



Fertilizantes integrados con inteligencia biológica avanzada pueden hacer mucho más que simplemente alimentar a la planta.

Posted on Junio 21, 2026

(Bombay) El sector agrícola mundial se encuentra actualmente en una etapa de inflexión decisiva, obligado a afrontar las vulnerabilidades estructurales expuestas por las recientes crisis geopolíticas, la volatilidad de los mercados energéticos y el aumento de los costes de los insumos.

Una consecuencia directa de la volatilidad del gas natural ha provocado que los precios de los fertilizantes sintéticos se disparen en más de un 200 % entre 2020 y 2022. Además, el gas natural representa entre el 70 % y el 80 % del coste de producción de la urea.

Estas crisis han obligado a países y gobiernos a replantearse fundamentalmente aspectos de su seguridad nutricional.

La agricultura es vital para la India, ya que contribuye con el 18% de su PIB y sustenta a más del 58% de la población rural. A pesar de ser el segundo mayor consumidor de fertilizantes del mundo y de haber

triplicado los costos anuales de los subsidios a 2,25 billones de rupias (27.000 millones de dólares) en la última década, la productividad de los cultivos clave permanece estancada.

La urgencia es evidente en múltiples indicadores:

La eficiencia en el uso de fertilizantes sigue siendo críticamente baja: la eficiencia en el uso de nitrógeno (EUN) de la India se estima en apenas un 20-25%, en comparación con el promedio mundial del 30-35% y las principales economías agrícolas como Francia y Alemania, que alcanzan el 50-60%. Esto significa que por cada kilogramo de nitrógeno aplicado, aproximadamente el 75-80% se pierde por lixiviación, volatilización, desnitrificación o escorrentía superficial, lo que contribuye a la contaminación de las aguas subterráneas, la acidificación del suelo y las emisiones de gases de efecto invernadero (el óxido nitroso, un subproducto de los fertilizantes, tiene un potencial de calentamiento global aproximadamente 273 veces mayor que el del CO₂ en un período de 100 años, según el AR6 del IPCC).

El desequilibrio de NPK está estructuralmente arraigado: la proporción de NPK recomendada agrónomicamente para los suelos de la India es de 4:2:1. Sin embargo, la proporción de consumo nacional actual se sitúa en aproximadamente 9,3:3,5:1, con un marcado sesgo hacia el nitrógeno debido a la fuerte dependencia de la urea, que recibe cuantiosos subsidios. Investigaciones publicadas en las principales revistas de ciencia del suelo demuestran que la aplicación desequilibrada de NPK acelera el agotamiento de los micronutrientes y nutrientes secundarios: las deficiencias de zinc, boro y azufre afectan actualmente al 40-50% de los suelos agrícolas de la India, lo que limita directamente la respuesta de los cultivos a la aplicación de nutrientes primarios.

El agotamiento del carbono orgánico del suelo (COS) ha alcanzado niveles críticos: los suelos agrícolas de la India han sufrido una caída catastrófica en el COS, pasando de alrededor del 1 % en la década de 1950 a un promedio nacional de tan solo 0,3-0,6 % en la actualidad. Esto está muy por debajo del umbral saludable internacionalmente aceptado de 1-1,5 %. El COS sustenta prácticamente todas las funciones del suelo: un aumento del 1 % en el COS puede incrementar la capacidad de retención de agua del suelo hasta en 20 litros por metro cúbico, mejorar la capacidad de intercambio catiónico (CIC), que rige la retención de nutrientes, en 2-4 cmolc/kg, y sustentar la biomasa microbiana que impulsa el ciclo de nutrientes. El costo económico de la pérdida de COS en la India se ha estimado en 1500-2500 millones de dólares anuales en pérdida de productividad.

En conjunto, estos datos ponen de manifiesto un sistema en el que los insumos químicos, aplicados de forma aislada, están alcanzando tanto su límite biológico como sus límites económicos.

Una nueva tesis: Inteligencia biológica integrada con fertilizantes

Está surgiendo un paradigma más ambicioso: que los fertilizantes, al integrarse con inteligencia biológica

avanzada, pueden lograr mucho más que simplemente nutrir la planta. Esto no implica descartar los fertilizantes convencionales, sino potenciarlos, utilizando innovaciones biológicas para alcanzar eficiencias que la química por sí sola no puede lograr.

La lógica se fundamenta en la ciencia. La eficiencia en el uso de nutrientes (EUN) presenta tres obstáculos principales: disponibilidad, absorción y eficiencia de uso. La mayoría de las estrategias químicas convencionales solo abordan el primero: evitar que los nutrientes se conviertan en formas biológicamente no disponibles mediante procesos químicos como la ureasa y los inhibidores de la nitrificación. Sin embargo, los otros dos obstáculos —la eficacia con la que las raíces absorben los nutrientes disponibles y la eficiencia con la que la planta los convierte en biomasa cosechable— están fundamentalmente determinados por la fisiología vegetal. Solo pueden superarse de forma significativa mediante la modulación fisiológica. Los bioaditivos, integrados de forma inteligente con los fertilizantes, proporcionan precisamente esto.

Las investigaciones publicadas demuestran que los insumos biológicos para cultivos —incluidos los inoculantes microbianos, los bioestimulantes vegetales y los compuestos moduladores de la fisiología— pueden influir en la arquitectura de las raíces, mejorar el transporte de nutrientes, aumentar la actividad de la nitrato reductasa y otras enzimas metabólicas clave, y modular las vías de señalización del estrés. En conjunto, estos mecanismos abordan las dimensiones fisiológicas de la eficiencia en el uso de nutrientes que ningún fertilizante adicional puede remediar.

Los resultados preliminares y fiables de programas integrados de fertilización biológica en diversos cultivos y regiones de la India ya muestran una reducción del 20-30% en el uso de fertilizantes químicos, manteniendo o incluso mejorando la productividad. Un metaanálisis de 2023, publicado en *Frontiers in Plant Science*, que analizó 41 estudios, halló resultados similares: la integración de bioestimulantes con fertilizantes convencionales mejoró la eficiencia en el uso de nutrientes (EUN) en un promedio del 15-25% en cultivos de cereales y hortalizas.

Desbloqueando la activación de las plantas

Más allá de la eficiencia en el uso de nutrientes, la integración biológica activa las vías metabólicas que permanecen inactivas en los sistemas de cultivo convencionales. Las plantas poseen maquinaria genética latente para una mayor eficiencia fotosintética, una distribución optimizada del carbono y una translocación acelerada de la fuente al sumidero; capacidades que rara vez se expresan plenamente en los sistemas de cultivo convencionales.

Al incorporar estas señales de activación en los sistemas de fertilización, los cultivos pueden convertir los nutrientes disponibles en rendimientos de manera más eficaz, reduciendo las pérdidas y mejorando la rentabilidad por unidad de insumo. En el trigo, por ejemplo, mejorar la eficiencia de la distribución del

carbono en el grano en tan solo un 5-8% puede traducirse en aumentos de rendimiento de 150-250 kg/hectárea a los niveles de productividad promedio actuales, lo que representa una ventaja significativa para los pequeños agricultores que operan con márgenes reducidos.

Resiliencia climática: la pérdida de eficiencia oculta

La creciente imprevisibilidad de los patrones climáticos añade otra dimensión crítica. La sequía y el estrés salino reducen la eficiencia en el uso del nitrógeno (EUN), en particular la absorción de nitrógeno, entre un 25 % y un 40 %.

Los componentes biológicos integrados abordan directamente esta deficiencia de resiliencia. Ciertos compuestos bioestimulantes, como betaínas, poliaminas, osmoprotectores y metabolitos secundarios que señalan el estrés, han demostrado mejoras estadísticamente significativas en el rendimiento de los cultivos en condiciones de déficit hídrico y altas temperaturas en ensayos revisados por pares.

Alineación de políticas y señales de mercado

La política de la India se alinea cada vez más con esta visión integral. El programa “Paramparagat Krishi Vikas Yojana” (PKVY) y la Misión para el Desarrollo Integrado de la Horticultura (MIDH) han destinado crecientes presupuestos para la adopción de insumos biológicos y orgánicos.

A nivel mundial, se prevé que el mercado de bioestimulantes para cultivos supere los 7.000 millones de dólares en 2030, impulsado por la presión regulatoria sobre los insumos sintéticos en la UE, la creciente volatilidad de los costos de los insumos y la creciente demanda de los consumidores por alimentos producidos de forma sostenible. India se encuentra en una posición privilegiada para ser un importante consumidor y un productor mundial de soluciones biológicas de última generación.

La integración como dirección irreversible

El futuro de la gestión de nutrientes no se definirá por un conflicto binario entre productos biológicos y químicos, sino por una integración inteligente. Al combinar insumos químicos optimizados con inteligencia biológica de última generación, la agricultura puede lograr una seguridad nutricional que sea a la vez rentable, beneficiosa para el clima y centrada en el agricultor.

Las cifras son contundentes. Mejorar la eficiencia en el uso de nitrógeno (EUN) de la India del 20 % al 35 % —el promedio mundial— podría reducir el consumo nacional de fertilizantes nitrogenados en más de 5 millones de toneladas métricas anuales, ahorrando al erario público entre 30 000 y 40 000 millones de rupias en subsidios, al tiempo que se reducen las emisiones de óxido nitroso y la contaminación de las aguas subterráneas por nitratos. Estas no son proyecciones utópicas, sino resultados alcanzables, basados

en la ciencia existente y en las primeras evidencias comerciales.

Este enfoque integral representa, en última instancia, un llamado a incorporar la inteligencia biológica —y la resiliencia que confiere— en la esencia misma de los sistemas agrícolas. De esta manera, la agricultura puede superar las limitaciones de los productos químicos importados y avanzar hacia un modelo productivo, rentable y verdaderamente sostenible para los agricultores y los suelos que sustentan la seguridad alimentaria de la India.

*Por Dra. Renuka Diwan es cofundadora y directora ejecutiva de BioPrime AgriSolutions Pvt. Ltda.

El Maipo/Agricultura Global