

INFORMACIONES

AGRONOMICAS



INSTITUTO DE LA POTASA Y EL FOSFORO
POTASH AND PHOSPHATE INSTITUTE

Nº 12

JULIO 1993

CONTENIDO

	Página
La Ley del Máximo	1
Interacción positiva entre la fertilización y la época de siembra en el rendimiento de maíz en Ecuador	4
Respuesta de la soya al Mo en suelos arenosos de Brasil	6
Avances y tendencias en las técnicas de fertilización (Parte I)	7
Nuevas tendencias en las relaciones Ca:Mg	10
Reporte de investigación reciente	11
Cursos y Simposios	13
Publicaciones de INPOFOS	14

Editor: Dr. José Espinosa

LA LEY DEL MAXIMO *

Se han usado dos diferentes Leyes del Mínimo para describir como los factores limitantes se relacionan con la producción de cultivos. Ambas leyes provienen de Alemania. La primera se formuló en 1843 y la otra en 1909. La primera lleva el nombre de Liebig, quien fue el pionero del concepto de la nutrición mineral de las plantas. La segunda lleva el nombre del científico que la desarrolló, Mitscherlich.

La Ley del Mínimo de Liebig indica que el rendimiento de los cultivos está regulado por el factor más limitante y que el rendimiento se puede incrementar únicamente con la corrección de ese factor limitante. Cuando esta limitación se ha corregido, los rendimientos pasan a ser regulados por el siguiente factor limitante. Incrementos posteriores en rendimiento ocurrirán solamente si este factor es corregido. Este proceso se repite con incrementos de rendimiento escalonados hasta que no existan factores limitantes.

Por otro lado, la Ley del Mínimo de Mitscherlich indica que el rendimiento está influenciado por todos los factores limitantes simultáneamente. La influencia de cada uno de los factores limitantes es proporcional a su grado de limitación. Con esta ley, el rendimiento obtenido, en un conjunto dado de condiciones, está en relación a la suma integrada de todos los factores limitantes remanentes. Es posible expresar matemáticamente el grado de cada limitación con datos obtenidos en experimentos de laboratorio y campo. Con estos datos es posible calcular los rendimientos esperados a medida que se corrigen los factores limitantes.

* Wallace, A. Profesor Emérito, Laboratorio de Ciencias Biomédicas y ambientales, Universidad de California, Los Angeles.

En la práctica, existen condiciones donde ambas leyes del mínimo operan, pero es importante reconocer que aún dentro de este concepto las dos pueden ser identificadas independientemente. De hecho algunos factores limitantes son tan severos, que la aplicación de medidas correctivas que eliminen a los factores menos limitantes obtienen poco o ningún incremento en rendimiento, a menos que, se hayan corregido antes los factores limitantes más severos. Sin la corrección de estos factores limitantes severos, la aplicación de medidas correctivas puede causar hasta reducción del rendimiento. Los factores limitantes severos encajan dentro de la ley de Liebig. Por el contrario, y solamente cuando ya no existen factores de tipo Liebig, se pueden obtener respuestas favorables a cada medida correctiva de un factor limitante del tipo Mitscherlich. En realidad no interesa en que orden estos factores limitantes se corrigen en tanto que estos se mantengan en relación con el estado fisiológico del cultivo. El orden no es importante para aquellos factores limitantes del tipo Liebig, los más severos deben ser corregidos primero o la respuesta a la corrección de los menos severos será mínima.

El objetivo principal del análisis foliar y del análisis de suelo es el de identificar factores limitantes que pueden ser corregidos. Los dos tipos de factores limitantes pueden ser adecuadamente identificados. Mientras mayor sea la cantidad de factores limitantes a corregirse mayor será el incremento en el rendimiento, siempre y cuando se hayan corregido todos los factores limitantes del tipo Liebig.

INTERACCIONES Y LA LEY DEL MÁXIMO

En las condiciones actuales de producción en lugar de Leyes del Mínimo, se debe hablar de una Ley del Máximo. La Ley del Máximo no puede operar si existen factores limitantes del tipo Liebig. Esta ley tiene dos características principales: 1) El efecto de una medida correctiva se incrementa progresivamente a medida que otros factores limitantes son corregidos. El resultado final es más grande que la suma de los efectos individuales debido a la forma en la cual ellos interaccionan. La interacción multiplica los efectos de cada uno. 2) Los rendimientos pueden ser los más altos o máximos solamente si no existen o permanecen factores limitantes. Mientras menos factores limitantes existan mayor será el rendimiento del cultivo. Que tan cerca de este punto se puede llegar depende, por supuesto, de factores económicos. Afortunadamente cuando se están manejando factores del tipo Mitscherlich se pueden escoger primero aquellos más económicos.

EJEMPLOS

A continuación se presentan algunos ejemplos de como opera la Ley del Máximo.

- Una aplicación de potasio (K) resultó en un incremento en rendimiento de naranja de 37 kg/árbol. Cuando se aplicó simultáneamente con fósforo (P), el incremento atribuido al K fue de 52 kg/árbol. Cuando se aplicó con P y nitrógeno (N), el incremento atribuido al K fue de 92 kg/árbol (datos de la Universidad de California). En todos los casos se aplicó la misma cantidad de K. El K fue casi dos y medio veces más valioso cuando se aplicó con N y P que cuando se aplicó solo.
- La respuesta de caña de azúcar a la aplicación de K se incrementó progresivamente de 10.9 a 14.1 t/ha cuando un segundo factor limitante fue corregido (el primero fue K), a 16.3 con un tercero, a 24.0 con un cuarto, a 31.4 con un quinto, a 35.0 con un sexto y a 41.5 con un séptimo (datos de la compañía Pakistaní de azúcar). El incremento del rendimiento debido a K fue 3.8 veces mayor a medida que cada factor limitante adicional era corregido.

Una explicación más amplia de como interaccionan las diferentes medidas correctivas en este experimento es posible al analizar la respuesta relativa de cada uno de los 7 factores del sistema. Si se considera la parcela testigo como 1.0 los valores de las medidas correctivas fueron: 1.30 para el tratamiento de la semilla con agua caliente para el control de enfermedades fungosas, 1.15 para fungicidas, 1.50 para manejo de urea, 1.3 para un herbicida, 1.30 para el tratamiento con K, 1.10 para el programa de micronutrientes y 1.20 para la aplicación de otros nutrientes en banda. El rendimiento final fue $1.30 \times 1.15 \times 1.50 \times 1.30 \times 1.30 \times 1.10 \times 1.20 = 5.0$ o un incremento 5 veces mayor. La respuesta fue una multiplicación y no una suma que solamente totaliza 185%. Esto explica efectivamente la Ley del Máximo.

- En otro ejemplo, la aplicación de P incrementó el rendimiento de repollo en 14.0 t/ha y la de K en 17.3 t/ha. Cuando se aplicaron juntos el incremento fue de 40.8 t/ha (datos de la Universidad de Cornell). El resultado es más grande que la suma de sus partes lo cual es una importante característica de la Ley del Máximo. El valor de una medida correctiva se incrementa a medida que se corrigen otros factores limitantes. En este caso, el incremento de rendimiento como respuesta a P solamente fue de

14.0 t/ha pero cuando se utilizó con K el incremento en rendimiento fue de 26.8 t/ha.

Estos ejemplos dan una nueva visión a los Rendimientos Económicos Máximos (REM). El agricultor obtendrá más por cada dólar invertido cuando se corrijan simultáneamente la mayoría de factores limitantes posibles, especialmente aquellos que para corregir son baratos o no tienen costo. Este proceso se denomina manejo de las prácticas adecuadas de cultivo, pero se puede también denominar prácticas de manejo de alta precisión.

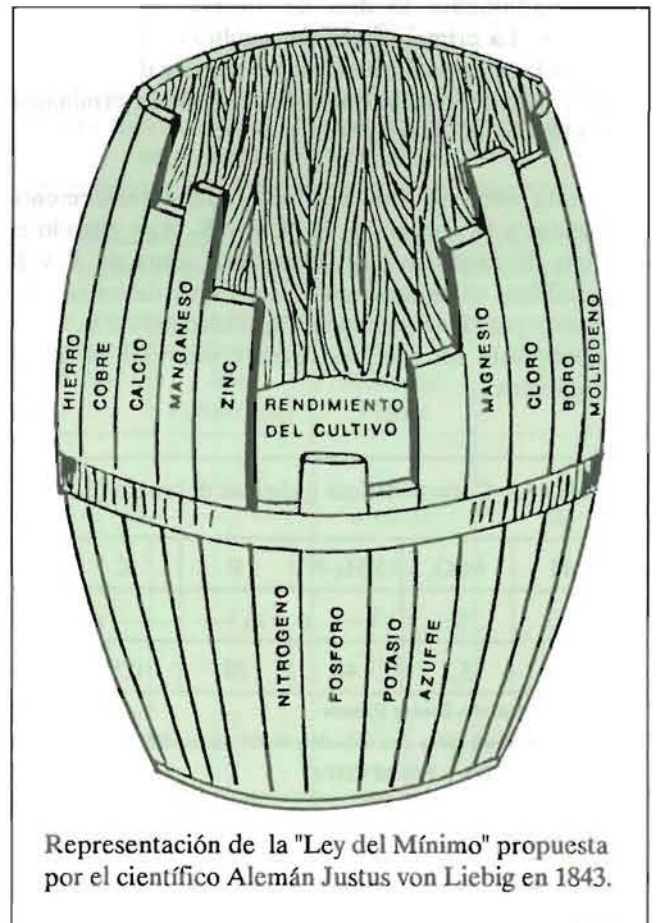
Para mantener un sistema de producción de manejo intensivo es necesario identificar todos los factores limitantes y el grado de limitación de cada uno de ellos. Esto es posible con una combinación de diagnóstico de laboratorio, investigación de campo, integración de datos de investigación disponibles y la experiencia en el manejo del cultivo.

La aritmética utilizada con las variables en el experimento de caña de azúcar indica el grado de posibilidad de respuesta del cultivo (conocido también como fracción de la acción múltiple para rendimiento). Se determinaron los siguientes valores: 0.77 para el tratamiento de semilla, 0.87 para el tratamiento con fungicida, 0.67 para el tratamiento con urea, 0.77 para el efecto de malezas, 0.77 para el tratamiento con K, 0.91 para los micronutrientes y 0.83 para los otros nutrientes. Todos estos valores multiplicados dan un valor final de 0.20 o 20%. El rendimiento de la parcela control fue de 37 t/ha, aproximadamente 20% del rendimiento más alto obtenido que fue de 180 t/ha.

Estos cálculos indican lo importante que son los efectos de las prácticas de manejo de alta precisión y cuán devastadoras pueden ser las pequeñas desviaciones de las necesidades exactas para la producción del cultivo. Por ejemplo, si se considera 100% al rendimiento posible de obtenerse y que todos los factores, excepto 1, son óptimos, el rendimiento final será lo que el factor no controlado represente pudiendo ser 50, 80 o 90%. Dos factores no controlados de 90% de limitación darían 81% del rendimiento posible de obtener ($0.90 \times 0.90 = 0.81$). Con cinco de estos factores el rendimiento sería de 59% y con 10 solamente de 35%. Este es el punto donde el rendimiento se encuentra en muchos lugares del mundo. Por ejemplo en los Estados Unidos el rendimiento máximo de maíz obtenido es de 23 t/ha y el rendimiento promedio nacional es 35% o 8.0 t/ha. El agricultor puede hacer todo a un 90% de perfección y obtener solamente el 35% del rendimiento posible.

Para mejorar esta condición se requiere de diagnósticos de laboratorio precisos, programas de computación para toma de decisiones y consultoría experta. Puede que sea un poco más costoso el llegar al 95% de perfección, pero para 10 factores, el rendimiento pasará de 35% a 60%, lo cual en maíz en los Estados Unidos sería 13.8 t/ha. Algunos agricultores lo logran con el uso de los principios de la Ley del Máximo.

Se enfatiza que para llegar a obtener rendimientos máximos con manejo de alta precisión, se debe evitar los excesos en el uso de insumos. Solamente se utiliza lo que es necesario, de esta forma se evitan problemas ambientales conociéndose también que el exceso de insumos contribuye a la reducción de rendimientos. Es esencial que el agricultor planifique cuidadosamente para lograr precisión en el uso de los insumos y de esta forma obtener rendimientos altos de los cultivos. Los efectos de los insumos y sus interacciones pueden ser matemáticamente programados. Cuán cerca a los rendimientos máximos se puede llegar depende de la habilidad del manejo de la Ley del Máximo, junto con el uso de principios y realidades económicas y ambientales.



Representación de la "Ley del Mínimo" propuesta por el científico Alemán Justus von Liebig en 1843.