sea conveniente afirmar que aporta una cierta cantidad de N como un hecho consumado, ya que crea falsas expectativas, sino que se debería afirmar que el “conjunto de mecanismos directos e indirectos de las cepas seleccionadas y desarrolladas para la inoculación de cultivos mejoran el crecimiento de las plantas y la eficiencia agronómica de los recursos naturales disponibles” hasta tanto no demos certeza con certeza el aporte real de la FBN al cultivo de maíz en nuestros ambientes. ●

Bibliografía completa en
www.horizonteadigital.com