INFORMACIONES AGRONOMICAS

INVESTIGACION INPOFOS K P EDUCACION

INSTITUTO DE LA POTASA Y EL FOSFORO
POTASH AND PHOSPHATE INSTITUTE
José Espinosa
Director

Nº 3 • ABRIL 1991

EL ROL DE LA INVESTIGACION DE FERTILIDAD DE SUELOS EN EL DESARROLLO DE SISTEMAS SOSTENIBLES DE PRODUCCION DE ALIMENTOS.

Kenneth G. Cassman[1]

Cuáles son los procesos fundamentales que relacionan al manejo de la fertilidad de suelos con la calidad en los suelos? El entendimiento adecuado de las características de un sistema agrícola sostenible es esencial para satisfacer las necesidades alimentícias globales en las décadas venideras.

La preocupación general sobre los efectos de las actividades humanas en el medio ambiente se está incrementando. Esta preocupación es evidente en encuestas, cobertura de los medios de comunicación y también en las agendas políticas a nivel regional y nacional.

Aun cuando todos los sectores económicos están bajo escrutinio, en agricultura, las preocupaciones por el medio ambiente han generado un llamado para desarrollar sistemas sostenibles que sean menos dependientes de insumos externos como los fertilizantes. El sistema de agricultura dominante en los EEUU sigue una estrategia de manejo que intenta aliviar la deficiencia de nutrientes en los cultivos por medio de la adición de fertilizantes. Por esto, el llamado popular por agricultura sostenible implicaría que sistemas de cultivo basados en esta estrategia de manejo no son sostenibles.

QUE ES UN SISTEMA SOSTENIBLE

En gran parte de las presentaciones sobre agricultura sostenible, los participantes promueven o defienden métodos de agricultura que se definen con respecto a los niveles o fuentes de insumos aplicados. Esto nos lleva a la clasificación de los sistemas de cultivo como "orgánico", "alternativo", "de bajos insumos", o "convencional". Estas definiciones desvían la atención del aspecto más crucial, es decir: como deben funcionar nuestros sistemas de cultivo para que sean viables a largo plazo?. Basandose en un criterio de perfomance, un sistema de agricultura sostenible debería tener las siguientes características:

• Optimiza la producción con respecto a los insumos mientras provee un total retorno en tierra, trabajo, o capital que sea competitivo con otros medios de vida disponibles al agricultor.

• Mantiene o mejora los recursos (suelo y agua) de los cuales depende la agricultura.

• Limita los efectos sobre los recursos de fuera de la finca (agua subterránea, aire, etc.), mantiene en condiciones aceptables de calidad el medio ambiente, y brinda un lugar seguro de trabajo a los que están envueltos en actividades de producción.

1 Profesor asociado del Departamento de Agronomía, Universidad de California/Davis, Davis, CA 95656.

• Contribuye al bienestar social de las comunidades rurales y de la sociedad en conjunto.

El definir sostenibilidad en términos de perfomance evita prejuicios sin fundamento imputados a estratégias de cultivo específicas. En cambio, un sistema es sostenible si cumple con estos criterios en el corto, mediano y largo plazo.

Las características descritas proporcionan también estándares medibles, de modo que los investigadores puedan evaluar el grado con el cual un sistema de cultivo cumple las metas propuestas. Los estándares incluyen medidas de eficiencia biológica que son importantes en nuestro planeta de recursos limitados. Parámetros como el rendimiento calórico (una medida del valor nutricional y contenido de energía) y el rendimiento protéico comparados con insumos como lluvia, irrigación, nutrientes y energía usados en la producción, son parámetros comunes de perfomance que permiten la comparación de diferentes sistemas de cultivo en diversos ambientes. Esta proporción rendimientos / insumos permite un buen análisis económico de costos, beneficios y riesgos.

Una premisa inherente a sostenibilidad, y que define cualquier concepto al respecto, es que los cambios en la calidad del suelo (definidos por cambios medibles en propiedades químicas, físicas, y biológicas) afectan la proporción rendimientos / insumos. Esto significa que mayores insumos como agua, nutrientes, y/o energía serán requeridos para mantener los rendimientos en sistemas de manejo de cultivos que causan declinación en la calidad del suelo. El proceso inverso también es aplicable. Aun cuando este concepto es la parte medular de la discusión de sostenibilidad, la falta de fuerte evidencia experimental que soporte la hipótesis indica la superficialidad de este debate.

UNA PERSPECTIVA GLOBAL DE AGRICULTURA SOSTENIBLE

Otro importante estándar en la perfomance de la finca es la producción total en términos del valor de los alimentos o retorno económico. Esto a menudo no es reconocido en discusiones de sostenibilidad, pero el satisfacer las necesidades de alimentos de una creciente población mundial obliga a que los agricultores incrementen su producción en sistemas sostenibles en proporción comparable al crecimiento poblacional.

A menudo se indica que la producción alimenticia mundial ha sido más que suficiente para satisfacer la demanda alimenticia y el hambre y carestía son el resultado de la inadecuada distribución de alimentos y la falta de poder adquisitivo de aquellos en necesidad. Realmente la década de 1980 fue una época de sobreabastecimiento de muchos productos. Sin embargo, y pensando en el futuro, está el hecho de que si la producción global de alimentos será adecuada si se tiene en cuenta la reducción de la productividad en áreas donde los recursos suelo y agua están siendo agotados. Si nuestras proyecciones resultan insuficientes, ocurrirá hambre sin importar los métodos de distribución de alimentos y el ingreso económico.

Como científico de suelos que ha viajado extensivamente, mis observaciones sobre el panorama de la demanda y producción global de alimentos no es muy optimista. Grandes extensiones de la tierra irrigada más productiva están amenazadas por salinización debido a drenaje inadecuado. Son notables ejemplos el valle de San Joaquín en California, el valle del Nilo en Egipto y grandes áreas en el Asia Central Soviética bordeando el mar Aral. De igual manera sistemas irrigados que dependen de acuíferos geológicos, como el acuífero de Ogallala en los EEUU, tienen una vida limitada de unas cuantas décadas, y el desplazamiento urbano cubre tierras productivas en una proporción alarmante en todo el mundo. De mayor preocupación son los millones de hectáreas en países en vías de desarrollo donde la presión poblacional y los rápidos cambios sociales han forzado a cultivar laderas, donde proporciones desmesuradas de erosión del suelo hacen peligrar la persistencia de estos sistemas de producción de alimentos.

Aún con predicciones optimistas sobre el crecimiento poblacional, los demógrafos predicen una duplicación de la población a más de 10 billones de personas en 45 a 50 años. Para compensar la pérdida de tierras productivas que ocurre actualmente, existe disponible poca tierra potencialmente arable con excepción de las sabanas ácidas e infértiles y los bosques del trópico húmedo. Dadas estas restricciones en el recurso tierra, una visión global de una agricultura sostenible debe acomodar la necesidad de duplicar la producción mundial de alimentos en un período de 50 años. Considerando esto, los sistemas de agricultura sostenible deberán intensificar la producción en la tierra cultivada existente para producir mayor rendimiento por unidad de área.

INVESTIGACION DE FERTILIDAD DE SUELOS PARA UNA AGRICULTURA SOSTENIBLE

La necesidad de duplicar la producción global de alimentos sin un gran incremento en la tierra bajo cultivo presenta un desafío formidable. Para lograr esta meta, la aplicación y la remoción de nutrientes de los suelos de la finca deben incrementarse proporcionalmente debido a que los requerimientos de nutrientes de los cultivos son bastante rígidos. Un incremento al doble de los rendimiento removerá el doble de nutrientes a la cosecha. Los cultivos de cereales probablemente se mantendrán como la base de

la cadena alimenticia humana debido a las ventajas sobre otros cultivos en rendimiento y almacenamiento, y por que se prefieren como cultivos de seguridad alimentaria.

Con limitados recursos de agua y suelo, declinará la importancia relativa del aporte de nitrógeno (N) de leguminosas y materia orgánica. Si esto es cierto una agricultura sostenible dependerá de estratégias de manejo que optimicen la absorción eficiente del fertilizante nitrogenado por el cultivo y minimicen la lixiviación de nitratos a la tabla de aguas.

Está en discusión si las estratégias de manejo que principalmente dependen de fertilizante nitrogenado para aliviar las deficiencias de N en el cultivo nos llevan inherentemente a niveles inaceptables de desplazamiento de nitratos hacia la tabla de aguas. Si bien se presume usualmente que la lixiviación de nitratos es directamente proporcional al nivel de aplicación de N, no está del todo claro que ésto es cierto cuando la aplicación de N esta fraccionada para suplementar mejor la demanda del cultivo y cuando se utilizan tasas, formas y métodos apropiados de aplicación. Para resolver este problema, los investigadores cuando comparan estrategias de uso de N deben considerar no solamente la respuesta en rendimiento a la aplicación de N, sino también la eficiencia de N y las probabilidad de lixiviación de nitratos.

Sin suficientes estudios de campo en los cuales se evaluen estos parámetros de perfomance por varios ciclos de cultivo, la relación de y efecto entre los niveles de aplicación de N y la lixiviación de nitratos permanecerá como problema crucial.

El flujo de otros nutrientes esenciales en los sistemas de cultivo existentes debe también incrementarse. En el caso del fósforo (P) y potasio (K), depósitos de buena calidad de estos nutrientes ocurren en áreas limitadas, y muchos países deben importar estos nutrientes. El mejoramiento de la eficiencia en la utilización de P y K deberán, por esta razón, incrementarse en importancia. Deben recibir mayor atención innovaciones en técnicas de aplicación que permitan la disponibilidad de nutrientes de acuerdo a la distribución de las raíces y la humedad del suelo disponible en diferentes cultivos y estratégias de labranza.

Para todos los nutrientes, el desarrollar una capacidad para identificar su condición en el suelo, en cada sitio en el campo y el aplicar cantidades de nutrientes variables para satisfacer las necesidades específicas de cada sitio pueden incrementar significativamente la eficiencia de la utilización de nutrientes en lugares donde la nivelación de la finca o la topografía hacen que la fertilidad original del suelo sea extremadamente variable.

De todos modos, el mayor reto es entender como el manejo de la fertilidad afecta la calidad del suelo, y el aplicar ese conocimiento para integrar todos los aspectos del manejo del cultivo para optimizar el rendimiento y la eficiente utilización de insumos en el largo plazo. El manejo de la fertilidad del suelo gobierna la nutrición de la planta, lo cual en su turno influye en la suceptibilidad a enfermedades, crecimiento y el rendimiento. El crecimiento del cultivo determina la cantidad de biomasa en las raíces y la cantidad de resíduos del cultivo que son los aportes de materia orgánica que determinan los niveles de carbón orgánico en el suelo. El contenido de materia orgánica en el suelo es un parámetro clave que refleja la calidad del suelo porque influye en todas las propiedades físicas, químicas y biológicas que gobiernan la eficiente utilización de insumos y productividad potencial de un sistema de cultivo. Desafortunadamente nuestro entendimiento básico de estos procesos es muy limitado.

En su excelente publicación, "Soil Under Shifting Cultivation", publicado en 1960, Nye y Greenland concluyeron que: "Existe la impresión general que cultivos contínuos llevan hacia una falta de "substancia" en el suelo. Aun cuando esto es frecuentemente atribuido a una baja en el contenido de materia orgánica, estamos muy lejos de saber si esto es realmente cierto. Tampoco se conoce hasta que punto esta falta de "substancia" implica bajos rendimientos. La pregunta se complica por el hecho de que rendimientos pobres, debido a un bajo contenido de nutrientes por si mismo puede promover una pobre condición física debido a cobertura pobre, y bajo retorno de resíduos de la parte aérea y de la raíz. Por otro lado, los altos rendimientos inducidos por fertilizantes pueden mantener una excelente condición como se observa en los suelos altamente fertilizados donde se cultiva maíz continuamente".

Es claro que la fertilización muy elevada no es probablemente una opción económica, y la pregunta crucial sigue sin respuesta: Cuáles son los procesos fundamentales que relacionan al manejo de la fertilidad del suelo con los cambios en la calidad del suelo? Un claro entendimiento de estos mecanismos es un prerequisito para formular sistemas de agricultura sostenible para suplir la futura demanda alimenticia de una población humana en rápido crecimiento.

EL POTASIO (K): NUTRIENTE ESENCIAL DE LA PLANTA

Para un crecimiento vigoroso y saludable, las plantas deben tomar grandes cantidades de K. este nutriente altamente móvil está envuelto en la mayoría, sinó en todos los procesos biológicos de la planta sin llegar a formar parte de un solo compuesto orgánico. El mecanismo de su contribución en muchos procesos del crecimiento de la planta es todavía obscuro.

FUNCIONES DEL POTASIO EN LAS PLANTAS

Se conoce que el K juega un papel vital en la fotosíntesis, el proceso por el cual la energía del sol en combinación con agua y dióxido de carbono se convierte en azúcares y materia orgánica. Se ha demostrado también que el K juega un papel fundamental en la activación de más de 60 sistemas enzimáticos en las plantas. En contraste con otros elementos que están envueltos en la formación de estructuras de la célula, el K funciona en el jugo celular. Su alta movilidad permite que se traslade rapidamente de célula a célula, o de tejido viejo a tejido nuevo en desarrollo, o a órganos de almacenamiento. El inadecuado K para cubrir las necesidades de todas las partes de la planta disminuye el crecimiento y pone al cultivo en condiciones indeseables como incremento de enfermedades, rompimiento de tallos y susceptibilidad a otras condiciones de estrés.

El nitrógeno (N) es generalmente el nutriente más deficiente pero un elemento no puede substituir a otro. Se ha dicho que el N es el nutriente más importante en incrementar el rendimiento pero el K es el más significativo en estabilizar el rendimiento.

La alta calidad de cultivos de alto rendimiento es la tarjeta de presentación de una adecuada nutrición potásica.

FORMACION DEL RENDIMIENTO Y COMPONENTES DEL RENDIMIENTO

El rendimiento total puede ser influenciado en muchas formas por la nutrición de K. En cultivos de grano se puede mejorar el número de mazorcas llenas por unidad de área, así como el número de granos por mazorca y el peso de cada grano. Estudios con cultivos como maíz han demostrado que un alto nivel de K puede reducir el número de plantas "estériles" por hectárea, especialmente donde se han usado altas poblaciones de plantas en condiciones de deficiencia de K. En cultivos que macollan (como el arroz), condiciones de deficiencia de K resultan en menos macollos productivos y en menos granos por macollo (Tabla 1).

En cultivos de tubérculos como papa o yuca, el tamaño es el componente de rendimiento más significativo aun cuando la forma y la calidad son igualmente importantes.

Tabla 1. Efectos del K en el rendimiento total y los componentes del rendimiento de arroz.

K en la paja a la cosecha	Tratamientos de Fertilizantes* N	K_2O	Rendimiento**	Componentes del Rendimiento Panojas/ Surco	Granos/ Panoja	Peso de 1000 granos
%	kg/ha		t/ha			g
0.54	120	0	3.38	18.5	89	20.2
1.18	120	120	4.83	16.9	107	21.5

* P_2O_5 60 kg/ha

** promedio de 6 variedades

REGULACION DE LA FOTOSINTESIS Y DEL ESTOMA

Se ha indicado que el adecuado K es importante para la fotosíntesis y la activación de enzimas, dos importantes procesos en el desarrollo del cultivo y la determinación del rendimiento. Otra función básica es la de regular la entrada de dióxido de carbono (CO_2) en las plantas a través de los estomas, diminutos poros en el envés de la hoja, cuya función de abrirse y cerrarse es regulada por el suplemento de K. Las células guardianes a cada lado del estoma acumulan grandes cantidades de K si el suplemento es adecuado, forzándolo a que se abra. En plantas bien proveídas de K incrementa el número y tamaño de estomas por unidad de área facilitando de esta manera el intercambio de CO_2 y oxígeno (O_2) del tejido de la hoja.

TRANSPORTE DE LOS PRODUCTOS DE LA FOTOSINTESIS

Otra función básica del K es la de facilitar el rápido flujo de los productos de fotosíntesis dentro de la planta (floema), promoviendo de esta manera el almacenamiento de estos compuestos en órganos como las semillas, tubérculos y frutas. Investigación básica ha demostrado también que la tasa de transporte de agua y nutrientes en el interior de tejidos conductores (xilema) se incrementa con un alto suplemento de K.

EL POTASIO Y LA TOLERANCIA A ESTRES

Los extremos climáticos y las condiciones desfavorables de suelo son dos condiciones importantes que deprimen la producción de cultivos. Aún cuando el mantener un adecuado suplemento de K no puede sobreponer los efectos de estas condiciones, ésto puede disminuir los efectos adversos en el crecimiento del cultivo.

EFICIENCIA DEL USO DEL AGUA

En muchas partes del mundo donde crecen cultivos con poca o ninguna irrigación el estrés de agua es común y ampliamente difundido. Las plantas que tienen alto K requieren menos agua para producir un rendimiento dado o se puede obtener más rendimiento con solamente un pequeño incremento en el suplemento de agua. La respuesta de cultivo a adiciones de K son a menudo más altas cuando el agua es deficiente o excesiva (Tabla 2).

Tabla 2. Interacción entre suplemento de agua y nutrición de K en rendimiento de maíz.

Suplemento de agua de doce semanas		Rendimiento de grano -K	+K	Diferencia
	mm	---------- t/ha	----------	
Deficiente	(202)	5.56	8.10	2.56
Optimo	(448)	9.30	9.80	0.50
Excesivo	(655)	5.71	8.73	3.02

Entre los factores relacionados con el mejoramiento de la eficiencia del uso del agua y la resistencia a la sequía, cuando se adiciona adecuado K, se pueden citar los siguientes:

1. **Incremento de exploración del suelo por la raíz.** En suelos con un buen suplemento de todos los nutrientes, incluyendo K, se promueve el crecimiento y la proliferación de la raíz. En algunos cultivos el K estimula la cantidad y extensión de la ramificación radicular. Una penetración más grande de la raíz generalmente da a las plantas un mejor acceso al agua del suelo.

2. **El incremento de tensión de humedad (humedad del suelo baja) altera los procesos fisiológicos de las raíces.** La elongación, la turgidez y la tasa de regeneración de la raíz se incrementan con suficiente K.

3. **El adecuado K decrece la tasa de transpiración.** Uno de los principales efectos del K es el de regular la apertura y cerrado de los estomas. Si el estoma no se cierra rapidamente la planta pierde innecesariamente agua a través de la transpiración.

4. **El follaje se incrementa y se acelera la cobertura del suelo.** La deficiencia de uno o más nutrientes como el K, detiene la tasa de crecimiento del cultivo. Se pierde humedad por evaporación directamente del suelo antes que a través de la planta.

5. **Se puede disminuir el estrés en épocas críticas de crecimiento.** El K generalmente acelera el desarrollo del cultivo y la madurez. Cuando la lluvia es acentuadamente cíclica, se puede reducir los efectos de la sequía avanzando, por ejemplo, la fecha de polinización donde la mayoría de los cultivos son muy sensitivos al estrés del agua.

DEFICIENTE AEREACION

Las raíces de las plantas requieren de una apropiada relación entre la fase sólida (mineral y orgánica), líquida (agua) y gaseosa (aire) del suelo para obtener óptimo crecimiento. Para la mayoría de las plantas esta relación en términos de volumen es de alrededor de 50:20:30. La compactación del suelo reduce el espacio disponible para el aire y el intercambio de gases en el suelo. La fertilización de K puede sobreponer parcialmente las condiciones adversas de la compactación del suelo (Fig. 1).

De forma similar, el encharcamiento del suelo causado por mal drenaje y/o excesiva precipitación puede reducir la aereación del suelo reduciendo de esta forma la cantidad de oxígeno disponible a las raíces de las plantas.

La absorción de K es un proceso que requiere de la energía proveída por la respiración de la raíz. Si no existe oxígeno, la respiración de la raíz se reduce y de igual manera se reduce la absorción de K. Los datos de un estudio en cítricos ilustran la relación entre el suplemento de oxígeno y la absorción de K de plántulas pequeñas (Fig. 2). Bajo estas condiciones se debe incrementar la concentración de K en la solución del suelo, o en términos prácticos, se debe aplicar más fertilizante potásico cuando hay el riesgo de escasez de oxígeno.

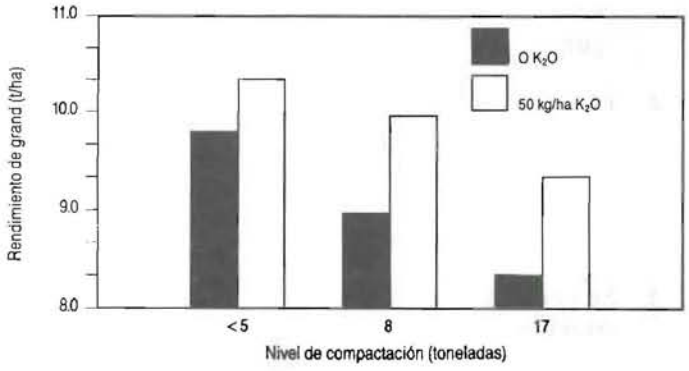


Fig. 1. Interacción de nutrición de K, compactación del suelo y rendimiento de maíz.

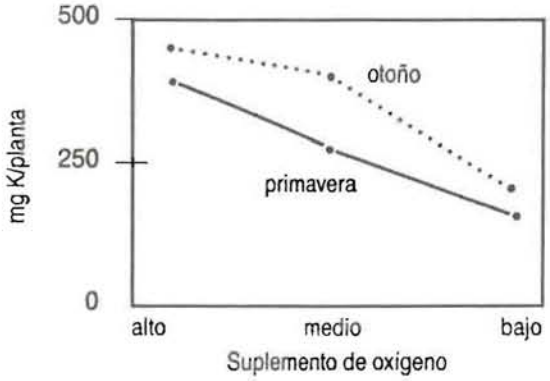


Fig. 2 Absorción de K por cítricos en relación al suplemento de oxígeno en el suelo.

TEMPERATURA

El K puede mejorar la tolerancia de la planta tanto a temperaturas muy altas como muy bajas. La relación entre la nutrición de K y la temperatura se complica por la interacción de factores del suelo y la planta.

Temperaturas altas del suelo a través del año, como en los trópicos, incrementan la tasa de liberación de K de los minerales. Sin embargo, si estas altas temperaturas están acompañadas por abundante precipitación, las pérdidas debidas a erosión, lixivación y la absorción por los cultivos pueden reducir las reservas del suelo mucho más rápidamente que en las zonas temperadas.

La combinación de bajas temperaturas, reducida liberación de K de los minerales del suelo y el corto ciclo de crecimiento ha resultado frecuentemente en altas respuestas a K en climas fríos. El daño de heladas se ha reducido manteniendo un buen nivel de K en los tejidos de cultivos anuales y perennes como pastos, árboles frutales, papas y plantas ornamentales.

La absorción de K se incrementa con el incremento de temperaturas hasta llegar a un máximo. Las temperaturas muy altas pueden causar problemas si la pérdida de energía a través de la respiración se hace excesiva.

Alteraciones en la cantidad de sombra influencian otros factores, como las condiciones de temperatura y humedad, afectando el crecimiento y el rendimiento. Se ha demostrado que los requerimientos de K del cacao se incrementan substancialmente cuando se reduce o elimina la cantidad de sombra.

ESTRES CAUSADO POR EL VIENTO

Aún cuando normalmente no se considera una condición de estrés, los vientos cálidos y secos, o los vientos de alta velocidad pueden incrementar la necesidad de K. La investigación todavía no es concluyente, pero los clones de caucho que son susceptibles al daño por viento son fertilizados generalmente con menos N y más K. Las aplicaciones de K pueden reducir el daño del viento en las hojas de caña de azúcar y el trigo.

Como ya se reportó anteriormente, los vientos cálidos y secos incrementan la transpiración a través de los estomas, necesitando un buen suplemento de K para regular su funcionamiento.

DESORDENES FISIOLOGICOS

En arroz de inundación, un número de desórdenes fisiológicos están relacionados con suelos pobremente aereados. En aquellos suelos, el excesivo hierro ferroso ($Fe2+$) o la presencia de inhibidores de respiración como el sulfuro de hidrógeno pueden inhibir la absorción de K y causar toxicidad de Fe, un desorden común conocido como "Bronceado". La tabla 3 indica los efectos de K en el rendimiento y en la reducción del contenido de Fe de seis variedades de arroz cultivadas en suelos pobremente drenados de Indonesia

Tabla 3. Efecto del K en el rendimiento y contenido de Fe y K en el residuo a la cosecha.

Tratamiento de fertilizantes			Rendimiento*	Residuo a la cosecha	
N	P_2O_5	K_2O		K	Fe
---------- kg/ha ----------			kg/ha	%	ppm
120	60	0	3383	0.54	950
120	60	120	4826	1.18	585

* Promedio de 6 variedades

ENFERMEDADES

El incremento de la resistencia a enfermedades debido al apropiado suplemento de nutrientes, especialmente K, ha sido estudiado ampliamente. Se conoce que el K, más que ningún otro elemento, reduce la susceptibilidad de la planta a enfermedades influenciando los procesos bioquímicos y la estructura de los tejidos. Los efectos del K pueden ser variables debido a la interacción de factores como condiciones ambientales, susceptibilidad de diferentes plantas o variedades a las enfermedades, incidencia de las enfermedades y el nivel de otros nutrientes.

En una reciente revisión de trabajos científicos se reportó que altos niveles de nutrición con K reducen la severidad de: más de 20 enfermedades bacterianas, más de 100 enfermedades fungosas y 10 enfermedades causadas por virus y nemátodos.

La deficiencia de K generalmente resulta en acumulación en las plantas de compuestos solubles de N y azúcares que pasan a ser una adecuada fuente de alimentos para los parásitos. Cuando una buena provisión de K da como resultado tejidos más fuertes y paredes celulares más gruesas que son más resistentes a la penetración de enfermedades, el N tiene el efecto opuesto. Entonces, el balance entre estos dos nutrientes es especialmente importante en mejorar la tolerancia a enfermedades.

INSECTOS

El mismo mecanismo que afecta la tolerancia a enfermedades en las plantas también trabaja con insectos. Investigadores Indúes concluyeron recientemente que el incremento de aplicación de K indujo o mejoró la resistencia a insectos, debido a los siguientes mecanismos:

- Causando la acumulación de fenoles defensivos y de sus derivados que son tóxicos para los insectos.
- Haciendo las plantas menos palatables para los insectos causando de esta manera no preferencia.
- Reforzando regiones celulares definidas que actuan como barrera a la invasión de insectos.
- Incrementando la silificación de cultivos como el arroz, esto puede impedir la infestación por insectos.

Un número de estudios han demostrado que la nutrición alta de K reduce los efectos dañinos del saltamontes pardo del arroz.

CALIDAD DEL CULTIVO

El K es a menudo descrito como "el elemento de la calidad" en la producción de cultivos. La acción benéfica en la calidad del cultivo se demuestra de muchas formas incluyendo la siguientes:

- mejor utilización del N e incremento en la formación de proteínas.
- tamaño de los granos, semillas, frutas y tubérculos.
- forma de las semillas y tubérculos.
- contenido de jugo en las frutas y la caña de azúcar.
- contenido de aceite en semillas y granos.
- contenido de vitamina C en frutas.
- uniformidad y maduración más rápida de frutas, hortalizas y otros cultivos.
- resistencia a lastimaduras y daños físicos en el transporte y almacenamiento (por ejemplo, vida más larga de la cáscara).
- resistencia, longitud, finura y color de la fibra de algodón.

La Tabla 4 demuestra como la fuerte interacción entre N y K incrementa el rendimiento y calidad (buena apariencia en el mercado) de tomates.

Los efectos benéficos del K en la calidad de la fruta de banano son aparentes en la Tabla 5. En adición a estos importantes efectos, el K tiene un papel vital en mantener la calidad y la duración de la cáscara de la fruta.

Los beneficios del K en la calidad de los cultivos son substanciales y no deben ignorarse al valorar los retornos económicos de fertilización con K. El incremento en los porcentajes de fruta de mercado y en los incrementos económicos por mejor calidad aumentan substancialmente las ganancias de la inversión hecha en la fertilización potásica.

Tabla 4. Interacción de la fertilización de K y N en el rendimiento y calidad de tomates

Dosis de K_2O	Dosis de N (kg/ha)		
	132	198	264
kg/ha	Rend. (t/ha) y porcentaje de tomate de mercado ( )		
0	15.6(41)	16.5(56)	20.5(55)
330	38.7(80)	45.8(85)	58.7(85)

Tabla 5. Efecto de K en el rendimiento y calidad del banano.

K_2O Aplicado (g/planta)	Componentes de Rendimiento			
	kg/ racimo	manos/ racimo	frutas/ racimo	longitud de la fruta cm.
0	4.4	7.5	114	18.3
150	6.6	8.1	130	19.0
450	7.2	8.9	140	19.5
600	7.9	9.2	164	20.0

EL FOSFORO

(Segunda Parte)

METODOS DE APLICACION DE LOS FERTILIZANTES FOSFATADOS

No existe un método ideal para aplicar los fertilizantes fosfatados. Son numerosos los factores que deben tomarse en cuenta incluyendo: **nivel de fertilidad del suelo, tipo de cultivo(s) y prácticas de manejo.**

La fijación del P es un factor importante a considerarse cuando se quiere decidir como aplicar el P. Cuando se aplica al voleo y se incorpora con arado o disco se produce un mayor contacto del P con el suelo que cuando se coloca en bandas, de modo que la fijación es mayor. La fuente del fosfato ayuda a determinar el grado de fijación, ya que dichas fuentes varían en cuanto a solubilidad en agua y tamaño de partículas.

> **A medida que aumenta la solubilidad, el potencial de fijación aumenta.**
> **A medida que disminuye el tamaño de las partículas, el potencial de fijación aumenta.**

En general en suelos de baja fertilidad los cultivos responden mejor a la colocación en banda que al voleo. Esto se debe a dos razones: (1) La fijación es mayor cuando el fertilizante es colocado al voleo. (2) La banda coloca cerca de las raíces una fuente accesible de P.

LA MAXIMA DISPONIBILIDAD DE FOSFORO SE ENCUENTRA ENTRE LOS pH 6,0 y 7,0.

La REACCION DEL SUELO (pH) influye enormemente en la solubilidad de los compuestos de P en el suelo. Cuán DISPONIBLE es el fósforo?. Cuán FIJO o LIGADO se vuelve en el suelo?.

En suelos ácidos (pH BAJO), el P reacciona con el hierro, manganeso y aluminio para formar productos insolubles que hacen al P menos disponible.

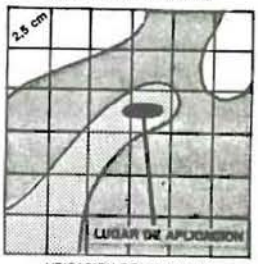
En suelos alcalinos (pH ALTO), el calcio reacciona con el P disminuyendo su disponibilidad a medida que el pH aumenta por encima de 7,0

Las formas más solubles o DISPONIBLES de P se presentan entre los pH 5,5 y 7,0. Esto hace que un buen programa de encalado sea esencial en los suelos muy ácidos.

COLOCACION Y MOVIMIENTO DE NPK

EL NITROGENO se mueve en el suelo en forma bastante libre durante el ciclo de crecimiento. La colocación del N en la zona radicular no es crítica para que éste sea interceptado por las raíces. Tanto la urea como el N amoniacal se convierten en N nítrico rapidamente cuando las condiciones del medio son favorables para el crecimiento de la planta.

NITROGENO
MOVIMIENTO EN EL PERFIL
DE LA CAPA SUPERFICIAL



UBICACION DEL N 17 DIAS
DESPUES DE APLICADO

EL FOSFORO necesita mayor atención en su colocación. Esta ilustración muestra cuán limitado es su movimiento. El fósforo debe ser colocado donde las raíces pueden interceptarlo. La colocación del P en bandas es la forma agronómica más eficiente cuando se trata de suelos de baja fertilidad.

FOSFORO
MOVIMIENTO EN EL PERFIL
DE LA CAPA SUPERFICIAL

UBICACION DEL P 17 DIAS
DESPUES DE APLICADO

La colocación del **POTASIO** es crítica. Al igual que el P, no se mueve rapidamente en el suelo. La aplicación al voleo es por lo general la más eficiente, algunas veces en bueno combinarla con colocación en bandas. Pero en general la colocación tanto del K como del N en bandas no ofrece ventajas.

POTASIO
MOVIMIENTO EN EL PERFIL
DE LA CAPA SUPERFICIAL

UBICACION DEL K 17 DIAS
DESPUES DE APLICADO

CONC. ALTA
CONC. MEDIA
SIN EFECTO

APLICACION DE FOSFORO AL SUELO

Si un agricultor busca obtener retornos máximos de su inversión en P, la mejor opción es colocarlo en bandas. Pero a medida que los niveles de fertilidad aumentan, las ventajas de la colocación en bandas desaparecen. De esta manera la decisión de si ponerlo en bandas o al voleo depende enormemente de la filosofía de manejo del agricultor. Fertiliza el agricultor para obtener un retorno máximo por el dinero invertido en su fertilizante o para obtener ganancias máximas por hectárea de producción?

La aplicación al voleo incorporada con arado tiene varias ventajas:

1. Es posible aplicar dosis altas sin perjuicio para la planta.

2. La distribución en la zona radicular favorece un enraizado más profundo, mientras que la colocación en bandas produce concentración de raíces alrededor de la banda.

3. El enraizamiento más profundo permite un mayor contacto raíz-suelo, proporcionando acceso a una reserva mayor de agua y nutrientes.

4. La aplicación al voleo es la única forma práctica de aplicar P granulado en los pastizales y praderas establecidos.

5. La incorporación del fertilizante aplicado al voleo puede asegurar una nutrición completa para ayudar a sacar el máximo provecho de las condiciones favorables durante todo el ciclo de crecimiento.

Si bien es cierto que la aplicación superficial del P es por lo general la forma menos eficiente de fertilizar cultivos de hilera, la siembra sin labranza constituye una excepción para la mayoría de los casos. Cuando un cultivo como el maíz es sembrado sobre pastos, paja o rastrojos de cultivos, sin labranza previa, la aplicación superficial del P generalmente aumenta los rendimientos tanto como si se incorporara.

Con los residuos superficiales, los niveles de humedad favorecen el enraizamiento superficial. Esto permite a las raíces utilizar el P en o cerca de la superficie. En condiciones de baja fertilidad y clima seco, probablemente el incorporar el P pudiera ser más eficiente. En Nebraska se ha visto que el P en bandas es importante para el maíz sin labranza.

Aun en siembras sin labranza, el arar cada cuatro o cinco años ayuda a distribuir el P (y K) acumulado en la superficie. Muchas veces esto no se puede hacer en pendientes pronunciadas.

Las investigaciones han demostrado que la aplicación "zonal" es efectiva, algunas veces mejor que la banda o aplicaciones al voleo incorporadas con arado. Este método aplica el fertilizante en bandas en superficie, y luego éstas son incorporadas con el arado. La tabla que sigue compara la aplicación zonal, la banda y la aplicación al voleo incorporada con arado.

Efecto de la aplicación de P en los rendimientos del maíz. (Universidad de Purdue, promedio de 5 años, suelo pobre en P)

Método de Aplicación	P_2O_5 aplicado (kg/ha) 34	67	101
		q/ha	
Banda cerca del surco	72.1	72.1	72.1
Voleo/incorporado	74.0	75.9	76.5
Bandas superdiciales angostas, con separación de 75 cm, e incorporadas con arado (zonal)	80.3	82.8	83.4

La colocación del P en chorros con la semilla de cereales pequeños requiere menor cantidad de fertilizante que las aplicaciones al voleo para producir un determinado incremento en los rendimientos. Pero puede consumir un tiempo valioso en períodos críticos de la primavera. La colocación directa detrás del chorro (siembra en bandas) para las forrajeras es mejor que la colocación al voleo. Tanto los tomates como las cebollas han respondido mejor si el P se coloca directamente bajo la semilla o plántula.

Se ha encontrado que la aplicación doble de amoníaco anhidro y polifosfatos de amonio en el momento de la siembra del trigo es superior a las aplicaciones al voleo o aplicaciones en banda de polifosfato de amonio

Algunas veces se combina la aplicación en banda y al voleo para conseguir mejores resultados. Esto asegura un temprano suministro de P para el desarrollo de la plántula y una reserva de nutrientes para el resto del ciclo. El efecto de arranque obtenido con la aplicación en banda - aun en suelos con alto contenido de P -a menudo es importante cuando las temperaturas son bajas. Esta condición es común en los culítivos que se siembran temprano. Las hortalizas - papas por ejemplo - responden al P en bandas, aún en suelos ricos en P.

FUENTES DE FERTILIZANTES FOSFATADOS

El fosfato mineral (Roca Fosfórica) es el material básico en casi toda la produción de fertilizantes fosfatado. Los depósitos de roca más importantes son materiales sedimentarios, que yacían en camas debajo del océano y que luego fueron llevados hacia arriba con la masa terrestre.

Las reservas mundiales conocidas de fosfato mineral son enormes, cerca de 100 mil millones de toneladas.. Cerca de la mitad pueden ser recuperadas en forma económica en las condiciones actuales. Esta cifra representa fosfato suficiente para satisfacer el consumo presente por cientos de años. A medida que la economía cambie es posible que cantidades aún más grandes sean recuperadas.

Los depósitos de fosforita de EE.UU. se encuentran en Florida, Carolina del Norte, Tennessee, Idaho, Montana, Utah y Wyoming. Estos depósitos representan cerca del 30 % de las reservas mundiales. La produción de Florida y Carolina del Norte representan más de tres cuartos del total en EE.UU. y el restante está en los estados del Oeste y de Tennessee.

Practicamente todo el fosfato mineral es obtenido de minas de cielo abierto. Contiene cerca del 15% de P_2O_5 y debe de aumentarse su concentración para su uso como fertilizante. Al elevar la concentración se remueve la mayor parte de la arcilla y otras impurezas. Este proceso se denomina "enriquecimiento", y eleva el contenido de P_2O_5 al 30-35%.

Luego del enriquecimiento, el fosfato mineral es molido finamente. Si bien algunos países utilizan este producto como fertilizante en forma directa, el P se hace disponible en forma muy lenta y rara vez aumenta los rendimientos en los primeros dos o tres años después de su aplicación. La mayoría de las rocas son por lo tanto tratadas para hacer el P más soluble.

Los fertilizantes fosfatados se clasifican en **tratados con ácido o tratados con proceso térmico.** El P tratado con ácido es el más importante. Para la producción de los fertilizantes fosfatados tratados con ácidos, el ácido sulfúrico y fosfórico son los más importantes.

El ácido sulfúrico se produce a partir de azufre elemental o a partir del dióxido de azufre. Más del 60% de este ácido industrial es utilizado en la fabricación de fertilizantes. Al tratar el fosfato mineral con ácido sulfúrico se produce una mezcla de ácido fosfórico y yeso. Por filtración se remueve el yeso y queda lo que se llama ácido fosfórico "verde" o de "proceso húmedo" que contiene cerca del 54% de P_2O_5.

Este ácido puede concentrarse aún más formando ácido superfosfórico. En este proceso se saca agua formándose moléculas con dos o más átomos de P. Estas moléculas se llaman polifosfatos.

Los fertilizantes fosfatados tratados con ácido incluyen los siguientes materiales y procesos:

1. **El superfosfato normal** se hace tratando el fosfato mineral con una cantidad medida de ácido sulfúrico. Contiene alrededor del 20% de P_2O_5.

2.. **Superfosfato concentrado** (superfosfato triple) proviene de la reacción de ácido fosfórico de proceso húmedo con fosfato mineral. Contiene el 46% de P_2O_5.

3. **Los fosfatos de amonio** se producen por amonificación de ácido fosfórico. El fosfato monoamónico (MAP: 11-12% de N y 48-55% de P_2O_5) y el fosfato diamónico (DAP:18-46-0). La obtención de una u otra fuente depende de la cantidad de amonio agregado.

4. **Los polifosfatos de amonio** son los que generan fuentes líquidas de P, producidas por la amonificación del ácido fosfórico. El contenido de P en los polifosfatos fluctúa del 40 al 70%. La concentración de polifosfatos líquidos flucta de 10-34-0 a 11-37-0.

5. **Los nitrofosfatos** se hacen acidulando el fosfato mineral con ácido nítrico. Para que este material sea más soluble en agua también se utiliza cierta cantidad de ácido sulfúrico o fosfórico junto con el ácido nítrico. La mayoría de los nitrofosfatos se usan en los países europeos.

6. **Superfosfatos amonificados** se obtienen haciendo reaccionar ya sea superfosfato triple o normal con amoníaco. Se encuentran disponibles en varias concentraciones y en varias solubilidades en agua. El P soluble en agua de estos fertilizantes está influenciado por la fuente del fosfato, grado de amonificación, contenido de impurezas (otras sales), contenido de humedad, velocidad de secado, etc.

La fabricación del ácido fosfórico por el proceso térmico comienza con la produción de P elemental a través de la redución del fosfato mineral con "coke" en un horno de arco eléctrico. El P elemental es oxidado a P_2O_5, el cual reacciona subecuentemente con agua para formar ácido fosfórico (H_3PO_4).

El ácido fosfórico obtenido por el proceso térmico es mucho más puro que el H_3PO_4 obtenido por proceso húmedo. En la industria de fertilizantes, este material es mucha veces preferido para la producción de fertilizante líquido debido a su pureza. Agronomicamente el ácido fosfórico y sus productos derivados, obtenidos por proceso térmico, son idénticos a aquello obtenido por proceso húmedo.

TERMINOLOGIA DE LOS FERTILIZANTES FOSFATADOS

Debido a que el P soluble en agua se encuentra en una fuente específica, no siempre se sabe cuán diponible se encuentra. Hoy en día, utilizando métodos químicos, se puede estimar rapidamente el contenido total de P de diferentes fuentes, cuanto de este P es soluble en agua y cuanto es disponible.

El contenido de fosfato (soluble) de los fertilizantes se describe como: soluble en agua, soluble en citrato, insoluble en citrato, disponible y total.

1. **Fósforo soluble en agua**, éste puede ser extraído del fertilizante usando sólo agua.

2. **Fósforo soluble al citrato**, puede ser extraído con una solución normal de citrato de amonio neutro una vez que se haya removido el P soluble en agua.

3. **Fósforo insoluble al citrato**, es la porción remanente luego de la extracción tanto por agua como por citrato de amonio.

El **P disponible** es la suma del P soluble en agua y en citrato. El P total es la suma del P disponible más el insoluble en citrato.

ANUNCIOS DE CURSOS Y SIMPOSIOS

1. **Computer Simulation for plant growth and nutrient management.**

Organiza: I.F.D.C.
Lugar: Muscle Shoals, Alabama, USA
Fecha: Mayo 6 - 17 de 1991
Información: Director, Outreach Division
I..F.D.C.
P.O. Box 2040
Muscle Shoals
Alabama 35662
USA
Telf.: 205 391 6600
Fax.: 205 381 7408

2. **Agroeconomic Evaluation for development of fertilizer recommendations.**

Organiza: I.F.D.C.
Lugar: Muscle Shoals, Alabama, USA
Fecha: Julio 8 - 26 de 1991
Información: Director, Outreach Division
I.F.D.C.
P.O. Box 2040
Muscle Shoals
Alabama 35662
USA
Telf.: 205 381 6600
Fax.: 205 381 7408

3. **International Symposium on soil testing and plant analysis in the global community.**

Organiza: Council on Soil testing and plant analysis.
Lugar: Orlando - Florida, USA
Fecha: Agosto 22 - 27 de 1991
Información: Council Headquarters
P.O. Box 2007
Athens, GA 30612-0007
USA
Fax.: 404 546 0425

4. **VI Congreso Colombiano de la Ciencia del Suelo y 3er Panel Latinoamericano sobre suelos derivados de Cenizas Volcánicas.**

Organiza: Sociedad Colombiana de la Ciencia del Suelo
Lugar: Manizales - Colombia
Fecha: Agosto 27 - 31 de 1991
Información: Ing. Francisco Mojica
S.C.C.S.
Carrera 11 Nº. 6634 Ofc. 204
Bogotá - Colombia
Tef.: 211 3383

5. **XI Congreso Venezolano de la Ciencia del Suelo.**

Organizan: Sociedad Venezolana de la Ciencia del Suelo.
Universidad Nacional Experimental "Francisco de Miranda", M.A.R.N.R.
Región Falcón, El Ejecutivo Regional de Desarrollo Agrícola y FONAIAP.
Lugar: Coro. La Vela - Estado Falcón, Venezuela
Fecha: 7 - 11 de Octubre de 1991
Información: Universidad Nacional Experimental " Francisco Miranda"
U.N.E.F.M.
Complejo Docente El Hatillo. Carretera Morón Coro.
La Vela, Estado Falcón.
Venezuela
Telf.: 068 78129 78637
Fax: 068 78140

6. **Fertilizer Strategies for growth in sustainable crop production**

Organiza: I.F.D.C.
Lugar: Muscle Shoals, Alabama, USA
Fecha: Octubre 14 - 18 de 1991
Información: Director Outreach Division
I.F.D.C.
P.O. Box 2040
Muscle Shoals
Alabama 35662
USA
Telf.: 205 381 6600
Fax.: 205 381 7408

PUBLICACIONES DE INPOFOS

Las siguientes publicaciones de INPOFOS se encuentran disponibles sin costo alguno o en ciertos casos con costo nominal.

- **Manual de Fertilidad de Suelos. Publicación didáctica sobre uso y manejo de suelos y fertilizantes.**

- **POTASA: Su Necesidad y Uso en Agricultura Moderna. Esta publicación cubre aspectos como funciones de potasio en las plantas, necesidades y síntomas de deficiencia y el eficiente uso de fertilizantes potásicos.**

- **Fertilización del Banano para Rendimientos Altos. Aspectos como requerimientos nutricionales, cliclaje de nutrientes, análisis foliar y fertilización se discuten en amplitud en esta publicación.**

INVESTIGACION INPOFOS K P EDUCACION

INPOFOS - INSTITUTO DE LA POTASA Y EL FOSFORO
Av. de los Shyris 2260 y el Telégrafo
QUITO - ECUADOR