

UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA

FACULTAD DE RECURSOS NATURALES

Y DEL AMBIENTE

ESCUELA DE SUELOS Y AGUAS

**FERTILIDAD Y FERTILIZACION
DE SUELOS**

F. Salmerón Miranda

L. García Centeno

Managua, Nicaragua

Abril 1994

I N D I C E

	<u>Página</u>
CAPITULO I. ASPECTOS HISTÓRICOS DE LA FERTILIDAD Y FERTILIZACIÓN DE LOS SUELOS	1
1.1 Reseña Histórica	1
1.2 Fabricación de los primeros fertilizantes	3
1.3 La fertilización en Nicaragua	4
1.4 Relación con otras ciencias	5
CAPITULO II. BASES DE LA PRODUCCIÓN VEGETAL	6
2.1 Naturaleza de la Producción Vegetal	6
2.2 Características de la Producción Vegetal	6
2.3 Factores de la Producción Vegetal	7
2.4 Leyes que intervienen en la Fertilización	10
CAPITULO III. FERTILIZACIÓN NITROGENADA	13
3.1 El Nitrógeno en el suelo	13
3.2 Contenidos de Nitrógeno en el suelo	15
3.3 Dinámica del Nitrógeno en el suelo	16
3.4 Contribución de la Materia Orgánica al Nitrógeno del suelo	23
3.5 Rol fisiológico del Nitrógeno en las plantas	23
3.6 Fertilizantes Nitrogenados	26
3.7 Inhibidores de la Nitrificación	32
CAPITULO IV. FERTILIZACIÓN FOSFATADA	33
4.1 El Fósforo en el suelo	33
4.2 Fuentes y contenidos de Fósforo en el suelo	33
4.3 Dinámica del Fósforo en el suelo	35
4.4 Disponibilidad del Fósforo del suelo para las plantas	36
4.5 El Fósforo en las plantas	40
4.6 Fertilizantes fosfatados	42
4.7 Manejo de la fertilización fosfatada	48

CAPITULO V.	FERTILIZACIÓN POTÁSICA	58
5.1	El Potasio en el suelo	58
5.2	Contenidos y formas del Potasio en el suelo	59
5.3	Dinámica del Potasio en el suelo	60
5.4	El Potasio en la planta	64
5.5	Fertilizantes potásicos	66
5.6	Manejo de la Fertilización Potásica	69
CAPITULO VI.	FERTILIZACIÓN CÁLCICA	71
6.1	Fuentes, contenidos, formas y dinámica del Calcio en el suelo	71
6.2	El Calcio en la planta	72
6.3	Fertilizantes Cálcidos	74
CAPITULO VII.	FERTILIZACIÓN MAGNÉSICA	75
7.1	Fuentes, contenidos, formas y dinámica del Magnesio en el suelo	75
7.2	El Magnesio en la planta	76
7.3	Fertilizantes Magnésicos	77
CAPITULO VIII.	FERTILIZACIÓN AZUFRADA	79
8.1	Azufre en el suelo	79
8.2	Azufre en la planta	80
8.3	Fertilizantes azufrados	81
CAPITULO IX.	MICRONUTRIENTES	82
9.1	Introducción	82
9.2	Fuentes y contenidos de micronutrientes en el suelo	83
9.3	Factores que afectan la disponibilidad de micronutrientes en las plantas	84
9.4	Hierro (Fe)	89
9.5	Cobre (Cu)	91
9.6	Manganeso (Mn)	93
9.7	Molibdeno (Mo)	95
9.8	Boro (B)	98
9.9	Zinc (Zn)	99
9.10	Otros Microelementos (Co, Cl, Se y Si)	101

CAPITULO X.	ABONOS ORGÁNICOS	103
10.1	Introducción	103
10.2	Abonos orgánicos de origen animal	103
10.3	Abonos orgánicos de origen vegetal	106
10.4	Compost	107
10.5	Abonos verdes	108
CAPITULO XI.	EVALUACION DE LA FERTILIDAD DE LOS SUELOS	110
11.1	Clasificación de los fertilizantes	110
11.2	Uso y manejo de los fertilizantes	114
11.3	Evaluación de la Fertilidad de los suelos	115
11.4	Formulación de Recomendaciones de Fertilización	120
CAPITULO XII.	FERTILIZACION Y AGRICULTURA SOSTENIBLE	130
12.1	Introducción	130
12.2	La fertilidad y su relación con algunos problemas ambientales	134
	BIBLIOGRAFIA	139

PREFACIO

Estas notas han sido escritas con el fin de que los estudiantes de Agronomía orientados en el uso y manejo de Suelos y Agua, tengan un texto adaptado a su plan de estudio. Este ha sido un compromiso del colectivo de fertilidad de suelos de la Escuela de Suelos para con nuestros estudiantes en aras de la excelencia académica de nuestra alta casa de estudios del agro en Nicaragua.

La presentación de los temas se ha hecho en forma sencilla a través de doce capítulos, cuyo objetivo principal, es el de presentar los principios generales del manejo de la fertilidad y fertilización de los suelos en la agricultura.

Publicar un texto, aún sencillo como éste, es una tarea difícil pues es de esperar, que no se puede contemplar todos los conocimientos sobre los tópicos relacionados con la fertilidad de los suelos, por lo que las sugerencias, aportes y críticas de los lectores nos será de mucha ayuda y estímulo para mejorarlo en el futuro, por lo que de antemano lo agradecemos.

Nuestro reconocimiento, al asesor del Proyecto UNA/LUW/SUELOS Ir. Pedro Manzanares, por sus fundamentales aportes técnicos a este texto, el cual, junto con profesionales jóvenes como el Ing. Félix Vega y los autores, elaboraron los primeros manuscritos de este texto allá por 1988. Así también la valiosa colaboración del Dr. Espinoza del Instituto Internacional de la Potasa y el Fósforo por sus aportes a la actualización de nuestra literatura. Agradecemos también, a todas aquellas personas que de una u otra forma contribuyeron directa o indirectamente en este esfuerzo.

LOS AUTORES

FERTILIDAD Y FERTILIZACION DE SUELOS

CAPITULO I. ASPECTOS HISTORICOS DE LA FERTILIDAD Y LA FERTILIZACION DE SUELOS.

INTRODUCCION:

El estudio de la fertilidad y fertilización de suelos comprende el estudio de cada uno de los elementos (nutrientes) esenciales para que toda planta o cultivo se desarrolle normalmente, estudia también, la dinámica de estos elementos y su papel fisiológico en la planta.

Además comprende el estudio, de los principales nutrientes y su dinámica en el suelo, los aspectos relacionados con la utilización de los fertilizantes, su manipulación y manejo, así mismo, se abordaran aspectos relacionados con la fertilidad natural de los suelos.

La fertilización desde hace mucho tiempo ha venido evolucionando, y hasta nuestros días ha cobrado una gran importancia en las prácticas agrícolas esta evolución está estrechamente ligada con el incremento de los rendimiento en los cultivos.

Antes de entrar en detalles, definiremos algunos conceptos básicos que deben manejarse:

- Fertilidad del Suelo: Es la capacidad que tiene el suelo para suministrar los macro y micro nutrientes necesarios para el normal desarrollo de la planta o un cultivo.
- Productividad del Suelo: Se refiere a la capacidad de un suelo para producir, y que resulta de la interacción de varios factores: Nutrientes, H₂O, y/o factores climáticos, Microfauna y Flora, etc.

1.1 Reseña histórica.

Desde hace mucho tiempo (430. a.n.e) la práctica del uso de abonos orgánicos como medio para enriquecer el suelo ya era realizada. En La Odisea Homero hace referencias a la utilización de estiércol como abono para las viñas del padre de Ulises.

Xenofonte menciona en sus escritos de prácticas agrícolas; el enterrado de plantas verdes como medio de enriquecer el suelo.

Los Romanos influenciados por las obras griegas sobre agricultura, escribieron también algunas obras en las que mencionaban algunas prácticas como:

- 1.- Labranza .
- 2.- Abonos verdes.
- 3.- Rotación de cultivos.
- 4.- Uso de cal.
- 5.- Aplicación de estiércol.
- 6.- Cultivo de legumbre para el mejoramiento del suelo.

Con la invasión del imperio Romano, las ciencias se estancaron y mil años después de la caída del imperio hubo de suponer algún aumento en el uso de abonos como estiércol, cenizas, etc. Pero había que esperar el desarrollo de las ciencias como la biología, química y otras, para que estos usos se tradujeran en adelantos sustanciales para la agricultura.

J. Van Heltmont planteó en una de sus teorías que el agua era el principio que hacía desarrollar el árbol, Sesure (1804) en sus estudios transmitió nuevas ideas y demostró la absorción de oxígeno y la devolución de CO₂ en la respiración de la planta así como el proceso de la fotosíntesis.

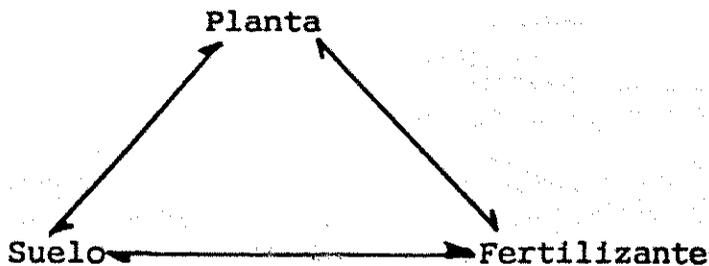
En (1840) Liebig informó que las leguminosas necesitaban poco fertilizante nitrogenado y que las gramíneas lo requerían en grandes cantidades, lo que lo hizo pensar que las plantas obtienen nitrógeno por absorción del amonio del aire.

En (1885) Berthelot demostró que ciertos microorganismos pueden asimilar el nitrógeno del aire.

Al año siguiente Hellria y Wilfrat, presentaron una comunicación en la que demostraban la relación entre los microorganismos y la fijación del nitrógeno atmosférico.

En 1893 el joven científico ruso, Prinischnikov, desarrolló investigaciones profundas con la producción, aplicación y efectos fisiológicos de los distintos abonos nitrogenados, fosfóricos y potásicos sobre los cultivos agrícolas, y estableció el siguiente esquema.

Este esquema fue elaborado bajo el principio de estudiar correlacionadamente la fertilidad en sus tres objetos principales: planta, suelo y fertilizante.



1.2 Fabricación de los primeros fertilizantes.

Durante el siglo XIX, el hueso molido o harina de hueso fué uno de los primeros materiales objeto de comercio a gran escala para su empleo como fertilizante. Sin embargo su uso fué limitado por no haberse logrado establecer, con un mercado estable.

Para 1843 Perú empezó a hacer uso de sus depósitos de Guano y a exportarlo para su uso como fertilizante, pero estos fueron consumidos rápidamente teniendo que disminuir su abastecimiento, por el agotamiento de sus depósitos. Es de señalar que el empleo a gran escala del guano como abono, realizó el gran beneficio de introducir en muchas granjas, la nueva práctica de la fertilización con abonos orgánicos a las plantas cultivadas.

Para 1842 Justus Von Liebig fundó la teoría mineral, estableciendo definitiva y exactamente los principios de la alimentación mineral de las plantas. Liebig planteaba que: todas las plantas se nutren de elementos inorgánicos o minerales, - la planta vive de ácido carbónico, agua, amoníaco, nitrato, ácido fosfórico, silícico, sulfúrico, cal, magnesio, potasio, hierro, y que algunas plantas exigen también sal - y añadía: "determinando las cantidades de cenizas contenida en la planta que han vegetado en los diferentes suelos y analizando sus cenizas, se podrá conocer los elementos que varían y los que existen constantemente en una sola y misma planta". Estos análisis darán la suma de los elementos extraídos de la tierra por las cosechas e indican los que precisan restituirle para su crecimiento y desarrollo.

A.J.V. Lewis se le considera fundador de la industria de los abonos al fabricar en 1843 lo que llamo superfosfato, a partir de ese año el uso de fertilizantes comerciales creció de manera acelerada, considerándose en 1880 una producción anual de 1,500,000 tn y en 1900 hasta 2,000,000 de tn.

Los principales nutrientes que las plantas necesitan proceden del aire y del suelo, si el suelo está abundantemente provisto de elementos nutritimentales, los cultivos probablemente crecerán bien y darán rendimientos elevados, pero si tan solo uno de los nutrientes necesarios escasea el crecimiento vegetativo de la planta y los rendimientos serán limitados.

Si se quiere altos rendimientos, se necesitan fertilizantes que suministren a la planta los nutrientes que faltan. Los fertilizantes pueden con frecuencia duplicar y hasta triplicar los rendimientos de los cultivos.

Hoy día, el uso de los fertilizantes y la amplia quimización de la agricultura, les pertenece el papel decisivo del incremento de los rendimientos de los cultivos, toda la experiencia de la agricultura mundial demuestra de una forma convincente que el rendimiento está muy relacionado con la cantidad de fertilizante aplicado.

Sin embargo esto implica la utilización de una cantidad determinada de fertilizante en el momento oportuno y lugar adecuado, pues también se ha demostrado que demasiado poco origina bajos rendimientos y un exceso conduce a gastos adicionales e incluso a peores rendimientos y mala calidad de la cosecha.

En los países poco desarrollados como Nicaragua, se convierte en una necesidad básica impulsar la producción de los fertilizantes y desarrollar métodos idóneos para su mejor aprovechamiento, según las características propia de los suelos, su fertilidad, el tipo de cultivo y las condiciones ambientales de cada zona en particular.

En Nicaragua ya se han realizado experimentos que tienen como objetivo establecer alguna metodología que tome en consideración, la riqueza en elementos nutrientes medida por zona. Para las zonas tropicales es de especial importancia éstas determinaciones, pues las pérdidas que se suceden de los fertilizantes aplicados, son elevadas, adquiriendo gran relevancia el caso del nitrógeno.

1.3. La fertilización en Nicaragua.

A pesar de que en Nicaragua el estudio sobre fertilizantes y cultivos se inició en la década del 50, éstos se realizaron de manera aislada y de forma desordenada y no fue hasta 1974 en que según la DGIFA (Dirección General de Ingeniería y Fomento Agropecuario), se iniciaron estudios de niveles críticos de NPK pudiendo hasta entonces hablarse de un programa que brindase información sobre la fertilidad de los suelos.

Estos estudios se iniciaron en los cultivos del algodón, caña de azúcar, arroz, sorgo y maíz, sin embargo, estas investigaciones no consideraban las interacciones entre los nutrientes, los niveles de fertilidad del suelo, las condiciones ambientales y los costos de fertilizantes, ya que el enfoque de la investigación estaba orientado a obtener altos rendimientos, simplemente aumentando las dosis de fertilizantes.

Para 1957 se incluyeron otros cultivos: ajonjolí y gramíneas forrajeras. En estos trabajos se buscaba determinar la cantidad mas económica de fertilizante, tomando en cuenta el costo del mismo y el costo de su aplicación y el precio del producto agrícola.

Hasta 1982 la actividad investigativa en el uso de los fertilizantes había sido considerable, este año se funda la DGTA (Dirección General de Tecnología Agropecuaria), organismo que tenía como objetivo, proseguir con los estudios de fertilización.

El uso masivo de los fertilizantes se dió, para responder a las necesidades de los productos exportables (algodón, hule, caña). Esta explosión tecnológica respondió a lo que se llamó la "revolución verde".

Actualmente el Instituto Nicaraguense de Tecnología Agropecuaria (INTA), cuenta con la Dirección de Suelos y Agua, encargada de impulsar la generación y validación de tecnologías en el área de fertilidad de Suelos.

1.4. Relación de la fertilidad de suelos con otras ciencias.

En otros países esta asignatura es conocida con el nombre de Agroquímica o sea la química de los fertilizantes aplicados a los suelos y su relación con las plantas, pero en esta estrecha relación intervienen una serie de factores y procesos que se estudian separadamente.

Dentro de estos factores encontramos los climáticos como la lluvia y la temperatura, los cuales son estudiados por la Ecología y Agroecología, la química orgánica e inorgánica los cuales sirven para determinar los diferentes compuestos químicos del suelo, la fisiología para estudiar el funcionamiento de las plantas en determinada circunstancia así como la función que ejercen los diferentes elementos nutritivos, la Edafología para estudiar el suelo y sus características.

La agroquímica o fertilización de suelos, es la ciencia que estudia las relaciones entre el suelo la planta y los fertilizantes, investiga el ciclo biológico de los elementos nutritivos esenciales en el suelo y la influencia de los fertilizantes sobre los procesos químicos tanto en el suelo como en la planta; mediante los cuales aumenta el rendimiento agrícola y la calidad de las cosechas.

Aunque la práctica de aplicar abonos de origen animal o vegetal data desde hace mucho tiempo, no fue hasta comienzos del siglo XIX en que a medida que los conocimientos de química se desarrollaban se iban aplicando al estudio de la planta, a partir del año 1840 en que el uso de fertilizantes, especialmente industriales, empezó a tener auge.

El aumento vertiginoso de la población exigió y exige la necesidad de lograr un constante aumento de la producción de alimentos para cubrir las exigencias de la población humana. Estos incrementos pueden lograrse con las aplicaciones de fertilizantes, sin embargo estos deben utilizarse adecuadamente no solo por su costo, si no por que tanto una insuficiencia como un exceso puede afectar no solo los rendimientos sino también la calidad del producto cosechado.

CAPITULO II. BASES DE LA PRODUCCION VEGETAL.

2.1. Naturaleza de la producción vegetal

La planta es un producto de su constitución genética y de los factores ambientales. El patrón genético es una cantidad fija para cada planta dada y determina su potencial para un crecimiento máximo en condiciones favorables. Desde el punto de vista de una planta en particular el logro de este máximo desarrollo depende de las condiciones favorables del medio ambiente. En otras palabras el crecimiento es una función de las condiciones ambientales o factores de crecimiento los cuales pueden considerarse variables y cuya magnitud y combinación determinan el crecimiento que se obtenga.

Simbólicamente puede expresarse así:

$C = F(x_2, x_3 \dots \dots \dots x_n)$

C = Algunas medidas del crecimiento de las plantas

$x_1, x_2, x_3, x_n,$ = Diversos factores.

Si todos excepto uno de los factores de crecimiento están presentes adecuadamente, un incremento en el factor limitante puede afectar el crecimiento de la planta y el desarrollo.

La ganancia en la altura de la planta por ejemplo, está estrechamente ligada con la ganancia en peso seco de la planta, estableciéndose de esta forma una relación constante entre la altura y el tiempo.

La naturaleza del crecimiento vegetal está ligado por lo tanto a la constitución genética de la semilla, a la resistencia a enfermedades, a la sequía, encharcamiento, crecimiento rápido, etc.

Todos estos factores relacionados con los aspectos de la aplicación de fertilizantes deben considerarse juntos para lograr un mayor aprovechamiento.

2.2.- Características de la producción vegetal:

- Una de las principales características de la producción vegetal la constituye su Base biológica o sea su carácter como organismo vivo. Sobre ésta base biológica se derivan aspectos como el de auto reproducción o conservación de la especie a través de diferentes formas, (semilla botánica, asexual, esqueje, etc).

- La producción vegetal es un proceso con características muy propias, se manifiesta de una forma cíclica, diferenciándose muy claramente de la producción industrial, y puede ser utilizada para el consumo humano, animal y como materia prima para la industria.

Es fuertemente dependiente de las condiciones climáticas, edáficas y de manejo.

La producción de cosechas como un aspecto relacionado con el crecimiento puede expresarse como: $Prod = F$ (suelo, cultivo, clima, manejo).

Suelo: Este es uno de los factores de vital importancia en la producción, pues el proporciona nutrientes, condiciones texturales, humedad, aireación y condiciones especiales de acidez o alcalinidad, salinidad y en casos extremos toxicidad.

Cultivo: La obtención de un mayor volumen y calidad de la producción depende de aspectos relacionados con el tipo de plantas, la variedad, la precosidad, porte, el # de pta/ha, etc.

Clima: Las precipitaciones (intensidad, cantidad, distribución en le período vegetativo) t.(max., mínima, x), luminosidad, viento.

Manejo: Este es otro de los aspectos importantes, las grandes producciones dependen mucho de este factor, el manejo es un factor que la fuerza del hombre puede modificar y que de acuerdo a esas modificaciones le puede crear mejores condiciones de desarrollo al cultivo, estos aspectos son: Preparación del suelo, control de enfermedades, mala hierbas, labores de cultivo época o tiempo, forma y fraccionamiento de los fertilizantes, etc.

-La Producción final Voluminosa y Perecedera

Estas características conllevan a mejorar la producción con una serie de cuidados en su recolección, transporte, almacenamiento, distribución para obtener el máximo de provecho.

2.3. Factores de la Producción Vegetal.

Nutrientes:

El suministro adecuado de elementos minerales es necesario para la máxima prod. agrícola pero estos elementos por si solos no son una garantía para una abundante cosecha por el posible efecto limitante de otros factores que influyen en el crecimiento de la planta.

Los minerales (nutrientes) son absorbidos por las plantas en su mayor parte de la solución del suelo por las raíces o por otra vía, las aplicaciones por aspersion así lo demuestran.

Los Nutrientes pueden encontrarse en tres formas en el suelo:

- a). En minerales primarios y secundarios. estos no son directamente asimilables hasta que pasan a formas asimilables a través de la intemperización o meteorización.
- b). Como cationes absorbidos a los coloides del suelo (de naturaleza mineral y orgánica). En esta forma los nutrientes pueden ser asimilados cuando estos después del intercambio catiónico han pasado a la solución del suelo.
- c). En la solución del suelo: En este estado los nutrientes pueden ser absorbidos por las plantas y se encuentran en forma iónica o en sustancias de bajo peso molecular.

Agua:

El desarrollo de la planta depende también en proporción de la disponibilidad de H_2O , una restricción del H_2O restringe el desarrollo (ausencia o abundancia).

Funciones de la humedad:

Tiene la función de participar en la elaboración de carbohidratos manteniendo hidratado el protoplasma, es el vehículo de los nutrientes minerales, en ausencia o exceso se afecta la actividad microbiana en el suelo, puede ser factor limitante para la disponibilidad de algunos nutrientes, por efecto de la alta tensión la absorción de N, y K decrece, o por la reducción de otros hasta niveles tóxicos.

El correcto manejo del riego por eso es un factor de gran importancia para la eficacia de los fertilizantes.

Oxígeno:

El oxígeno del suelo guarda una relación con la textura, estructura y la actividad bacteriana, la t° . etc. El contenido de O_2 está influenciado por inundaciones. El arroz soporta inundaciones prolongadas, otros cultivos necesitan poco por necesitar mayor cantidad de O_2 en las raíces, el oxígeno puede también afectar la actividad de los microorganismos (de acuerdo a su habitat, las investigaciones realizadas indican que la falta de O_2 en la zona de las raíces es un factor limitante que reduce la absorción de nutrientes.

Dioxido de Carbono:

El promedio de CO_2 en el suelo varía entre 0-2 - 0.7%, este es producido por la respiración animal y vegetal y la descomposición de materiales orgánicos.

Se conoce la importancia del CO₂ para la fotosíntesis, las investigaciones han demostrado que en un día sin viento y buena iluminación los contenidos de CO₂ en una plantación son bajos y por el contrario con un día de baja luminosidad y fuertes vientos el contenido de CO₂ es alto.

Las altas concentraciones de CO₂ puede provocar trastornos y hasta toxicidad, en las plantas cuando este forma ácidos tóxicos en el suelo (sulfhídrico, metano).

Energía Radiante:

- a.- La energía radiante, su calidad se refiere a la longitud, aunque todo el espectro visible es útil para la fotosíntesis, la mayor eficiencia se obtiene entre los 4,00 y 4,30 A. (violeta) y entre los 600-630 A. (anaranjado).
- b.- En cuanto a la intensidad, se conoce que el crecimiento es mayor a la luz completa del día; las hojas y los tallos pueden presentar mayor desarrollo a baja intensidad, pero tienden a adquirir menor peso total que a alta intensidad, un factor que puede limitar la intensidad es la densidad de siembra.
- c.- En cuanto a la duración llamado fotoperíodo este se relaciona con las exigencias de las plantas que un duración lumínica determinada.
- d.- Las plantas de día corto: Estas florecen en un período igual o inferior a su período crítico (Var. de caña, camote, arroz, etc).
- e.- Las plantas de día largo: Estas florecen en un período de mayor duración que su período crítico, si fuese menor, su reproducción solo será vegetativa (trébol, espinaca, lechuga).
- f.- Plantas intermedias: Estas florecen aunque los días tengan diferencia. Generalmente las plantas presentan buen desarrollo a una intensidad y duración inferior a un día completo.

La Temperatura:

La constitución genética de la planta determina su adaptabilidad al clima, algunos de estos factores climáticos conjuntamente pueden ser perjudiciales, uno de esos factores es la t. y la Int. Lum. los cuales afectan la fotosíntesis hasta tal punto que pueden detenerla (al medio día).

Desde el punto de vista de la agricultura las T° favorables se consideran entre 10-35°C, esto claro, esta íntimamente relacionado con el tipo de cultivo.

La respiración es lenta a bajas temperaturas, pero a temperatura alta decae rápidamente, la temperatura óptima para la respiración es mayor que para la fotosíntesis, pero si la temperatura se mantiene alta por algún tiempo, pueden aparecer signos de deficiencia nutricional ya que la fotosíntesis se ha detenido. La transpiración por otro lado, aumenta a medida que aumenta la temperatura, entonces los gastos de agua por transpiración serán mayores que las cantidades que la planta puede adsorber.

Así mismo la temperatura está estrechamente relacionada con el crecimiento de los vegetales, los microorganismos heterótrofos a altas temperaturas y humedad relativa liberan N y P los cuales pueden ser aprovechados por las plantas.

La Reacción del Suelo:

El pH puede variar con la temperatura, aumenta en verano y disminuye en invierno, las variaciones del pH afectan la disponibilidad de micronutrientes como Mn, Fe, Zn y aumenta la susceptibilidad a enfermedades.

Factores Bióticos:

Entre estos muchos factores se pueden citar algunos que afectan el crecimiento de las plantas y que limitan las labores agrícolas y por ende el rendimiento, un ejemplo es la fertilización abundante, esto favorece el ataque de enfermedades (Altas dosis de N en trigo favorecen al Mildium sp.).

El ataque de algunas enfermedades puede manifestarse como una deficiencia de nutrientes.

Con un control de plagas, enfermedades y malas hierbas se puede asegurar un mejor aprovechamiento de los nutrientes y obtener altos rendimientos.

2.4. Leyes que rigen la Fertilización:

Antes de iniciar el estudio de las leyes de la fertilización es necesario conocer algunas expresiones matemáticas que sirven de base para la comprensión de las referidas leyes.

Expresión Matemática del Crecimiento.

- a). Ecuación exponencial
- b). Ecuación cuadrática
- c). Ecuación logarítmica.

Existen algunas expresiones matemáticas que describen la tendencia de crecimiento de los vegetales cultivados y que, proporcionan una información muy importante para interpretar el efecto de los fertilizantes en el crecimiento vegetativo.

Ecuación Cuadrática: $2x^2 + bx + c$ (Expresión matemática)
 $x = \frac{-b \pm \sqrt{b^2 - 4ac}}{2a}$

Ecuación Exponencial $Y = e^x$

Ecuación Logarítmica $\ln e^x = \ln y = x = \ln y$

Los abonos representan uno de los descubrimientos mas importantes de la química moderna para el incremento de las cosechas, pero si son mal utilizados pueden destruir la fertilidad del suelo y deteriorar la calidad alimenticia de los productos agrícolas pudiendo llegar a ser perjudiciales por lo que se debe conocer cuales son las leyes científicas que deben regir la aplicación juiciosa de los abonos minerales.

Ley del Anticipo:

"Los nutrientes aplicados a un suelo deben incorporarse con tiempo suficiente para que la planta los tenga disponible en el momento que los necesite; un nutriente debe aplicarse en la etapa fisiológica y condiciones climáticas en que mas la aproveche la planta Ej: (presiembr, siembra, crecimiento, etc).

Ley de la Restitución:

Es indispensable para mantener la fertilidad del suelo restituirle no solamente los elementos asimilables sustraídos por las cosechas, los arrastrados por el viento y lixiviados por las lluvias y riego, si no también los que desaparecen como consecuencia de las aplicaciones excesivas de otros Ej: baja disponibilidad de "Mg" por altas aplicaciones de "Ca", "Zn" por "P" y "Cu" por "N".

Ley del Minimo (Liebig)

La insuficiencia de un elemento asimilable en el suelo reduce la eficiencia de los otros elementos y por consiguiente disminuye el crecimiento de las cosechas. Ej: El P puede llegar a ser limitante aun cuando se fertiliza con N y K, si este no esta en las cantidades minimas requeridas por el cultivo.

Ley de los Aumentos Decrecientes (Mitscherlich).

"Cuando se aportan al suelo dosis crecientes de un elemento fertilizante, a aumentos iguales corresponden aumentos cada vez menores de rendimiento a medida que la cosecha se acerca a su máximo". Esta ley complementa la ley del mínimo, pues aunque haya un factor que esté limitante al restituirlo se pueden lograr aumentos en la cosecha pero éstos aumentos llegan hasta un punto en que los aumentos en el rendimiento no son proporcionales a las aplicaciones de fertilizantes.

Ley del máximo:

La cantidad de fertilizante a aplicar se puede aumentar siempre y cuando este aumento signifique un incremento en los rendimientos y que este aumento de rendimiento tenga un valor adicional al del fertilizante aplicado, por ello el máximo rendimiento económico puede no coincidir con el máximo rendimiento fisiológico. Si se hace un aumento de aplicación sin lograr un aumento ni disminución de la cosecha, o en exceso que no hizo efecto se le conoce como consumo de lujo o zona de consumo de lujo. Voison la enuncia así:

El exceso de un elemento asimilable en el suelo reduce la eficacia de los otros elementos y por consiguiente disminuye el rendimiento de la cosecha.

Ley del Equilibrio entre los Nutrientes:

"Todo desequilibrio de los elementos minerales asimilables que existen o aparecen en el suelo ya sea a causa de su origen o como consecuencia de las exportaciones por las cosechas o como respuesta a nuestros aportes de abono o por otra causa cualquiera, debe ser corregido por los aportes necesarios de elementos fertilizantes, de manea que se restablezca el equilibrio óptimo de los elementos del suelo. Ej: La aplicación de formulas completas sobre la base del análisis del suelo (máximo mínimo, restitución).

Ley de la prioridad de la calidad biológica (Voison)

La calidad biológica representa la suma de factores individuales en el producto cosechado estos factores son minerales, vitaminas, proteínas, etc.

Voison plantea que "las aplicaciones de abono deben tener como primera meta la de mejorar la calidad biológica, que tiene prioridad sobre el rendimiento".

Por ello se considera que el equilibrio óptimo del suelo será aquel que produzca el mayor rendimiento con la mayor calidad biológica y comercial.

CAPITULO III. FERTILIZACION NITROGENADA:

3.1. El Nitrógeno en el suelo.

La fuente originaria del N del suelo es el N atmosférico, el cual en forma paulatina pero a lo largo de millones de años se ha venido acumulando después de ser arrastrado y precipitado por las aguas de lluvia y a través del ciclo orgánico.

El contenido de N del suelo varía ampliamente según el contenido de M.O oscilando en términos medios entre 0.02 y 0.4%. El N se encuentra en el suelo bajo diversos estados químicos, éste se encuentra desde N elemental (N_2), pasando por N orgánico (proteína, amino ácidos y enzimas, principalmente); nitrógeno inorgánico (NH_4 , y como óxidos NO_3 , hasta las formas gaseosas (NH_3 , NO, NO_2 y N_2O). En otras palabras el N forma parte fuertemente de la fase sólida, gaseosa y líquida del suelo.

El N es absorbido por las plantas como N inorgánico, NO_3 y NH_4^+ . Esta fracción representa una ínfima parte del N total del suelo (2%) y se encuentra solubilizada en la solución del suelo. Parte del NH_4 (catión) está adsorbida al complejo coloidal, etc. Por otro lado, la fracción orgánica representa la gran parte del N total, cerca del 95% del N total del suelo corresponde a N-orgánico.

Universalmente se reconoce, que la carencia de N de los suelos, tanto en las áreas templadas como tropicales, es el factor que más limita la producción de cosechas, exceptuando la situación de suelos recién incorporados a la producción.

En concordancia con esta constatación la industria de Fertilizantes N se ha desarrollado espectacularmente en las últimas décadas; consecuentemente la producción y el uso de Fertilizantes nitrogenados ha aumentado categóricamente. En la tabla 1, se muestra la producción de Amoníaco a nivel mundial (Según FAO,1989).

Obsérvese que los datos tienen una relación con la crisis energética a la que estan sometidos los países en desarrollo así como el nivel de dependencia en materia de fertilizantes nitrogenados.

Tabla 1. Producción de amoníaco a nivel mundial en el período 1982 - 1986.

Región	1982	1983	1984	1985	1986
	(En miles de toneladas)				
Europa occidental	10943	10974	13181	12410	11091
Europa Oriental	22537	25256	26363	26997	n.d.
América del Norte	13621	12576	14999	14972	13322
América Latina	4017	4306	4590	4702	n.d.
Asia	20592	21708	n.d.	n.d.	n.d.
Africa	1510	1468	2042	n.d.	n.d.
Cercano Oriente	1570	2008	n.d.	n.d.	n.d.
Oceanía	245	428	438	478	413
Total	75035	78724	n.d.	n.d.	n.d.

Un ejemplo del uso de los fertilizantes nitrogenados se muestra en la tabla 2.

Tabla 2. Uso de fertilizantes nitrogenados a escala mundial (x 100 ton) Jonsen y Podumos, 1983.

Continentes	1960/71(A)	1972/73(B)	B/A.
W. Europa	4,142	10,624	2.6
UEI.	769	5,624	7.3
N. y C. América	3,041	8,746	2.9
América del Sur.	222	753	3.4
Asia	2,341	8,548	3.7
Africa	30	200	6.7
Oceanía	34	300	8.8
Total	10,872 X 10 ³	35,829 X 10 ³	3.3

continuación.

Continentes	1981/82(B')	B'/B.
W. Europa	9,800	0.9
UEI.	13,500	2.4
N. y C. América	12,000	1.4
América del Sur	1,200	1.6
Asia	21,000	2.5
Africa	300	1.5
Oceanía	300	1.0
Total	58,100 X 10 ³	1.6

Estas cifras revelan, que el uso de los fertilizantes nitrogenados es muy desuniforme en cuanto a su distribución geográfica, el mundo desarrollado (el Norte), incluyendo Europa, UEI y Norte América "consumen" el 61% del Fertilizante nitrogenado usado en la agricultura mundial, en 1981/82. Esta realidad se refleja también en la dosis por Ha. aplicada en las diversas áreas del mundo. En efecto; Europa Occidental aplica, en promedio, 75 kg/ha, oscilando entre 239 (Holanda) y 36 (Grecia). UEI 38 kg/ha; N y C América 23 kg/ha; América del Sur 3 kg/ha, Asia 20 kg/ha Africa 2 kg/ha y Oceanía 0.5 kg/ha., las cifras se refieren a ciclo 1980/81 y a hectárea de suelo cultivado (Findenegg y Jonssen, 1986).

3.2 Contenidos de Nitrógeno en el suelo.

El Contenido de N del suelo, en un parámetro muy variable, lo que resulta del hecho que su acumulación en el suelo depende de variados factores, tanto externos como internos. Entre los externos: El clima (Precipitación, Temperatura), la vegetación y el manejo del suelo son de particular importancia.

Es probado el efecto del clima, vegetación y manejo del suelo sobre el contenido N del suelo. Desde el punto de vista agronómico se puede conducir el contenido de N del suelo, en suelos y regiones dadas como una función del manejo del suelo, en particular de su fertilidad, pues en general, todas aquellas medidas que impliquen la pérdida de la M.O y/o la degradación del suelo implicaron siempre una pérdida del N del suelo.

Entre los factores internos (edafológicos) que controlan el contenido de N; tenemos en primer lugar la microbiología del suelo, su reacción, su contenido de humedad y la relación C/N del material vegetal que anualmente se incorpora al suelo. Es claro que lo que aquí llamamos factores externos no son independientes en su acción de los referidos como factores internos.

Como resultado de la acción compleja de los factores internos, el N del suelo está sometido a una dinámica muy intensa, la cual tiene como agente principal la microbiología del suelo. De hecho, el N del suelo, las varias formas químicas bajo las que se presenta, se interconvierten a través de procesos de oxidación y reducción enzimática principalmente. Tales conversiones dan origen, por un lado a las formas inorgánicas asimilables de N por las plantas (NO_3^- y NH_4^+), y eventualmente, a importantes pérdidas de N, sea por volatilización, percolación lixiviación, y/o fijación.

La acumulación en el contenido de N del suelo resulta del "juego" o balance de este conjunto de procesos; tal es el llamado ciclo del Nitrógeno en el suelo. El conocimiento de los procesos claves de este circuito es esencial para el agrónomo; para la

comprensión de los procesos involucrados en la acumulación del N en el suelo y la disponibilidad de este nutriente para las plantas, así como para el manejo de los fertilizantes nitrogenados.

3.3. Dinámica del N en el Suelo.

La simple observación del ciclo del N, ya estudiado en asignaturas anteriores, revela que existe, por un lado, un conjunto de procesos; los que implican ganancia del N al suelo, otro conjunto de procesos que no representan una pérdida real o ganancias reales, si no que representan pasos intermedios, temporales en la cadena de procesos, y un tercer grupo de procesos que implican pérdida o "escape" de N desde el suelo.

Procesos de Ganancia de N.

Fijación del N_2

a). Fijación biológica

a₁.- Fijación Simbiótica:

El N_2 es activado por bacterias Rhizobium y Actinomicetos del suelo (heterótrofo con respecto al Carbono y autótrofos respecto del N) en simbiosis con plantas leguminosas. Estos microorganismos viven en colonias (nódulos) en las raíces de las plantas. La planta huésped aporta el sustrato energético, consistente principalmente en sacarosa y se beneficia del N orgánico reducido por el microorganismo.

El carácter único de los microorganismos que pueden activar el N_2 atmosférico, consiste en el hecho de poseer la enzima nitrogenasa. Esta enzima permite el milagro (muy fantástico) de activar uno de los más inertes gases ($N=N$; enlace triple covalente) a temperatura y presión normal en circunstancias que este mismo proceso realizado bajo condiciones industriales, necesita de elevados niveles de energía y presión (200-900°C, 200-800 atm). Así mismo, el proceso de fijación del N_2 es un proceso de reducción en la que se necesita de una fuente de electrones para la reducción del N_2 y una fuente de energía. La fuente de electrones y la transferencia de electrones está asegurada por la enzima; la cual contiene Fe, Molibdeno y azufre. La energía está asegurada por el consumo de ATP (15-30 moléculas ATP por molécula de N_2), se trata de un proceso que se realiza bajo condiciones anaeróbicas, que transforma el N_2 a NH_3 y éste es utilizado en la síntesis de aminoácido, amino y tres moléculas nitrogenadas. Estas sustancias son excretadas al flujo del xilema por medio de hifas, y distribuidas a las partes aéreas, etc.

a₂).- Fijación no Simbiótica:

La fijación del N pueden realizarla también microorganismos de "vida libre", lo cual son muchas veces heterótrofos respecto del C, el que obtienen de los residuos orgánicos del suelo, también la fijación no simbiótica, la pueden realizar microorganismos autótrofos en cuanto al C. (realizan fotosíntesis). Las bacterias pueden ser: Heterotróficas aeróbicas; como Azotobacter, Beijerinckia y Pseudomonas, entre otras.

Las algas verde-azules figuran entre los más activos fijadores en medio aeróbico (arroz inundado) la bacteria Beijerinckia es típica, por su abundancia, de los suelos tropicales (oxisoles y ultisoles).

a₃). Fijación del N₂ por asociaciones de microorganismos.

Se trata de asociaciones de micro organismos que viven en la rhyzosfera (por ejemplo del género Azotobacter). Los que usan como sustrato energético los exudados de las raíces; desde luego que se trata de fijación biológica asimbiótica.

En cuanto a la contribución de la fijación biológica del N₂ y de cada una de las modalidades en particular, se puede decir que ella es muy variable y depende fuertemente de una amplia variedad de factores tanto internos como externos al suelo, ello debido al hecho que se trata de procesos biológicos estrechamente controlados por factores como, el pH, la humedad, la temperatura, disponibilidad de nutrientes específicos, etc. Resulta evidente que la fijación simbiótica siendo más compleja, es también mucho más sensible a una amplia gama de factores. A continuación se presentan algunas contribuciones de N, en ecosistemas.

Tabla 3. Contribución de diferentes fuentes de N en cinco ecosistemas tropicales (kg/ha). Sanchez (1975).

Fuente	Floresta Lluviosa	Savana Gramínea alta	Savana Gramínea baja	Caña de Azúcar	Arroz (Paddy)
Lluvia + Polvo	4-8	4-8	4-8	4-8	4-8
Fijación no Simbiótica	12-71	0-25	0-26	12-81	14-94
Fijación Simbiótica	34-68	0	0-10	0	0
Total	46-139	0-25	0-26	12-81	14-94

La fijación biológica simbiótica tiene relevancia agrícola si se establece la asociación específica entre la variedad y la especie de y además se reúne otros requisitos nutricionales y de manejo de modo de asegurar una adecuada modulación y eficiencia en la fijación; bajo estas condiciones, el N fijado oscila entre algunos décimos hasta algunos centenares de kg N/ha. (57-600 kg N/ha en leguminosas inoculado y 2-300kg N/ha en no leguminosas (Hunter, 1986).

b) Fijación no biológica:

Se refiere a la fijación industrial de N_2 por la fabricación de fertilizantes nitrogenados. El tema se trata con mas detalle en el capítulo destinado al estudio de los fertilizantes en particular, aquí basta con decir que este proceso contribuye al suelo con alrededor de 30×10^6 ton. de N. La tabla No. 1, da también una impresión de la magnitud de esta vía de contribución de N al suelo.

Por otro lado, el N_2 es también activado y transformado a NH_3 y/o óxidos y nitrato, durante los descargues eléctricos. Estos compuestos son incorporados al suelo, vía agua de lluvia. A escala universal, se estima que alrededor de $7.6 \times 10_6$ ton. de N son fijados anualmente. Finalmente el suelo recibe directamente el N que ingresa a la atmósfera y que proviene de la combustión de combustible en las ciudades industriales y escape de compuestos nitrogenados gaseosos provenientes de procesos de fermentación, como en el caso de los bosques y/o de la aplicación de estiércol en los campos. El primer fenómeno, tiene más importancia en los trópicos y el segundo en las área industrializadas (polución y lluvias, ácidos).

Hasta aquí los procesos o etapas del ciclo de N en el suelo que implican ganancia en comparación del N. A continuación se aborda aquellos procesos que representan transformación de N desde el suelo y que eventualmente pueden dar lugar a pérdidas de N del suelo.

Nitrificación:

Desde el punto de vista agronómico, esta es la transformación de mayor importancia del N orgánico en el suelo. Se trata de la oxidación del N orgánico y su posterior transformación a N-Inorgánico (NH_4 y NO_3^-) que constituyen las formas asimilables del N por las plantas.

El proceso mismo envuelve 3 etapas; y es básicamente de naturaleza microbiológica, enzimática: La mineralización del N se inicia con la proteólisis de los compuestos nitrogenados aportados por la M.O. El paso siguiente consiste en la Amonificación, la

cual no es nada más que la transformación del N orgánico (R-NH₂; proteínas, aminoácidos, etc) a NH₃, conforme la reacción siguiente:



Los microorganismos envueltos en estos procesos son heterotróficos respecto del C, los que utilizan la M.O para obtención del C y utilizan la energía desprendida.

La etapa siguiente es la llamada nitrificación, y ocurre en dos etapas, la primera consiste en la oxidación enzimática del NH₃ hasta NO₂⁻ y la segunda de NO₂⁻ a NO₃⁻.



Los organismos participantes en estas 2 últimas reacciones son autotróficos obligados. La conversión de amonio a nitrito es realizada por bacterias del género Nitrosomonas, en tanto que la transformación del NO₂⁻ a NO₃⁻ la realizan bacterias del género Nitrobacter. En ambos casos se trata de microorganismos autotróficos, aeróbicos obligados y se conocen con el nombre de bacterias nitrificantes o nitrobacterias.

Es importante que se entienda el proceso de nitrificación como aquel proceso a través del cual el N del suelo no asimilable pasa a formas asimilables para la planta, debe tenerse también muy presente que siendo un proceso realizado por microorganismos aeróbicos es indispensable la presencia de oxígeno; la eficiencia de la nitrificación también dependerá de factores como el pH del suelo, la temperatura y la humedad. Dado el carácter aeróbico de las bacterias una buena aereación del suelo es indispensable para un trabajo efectivo de los microorganismos y eficiencia de la reacción.

El proceso de nitrificación es particularmente sensible al pH del suelo, la T y la aireación. Los 2 primeros aspectos se ilustran en la tabla 4.

Por otro lado, el proceso de nitrificación debe entenderse como una serie de reacciones mutuamente condicionadas: El rango y la velocidad de la reacción total depende de la eficiencia con que

se produzca el substrato sobre el que se inicia la reacción (en la M.O: R-NH₂), la disponibilidad de NH₃, etc.

Durante el proceso de nitrificación, un producto intermedio producido es el nitrito, el cual es tóxico para las plantas, así que no debe acumularse en el suelo y debe ser rápidamente oxidado a NO₃⁻.

Tabla 4. Rango de Nitrificación del NH₄⁺ en relación al pH del suelo (20 mg de NH₄ agregados al suelo). Según Mengel, 1987.

Días de Incubación o de formación/100g. de suelo Incubación	Mg producidos de NO ₃ ⁻	
	pH 4.4	pH 6.0
14	1.78	8.8
21	2.30	12.0
35	4.72	21.4

Por último, se debe subrayar que la nitrificación es un proceso acidificante. Esto es, como consecuencia de la oxidación del NH₃, se libera H⁺ y consecuentemente el suelo se vuelve ácido. Este fenómeno está reflejado también en la ecuación general de la nitrificación, ya descrita.

La acidificación del suelo como resultado de la nitrificación tiene considerable importancia cuando se trata de evaluar el uso de fertilizantes amoniacales, aspecto que se retomará en el capítulo destinado al estudio de los fertilizantes.

Como resultado de la nitrificación se tienen las formas inorgánicas asimilables por las plantas. NH₄ y NO₃. Cuál es el destino de estas especies?. En que medida se acumulan o sufren otros procesos?.

Lo primero que se debe establecer a este respecto es que ambos iones son absorbidos por las plantas. Sin embargo en NHO₃⁻ lo es normalmente en mayor escala y por la mayoría de las plantas, el NH₄ lo es menor cantidad y solo algunas plantas lo prefieren definitivamente, como el arroz por ejemplo, el porqué?, de este fenómeno no se conoce a "ciencia cierta", se estima que la absorción del NH₄ y el NO₃ están condicionada por el nivel de carbohidratos de la planta, el pH del suelo, la T y probablemente fenómenos de competencia con otros cationes por lo sitios de

absorción en las membranas que están envueltos en la absorción del NH_4^+ por las plantas.

Algunos estudios tienden a mostrar que a T de 18°C el NH_4 es absorbido preferentemente respecto del NO_3^- , y por el contrario a T aproximado a los 30°C el NO_3^- tiene "la preferencia". También se ha demostrado que a valores de pH ácido (pH=4) el NO_3^- es absorbido muy fácilmente (casi 100% más que el NH_4^+) en cuanto que a pH 6.8 ambas especies son absorbidas en cantidades comparables, etc.

Procesos de pérdida de N.

El NH_4^+ , siendo un catión será adsorbido al complejo de intercambio del suelo, estableciéndose un equilibrio con el NH_4^+ solubilizado en la solución del suelo; se habla de NH_4^+ de cambio o cambiante. Una u otra fracción del NH_4^+ dado el tamaño de este ión, puede ingresar a los espacios interlaminares de los minerales del tipo 2:1 (illita, vermiculita, principalmente), integrándose a la estructura mineral y siendo fuerte e irreversiblemente retenido; se habla ahora de la fijación del NH_4^+ .

Otra fracción del NH_4^+ puede ser reducida a NH_3 , especialmente bajo condiciones de alcalinidad, y escapar del suelo; tal es la volatilización (no biológica) del NH_4^+



Tanto la fijación como la volatilización del NH_4^+ son procesos que implican pérdidas netas de N del suelo y deben ser tomadas muy en cuenta cuando se trata de aplicar fertilizantes nitrogenados amoniacales; el agrónomo envuelto en el manejo de la fertilidad debe proponer a reducir estas pérdidas al mínimo y aun a evitarlas completamente. Para ilustrar basta citar aquí que las pérdidas por volatilización del N causado por la reacción alcalina del suelo pueden alcanzar hasta cerca de 40% del N aplicado como fertilizante amoniacal (Fassbender, 1987).

El NO_3^- como anión, no está o lo está en escasa medida, sometido a adsorción por parte del complejo de intercambio. Además este ión presenta una marcada movilidad en suelo con el agua que fluye, y por tanto está expuesto a lixiviación hacia las capas más profundas del suelo hasta alcanzar el agua del manto freático y continuar hacia las aguas abiertas (ríos, lagos y océanos). Existe también la posibilidad de que parte del NO_3^- de las capas profundas ingrese a la zona de las raíces con el agua (de ascenso) capilar. Consecuentemente el contenido de NO_3^- del suelo muestra una fuerte variabilidad estacional y por ende en su distribución en el perfil del suelo, en dependencia de la época en que se muestree.

El conocimiento de estas variaciones estacionales del N- NO_3^- del suelo son también agrónomicamente importante, por cuanto

permiten ajustar la fecha de aplicación del fertilizante en función del patrón de lluvias, predominante.

Obviamente que la magnitud de las pérdidas, o variación, del contenido de NO_3^- por lixiviación, dependen de las condiciones físicas del suelo (textura), y del tipo de cobertura (el cultivo) entre otros factores.

La inmovilización, es otro de los fenómenos que puede sufrir el NO_3^- en el suelo. Este consiste en la asimilación del NO_3^- por parte de los microorganismos del suelo. Si bien no se trata de una pérdida neta de N, ya que volverá al suelo al morir los microorganismos, puede bien representar carencias de N-NO_3^- , asimilable, durante el ciclo vegetativo. El fenómeno se presenta en términos agudos cuando la relación C/N del suelo se eleva a valores demasiado altos ($\text{C/N} > 11$), lo que acontece cuando se incorporan al suelo material vegetal con una relación C/N elevada ($\text{C/N} > 20$). En este caso se provoca una "explosión" en la multiplicación y desarrollo de la micro flora: Los nuevos protoplasmas son "construidos" a expensas, del NO_3^- del suelo provocando una caída (temporal) del nitrógeno disponible para los cultivos. La incorporación al suelo de restos vegetales, leñosos, "viejos", pueden tener consecuencias muy negativas respecto de la nutrición nitrogenada, por tanto debe evitarse.

La Desnitrificación:

En uno de los procesos más importantes del ciclo del N en el suelo. Se trata de un proceso que define considerable pérdidas netas de N, y que consiste en una reducción desasimilatoria de naturaleza biológica, a través de la cual el NO_3^- se retro-convierte en N_2 el cual "escapa" del aire por volatilización.

Los microorganismos causantes de la desnitrificación son aeróbicos heterotróficos (*Pseudomonas*, *Xantomonas* y *Bacterium*) o autotróficos (*Micrococcus*, *Thyobacilles*, etc). Estos son, a la vez, aeróbicos facultativos; pues realizan respiración anaeróbica usando como aceptor de electrones la molécula de NO_3^- reduciéndola sistemáticamente hasta N_2 ($\text{NO}_3^- \text{ --- } \text{NO}_2^- \text{ --- } \text{NO} \text{ --- } \text{N}_2\text{O} \text{ --- } \text{N}$).

Se reporta que la desnitrificación es favorecida por las T° altas el pH alcalino del suelo y el exceso de humedad del suelo (anaerobiosis) y se informa que las pérdidas del N - NH_4^+ , NO_3^- - N_2 puede alcanzar hasta 50% de las dosis aplicadas.

Este proceso de pérdida ha sido de gran preocupación, tal que la industria de fertilizantes ha lanzado a los mercados sustancias "Frenadoras" de la nitrificación de los fertilizantes amoniacales. Se trata de sustancias que inhiben o bloquean temporalmente la oxidación del NH_4^+ hacia NO_2^- , de este modo el suministro de NO_3^- para la planta se procesó gradualmente a lo largo de la etapa vegetativa del cultivo, etc.

El tipo de suelo tiene también una clara influencia sobre las pérdidas por desnitrificación, en la tabla 5, se presenta un ejemplo de estas pérdidas.

Tabla 5. Pérdidas de N por desnitrificación en varios tipos de suelos, bajo pradera permanente (Mengel, 1987).

SUELO	PERDIDAS DE N EN % DE LO APLICADO
Arena	11-25
Arcilla	16-31
Turba	19-40

3.4- Materia Orgánica: Su contribución al N del suelo

Anualmente el suelo recibe M.O, en término de follajes, restos de cosechas y residuos animales. Este material contiene carbono orgánico en proporciones variables, según la variedad, restos del vegetal u organismo que se trate y su estado de madurez. El N contenido en las plantas superiores esta presente como proteínas polipeptidos ácidos nucleicos, y amino ácidos. El ataque de la mesofauna y microflora del suelo libera este nitrógeno el cual será mineralizado parcialmente como se trato anteriormente.

La dinámica del N en el suelo está estrechamente ligada y condicionada a la dinámica de la M.O y del carbono del suelo, en particular. La relación C/N del material orgánico incorporado al suelo y la relación C/N de la M.O del suelo controlan en cada momento la intensidad de mineralización de la M.O y el "destino" del C y del N del suelo. Aparte de estos factores específicos, la incorporación anual de N a los suelos dependerá de las condiciones ecológicas generales, en términos de productividad.

3.5. Rol Fisiológico del N en las plantas.

En N es constituyente básico de importantes moléculas orgánicas, claves para el crecimiento y el desarrollo de los vegetales, a saber: Proteínas, aminoácidos, ácidos nucleicos, clorofila, aminos y fitohormonas.

El N juega un rol clave en la etapa de crecimiento vegetativo, floración y formación de los frutos y semillas. Durante la fase vegetativa la actividad central consiste en la formación de más tejido, lo que a su vez implica síntesis de proteína y de

carbohidratos, ambos progresan gradualmente hasta el final de la etapa vegetativa. Una nutrición nitrogenada deficiente durante esta etapa, acorta la vida de la planta, causa madurez precoz, con bajas sensibles de los rendimientos económicos.

Tanto el crecimiento y desarrollo vegetativo como los rendimientos, resultan del equilibrio entre la actividad fotosintética (producción de asimilatos) y la nutrición de N (síntesis de proteínas, etc).

Como ilustración, la tabla 6, revela la influencia del N sobre la calidad del heno.

Tabla 6. Efecto de suministro de N sobre el rendimiento y constituyentes orgánicos en plantas de (Lolium Perenne) Mengel, 1987.

	Suministro de N (g N/vaso)	
	0.5	2.0
Rendimiento (g m.s./vaso)	14.9	26.0
Proteína cruda (% de la m.s)	12.3	26.4
Sacarosa (% de la m.s)	7.7	6.3
Polifruktuosa (% de la m.s)	10.0	1.0
Almidón (% de la m.s)	6.1	1.4
Celulosa	14.4	17.6

El rol del N sobre los rendimientos varía con los cultivos, incluso con la variedad y aun con el cultivar, de acuerdo al potencial genético de estos.

En los cereales su influencia la ejerce favoreciendo el ahijamiento, el número de granos por espiga y el elevado (peso y tamaño) de los granos. Todo estos componentes del rendimiento, dependen de la nutrición nitrogenada durante la etapa de desarrollo vegetativo e inmediatamente antes de la floración.

Un exceso de N exagera el desarrollo vegetativo (hojas y cañas) y retraso la maduración.

En los cultivos de tubérculos el N controla la formación de tubérculos vía fitohormonas (ABA y GA). Un exceso de N en estos, provoca el rebrote de los tubérculos; cesa el crecimiento de los mismos y predomina el crecimiento de los brotes y follaje, en desmedro de la acumulación de carbohidratos en la raíz. Una carencia causa la formación de tubérculo en "cadenas" y en la formación de "hijos".

Síntomas de deficiencia de N.

La sintomatología de la carencia en N es muy variada, según el cultivo, el estado de desarrollo y los órganos observados. Lo típico es la clorosis, aparecimiento de color amarillo en las hojas viejas y caída de estas, y en general detención del crecimiento (ver texto adecuado). Los síntomas de deficiencia de K, Ca y S son similares a los de deficiencia de N, pero la clorosis es más marcada en las hojas nuevas y no en las viejas, como lo es en el caso de deficiencia de K, Ca y S.

Remoción del N por los cultivos.

El nitrógeno extraído por los cultivos en su gran parte no "vuelve" al suelo, excepto aquellas fracciones representadas por los restos de plantas y estiércol de los animales. El N absorbido por los cultivos constituye la fuente de proteína animal, vegetal de la que se nutre el hombre.

La magnitud de la remoción de N varía ampliamente, con los cultivos (las variedades y cultivos) y los rendimientos, bajo determinadas condiciones ecológicas y socio-económicas. Debe tenerse presente que el rendimiento económico (que se refiere a los órganos aprovechables) difieren un tanto del rendimiento biológico, de modo que la remoción suele ser algo mayor que aquella estimada mediante la producción de gramos o tubérculos.

En primer lugar la magnitud de la cosecha determina la magnitud de la remoción. En segundo lugar, los cereales, los cultivos de raíces, son cultivos "extractores" o exigentes en N; sin embargo los más exigentes son los pastos gramíneas. Entre los cultivos industriales el tabaco aparece como muy exigente. Los cultivos permanente (plantaciones) no son exigentes en N. (banano, coco, cacao, caucho, etc): Los leguminosos son moderadamente exigente en N.

Respuesta de las Plantas al Nitrógeno.

Dada las funciones fisiológicas del N y su rol sobre el crecimiento vegetativo, formación de frutos y tubérculos, la respuestas de las plantas al N, especialmente aquellas muy exigentes, responde claramente al N, conforme la típica curva de rendimientos decrecientes.

La respuesta de las plantas al N muestra una estrecha y primitiva interacción con otros macronutrientes como el P y K lo que se explica, otra vez, por el rol del N sobre el desarrollo vegetativo y la síntesis de carbohidratos y proteínas.

El aprovechamiento del N por las plantas y la respuesta de ésta al N, esta también asociada a la disponibilidad de agua y otros factores ecológicos como la radiación, por lo tanto el rendimiento del N aplicado es bajo y depende del clima y oscila entre 30-50%.

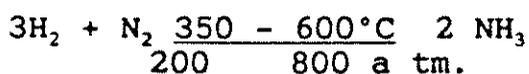
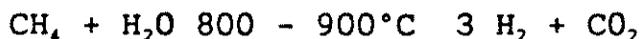
La población es otro factor que condiciona la respuesta en términos de rendimiento y la efectividad del N.

3.6 Fertilizantes Nitrogenados (F.N)

La mayor parte de los F.N actualmente usados son de origen industrial (sintéticos). El único F.N. natural es el salitre (NaNO_3). La mayoría de los F.N son inorgánicos; esto es, aportan N-inorgánico (NO_3^- y/o NH_4^+). El único F.N orgánico esta representado por la línea $[\text{CO}(\text{NH}_2)_2]$ y sus derivados.

- Proceso industrial de los F.N.(Reducción del N_2 .)

La obtención industrial de los F.N se consigue a través del método de Heber Bosh. Este consiste en la reducción del N_2 (bajo condiciones de T, P y presencia de catalizadores) hasta NH_3 . La fuente de H es petroleo, Coke (carbón de piedra) o gas natural (metano). El proceso puede ser representado por la reacción siguiente (usando CH_4 como combustible).



Esta es una reacción de baja eficiencia (30-50%); 1 ton de NH_3 implica el consumo 800 mt^3 de gas.

Este es el primer paso; obtención del amonio. Se trata de procesos endotérmicos, los que demandan el uso de combustible energético. Estos son aspectos que relacionan el precio de los fertilizantes a los precios de los combustibles (crisis energética crisis alimento), un segundo paso consiste en la oxidación del NH_3 hasta la obtención de HN_3 , el que es usado en la obtención del F.N nítricos.

Por otro lado el NH_3 puede ser directamente utilizado en la preparación de F.N amoniacaes y Urea.

Propiedades Químicas y Físicas de los Fertilizantes Nitrogenados

- Fertilizantes Nitrogenados Amoniacaes.

Sulfato de Amonio: (S.A).

Su composición química corresponde a la fórmula $(\text{NH}_4)_2 \text{SO}_4$ y su contenido de N es 20,5%, se trata de un material granular (gramo pequeño) fácil de distribuir en la sementera, no hygroscopico ni explosivo. Además de N el S.A contiene 24% de S y eventualmente CaCO_3 ; en caso que el NH_3 haya sido oxidado con CaSO_4 , como acontece con el S.A fabricado en el "3er. mundo", el cual es aun uno de los fertilizantes más usados en las áreas tropicales, sin embargo este ha sido completamente desplazado en los países desarrollados, por el NH_4NO_3 .

Amoníaco Anhidro (Líquido):

Este material contiene un 82%; es decir un alto contenido de N, lo que representa evidentes ventajas económicas. Sin embargo su uso tambien impone exigencias tecnológicas y económicas muy severas, lo que lo hace prohibitivo para los países en desarrollo, a escala amplia.

Concretamente, la licuefacción del NH_3 se logra bajo alta presión. Por tanto su almacenamiento, transporta e inyección al suelo demanda equipos muy especializados. Además, para evitar pérdidas de NH_3 (por expansión y volatilización) el líquido debe inyectarse a profundidad, lo que además de requerir equipo muy especializado causa daños a las plantas en caso de tratarse de praderas. Todo este equipo es muy pesado, lo que atenta contra las condiciones físicas altamente productivas en países desarrollados.

Amonio Líquido ($\text{NH}_4 \text{OH}$).

Se trata de una solución de NH_3 en agua, la cual contiene entre 20-25% de N. Esta alternativa evita el uso de tanques a

presión. Sin embargo no evita el uso de camiones cisternas o tanques para trasladar el producto, ni evita la inyección de la solución en el suelo.

Además de los F.N amoniacaes nombrados, ex en los fosfatos de amonio. Estos serán abordados al estudiar el fósforo (P); próximo tema de nuestro estudio.

Cloruro de Amonio ($\text{NH}_4 \text{Cl}$).

El cloruro amónico contiene aproximadamente un 26% N. Es un producto de uso limitado por su alta acidez equivalente, y la posibilidad que tiene de provocar toxicidad por Cl. Sin embargo en arroz inundado se le ha considerado como alternativa para suplir al $(\text{NH}_4)_2 \text{SO}_4$, por los efectos de este ultimo sobre el Fe y el Mn al precipitarlos cuando el sulfato es reducido a sulfhidrico (SH_2).

Comportamiento de los F.N- Amoniacaes en el Suelo:

Desde el punto de vista agronómico interesa conocer la acción de los fertilizantes en el suelo, y aun, sobre la fisiología de la planta.

Primero debe reconocerse que el NH_4 bajo condiciones de alcalinidad es reducido a NH_3 , el que se volatilizará pesando a la atmósfera, por lo tanto el uso de estos fertilizantes debe evitarse en suelos alcalinos. Tampoco debe mezclarse con fertilizantes que contengan carbonatos de Ca o Ca simplemente.

Estos fertilizantes presentan un claro y a veces un muy fuerte poder acidificante sobre el suelo. Tal poder tiene 4 fuentes importantes.

1). Nitrificación:



- 2). Acción fisiológica acidificante (dependiente de la medida en que la planta toma directamente el NH_4), al provocar la liberación de H^+ .
- 3.- Favorece la pérdida de bases (Hidrógeno y aluminio, en los suelos tropicales).
- 4.- Formación de H_2SO_4 a partir de SO_4 . (por acción de los microorganismos quimiotrofos).

El uso de F.N amoniacaes implica aplicaciones de correctivos de la acidez periódicamente. El equivalente base del $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ alcanza cerca de -60.

Equivalente base: Cantidad de CaO necesaria para neutralizar el efecto acidificante de 100 kg de un fertilizante (-x) o que el efecto alcalinizante de 100 kg de fertilizante equivale a (+ x)kg CaO. (acidez o basicidad equivalente).

El NH_3 líquido inyectado al suelo tiene también efectos sobre el pH del suelo. En primer lugar se opera una fuente alta en valor de pH, ya que el amoniaco en contacto con la humedad del suelo produce hidroxido de amonio como se indica en la reaccion siguiente:



El ultimo efecto de la aplicacion de amoniaco es la disminucion del pH, aunque su efecto inicial sea el de elevarlo. Debe recordarse, que la nitrificacion del aminiaco produce al final acidez (H^+). La extension de esta reduccion dependera de la capacidad tampon del suelo, su pH inicial y la cantidad de producto aplicado.

El aminiaco por si mismo es toxico para los organismos vivientes (animales y plantas). En el primer caso debe esperarse una reduccion en la nitrificacion pues reduce inicialmente, el numero de microorganismos en el suelo, y en el caso de las plantas, la aplicacion demasiado proxima a las semillas o zona radical de plantas en crecimiento, puede de hecho dañar las plantas. Las aplicaciones muy cercanas deben entonces evitarse o hacerlas antes de la plantacion.

F.N Nítricos:

El salitre cálcico o nitrato cálcico ($\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$) es el principal representante de este tipo de fertilizantes. Se obtiene a través del tratamiento de CaCO_3 con HNO_3 , su contenido de N alcanza 15.5% como N- NO_3 y 1% como N- NH_4 . Equivalente de basicidad oscila entre + 16 y + 12. Con otras palabras este fertilizante tiene un efecto alcalinizante, el que deriva de la inducción de un efecto fisiológico alcalinizante; de parte de los cultivos. Es el fertilizante adecuado para suelos ácidos. Tiene además un buen efecto sobre la estructura, debido a la presencia de Ca. Es particularmente adecuado para praderas (ganado). Debe aplicarse en condiciones de no excesiva humedad, dada la movilidad del NO_3^- y Ca. (lixiviación).

F.N. Nítrico Amoniacales:

Se caracterizan por poseer el N tanto en forma de NO_3^- como NH_4^+ . Este hecho permite asegurar un adecuado suministro de N para los cultivos tanto a corto como a mediano y largo plazo (a "lo largo" de la estación de crecimiento). Su contenido en N es relativamente alto (33-34% N).

Se trata de un material con características físicas no deseables; altamente hidrocópico, combustible y explosivo; tal que su almacenamiento y manipulación exigen cuidados especiales.

Tiene un claro carácter y acción acidificante. Este resulta, fundamentalmente de la nitrificación del NH_4^+ . A largo plazo es aun mas acidificante: Se le conoce como adubo de "acción retardada" (en general a los nitro-amoniacales).

Nitrato de Amonio Cálcico:

Se trata de una mezcla de $\text{NH}_4 \text{NO}_3$ (26% N) y CaCO_3 (25%). Consiste de una mezcla íntima, la cual no es hidrocópica, ni combustible ni explosiva. Debido a la presencia de CaCO_3 sus efecto acidificante es modesto (equivalente de acidez = - 710, aproximadamente. Se le reconocen efectos positivos sobre la estructura del suelo.

Un nitrato de amonio particular resulta de la mezcla de NH_4NO_3 cálcico con dalonita ($\text{Ca Mg} (\text{CO}_3)_2$) (MAGNESAMON). Reune las propiedades antes indicadas para $\text{NH}_4 \text{NO}_3$ y $\text{NH}_4 \text{NO}_3 \cdot \text{Ca}$, mejoradas. La acidez equivalente es muy baja, aun pudiendo desarrollar alcalinidad bajo condiciones particulares (praderas). Las cantidades nutritivas de este fertilizante son muy adecuados, dada la presencia de Ca y Mg además de N- NH_4 y N- NO_3^- . Adecuado para praderas y suelos lavados (texturas ligeras).

Fosfato de Amonio:

Se trata de una mezcla de que contiene $\text{NH}_4 \text{NO}_3$, $\text{NH}_4 \text{H}_2\text{PO}_4$ y Ca HPO_4 . Sus contenidos de nutrientes son de 20% N y 20% P_2O_5 . Por lo tanto, este es un fertilizante binario (contiene 2 nutrientes principales; N y P), eete tiene un efecto acidificante en el suelo, acidez equivalente cercana a -15.

En general, el fosfato de amonio y los fertilizantes terciaros (contienen N P y K) contiene N bajo las formas NO_3^- y NH_4^+ , tal que la razón $\text{NH}_4^+ / \text{NO}_3^- = 1$.

F.N. orgánicos:

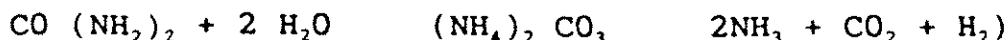
El unico representante es la Urea. Esta es un producto sintético orgánico cuya concentración de N asciende a 46% (CO

(NH₂)₂), es además un producto purificado de componentes tóxicos.

Consiste de un material cristalino, fino, de color blanco, relativamente higroscópico. Dado su elevado contenido de N y propiedades físicas es el F.N más usado en los trópicos.

Dinámica de la Urea en el Suelo:

El primer proceso que sufre la urea en el suelo es su hidrólisis con formación de NH₃ y una clara acción alcalinizante, debido a la formación de NH₃.



El amoníaco formado puede escapar (volatilizarse) o puede ser rápidamente nitrificado, pues las bacterias nitrificadoras han sido "estimuladas" por el aumento del pH.



A largo plazo la urea tiene un efecto acidificante aunque no tan fuerte como el del NH₄SO₄, por efecto del sulfato. La acidez equivalente de la urea alcanza alrededor de -42; el efecto alcalinizante, que es local y temporal es suficiente para causar importantes pérdidas de N como NH₃, la magnitud de este proceso es controlado por la temperatura y por el grado de humedad del suelo, pues la hidrólisis es activada por enzimas.

Las pérdidas de N con el uso de la urea son considerables, siendo favorecidas por; la alcalinidad, bajo CIC de los suelos y las altas temperaturas.

Al aplicar la urea a profundidad, en época fría, y con abundante humedad no solo contribuye a evitar las pérdidas de NH₃. Las aplicaciones directas sobre el suelo implican grandes pérdidas de N, por el contrario la aplicación de soluciones de urea al follaje se ha mostrado como una práctica que permite un buen aprovechamiento del N y rápida respuesta de los cultivos, especialmente en cultivos de frutales.

Otros Tipos de Urea:

UREAN. Por ejemplo, en una mezcla líquida de urea y NH₄NO₃, conteniendo el N bajo 3 formas 1/2 como NH₂, 1/4 como NO₃ y 1/4 como NH₄, con un contenido de 30% N. Es un producto de Solubilidad media y moderada acidez equivalente.

Urea Protegida con S. o Gold-N (nitrógeno ORO). Este producto es simple urea conteniendo 36%, N y su particularidad es que los granulos están sellados y recubiertos con una película de cero conteniendo S. El objetivo es lograr una solubilización gradual del N y por otro lado reducir o frenar la nitrificación de modo que se consiga un efecto a largo plazo en la disponibilidad de N para la planta.

Urea Forma Aldehído:

Este producto contiene 37-40% N y consiste en un material condensado de urea y formaldehído, también de acción lenta.

3.7 Inhibidores de la Nitrificación:

En la agricultura se ha venido utilizando algunos productos cuyo objetivo ha sido el de retardar la nitrificación, con los efectos positivos de esta acción.

Algunos materiales ciertamente son tóxicos para las bacterias nitrificantes y pueden ser dañinos cuando se añaden al suelo y producir el efecto de inhibir temporalmente la nitrificación. Un trabajo realizado en Carolina del Norte ha probado que ciertos compuestos aplicados a Nematodos, provocaron una reducción en la nitrificación del fertilizante amónico aplicado. Estos estudios sin embargo no eran concernientes a la nitrificación.

En el mercado se encuentra en cantidades limitadas de un compuesto llamado 2-cloro-6(triclorometil) piridina, ofrecido específicamente para la inhibición de la nitrificación y la liberación diferida del nitrógeno del NO_3 . Las dosis oscilan entre 0.05 ppm hasta 20 ppm para un efecto de seis semanas de retraso de la nitrificación. Concentraciones mayores tienen efectos negativos.

El uso de Inhibidores, es una aproximación al problema de reducir las pérdidas de nitrato y aumentar la eficiencia de los fertilizantes nitrogenados, pues su uso dependerá de su costo y su capacidad de aumentar los rendimientos en los cultivos. Sus ventajas no han sido ampliamente demostradas en los cultivos, pero en cultivos de alto valor económico ha tenido cierto éxito.

CAPITULO IV. FERTILIZACION FOSFATADA.

4.1- El P en el Suelo.

Una parte considerable del P del suelo corresponde a P orgánico (20-8% del total) y consiste en fosfolípidos, ácidos nucleicos y fitinas, principalmente. Alrededor de 50% del P orgánico no ha sido aún identificado.

En general, el contenido de P total del suelo está correlacionado con su grado de evolución y contenido de M.O.

El P del suelo se puede separar en dos categorías generales: P-inorgánico y P-orgánico. La primera categoría comprende apatitas, fosfatos cálcicos, fosfatos de Fe y fosfatos de Al. Las dos primeras sub-fracciones se presentan como minerales primarios en cuanto que las dos últimas ocurren como minerales secundarios.

4.2. Fuentes y contenido de P en el Suelo

La fuente original de P en el suelo corresponde a los materiales parentales; las rocas ígneas contienen 0.1-0.3% de P mientras que las rocas sedimentarias son muy pobres en P (0.03-0.08%). El P se presenta en las rocas constituyendo minerales llamados apatitas, los que son segregados en el curso de la pedogénesis (intemperización química).

El contenido de P de los suelos es generalmente bajo (0.02 - 0.15%) y varía ampliamente. Los suelos tropicales más evolucionados (Oxisoles y Ultisoles) son particularmente pobres en P; su contenido oscila alrededor de 0.2%.

En la Tabla No.7 se presentan las principales formas de P mineral del suelo.

Tabla No. 7. Compuestos mas comunes de P en el suelo (Navarro y Navarro, 1984).

FOSFATO	CONTENIDO Ca.	FOSFATOS DE Fe y de Al
Fluorapatita	$3 (PO_4)Ca_3 Ca F$	Variscita: $PO_4Al \cdot 2H_2O$
Carbonato apatita	$3 (PO_4)Ca \cdot CO_3Ca$	Strenguita: $PO_4Fe \cdot 2H_2O$
Hidroxiapatita	$3 (PO_4)_2 Ca (OH)_2$	Vivianita: $PO_4)_2 Fe_3 \cdot 8H_2O$
Oxi-apatita	$(3PO_4)_2 Ca \cdot 3-CaO$	Dufrenita: $PO_4)_2 (OH)_3$
Fosfato tricalc.	$Ca_3(PO_4)_2$	Wavellita: $(PO_4)_2 Al \cdot 3OH_3 \cdot 5HO$
Fosfato dicálcico	$Ca HPO_4 \cdot 2H_2O$	Tarakanita: $(PO_4)8H_6 Al5K_3 \cdot 18H_2O$

Los fosfatos de Ca, particularmente las apatitas, son las formas predominantes en los suelos y son también las más importantes ya que dada su solubilidad constituyen la "reserva" potencial de P para las plantas. Por el contrario, los fosfatos de Fe y Al presentan una solubilidad muy baja o son insolubles, simplemente.

Una fracción del P total del suelo se presenta solubilizada. Esta fracción es ínfima y varía entre 0.01-3 ppm (valores promedios). Esta fracción consiste de especies iónicas del ácido (débil) H_3PO_4 ($H_2PO_4^-$, HPO_4^{2-} , PO_4^{3-}).

El P solubilizado reviste la máxima importancia desde el punto de vista de la nutrición de las plantas; pues, éstas absorben el P principalmente como ión monofosfato ($H_2PO_4^-$) y escasamente como difosfato (HPO_4^{2-}). De este modo el P solubilizado representa la "fuente directa" de P para los cultivos. Consecuentemente, el fosfato solubilizado se encuentra sometido a una dinámica muy intensa; por un lado es removido por las plantas, al tiempo que por el otro es restituido a la solución del suelo. Esto último implica que existe una relación de equilibrio químico entre el fosfato solubilizado y el inorgánico en general o una fracción dada de éste. Asunto que se aborda en el acápite siguiente.

Los conceptos hasta aquí discutidos aparecen ilustrados en la Tabla No.8 donde se muestra la distribución de las diversas formas de p. en suelos con diferentes grados de evolución.

Tabla No. 8. Distribución de la fracción de P en el suelo (camada superficial) según el grado de evolución del suelo, en ppm y %. Sánchez (1976).

SUELOS	pH	P total	P-Or- gánico	%	Fosfat. Ca	Fosfat. Fe+Al	P- inor- gánico
Mollisols	6.9 *	692	235	34	33	76	66
Entisols	5.9	983	38	35	20	53	73
Alfisols	2.0	777	89	59	14	33	41
Oxisols	4.8	59	11	19	2	19	81

Estos resultados muestran que el contenido total de P, el P orgánico y los fosfatos de Ca disminuyen sensiblemente con la "edad" del suelo; predominando en los suelos evolucionados los fosfatos de Fe y de Al, con respecto al fosfato de Ca. Una interpretación similar puede hacerse respecto del pH del suelo.

4.3.- Dinámica del P en el Suelo.

La dinámica del P en el suelo es muy intensa y se procesa en dos sentidos generales: Procesos que tienden a incrementar el fosfato solubilizado, y procesos que tienden a disminuirlo. La disponibilidad de fosfato para la planta, a corto y mediano plazo, resulta de la interacción de éstas dos tendencias.

Entre los procesos que contribuyen con fosfato a la solución, tenemos la intemperización química de los minerales primarios, la mineralización de la materia orgánica y la fertilización.

La intemperización es un proceso en escala geológica, la mineralización de la materia orgánica es de naturaleza biológica. Se conoce que la existencia de la enzima fosfatasa es clave para el proceso de mineralización del P, y que los microorganismos capaces de mineralizar el P-orgánico son también capaces de sintetizar dicha enzima.

La fertilización representa una fuente importante de fosfato en los suelos cultivados. El material fertilizante consiste de fosfato cálcico, el que al solubilizarse produce el ácido ortofosfórico (H_3PO_4) el que a su vez, disociado en grados diversos, pasa a constituir el P en la solución del suelo, desde donde es, parcialmente, absorbido por las raíces de las plantas, etc.

El Fosfato Solubilizado por su parte, sigue caminos diversos: Absorción, inmovilización y lixiviación. En el caso de la absorción, una gran parte del fosfato removido por las plantas no "regresa" al suelo. El fosfato inmovilizado representa una remoción solo temporal del fosfato de la solución del suelo. La lixiviación, por su parte, es cuantitativamente insignificante, más si se le compara con el mismo proceso en el caso del NO_3 ,, menos aún en suelos típicamente tropicales.

Entre los procesos que tienden a indisponibilizar el fosfato para las plantas figuran la adsorción, la precipitación y la oclusión del fosfato.

Precipitación : Refiere un fenómeno netamente químico, a través del cual el ión fosfato reacciona con otros iones como los de Fe, Al y Ca, formando compuestos cuyo grado de complejidad y cristalinidad son ampliamente variables y de muy baja solubilidad o simplemente insolubles. La precipitación está estrechamente correlacionada con la reacción del suelo, ésta estimula la precipitación del fosfato como fosfato de Fe y Al o Ca.

La precipitación implica "retirar" el fosfato desde la solución del suelo, disminuyendo el fosfato disponible para las plantas. Esta idea se expresa bajo los conceptos generales de

"fijación del P " o "retención del P", que frecuentemente aparecen en la literatura sobre este tema. La "fijación" del P es un fenómeno bastante común, y por tanto intensivamente estudiado, en los suelos de origen volcánico (Andosoles).

Oclusión: : Se trata de reacciones de sustitución: El OH^- estructural de los hidróxidos de Fe, Al y Mn es sustituido por el ión fosfato, el que es integrado a la estructura del mineral. Este fosfato no es aprovechado por las plantas; su contribución al fosfato solubilizado se debe entender en términos de intemperización a escala geológica.

Adsorción: Se refiere a la adsorción del fosfato a la superficie de los componentes del complejo de intercambio del suelo (arcilla humus y "óxidos") en virtud de carga electrostática y/o adsorción específica. El fosfato absorbido está en equilibrio químico con el fosfato solubilizado, conforme las leyes del intercambio iónico. Este fenómeno se considera más importante en los suelos tropicales más evolucionados, cuya mineralogía y reacción favorece el desarrollo de cargas positiva, etc.*

El fosfato adsorbido tiene la mayor importancia en cuanto a la nutrición de la planta; pues, es esta fracción del fosfato del suelo la que repone o restituye "en lo inmediato" el fosfato removido por las raíces desde la solución del suelo.

La desorción es un proceso muy activo, ya que la planta, o mejor dicho los cultivos, pueden agotar centenas de veces el fosfato solubilizado, durante solo un año. En este sentido el fosfato adsorbido representa un cierto poder buffer del suelo frente a la adsorción. El fosfato absorbido es cien a mil veces mayor que el fosfato solubilizado.

Resulta claro que los distintos procesos que conforman el ciclo del P en el suelo, representado en la Fig. 1, no ocurre aisladamente ni son unidireccionales. Este último aspecto se quiere expresar al usar flechas dobles en el esquema; el tamaño de estas quiere reflejar la importancia o magnitud del fenómeno en cuestión.

4.4. Disponibilidad del Fósforo del Suelo para las Plantas.

Los conceptos hasta aquí discutidos y aún con la simple observación del esquema del ciclo del P (ya estudiado en Química de Suelos), permiten verificar que la mayor parte del P del suelo no se encuentra bajo formas directamente aprovechables por las plantas.

Desde el punto de vista de la nutrición de la planta se acostumbra separar el P del suelo en tres fracciones, a saber:

Fosfato solubilizado, fosfato lábil y fosfato no lábil. Estas fracciones suelen ser referidas en la literatura sobre el tema como factor intensidad (I), factor capacidad (q) factor cantidad (Q), respectivamente.

El factor Intensidad corresponde directamente a la concentración de fosfato en la solución del suelo en un momento dado; es la fracción de fosfato directamente disponible para los cultivos. Por otro lado el factor I refleja la magnitud del factor Capacidad.

El fosfato lábil o factor Capacidad se refiere a la fracción del fosfato del suelo que contribuye a restituir el fosfato removido de la solución del suelo (por las plantas, por precipitación, etc). Se refiere entonces al fosfato fácilmente solubilizable y comprende principalmente el fosfato adsorbido y parte del fosfato precipitado, particularmente el fosfato de Al.

El Fosfato no lábil del suelo comprende la mayor parte del P-total y no es aprovechable. Está representado por los fosfatos contenidos en los minerales primarios, fosfato ocluido y fosfatos cálcicos insolubles como el difosfato de Ca secundario. En la Fig. 1., se presenta esquemáticamente las relaciones entre las diversas fracciones de fosfato y la planta.

P en solución (I) \leftarrow ===== \rightarrow P LABIL (q) \leftarrow ----- \rightarrow P NO LABIL (Q)

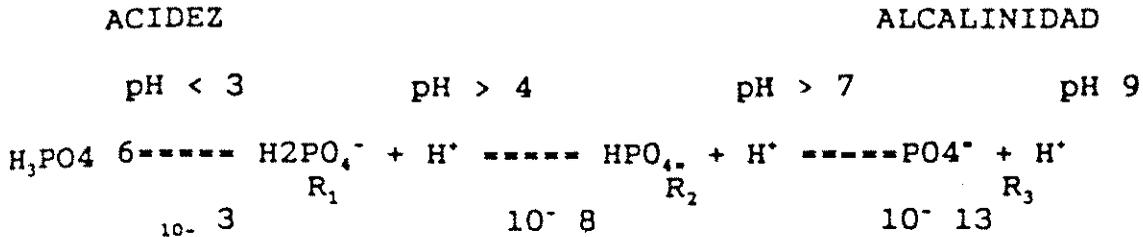
Fig. 1. Modelo de las relaciones entre las fracciones del P en el suelo respecto de la nutrición de la planta. Mengel y Kirkby (1987).

Se podría postular que la disponibilidad de fosfato para los cultivos tiene dos componentes: Una cuantitativa y otra cualitativa. Esta última se refiere a las especies iónicas (del H_3PO_4) bajo las cuales se presenta en un momento dado el fosfato solubilizado. Mientras que la primera se refiere a la grandeza del fosfato lábil; a este respecto, surgen las interrogantes siguientes:

- Qué factores controlan el grado de ionización del H_3PO_4 ?
- Qué factores controlan el proceso de adsorción del fosfato?
- Cuales factores controlan la precipitación?
- En qué medida los fosfatos precipitados pueden solubilizarse?.

En el contexto de esta asignatura de carácter general, la respuesta a estas interrogantes sería que estos fenómenos están controlados principalmente por la reacción del suelo, directa o indirectamente.

La Reacción del Suelo y la Disociación del H_3PO_4 . El H_3PO_4 es un ácido débil por tanto su grado de disociación es función del valor del pH del suelo. Bajo condiciones de acidez su ionización será parcial, en cuanto que bajo condiciones de alcalinidad su grado de ionización será mas alto; o sea que en el primer caso el ácido no se disociará o predominará la especie iónica menos ionizada como es el $H_2PO_4^-$ y en la segunda situación el ácido aparecerá completamente ionizado, predominando entonces la especie PO_4^{3-} como se ilustra en el esquema siguiente.



Se verifica que bajo condiciones de extrema acidez y alcalinidad el fosfato solubilizado está bajo formas no asimilables por las plantas. Las formas asimilables existen en la solución del suelo solo dentro de un limitado rango de valores de pH (6.5 - 7.0).

Si se tiene presente que la especie más asimilable por la planta es el monofosfato ($H_2PO_4^-$), se podría inferir a partir del esquema que la máxima disponibilidad de fosfato asimilable ocurre a pH que oscilan entre 4 y 5, ello se puede verificar mejor aún en la fig. 2. Esta conclusión es correcta desde un punto de vista estrictamente químico y válida talvez para experimentos "artificiales" los que no incluyen la complejidad natural del suelo.

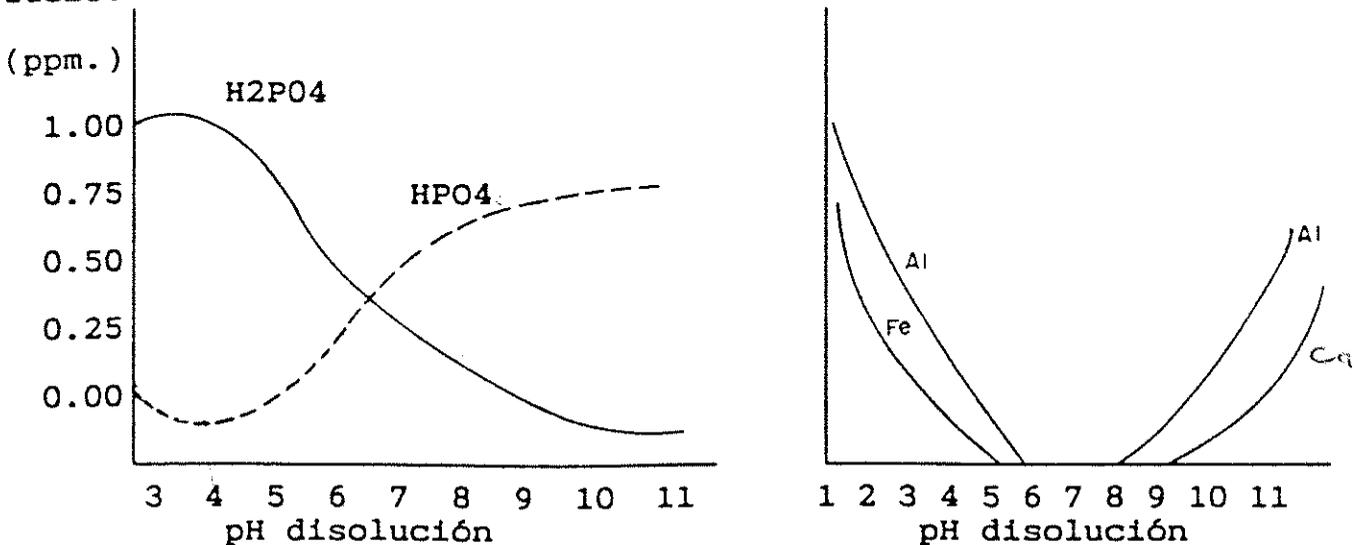
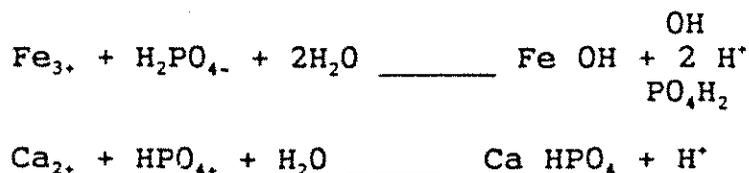


Fig. 2. Concentración relativa de $H_2PO_4^-$ y HPO_4^{2-} en una solución de 1 ppm, en función del pH. Navarro y Navarro (1984).

Reacción del Suelo y Precipitación del Fosfato: La solubilidad de las formas del Fe y del Al es también función de la reacción del suelo; aumentan al aumentar la acidez del suelo, tal como se puede constatar en la fig 3., por tanto, la precipitación del fosfato solubilizado como fosfatos de Fe y Al (poco o no solubles) incrementa con la acidez. De ello resulta que la máxima disponibilidad de fosfato para las plantas no se logra a valores de pH (4-5) a los cuales se logra la máxima concentración del ión monofosfato. En la práctica se ha verificado que la máxima disponibilidad de fosfato para los cultivos se logra a valores de pH (H₂O) que oscilan entre 6 y 6.5.

Reacción del suelo y fosfato lábil: Lo expresado en el párrafo precedente pareciera indicar que tanto la acidez como la alcalinidad extremas incrementarían la fracción de fosfato no lábil del suelo, ya que en el primer caso se forman fosfatos hidroxilados de Fe y Al que son insolubles y en el segundo el fosfato precipita como difosfato de Ca, el que también es insoluble. Las reacciones se ilustran a continuación.



Sin embargo a rangos de acidez fuerte a débil el fosfato sufre diversas reacciones, las que no tienen un carácter químico y que pueden representar adsorción temporal de este anión. Se trata en estos casos de fenómenos de adsorción electrostática y/o de sustitución o reemplazo, la superficie adsorbente está representada en este caso por aquella de los coloides del suelo ("óxidos", arcillas y humus principalmente).

De este modo, se conoce que el fosfato adsorbido al complejo coloidal es fácilmente cambiabile a rango de pH entre 3.5 y 7, por lo tanto aprovechable por los cultivos. Esta constatación sugiere que a rangos de acidez no extremos la sorpción o fijación del fosfato puede representar un incremento del fosfato lábil del suelo y no solo un incremento de la fracción no lábil, lo cual parecería particularmente cierto para suelos típicamente tropicales, dada su reacción y mineralogía.

El aprovechamiento de esta reserva de fosfato es, al parecer, una cuestión muy ligada al manejo de la fertilidad del suelo y de la reacción del suelo en particular.

Los beneficios derivados de la práctica del encalado en suelos tropicales probablemente están asociados a un mejor aprovechamiento del fosfato del suelo. En la fig. 3 se presenta el efecto de la reacción del suelo sobre la labilidad del fosfato del suelo.

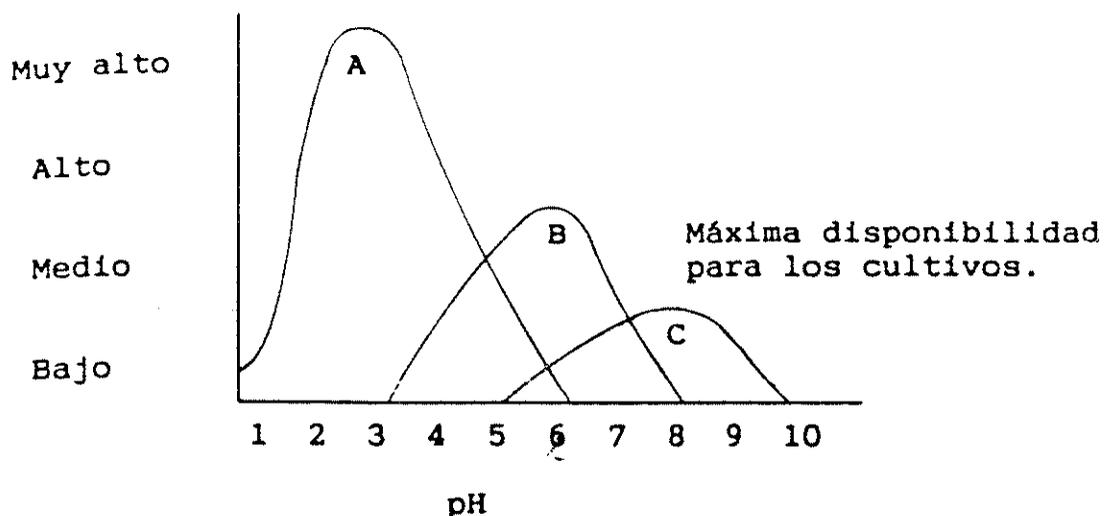


Fig. 3. Precipitación y adsorción de fosfato en función del pH Navarro y Navarro (1984).

donde:

A: Fosfato hidroxilados de Fe y Al. No lábil.

B: Fosfato adsorbido por el complejo de cambio: lábil.

C: Fosfatos de calcio. Insolubles. No lábil.

4.5- El Fósforo en la planta (Rol nutricional del PO_4)

Ya fue mencionado que la planta absorbe el P como ión monofosfato ($H_2PO_4^-$). El fosfato permanece en la planta como ión monofosfato tanto en moléculas inorgánicas como orgánicas. Contrario a lo que ocurre en el suelo, el fosfato presenta gran movilidad en el interior de la planta, es fuertemente distribuido a los órganos aéreos y se concentra en los frutos y semillas, tal como lo muestra la fig. 6.

En los cereales el fosfato se concentra en los granos al momento de la cosecha. El contenido promedio del tejido vegetal oscila entre 0,1 y 1,4% de P, lo que representa concentraciones 100 a 1000 veces más altas que aquella de fosfato en la solución del suelo.

El fosfato forma parte importante de moléculas tanto inorgánicas como orgánicas. Entre las primeras se tiene los pirofosfatos y ortofosfatos. Entre las moléculas orgánicas se tiene diversos fosfatos esterificados, azúcares y almidones fosforizados, fosfolípidos, ácidos nucleicos (RNA y ADN) y las fitinas, principalmente.

La importancia del fosfato no reside sólo en el hecho de ser parte estructural de moléculas tan importantes como las mencionadas, sino que además juega un rol muy importante en la

acumulación y transferencia de energía, en procesos tan importantes como la fotosíntesis (fase luminosa: ATP y NADPH 2 y asimilación del CO₂, ribulosa difosfato) y la respiración (glucólisis y ciclo de Krebs). El ATP es la molécula clave en la activación de las enzimas responsables de la simplificación o degradación de las moléculas orgánicas complejas hasta ácido pirúvico, punto de partida y fin del ciclo de Krebs; el ATP representa a la vez "input" y "output" (Entradas y salidas) en este ciclo.'

El fosfato no solo es importante en la síntesis de los glúcidos, glucólisis y metabolismo de los ácidos grasos, sino que también, es esencial en la síntesis de lípidos, a través de la enzima fosfatasa, la que deriva de la fosforilización del acetilcoenzima-A. Es también esencial en la síntesis de la clorofila, carotenos y numerosas enzimas.

Talvéz, estas importantes funciones metabólicas expliquen el hecho que la gran parte del fosfato (cerca de 80% del absorbido) sea directamente incorporado al metabolismo en apenas los 10 minutos siguientes a su absorción.

Influencia del fosfato en el desarrollo de los cultivos:

- Se acepta unánimemente que el fosfato estimula el desarrollo del sistema radicular de las plantas, especialmente en suelos pobres en fosfato, con las ventajas correspondientes en términos de captación de nutrientes y agua.
- Favorece también el "amacollamiento" en los cereales. Estimula la formación de espigas y el peso de los granos. También acelera la maduración de los cereales.
- Estimula el desarrollo y mejora la calidad de los tubérculos y raíces.
- Favorece el equilibrio de la composición botánica de las praderas.
- En los frutales estimula la fructificación y la calidad de las frutas.

Efectos de la deficiencia de fosfato:

La carencia de fosfato tiene los efectos contrarios a los efectos benéficos anotados en párrafos precedentes. No es necesario, por lo tanto describirlos.

El síntoma mas característico de la deficiencia de fosfato es la presencia de una coloración verde azulada, la que evoluciona hacia una coloración púrpura (antocianina) bajo condiciones de carencia aguda, la que se localiza en el nervio central en el anverso de las hojas.

En el caso del fosfato difícilmente podría hablarse de los efectos de un eventual exceso, pues estos no se presentan dada la escasés universal de fosfato en los suelos.

Remoción de fosfato por los cultivos: Como ya se indicó para el caso del N la remoción de nutrientes por los cultivos, en general, depende de una larga serie de factores, la que incluye aspectos genéticos, edáficos, climáticos y de manejo.

En general, las plantas presentan grandes diferencias en cuanto a su velocidad con que absorben fosfato y en cuanto a su poder para crecer en suelos pobres en fosfatos; las hortalizas, por ejemplo, prácticamente no crecen sin fosfato y lo absorben muy rápidamente. Mientras que los frutales lo absorben muy lentamente y no reaccionan a la fertilización fosfatada.

En cuanto a la exigencia de fosfato por los diferentes cultivos se puede establecer los siguientes criterios generales:

Los cultivos permanentes como café, té, cacao, banana, palma y otros demandan muy poco P (5-10 kg P/ha). Las gramíneas forrajeras (pastoreo directo) demandan también poco fosfato (8-10 kg P/ha). Los cítricos por su parte, exigen dosis moderadas de P (15-20 kg/ha). Cultivos como el tabaco, el maíz, papas son relativamente exigente en fosfato (20-30 Kg P/ha). Los cultivos de raíces como la remolacha y casave (yuca), por ejemplo, son los más exigentes en P (25-40 Kg P/ha).

✱ 4.6 Fertilizantes Fosfatados:

El proceso industrial a través del cual se producen los fertilizantes fosfatados tiene como objetivo principal mejorar la solubilidad del fosfato de Ca natural (apatita y fosforita) usado como materia prima, también en algunos casos durante el proceso industrial se concentra el fosfato de los fertilizantes y también, a veces, se adicionan otros nutrientes.

Los procesos a que se puede someter el fosfato natural son tres, en lo fundamental: Molienda, calcinación y acidulación. A través de la molienda se logra la reducción del tamaño de las partículas a diámetros que oscilan entre 0.16 mm y 0.05 mm, constituyendo los llamados fosfatos pulverizados. La reducción del tamaño de las partículas aumenta la superficie específica y por tanto la reactividad, y en particular la solubilidad.

La calcinación, por su parte, ataca la estructura cristalina de la apatita, lo cual mejora su solubilidad. La acidulación, en cambio, logra este objetivo al alterar la unión tri-fosfato ($\text{Ca}^{4+} \text{PO}_4$) transformándola en uniones de tipo bi y monocálcico.

Conforme el tratamiento a que es sometida la materia prima se obtendrá diferentes fertilizantes como se puede apreciar en la tabla 9.

Tabla No 9. Esquema simplificado de la preparación de los fertilizantes fosfatados. Según Janssen y Findenegg (1986).

FOSFATO NATURAL	TRATAMIENTO	FORMA DEL FOSFATO	NOMBRE COMERCIAL
	Molienda	PO ₄	Hyperfosfato
	Calcinación	PO ₄ PO ₃	Fosfatocalcinado Termofosfato y fosfato Renania.
Apatita y Fosforita	H ₂ SO ₄ H ₃ PO ₄	H ₂ PO ₄ - H ₂ PO ₄ -	Superfosfato Superfosfato doble (trip).
Bicalcico.	HCl HNO ₃	HPO ₄ H ₂ PO ₄ y HPO ₄	Fosfato bicalcico. Nitrofosfatos.
Escorias	Adiciones (Ca, por ejem).	Varios	Escorias Thomas

Tradicionalmente a los fertilizantes fosfatados se les clasifica según la solubilidad del fosfato que contiene; según este criterio se les agrupa en 3 categorías:

Fosfatos solubles en agua.

Superfosfato normal {Ca (H₂PO₄)₂}

/Este fertilizante se obtiene del tratamiento del fosfato natural finamente molido (pulverizado) con H₂SO₄, bajo condiciones de temperatura, como se indica mas abajo. El producto resultante es el monofosfato de Ca dihidratado, el cual contiene 10-22% de P₂O₅; este producto tiene un contenido relativamente bajo de P₂O₅.

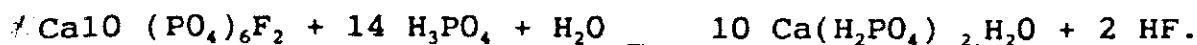


/Como se puede apreciar en la reacción que representa la obtención del superfosfato normal, se obtiene además yeso (cerca de 50%) el cual es de interés por su efecto positivo sobre la estructura en suelos "pesados". Se le considera también importante

por ser fuente de azufre (12%), además de contener algo de algunos elementos menores, tales como B, Mo, Zn y Mn.

/El super fosfato normal, es un fertilizante que presenta buenas condiciones físicas para la preparación de fertilizantes fosfatados compuestos, granulados./ Aunque se trata de un material hidroscópico, ello no constituye gran desventaja gracias al uso de bolsas plásticas. Por otro lado es el fertilizante fosfatado mas barato; mas su bajo contenido de fosfato no lo hacen muy atractivo desde un punto de vista económico. En el suelo ejerce un efecto neutralizante.

-> Superfosfato doble (o triple; $\text{Ca} (\text{H}_2\text{PO}_4)_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$). este superfosfato se obtiene del tratamiento del fosfato natural con H_3PO_4 , conforme la reacción siguiente:



El contenido de P de este fertilizante oscila entre 43 y 48 % P_2O_5 . Se le produce pulverizado (para la preparación de fertilizantes fosfatados compuestos) y como gránulos para mezclar. En el suelo tiene una acción neutralizante, a pesar de que casi no contiene yeso.

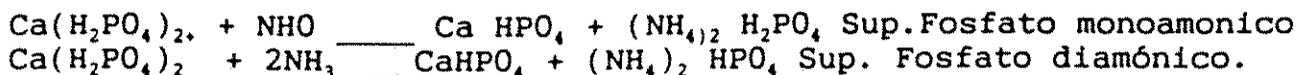
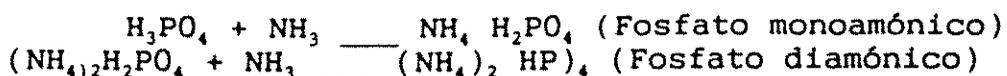
*Algunos aspectos de interés agronómico de los superfosfatos.

- Son granulados, fácil de esparcir y no presentan tendencia a formar terrones.
- Son aptos para mezclas, para obtener fertilizantes compuestos (con algunas restricciones).
- Se necesita aplicarlo incorporado.
- No son los mas aptos para suelos muy ácidos y los muy alcalinos/ pero sí son para suelos ligeramente ácidos o neutros.

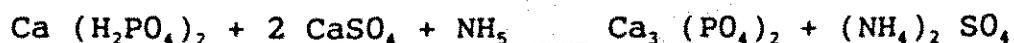
*Superfosfato Amónico:

Se obtiene a partir del superfosfato normal, al que se le adiciona NH_3 , al tratarlo con solución amoniacal, durante las últimas etapas de la preparación del superfosfato normal./ Dos son las vías a través de las cuales se puede producir el superfosfato amónico:

- por amonificación del H_3PO_4
- por amonificación del fosfato monocálcico, según las reacciones siguientes:



El contenido de N de estos fertilizantes es bajo y su contenido de P corresponde a aquel del superfosfato normal. Sus características químicas dependen mucho del grado de amonificación; si este fuese alto entonces el fertilizante contendría fosfatos insolubles y sulfato de amonio, formados a partir del yeso, según la reacción siguiente:



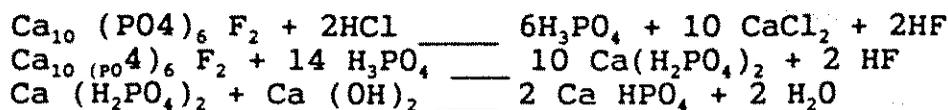
Este es un fertilizante cuyas características agronómicas no son muy nobles; pues el trifosfato de Ca es insoluble y el sulfato de amonio presenta un fuerte poder acidificante del suelo.

* Fosfato de Amonio:

En los últimos años, la industria de fertilizantes ha lanzado fosfatos de amonio de mayor contenido tanto de N como de P. Así, el monofosfato de amonio ($\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4$) contiene 11% de N y 55 % de P_2O_5 en cuanto que el difosfato de amonio $(\text{NH}_4)_2 \text{HP} \text{O}_4$ contiene 18% de N y 48% P_2O_5 . Se trata de productos completamente solubles al agua y su efecto residual es fuertemente acidificante. Se comercializan granulados y en forma cristalina.

* Fertilizantes fosfatados solubles en citrato de amonio o ácido débil:

Fosfato bicálcico. ($\text{Ca HPO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$). Este fertilizante se obtiene por tratamiento del fosfato natural, finalmente pulverizado, con HCl y luego precipitado con hidróxido de Ca, según las reacciones que sigue:



Se le usa como fertilizante finalmente pulverizado, con un contenido de P_2O_5 que oscila alrededor de 35-40%. Su calidad como fertilizante es baja, dado que resulta difícil eliminar el CaCl_2 el cual además de ser muy hidrocópico es tóxico y suele afectar negativamente la calidad de algunas cosechas. Por esto se utiliza para preparar mezcla y como suplemento mineral en la alimentación de ganado en Europa, mas que como fertilizante, en los últimos años.

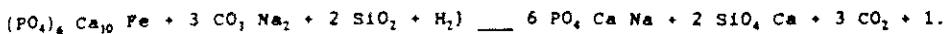
Fosfatos difícilmente solubles.

Esta clase de fosfato solubiliza bajo condiciones de acidez fuerte y esta representada por los fosfatos calcinados y los fosfatos naturales.

Fosfatos Calcinados (o termofosfatos)

Se obtiene de la calcinación de fosfatos naturales (apatita) pulverizado y mezclado con sales alcalina, silicatos de calcio o sulfatos de K y Na.

El fertilizante mismo suele consistir de una mezcla de fosfato de Ca y Na (PO_4NaCa) y silicato de calcio (SiO_2Ca_2). Su contenido de P suele oscilar entre 10 y 34% P_2O_5 .



El fertilizante consiste de una mezcla de fosfato cálcico-sódico y de silicato de calcio, la que contiene 27% P_2O_5 y se comercializa ya sea pulverizado o granulado.

Otro fertilizante térmico, asociado a Renania, es el llamado Phosfol, el que se obtiene del tratamiento térmico (600°C) de un fosfato cálcico aluminio, sin realizar adiciones. Su contenido de P alcanza 34% P_2O_5 . En un fertilizante de acción lenta, el que contiene oligoelementos (Cu, Mo, Zn, Mn) y altos contenidos de óxidos (de F, Al y Ca).

Se trata de un fertilizante que ofrece buenas características físicas para ser usado en mezcla; pues su reacción es neutra y no es higroscópico. Especialmente apto para suelos neutros o alcalinos y se debe aplicar un cierto período antes de la siembra.

Escorias de Thomas:

Este material fertilizante proviene de la industria de acero. Se trata de un fertilizante de gran valor agrícola, especialmente en suelos ácidos. Contiene 16-20% P_2O_5 y 50% CaO , actualmente se comercializa granulado, mezclado con materiales nitrogenados y potásicos. Contiene además considerable cantidad de Mg, B, Co, Cu, Mn y Mo.

Se trata también de un producto de acción relativamente lenta y debe ser incorporado antes al suelo. Su desventaja es que no es apto para mezclas con materiales calcícos, pues, genera reacciones que inducen pérdidas de PO_4 y N.

Fosfato Natural:

Los llamados fosfatos naturales "blandos", principalmente fosforita y apatita, en la que parte del fosfato ha sido sustituido

por CO_{3-2} ; suelen usarse como fertilizantes, pulverizados, directamente y especialmente en suelos ácidos. Su acción es también lenta.

Rendimiento del Fosfato.

El rendimiento del fosfato contenido en los fertilizantes fosfatados es muy bajo, en muchos casos no es mayor del 10% en la primera estación de crecimiento

Esto, se deriva del hecho de que el fosfato es removido desde la solución del suelo a través de diversos mecanismos, como: Precipitación (como fosfato de Fe y Al) a valores de pH bajos y como fosfato de calcio bajo condiciones de alcalinidad; adsorción a valores de pH moderado (por los componentes del complejo de cambio) y/o oclusión bajo condiciones de acidez extremas.

/Resulta evidente que el rendimiento del fosfato resulte menor cuanto más soluble es el fosfato aplicado, lo contrario ocurre mientras menos soluble sea el fosfato adicionado./ Esto significa que una menor proporción de este es solubilizado y menor es consecuentemente, el fosfato proveniente del fertilizante que pasa a formar parte del fosfato no disponible para la planta, al menos durante una primera estación de crecimiento.

De este modo la disponibilidad del fosfato aplicado puede aumentar con el tiempo, respecto del fosfato proveniente de un fertilizante conteniendo fosfato fácilmente soluble. Hecho que se ilustra en la fig.4.

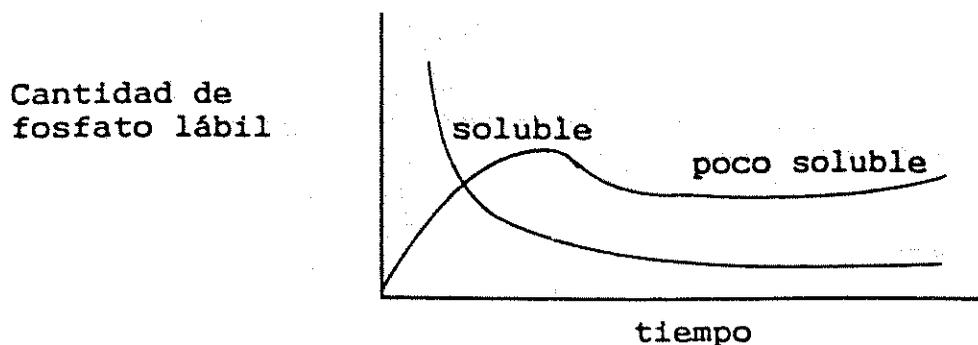


Fig.4. Comportamiento del fosfato con el tiempo.

La fig.4, revela que el efecto de un fosfato no muy soluble se expresa a través del tiempo (2-3 cosechas), lo que equivale a decir que este fosfato tiende a igualar o mejorar su rendimiento con el tiempo o superar el rendimiento de un fosfato fácilmente

soluble. Se puede hablar entonces de un cierto poder o efecto residual de los fosfatos poco solubles.

Desde el punto de vista del aprovechamiento del fosfato por los cultivos y desde un punto de vista económico interesa mejorar el rendimiento del fosfato, pero para lograr esto, se debe reducir lo mas posible, la influencia de los factores que causan la remoción del fosfato de la solución del suelo.

La industria persigue fácilmente este objetivo al "granular" los superfosfatos y otros fertilizantes fosfatados. Los gránulos no deben ser tan grandes que dificulten el contacto" con la raíz ni tan pequeño que brinde al material una excesiva superficie específica, en terminos generales se acepta 1-2 mm para suelos de textura fina y 2-3 mm para suelos arenosos.

El fraccionamiento (Splitsing) de la dosis, su aplicación en diversos períodos de la estación de crecimiento y la localización e incorporación de fertilizantes fosfatados son todas prácticas o técnicas dirigidos a reducir la "fijación" del fosfato en el suelo y, consecuentemente elevar su efectividad o rendimiento. Estos varios aspectos se discuten en el siguiente subcapítulo dedicado al manejo de la fertilidad, en condiciones tropicales. Aquí se usaran estos conceptos para puntualizar los aspectos a tener presente para la elección de un fertilizante fosfatado. La Tabla 10 ilustra este hecho.

Tabla 10. Criterios para la selección del fertilizante fosfatado.

RESPECTO DE	ASPECTO PARTICULAR
El fertilizante	Solubilidad, precio, composición, acción en el suelo.
El suelo	Reacción, capacidad de fijación, nivel de fijacion de P.
Clima	T°, precipitación.
El Cultivo	Período de crecimiento, sistema radicular.
Sistema de explotación	Primero, sostener rotación cultural.

4.7 Manejo de la Fertilización fosfatada.

El aprovechamiento del fosfato aplicado a través de los fertilizantes fosfatados se ve obstaculizado por aquellos procesos que implican el paso del fosfato solubilizado hacia formas poco o simplemente no solubles, o que implican la adsorción del fosfato por parte de los componentes del complejo coloidal del suelo. Todos estos procesos (precipitación, adsorción y oclusión), tiene como consecuencia formas indisponibles en fosfato, temporal o definitivamente, para los cultivos. Este fenómeno, se designa, en general como fijación; un término que no precisamente es el más adecuado, sin embargo, se adapta en el contexto de esta asignatura.

La fijación en función del pH de los suelos y de su mineralogía. En suelos ácidos el proceso predominante es la precipitación del fosfato como PO_4^- , Fe y PO_4^- Al; ya que es comúnmente conocido que la solubilidad de éstos cationes incrementa frecuentemente con la acidez.

En suelos muy ácidos (PH < 3) predomina la oclusión del fosfato. En suelos alcalinos, por el contrario, el fosfato precipita como PO_4^- Ca.

En cuanto a los minerales del suelo se ha establecido que difieren ampliamente en cuanto a su poder de fijación, el que aumenta con el carácter amorfo de ellos. Con base en esto, se ha establecido la secuencia siguiente:

Oxidos amorfos	▶	Oxidos	>	Minerales	>	Minerales
Alofan,		Cristalinos		1:1		2:1

Los "oxidos", los minerales del tipo 1:1, predominan en los suelos muy evolucionados especialmente en aquellos llamados típicamente tropicales (suelos rojo) bien drenados, como los oxisoles y ultisoles. El alofan, en cambio, abunda en los suelos volcánicos (Andosols) especialmente en los mas recientes, en particular en aquellos que aun reciben materiales piroclásticos (ceniza volcánica) como los de la zona del occidente nicaraguense, En estos suelos, la fijacion del fosforo reviste una gran importancia, sobre todo por que estos suelos reciben aproximadamente cada 10 años material volcanico,

En la tabla No.11. Se presenta algunos resultados que revelan el poder de fijación (sorpción de diferentes suelos en función de su mineralogía y ayuda a constatar que el referido poder incrementa espectacularmente al cambiar la mineralogía del suelo, desde uno dominado por smectitas hasta aquellos dominados por los óxidos, etc.

La fijación del fosfato es un fenómeno espontáneo, tal que en términos de horas o días una gran parte del fosfato aplicado al

suelo puede ser fijado, por otro lado la cantidad de fosfato fijado incrementa a medida que aumentan también las dosis de fosfato aplicado, como se puede apreciar en la fig. No.5

Tabla 11. Relación entre la mineralogía y la capacidad de sorpción del fosfato de algunos suelos. Adaptado de Sánchez (1976).

SUELO	PRECIPITACIÓN	MINERALOGÍA	pH	FIJACION MAXIMA (ppm)
Vertisol	500	2:1	7.6	300
Oxisols	600	1:1	4.8	500
Oxisols	1200	1:1	5.1	725
Ultisols	2200	1:1 +	4.5	670
Ultisols	2300	Ox.Al Ox.Fe	6.6	1320

Los resultados presentados en la fig.5, revelan un hecho de gran importancia para el manejo de la fertilización fosfatada: Como es el hecho de que el fosfato lábil aumenta conforme aumenta la fijación (suma de $(PO_4^- Fe + Al + PO_4^- Ca)$) segun las dosis de fosfato aplicadas.

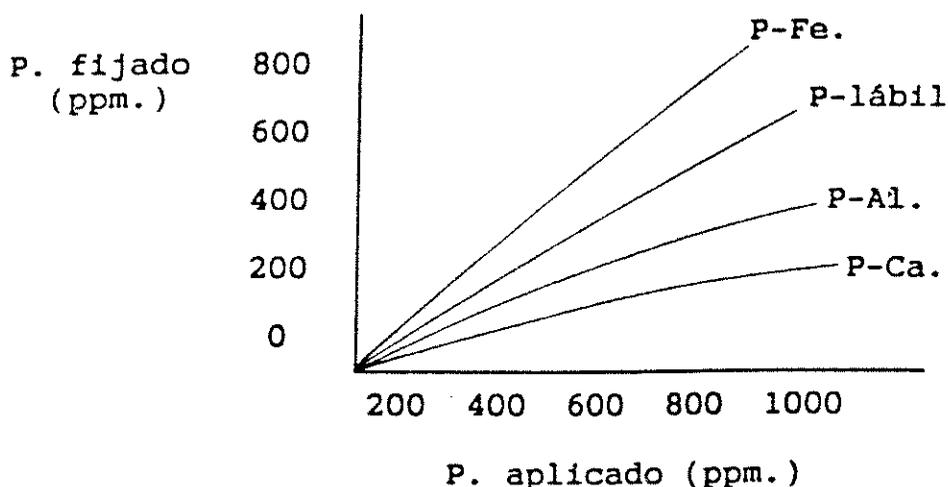


Fig. 5. Efecto de la fertilización fosfatada sobre la fijación y formas del fosfato del suelo. Vinn (1982).

Según Rodríguez (1990), el P aplicado al suelo sufre dos procesos; uno rápido que ocurre en las primeras 24 horas de aplicado el fertilizante, y que consiste en una reacción del P con los constituyentes minerales del suelo, quedando solamente el P que

no reacciona con esos constituyentes del suelo y es el que constituye el P disponible, éste además da una idea de la capacidad de fijación de los suelos; después del proceso rápido le sigue uno lento, en el que el P que no reaccionó inicialmente continúa el proceso de fijación; como el proceso es lento, el P que libere el fertilizante, puede ser utilizado por las plantas y por ello se le considera P residual. Esta fracción de P contribuye con la nutrición del cultivo durante uno, dos o tres ciclos, pero esto depende de la velocidad con que el P residual sea liberado, esto último depende del tipo de mineral que predomine en el suelo.

En la tabla 12, se presentan algunos resultados que muestran la variación de la grandeza del P residual respecto del aplicado.

Tabla No.12. Fijación del fosfato aplicado y variación del fosfato lábil en función del tiempo de aplicado. López (1969).

REGIMEN DE FERTILIZACION	PO ADICIONADO, %	FOSFATO LABIL, EN % RESPECTO DEL ACID.*		
		2 MESES	4 MESES	8 MESES
NOP 5K0	100%	109	93	53
NOP 5K2	100	109	56	69
N ₂ P 5K2	100	64	53	44

*Valores promedios.

Si se tiene presente que el fosfato lábil representa un cierto poder "también" (Buffer) del suelo respecto del fosfato, y que ésta fracción del fosfato del suelo es la que repone el fosfato solubilizado que ha sido removido de la solución del suelo; a la luz de estos resultados se podría sostener que la llamada fijación, si bien implica indisponibilidad (inmediata, durante el ciclo o parte del ciclo del cultivo) no siempre ha de representar una pérdida (o indisponibilidad definitiva del fosfato), para las plantas.

Ya ha sido sugerido que la oclusión del fosfato y su precipitación bajo formas muy poco solubles, se presenta bajo condiciones de muy fuerte acidez o alcalinidad. De hecho la cantidad de fosfato fijado disminuye con el tiempo, como se ilustra en la tabla 12. En otras palabras el fosfato puede, en función del pH tornarse disponible con el tiempo, tal es el llamado "poder residual" del fosfato.

El aprovechamiento de este "poder residual" es algo que tiene que ver con el manejo de los fertilizantes en particular y del suelo, en general; así como el tipo de fosfato a usar y práctica de rotación de cultivos planificada.

El "poder residual" (su cuantía) depende por supuesto, de la reacción del suelo y del tipo de fosfato (solubilidad y estado físico) aplicado como se puede observar en la tabla No.13.

Tabla No.13. Fosfato disponible (lábil) proveniente de diferentes fertilizantes y su variación en el tiempo en un suelo arenoso (pH 4.7) y en otro arcilloso (pH 7.1). Devine et al; (1968).

FORMA DEL FOSFATO	AÑOS DESPUES DE LA APLICACION							
	0	1	2	3	0	1	2	3
	<u>Suelo arenoso pH 4.7</u>				<u>Suelo arcilloso pH 7.1</u>			
1 Super P_2O_5 (S.A)	100%	65	50	25	100%	50	42	1
2 $CaH_2P_2O_7$ 4 pulv.	150	69	65	38	78	59	38	2
3 $CaH_2P_2O_7$ 4 granul.	38	52	52	62	19	40	44	2
4 Escoria Thomas	150	98	88	71	62	54	52	3
5 Fosfato natural	88	71	59	59	0	0	0	0

Estos resultados muestran que la fertilización con PO_4 insoluble al agua es tan efectivo como su superfosfato en cuanto al incremento del fosfato lábil, bajo condiciones que, efectivamente 3 años después de la aplicación, en todos los tratamientos, excepto en uno (5), se manifiesta un "poder residual" el que varía ampliamente bajo condiciones de acidez y textura ligera, esto es muy significativo para los fosfatos no solubles en agua (con excepción del fosfato pulverizado).

Por el contrario, bajo condiciones de alcalinidad y estructura fina: Los fosfatos no solubles en agua son menos efectivo que los solubles en agua (superfosfato) en cuanto a su contribución al fosfato lábil (con excepción del fosfato pulverizado).

Interesante es el hecho que escorias Thomas manifiestan clara tendencia a incrementar, con el tiempo, su poder residual. El difosfato granulado presenta una tendencia a mantener, también hasta en 2 años, esa contribución, un razonamiento similar vale para el fosfato natural.

No deba entenderse sin embargo, que la efectividad del fertilizante depende solamente del tipo que se utiliza, pues existen otros factores "prácticos" que también contribuyen a la efectividad del P, tal como lo es la localización del mismo.

De la totalidad del fosfato, y la posibilidad de "alcance" del fosfato ionizado por parte de las raíces, debe esperarse que el efecto de la localización se traduzca en un aumento de la

efectividad del fertilizante, sin embargo esta puede ser "interferida" por el grado de humedad del suelo durante la etapa de desarrollo del cultivo.

Este razonamiento es apoyado por los resultados presentados en la fig. 6 a y b, cuyos datos se refieren a una experiencia de campo con maíz en oxisoles del Brasil.

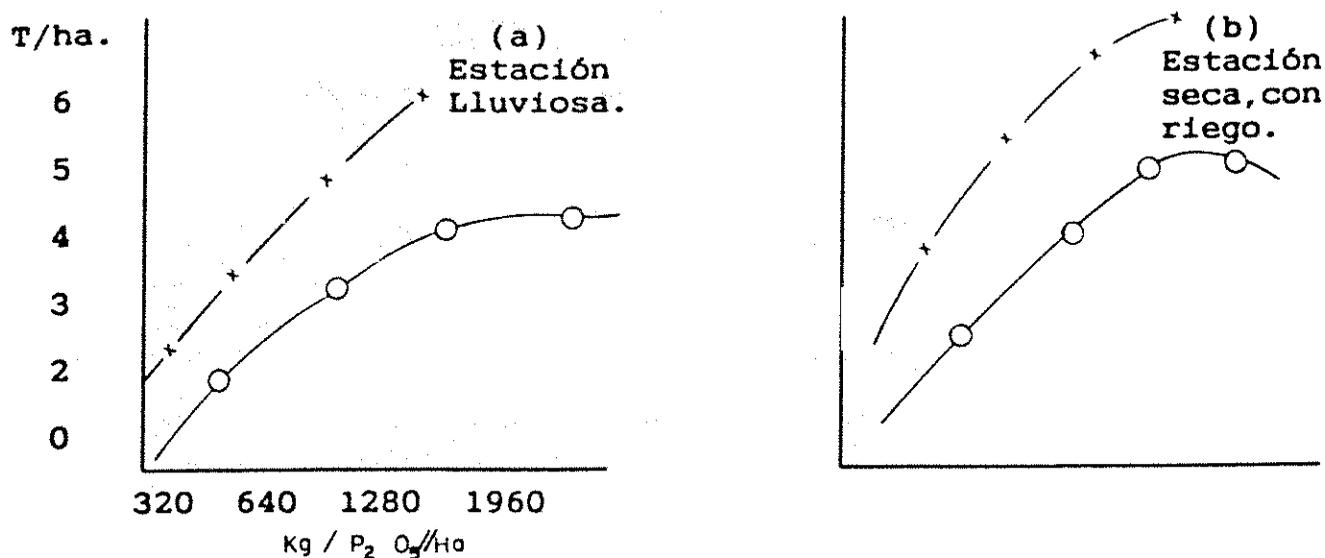


Fig. 6. Respuesta del maíz a las dosis y forma de aplicación del fosfato a un oxisol. Anual Report North Car st Leniv (1974).

Los tratamientos probados en cada estación, fueron: Aplicación de toda la dosis de una vez, al "voleo" (O) y 80 kg al "voleo; y 80 kg en hilera (x), cada año, que presenta una contribución al fosfato lábil del suelo (poder residual) de considerable importancia:

De cualquier modo, el rendimiento del nutriente P es bajo (10-30%) y su "recuperación" por parte de los cultivos, después del primer año es de hecho solo una posibilidad técnica.

El agricultor o el técnico, pueden realizar una aceptable inversión total, al aplicar de una sola vez el fertilizante, pero asume entonces, un riego económico de consideración.

Consecuentemente, en la práctica se busca evitar o mas bien, reducir el mínimo la fijación, a través de un manejo racional de los fertilizantes fosfatados.

Esto implica, en general; el uso del tipo de fosfato adecuado a las condiciones edafológicas (reacción y mineralogía), aplicación de las dosis de fosfato necesarias para los rendimientos que se esperan y modalidades y períodos de aplicación que contribuyen efectivamente a reducir la fijación.

Localización del Fosfato:

La localización tiene como objetivo reducir el contacto entre el material fertilizante y el suelo. Por otro lado, permite "poner al alcance" de las raíces el fosfato, contra poniendo de este modo la escasa movilidad que caracteriza al anión fosfato. Como consecuencia, el aprovechamiento del fosfato por período de las plantas mejoraría.

Los resultados presentados en la fig.5, muestran claramente que en un suelo que tiene un elevado poder de fijación, alcanzar el máximo rendimiento demanda enormes dosis de fosfato (1560 kg P_2O_5 /t) pudiendo muy probablemente resultar anti económica sobre todo para empesar de bajo o moderado nivel de capitalización.

Bajo condiciones de humedad natural, a) (época lluviosa), la aplicación de toda la dosis, una vez el voleo redujo posiblemente el rendimiento hacia el final del experimento, en cuanto que la localización manifestó una tendencia en sentido contrario, especialmente a niveles bajos de fertilización fosfato.

Bajo riego, los rendimientos incrementaron categóricamente con la aplicación de una sola vez; el "voleo" alcanzó rendimientos máximos, exigiendo para ellos dosis máximas también. Mas la localización en este caso se muestra como una técnica mucho mas eficiente que la aplicación al voleo de toda la dosis especialmente a dosis baja y moderadas; en b) se puede constatar que en 1973, alrededor de 650 kg P_2O_5 / produjeron alrededor de 80 % de lo que se produjo en 1960 y con mas P_2O_5 , (casi 3 veces mas fertilizante).

Lo mas importante que se verifica es que mientras la eficiencia del fosfato aplicado al "voleo" disminuye hacia 1974 la eficiencia de aquel aplicado en bandas aumenta; relativamente (b).

Estos resultados muestran también que la aplicación de una dosis básica, "al voleo" una sola vez y aplicaciones pequeñas cada año, produce rendimientos razonables, conforme las tendencias ya señaladas.

Momento de Aplicación del Fosfato:

La respuesta de los cultivos al fosfato aplicado en diferentes períodos, está relacionado por aquellos factores que mas influyen el aprovechamiento del fosfato por parte de la planta, el tipo de fosfato, la reacción del suelo y la humedad del mismo."

En la fig. 7. a y b se presentan los resultados de una experiencia en maceta (reacción ácida) en lo que se trató el efecto del termofosfato (Remania) y el fosfato natural entre otros, sobre el rendimiento del maíz.

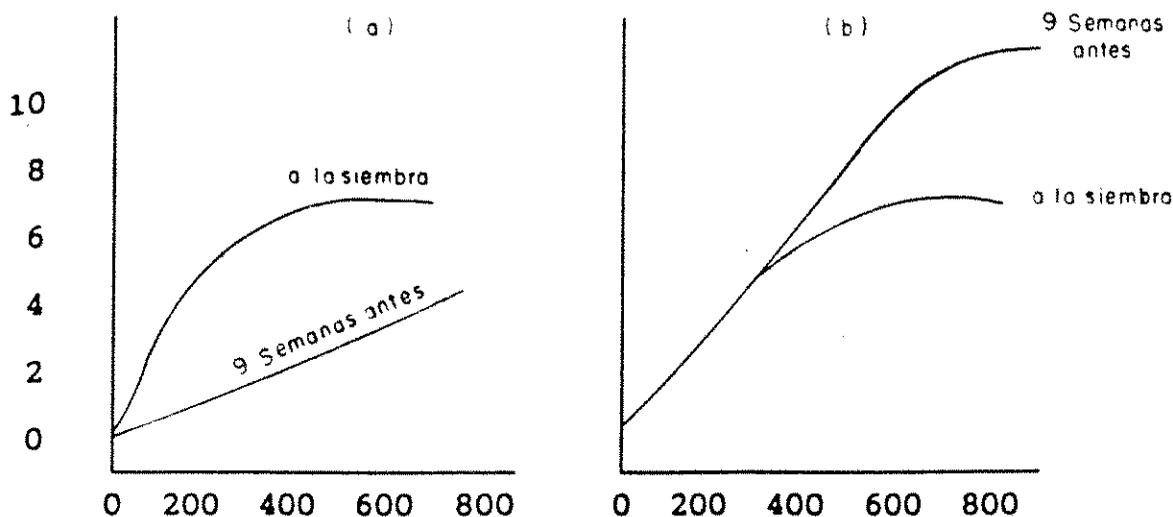


Fig. No. 7. Respuesta del maíz a la aplicación de fosfato Remania (a) y fosfato natural (b), aplicados antes y después de la siembra. Ven Rai y Ven Diest (1987).

El efecto observado se explica, fundamentalmente, por la reacción del suelo y el tiempo de aplicación y la complicación que viene del fertilizante. Esos efectos ambos son solubles e ácidos, mas el fosfato natural se solubiliza lentamente. El Remania se solubiliza lentamente. El Remania se solubiliza mas rápidamente y contiene por otro lado un alto contenido de calcio. Probablemente este "reprecipitó" el fosfato y por tal causa la planta no aprovecha el fosfato proveniente del Remania. La línea contraria de razonamiento vale para el caso del fosfato natural, aplicación "adecuada" en 9 semanas a la siembra estimuló ampliamente la producción.

En general se puede establecer que fosfatos de solubilidad lenta deben ser incorporados al suelo antes de la siembra, en suelos ácidos. En caso de fosfatos que contienen altos contenidos de Ca (yesos, carbonatos, silicatos, etc); como el fosfato solivarios y los térmicos, debe atenderse el hecho que estos tienen un marcado efecto alcalinizante: una aplicación exageradamente anticipada puede desfavorecer mas que hemnosficies al cultivo en las primeras semanas de su desarrollo.

Un razonamiento parecido vale por los fosfatos solubles al agua, respecto de la precipitación (lluvia) o riego en suelos con capacidad para fijar el fosfato.

El Tipo de Fosfato:

El tipo de fertilizante a usar no solo interesa desde el punto de vista de su construcción en términos de nutrientes (no muy microelementos).

Tanto interesa el tipo de fertilizante desde el punto de vista de la "forma química" del fosfato que contiene. Interesa también desde el punto de sus efectos sobre la relación reacción del suelo vs % de saturación de bases (o acidez tratable en el suelo).

En suelos "fijadores" de fosfato la práctica del encalado mejora sensiblemente el aprovechamiento del fosfato y por esta vía incrementa los rendimientos, teniendo cuidado de no elevar el pH a valores suprínes en 5.5. Este hecho reconocido en la agricultura tropical, es especialmente en oxisols y vertisols los resultados siguientes ilustran estas ideas.

Tabla No. 14. Respuesta del sorgo al encalado y fertilización fosfatada practicada un año antes de la siembra, en un "latosol rojo oscuro". Sanchez et. el; (1975).

SUPERFOSFATO ANTICIPADAMENTE APLICADO Kg P ₂ O ₅ /ha Ton. CaCO ₃ /ha	PRODUCCION DEL SORGO, Kg/ha, BAJO		
	0	5	10
0	294	1294	1600
150	1619	3294	3666
300	1675	3508	3850
450	1480	3536	3916

Estrategia de fertilización fosfatada:

En general el objetivo de la estrategia de fertilización fosfatada es incrementar la disponibilidad del fosfato de los suelos pobres en asimilables y mantener el nivel de disponibilidad para los cultivos.

La estrategia a seguir depende de factores como: el grado de carencia del fosfato del suelo (mineralogía, textura y la Rx del suelo); del nivel de rendimientos que se espera alcanzar(en

condiciones ecológicas dadas y potencial productivo); de la escala empresarial y del manejo del suelo.

Tipos de estrategia:

- Fertilización de corrección: Esta puede dividirse en fertilización de Corrección de saturación, de Corrección parcial y de Corrección de Rotación.

Esta estrategia consiste en aplicaciones desde grandes dosis de saturación, hasta pequeñas, según el ciclo del cultivo y los factores arriba mencionados.

- Fertilización de Mantenición: Tiene como objetivos mantener los rendimientos medios de un cultivo, tratando de llegar a niveles cercanos a los máximos.
- Fertilización Complementaria: Se considera como una de las estrategias más recomendadas para suelos de moderadamente pobres en fósforo lábil. Y consiste en una aplicación de corrección leve complementada, cada año con aplicaciones adicionales.

La aplicación de corrección no pretende saturar la capacidad de fijación de fósforo del suelo y se realiza sólo una vez al inicio de la rotación y se estima para lograr entre 65-70% de Rendimiento máximo. Las dosis adicionales se aplican cada año localizadas en banda y tienen como objetivo acercar los rendimientos a un óptimo económico.

En América Latina tropical las estrategias de fertilización fosfatadas han recibido gran atención en función de optimizar las condiciones propias de cada agroecosistema.

CAPITULO V. FERTILIZACION POTASICA

5.1. El Potasio en el Suelo.

El K del suelo proviene en gran parte de la descomposición de los minerales contenidos en las rocas, a partir de los cuales se ha formado el suelo (material parental).

En los suelos minerales el contenido de K es generalmente mayor que el fósforo y nitrógeno. En suelos arenosos fuertemente ácidos y en suelos de turba la cantidad total de K puede ser inferior a 40 p.p.m., éstos contenidos pueden variar ampliamente y presentarse incluso como trazas.

Los minerales que se consideran generalmente como fuentes originales de K son los feldspatos y los minerales micáceos (illitas) como: biotita, moscovita, artoclasa y microclina.

Del 90 al 98% del K total de los suelos proviene de éstos minerales al intemperizarse, este proceso libera formas de K solubles y aprovechable para las plantas. Es decir que con independencia del K que se puede adicionar como fertilizante, el K del suelo procede de la desintegración y descomposición de las rocas que contienen minerales potásicos, cuyas contribuciones al K del suelo varía ampliamente conforme su contenido de K.

En la tabla 15 y 16 se puede apreciar que el contenido de K, tanto de las rocas, como en los minerales varía ampliamente.

Tabla: 15. Contenido de K en rocas comunes, según Fassbender y Bonemsas (1987).

ROCAS	% K ₂ O	% K
Granito	4,11	3,43
Siemitas	4,50	3,75
Gabro	0,89	0,74
Pizarras	3,24	2,70
Arenisca	1,32	1,10
Calizas	0,33	0,28

Tabla: 16. Contenido de K en minerales comunes. Fassbender y Bornemisa (1987).

Minerales	% K ₂ O	% rango
Ortoclasa	10-20	(0-15)
Plagioclasa	1-10	(0-3)
Muscovita	9-40	(7-11)
Biotita	7-90	(6-10)

Como se puede inferir de éstos, el contenido de K de los suelos varía conforme la mineralogía del suelo y su textura.

5.2. Contenido y formas de K en el suelo

A diferencia del fósforo, el K se halla en la mayoría a los suelos en cantidades relativamente grande. Los valores del contenido de K en los suelos varía generalmente entre 0,04 y 3%; en casos excepcionales, como en suelos salinos, puede alcanzar hasta 8%, en suelos de textura arcillosa y limo-arcillosas el contenido de K es alto más que en los limo-arenosos y arenosos, de igual manera los contenidos de K están influenciados por la extracción de los cultivos, la lixiviación, erosión y las consecuentes aplicaciones de fertilizantes potásicos.

Las formas en que se halla el K en el suelo, está asociado a minerales como la silvita, silvinita, ilita, vermiculita, cloritas y otros; los que pueden hallarse en uno o dos de éstos tipos de minerales, formando una sola partícula, junto a estos minerales, hay que considerar también el procedente de la descomposición de animales y vegetales (materia orgánica).

En los suelos se pueden distinguir varias formas de K, lo cual es importante conocer, para formular un acertado manejo de la fertilización, éstas formas se pueden distinguir de la siguiente forma :

- a.- El K - estructural nativo contenido en minerales primarios como feldespatos potásicos.
- b.- El K asociado a los minerales secundarios (ilitas, vermiculita, montmorillonita, clorita y otros. Adsorbido, quelatado o acompañado (en parte de la materia orgánica).
- c.- K - Intercambiable, en las cargas de las arcillas.
- d.- K - En la solución del suelo (soluble).

En la tabla 17 se puede apreciar contenidos y formas presentes de potasio en algunos suelos de Centro América.

Tabla 17. Contenido y formas de K en algunos suelos de Panamá, Según Martini (1972).

Suelos	K-total		K-Cambiable kg/ha	K disponible	
	kg/ha	%		disponible kg/ha.	- no disp. kg/ha.
Latosol rojo	2040	0.1	160	40	470
Aluvial joven	6230	0.3	200	50	850
Gris Sabana	4310	0.2	50	20	150
Volcánico reciente	17810	0.8	280	120	930

Se constata que los contenidos de K del suelo varía según el grado de evolución del suelo. El K-total y el K- cambiabile son mayores en suelos jóvenes (textura media ligera). En suelo muy evolucionados el contenido de K es relativamente más bajo debido a la avanzada temperización y lixiviación.

5.3. Dinámica del K en el Suelo:

K- No asimilable:

Esta fracción del K del suelo, pertenece la mayor parte del K (90-98%), se encuentra en forma no-asimilable para la planta formando parte de estructuras y redes cristalinas de minerales primarios y secundarios (feldespatos micas o ilitas). Sin embargo el K- puede ser liberado, bajo procesos como: Hidrólisis, acidificación, disolución, intemperización química, etc.

Ejemplo: $\text{SiO}_3\text{AlK} + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{Si}_3\text{O}_8\text{AlH} + \text{KOH}$. ese K puede ser utilizado por las plantas (Solubilizado), perdido por lixiviación o retenido por los coloides o convertido a K - lentamente asimilable.

K- Rápídamente Asimilable: Corresponde al K solubilizado y el K- de cambio, representa del 1-2% del K- total. Es el K- asimilable por las plantas. La mayor parte de este K (90%) se encuentra en forma intercambiable y solo un (10%) en disolución. Estas dos formas de K rápidamente asimilable, actúan en equilibrio, relativamente estable. Cuando ocurre absorción por las raíces o por el contrario se aplica fertilizantes al suelo, ambas faces tienden a equilibrarse, como se ilustra en el esquema siguiente:

K- intercambiable \longrightarrow K- disolución (absorción/pta)
 K- intercambiable \longleftarrow K- disolución (aporte de fert.).
 K- intercambiable \rightleftharpoons K- disolución (equilibrio restablecido).

No obstante habría que considerar una eventual absorción de intercambio directa entre las raíces de las planta, con la superficie de las arcillas, lo cual provocaría este relativo equilibrio.

K- Lentamente Asimilable:

Este forma el K- fijado, es decir el K' que puede quedar atrapado entre láminas cristalinas (espacios interlaminares) y que no es asimilable para la planta, convirtiéndose en K- fijado. Este potasio puede llamarse, K de reserva, que en el tiempo y en determinadas condiciones de humedad, etc, puede liberarse llegando a ser aprovechable.

La fig. 8. Se resumen los distintos estados y su equilibrio completo.

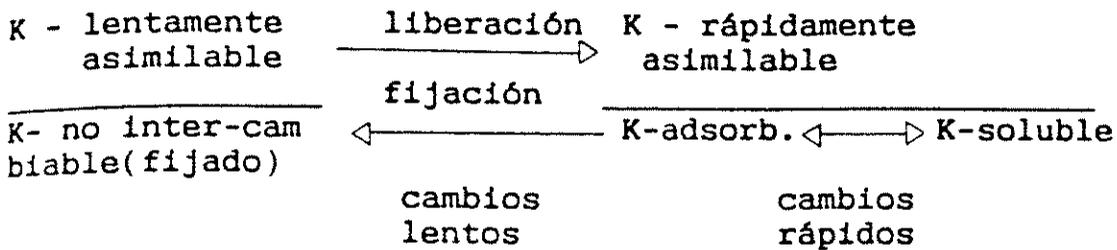


Fig. 8. Estados de equilibrio de las formas de K en el suelo. Navarro et al. (1984).

La dinámica del K a través de estas formas tiene una implicación práctica al momento de aplicar los fertilizantes, el K adicionado, puede pasar a forma no intercambiable, para luego funcionar como una reserva para la planta (siempre que la mineralogía permita este efecto). Esto se puede observar en la figura 9.

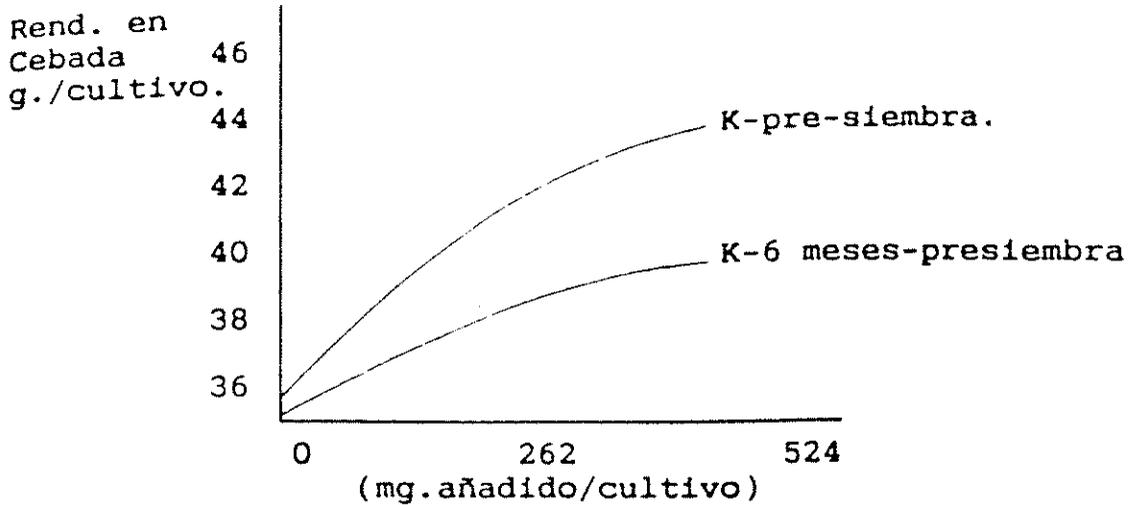


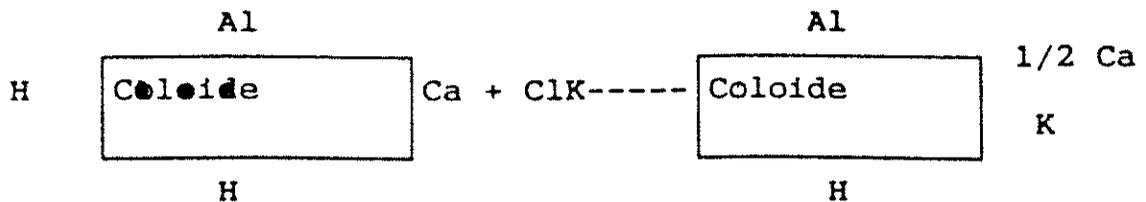
Fig.9. Efecto residual del K como reserva. (Manzanares,1989).

Factores que controlan la dinámica del K en el suelo.

a.- Mineralogía del suelo: La facilidad de ciertos coloides de fijar K- varía ampliamente lo que influye en la movilidad de este nutriente. Ejemplo; La caolinita fija menos, mientras que los suelos montmorilloníticos e ilíticos lo fijan mucho más. Este fenómeno se explica al parecer, por el hecho que el espacio hexagonal de las arcillas 2:1 coincide en tamaño con el radio iónico del K⁺ (también sucede con el NH₄⁺), no obstante existen condiciones ambientales que influyen en este proceso.

b.- Humedad del suelo: Un factor importante que influencia la fijación del K es el grado de hidratación de las arcillas 2:1. Al secarse el suelo, se contraen las láminas "atrapando" el K; al humedecerse el suelo, sucede lo contrario y el K es liberado a baja velocidad, cuando se da la hidratación del coloide. Este mecanismo es más marcado en la montmorillonita que en la illita. En los minerales 1:1 no ocurre este fenómeno debido a que la capacidad de expansión y contracción de éstas arcillas es muy baja.

c.- Reacción del suelo: El efecto del pH, sobre la fijación del K es un tanto contradictorio, aunque generalmente se admite que de hecho ejerce un efecto sobre la fijación, adsorción, y liberación del K. Tal vez esto explica el efecto del encalado en términos de proteger el K de la lixiviación, en los suelos (mecanismo ocurre así:



Como el Ca es más fácil de ser sustituido que el H⁺, el K⁺ añadido (fertilizante) sustituirá parte de los calcioes en el coloide. Por tanto a mayor Ca, habría mayor adsorción de K de la fase externa.

Se verifica un menor efecto de lixiviación del K a medida que el % de saturación de bases aumenta en el complejo. La liberación del K⁺ está influenciada al parecer por la presencia del Ca²⁺ en el coloide, por el hecho de poseer mayor radio iónico que el H⁺

Pérdida de K del suelo:

Lixiviación: Este fenómeno de pérdida de K está influenciado por la textura del suelo en el que se aplica fertilizante K, en los suelos de textura gruesa serán mayores, que en los de textura fina, además por su mayor capacidad de intercambio. Aunque es difícil predecir pérdidas por lixiviación, entre 20 y 25 Kg K 20/ha pueden considerarse normales, en suelos de regiones húmedas moderadamente fertilizadas.

Erosión: Cantidades considerables de K pueden perderse por efecto de erosión. El arrastre de las partículas finas del suelo reduce la porción de suelo que contiene este nutriente. En Estados Unidos se reportan 158 Kg/ha/año de K₂O en pérdidas por este fenómeno.

Extracción por los cultivos: La extracción por los principales cultivos suele ser de las principales pérdidas, calculadas en 2 ó 3 veces más que las de P₂O₅ e igual al N (unos 75-100 Kg). En algunos casos éstas pérdidas se incrementan por efecto de grandes adiciones de fertilizante potásico, el que se convierte en consumo de lujo para la planta generando las pérdidas del nutriente con incrementos del costo. La siguiente tabla No.18 se muestra la cantidad de potasio que algunos cultivos extraen del suelo.

Tabla 18. Extracción de K por algunos cultivos.
Espinoza. (1993)

Cultivo	Rendimiento	Extracción (kg/ha.)
Pasto Bermuda	18 T.	448
Maíz	10,035 Kg.	239
Algodón	1,100 Kg.	112
Sorgo	8,960 Kg.	269
Naranjas	50 T.	370
Arroz	7,840 Kg.	188
Tomates	89.6 T.	515

5.4. El Potasio en la planta.

El K es absorbido por las raíces bajo la forma de K^+ . Su contenido en la planta puede fluctuar ampliamente según la especie, el órgano y de la riqueza en el suelo. El K, es el principal catión presente en los fluidos vegetales, encontrándose bajo la forma de sales orgánicas (Malatos, Oxalatos, Tartratos, etc); como sales minerales (NO_3^- , PO_4^-) y otras combinaciones orgánicas.

El papel del K difiere de los elementos plásticos como el P y el N, pues no entra en la constitución de glúcidos, péptidos y lípidos), es un elemento de gran movilidad en la planta (como en el suelo).

El K- interviene en la regulación osmótica y está asociado a la transpiración y contribuye a mantener la turgencia. El efecto del K se visualiza mejor en años secos, por su participación en la economía hídrica de la planta, así mismo participa en la actividad fotosintética. Es reconocido activador de enzimas que participan en procesos tan importante como:

- Síntesis de glúcidos.
- Metabolismo del nitrógeno.
- Glucólisis y metabolismos activadores.

Papel del K en la Producción:

La influencia del K_2O se concreta es una elevación considerable de la relación de las raíces sobre las hojas, con aumento del grosor de los órganos de reserva en el caso de la zanahoria, y aumento en el ahijamiento y llenado del grano en cereales.

Así mismo el K favorece la emigración de los glucósidos hacia los órganos de reserva y su condensación al estado de azúcares o de almidón. Por lo que su efecto es casi indispensable en especies como la remolacha, papa y frutales. En el tabaco, aumenta la combustibilidad y es el elemento ligado al metabolismo de los azúcares en la fase de madurez de una inmensa cantidad de frutos como los cítricos.

Síntomas de deficiencia:

Inicialmente la falta de K origina un retraso general del crecimiento, sobre los órganos de reserva: semillas, frutos, tubérculos, esto se manifiesta cuando el contenido es de 3 a 5 veces menor que el nivel normal, lo que ocasiona rotura de tallo. Cuando la deficiencia se agudiza, se inicia un moteado clorótico y

desarrolla necrosis en la punta y en los bordes de las hojas y en estados avanzados puede tomar el árbol un aspecto de quemado.

Todos los cultivos se benefician con la aportación de potasa cuando el suelo no lo proporciona, sobre todo con variedades mejoradas, que incrementan el uso del N, e igualmente el K.

Entre los cultivos más exigentes "Plantas con dominante potasio", se menciona: La papa, frijol, cereales, cebolla, frutales, viveros forestales y forrajeros. En general, se considera el K como el elemento regulador de los rendimientos; pues su adición mejora sistemáticamente la producción en suelos con bajo nivel o poder en K. En la tabla 19 se refleja este efecto.

Tabla 19. Efecto del K en los cultivos. Demolón 1977.

Tratamiento	Trigo qq	Papas qq	Trébol Kg.Mat. seca
Con K ₂ O	23,9	294	1740
Sin K ₂ O	12,9	102	502

El K- representa uno de los principales elementos que la planta extrae, para complementar su nutrición y alcanzar un rendimiento alto y de buena calidad. Este elemento, es siempre cuantitativamente importante en las cenizas vegetales representando del 25 al 50% (en peso seco). Los siguientes análisis efectuados en estaciones agronómicas durante los últimos años, demuestran la distribución, la exportación y extracción de este elemento.

Cultivo		% de K ₂ O en Materia Seca.
Trigo	grano	0.35-0.70
	paja	1.0 -1.6
Maiz	grano	0.4 -0.5
	tallo y hojas	1.2 -1.5
Arroz	hojarasca	0.5 -0.8
	grano	0.3 -0.4
Papa	tubérculos	2.0 -3.5
	tallos y hojas	1.6 -4.7
Soya	Sin incular	2.10-2.5
	Inoculada	11.5.
Tabaco	hoja	3.0 -6.0

El aprovechamiento del K está relacionado con la dosis de N como se muestra en la figura.10. Según Potash & Phosphate Institute.(1988).

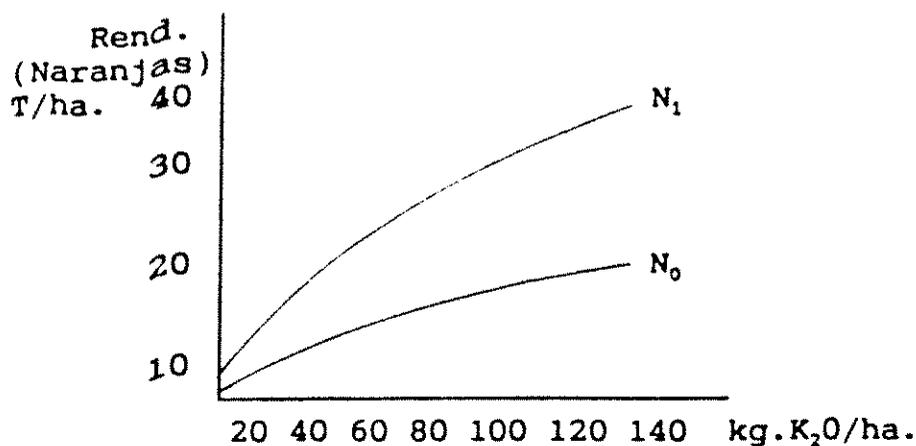


Fig.10 Aprovechamiento del en relación con dosis de N. (INPOFOS,1988)

5.5. Fertilizantes potásicos.

Los fertilizantes potásicos son mayoritariamente minerales de yacimientos, como antiguas lagunas fosilizadas en las que se encuentra en las formas de cloruros o sulfatos, los que se purifican para su utilización como fertilizantes. Estos depósitos se originaron en épocas geológicas remotas por efectos de la evaporación del agua del mar y grandes lagos (Ej: El mar muerto).

En los últimos años y de forma parecida al uso de los fertilizantes nitrogenados y fosfáticos ha habido un incremento muy grande en el consumo de K.

Sales Brutas de Yacimiento Natural:

Las sales potásicas naturales llamadas "sales brutas" presentan un alto porcentaje de impurezas y reciben diversos nombres según su composición. Más de treinta minerales diferentes se han descubierto en depósitos europeos y de América. La relación de algunos de estos se presenta en la tabla 20.

Tabla 20. Minerales Potásicos más comunes en los Yacimientos Naturales. Según Navarro et al (1984).

MINERAL	COMPOSICION
Silvinita-----	ClK.ClNa.
Silvita-----	ClK.
Carnalita-----	ClK. Cl ₂ Mg. 6 H ₂ O
Kainita-----	ClK. SO ₄ Mg 3 H ₂ O
Laigheinita-----	SO ₄ K ₂ . 2SO ₄ Mg.

De estos minerales los más extendidos son: Silvinita, Kainita y Carnalita. Los que por su alto contenido de Cl, limita su uso directo como fertilizantes, especialmente en cultivos como tabaco, cítrico, papa, viña, los que son sensibles a los excesos de cloro.

La Silvita:

Contiene entre 12 y 15% de K₂O y 35 y 40% de Na 20. Su empleo, está contra indicado en suelos salinos y en regadíos que usan agua salina, ni en suelos pobres en cal sobre todo en regiones secas.

La Kainita y Carnalita contienen 12% aprox. de potasa y no se recomiendan como fertilizante.

Fertilizantes K- Industriales:

Cloruro de Potasio.

El ClK que se comercializa en un producto refinado que se obtiene al eliminar el cloruro sódico de la silvinita o el cloruro o sulfato sódico de la silvinita o el cloruro sulfato magnésico de la carnalita y kainita. La separación de los ClK, y ClNa, de la silvinita se basa principalmente en la lixiviación, casi siempre con disoluciones calientes (de 20 a 108°C seguida de enfriamiento (20°C). Está basado en el principio de que en altas temperaturas, los ClK son solubles en 1/2 vez mas que los ClNa, lo que unido a una diferencia brusca de temperatura y concentraciones, se obtiene este fertilizante. Este fertilizante potásico es un sólido blanco-rojizo cristalino y soluble en agua, lo que lo hace higroscópico, provocando aterramiento, recomendándose almacenamiento en lugares no húmedos y en envases adecuados.

Las principales características de este fertilizante, se presenta en la tabla.21.

Tabla 21. Características del fertilizante ClK.

CARACTERISTICAS	VALORES
Contenido de ClK-----	96 -99%
Contenido de K ₂ O-----	61 -62%
Solubilidad a 20°C-----	34 g/100 ml.
Higroscopicidad a 30°C-----	84%
Residuos insolubles -----	0.01%
Presentación-----	Cristales blancos y rosados.

A pesar de su alta solubilidad no es fácilmente lixiviado por las características del K, los coloides lo adsorben, caso contrario sucede en suelos extremadamente arenosos.

Puede aplicarse como fertilizante de fondo, o mezclado (en soluciones líquidas). Es aconsejable realizar la mezcla al momento de la aplicación. No es recomendable para el tabaco y en condiciones de regadíos salinos, en frutales.

Sulfato Potásico (K₂ SO₄).

Constituye otro fertilizante K, se le conoce como arcanaita, su proceso industrial es a partir de la lenbeinita, cuyo proceso consiste en el desdoblamiento del SO₄ doble de K y Mg, tratándolo con disoluciones concentradas de ClK, en frío o en caliente, separándolo por centrifugación. Otros procedimientos son utilizados para la obtención de SO₄K₂, a partir de SO₄Mg 7 H₂O + ClK (epsonita) y mediante una reacción de doble descomposición entre SO₄Ca y CO₃NH₄ + ClK, en los dos casos utilizando metanol para disminuir la solubilidad del SO₄K₂.

Las principales características de este fertilizante, se presenta en la tabla 22.

Tabla No.22 Características de los Sulfatos de Potasio.

Contenido en SO ₄ K ₂	88 - 98%
Contenido en K ₂ O	48 - 52%
Solubilidad a 30°C	11,59/100 ml
Higroscopicidad 30°C	97%
Residuo insoluble	1,5%
Presentación	Cristales blancos.

Este fertilizante, por su composición y ante un uso continuado, puede presentar un cuadro de acidificación del suelo.

Presenta la ventaja de aportar un 18% de azufre a ciertos suelos que sin ser salinos, presentan determinados contenidos de sal, de SO₄K₂, puede ser una alternativa. En suelos

descalsificados, por efectos de solubilidad (es preferible usar el SO_4 que el ClK (de gran solubilidad) y así ayudar a mantener el nivel de Ca, como SO_4Ca , sin embargo su catalización, es mayor que el ClK , por lo que respecta a los cultivos, algunos no presentan preferencia por una forma u otra como los cereales o el algodón.

Al igual que el ClK , se puede utilizar como fertilizante de fondo, como en presiembra o en fraccionamiento según los cultivos.

Otros Fertilizantes Potásicos:

Suelen utilizarse como fertilizante potásico el NO_3K , y el metafosfato de K (visto en el N y PO_4O_5 respectivamente).

Carbonato y Bicarbonato Potásicos:

No es un fertilizante extendido en su uso y sólo restringido a usos experimentales y en casos de suelos extremadamente ácidos. Mezclado con fertilizantes fosfáticos puede aportar una mayor disponibilidad para la planta.

Sulfato Magnésico - Potásicos:

Presenta la ventaja de suministrar Mg, aparte del K, su composición incluye; 22% de K_2O , 18% de MgO , además de Azufre. Este compuesto está adquiriendo cierta importancia en E.E.U.U contiene pequeñas impurezas de Cl y su reacción es neutra.

Cenizas Vegetales: Se obtienen de subproductos industriales, de vegetales, algas etc. Su uso no es normal para suelos alcalinos y no está extendido por efectos prácticos (dosis de 600-1,600 kg/ha). Las algas presentan mediano contenido (25%) y en algunos países se usa como fertilizante.

5.6 Manejo de la Fertilización Potásica:

De las características que se derivan del comportamiento del K en el suelo, se concreta que un contenido relativamente alto se encuentra de manera general en los suelos, con excepción de los suelos muy arenosos. Algunas recomendaciones son útiles:

- Existe una falta de aprovechamiento del K natural ya que no es asimilable para las plantas.
- Notables pérdidas por lixiviación se presentan cuando se añaden fertilizantes muy solubles y en suelos de poca capacidad de fijación.
- Ocurre una gran absorción por la planta cuando se aplican grandes cantidades de K en el suelo.

Tomando en cuenta el fenómeno de fijación de K, las orientaciones sobre la fertilización deben realizarse con prudencia por lo que es preferible las aportaciones de K pequeñas y con periodicidad, a las aplicaciones grandes y poco frecuentes.

Al parecer las acciones de encalado favorecen o contribuyen a la conservación del K.

En el aspecto del aprovechamiento del K como fertilizante, puede aplicarse como abonado de fondo, en un período de 1 mes antes de la cosecha. En frutales es aconsejable una fertilización previa a la plantación y aplicaciones anuales para restituir las remosiones.

Las dosis dependen del tipo de cultivo y éstas generalmente oscilan entre 100 y 200 Kg/ha. Ca_2O .

A causa de la fijación del K por el complejo absorbente y algunas pequeñas pérdidas por lixiviación, puede esperarse un efecto residual. Los resultados que se exponen en el siguiente experimento, ponen de manifiesto este hecho, de que este efecto residual se manifiesta según los cultivos y suelos.

Gráfico 11. Recuperación del K_2O aportado por una serie de cosechas en diversos suelos en tomates y Cebada (Huagland y Masten, 1977).

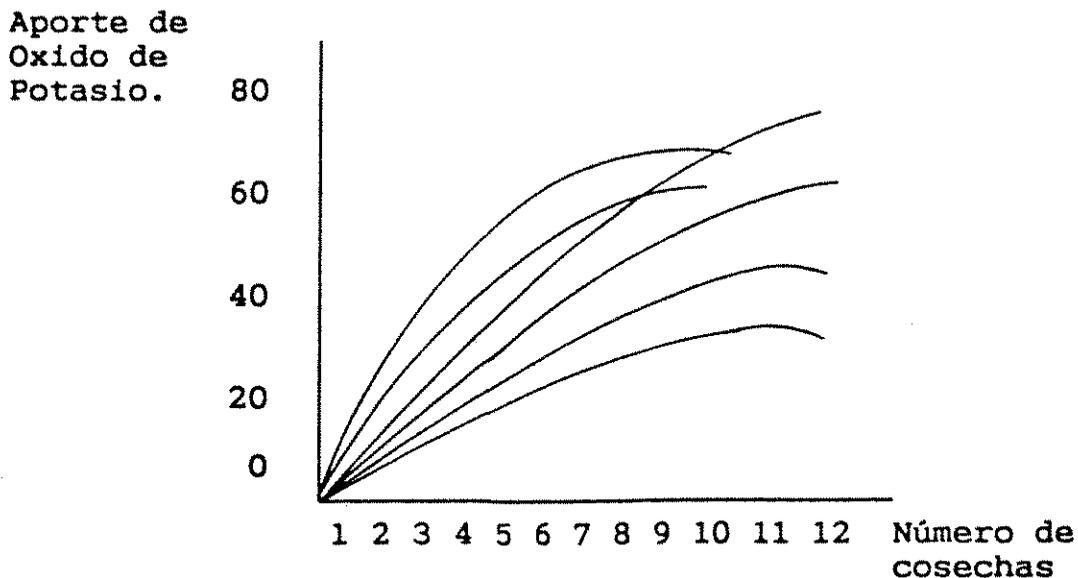


Gráfico 11. Recuperación del K_2O aportado por una serie de cosechas en diversos suelos en tomates y Cebada (Huagland y Masten, 1977).

Así mismo hay que considerar el efecto en la reacción del suelo, de los fertilizantes K, dependiendo del componente químico que acompaña a la sal de potasio, aspecto a considerar en un plan de fertilización.

CAPITULO VI. FERTILIZACION CALCICA

6.1. Fuentes, contenidos, formas y dinámicas del Ca en el suelo.

Las principales fuentes de Ca del suelo son los minerales primarios, entre ellos los silicatos del calcio (anguita y hornblenda) los fosfatos (fluor e hydroxiapatita), sulfato de Ca ($\text{CaSO}_4 \cdot 2 \text{H}_2\text{O}$) carbonato de calcio CaCO_3 , dolomita, $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$ y ciertos halógenos como la fluorita (CaF_2). También los feldespatos contribuyen con Ca al suelo. El Ca asociado a la fracción orgánica del suelo es despreciable, cuantitativamente.

En primera instancia, especialmente en suelos jóvenes, el contenido de Ca depende en gran medida de la mineralogía del material parental. Suelos desarrollados a partir de rocas ácidas cuarcíticas, serán pobres en Ca; al contrario aquellos a partir de materiales parentales básicos (cenizas volcánicas, rocas sedimentarias, etc), serán ricos en calcio. Por otro lado, el clima influye directamente sobre el contenido de Ca del suelo; pues se trata de un elemento muy móvil en el suelo tal que puede ser "lavado" fácilmente en el agua de percolación. De este modo, en suelos de clima lluvioso (más aún si son evolucionados) el Ca sufre considerables pérdidas por lixiviación. En cuanto a suelos de climas áridos el Ca se acumula dando origen a diversos hechos pedogenéticos como subhorizontes de diagnóstico (horizontes petrocálcicos, duripan, como el talpetate con calcio).

Contenidos de Ca

En general, el Ca es un elemento relativamente abundante en la corteza terrestre (4.2%). Su contenido en el suelo varía ampliamente (como ya fue sugerido), oscilando en términos medios entre 0.1-0.2%, pudiendo alcanzar 25% en suelos calcáreos y hasta 50-95%, en suelos consistentes en depósitos de CaCO_3 . El contenido de Ca de un suelo puede variar sorprendentemente con la profundidad del suelo.

Ya fue referido anteriormente que el Ca es elemento muy móvil en el suelo; "se desplaza" vía flujo de masas, esto es con el agua del suelo, principalmente. Por otro lado, es un catión que está sujeto a la adsorción por parte del complejo y por lo tanto, sometido a una dinámica de equilibrio, entre aquella fracción adsorbida y la solubilizada. De este equilibrio resulta la disponibilidad inmediata de Ca para las plantas. Estos parámetros constituyen los procesos fundamentales de la dinámica general del Ca en el suelo.

Formas del Calcio en el Suelo y su Dinámica:

El Ca solubilizado representa la fracción directa de Ca para la planta (factor I) en tanto que el Ca adsorbido representa la "reserva" directa de Ca del suelo (factor q) pudiendo ser asociado con la capacidad del suelo para "reponer o restablecer" el Ca solubilizado, cuando la concentración de este en la solución del suelo ha disminuído, sea por lixiviación, absorpcón por las raíces, adsorción y/o precipitación.

El Ca solubilizado varía entre 50 y 100 ppm, en términos medios, en los suelos agrícolas.

Desde un punto de vista cuantitativo la magnitud de la "fracción adsorbida" del calcio, depende de factores climáticos y edafológicos, específicamente de la precipitación y de la presencia del H⁺, de la textura y la mineralogía del suelo.

En suelos de textura ligera, bajo condiciones de alta pluviosidad las pérdidas por lixiviación son altas. Si en el suelo, "predominan" minerales del tipo 1:1 las "pérdidas" de Ca son considerablemente mayores que en suelos cuya mineralogía es dominada por smectitas (arcillas 2:1).

En suelos ácidos, una alta proporción del complejo coloidal está ocupado por H. Este catión desplaza al Ca₂⁺ del complejo, formando bicarbonato de Ca-(HCO₃)₂, el que lixivias con el agua de percolación, o bien precipita como carbonato, sulfatos y/o fosfatos de Ca. En los suelos típicamente tropicales el Ca es desplazado de la superficie de los coloides no solo por el H (generado por la hidrólisis del Al) sino que además por el Al³⁺. Existe una relación inversa entre % de saturación de Al y Ca cambiabile como existen también entre Ca₂⁺ e H⁺ cambiabile. En los suelos de áreas templadas 60-70% del % pool de bases de cambio corresponde a Ca+ Mg; mientras que en los suelos típicamente tropicales 40-60 % del pool de cationes adsorbidos corresponde a Al³⁺ e H⁺.

La magnitud de la fracción adsorbida de Ca es de inmensa importancia agronómica dado sus efectos sobre la reacción, la micro-estructura del suelo y microbiología. A través de la primera interfiere fuertemente con la nutrición vegetal y a través de las 2 últimas influencia varios aspectos que contribuyen a determinar las propiedades productivas de los suelos.

6.2. El Calcio en la Planta

Las plantas absorben el Ca como ión cálcico (Ca₂⁺). Las necesidades de Ca de los cultivos varían ampliamente (según cultivos, variados y rendimientos) y son fuertemente controlados

por las condiciones de crecimiento del cultivo, entre ellos el clima es de particular importancia a este respecto.

Entre los cultivos menos exigentes figuran el cacao, palma y caucho entre los cultivos perennes. Entre los anuales se menciona el maíz y cereales en general y las hortalizas de hojas (< 80 kg por año) moderadamente exigentes (50-80 kg Ca/año) son las raíces en general y el tabaco mientras que las leguminosas forrajeras (trébol, alfalfa las remolachas, caña de azúcar, tomate, banano cítricos y frutales en general) figuran entre cultivos más exigentes: 180 Kg Ca/ha/año)

La absorción de Ca por parte de los cultivos aumenta continuamente a lo largo del ciclo de vida de las plantas, conforme la disponibilidad del nutriente, siendo muy poco móvil en la planta, tiende a acumularse en los órganos más viejos, especialmente en las hojas, principalmente como oxalato de Ca. El contenido medio de Ca en la planta varía entre 5 y 30 mg Ca, más otro aspecto de la absorción del Ca, es que éste ejerce una acción antagónica sobre la absorción del Mg y K.

En la planta el Ca se encuentra bajo varias formas solubilizada en los jugos celulares, adsorbido a coloides celulares precipitados (como oxalato de Ca, carbonato, fosfatos y sulfatos de Ca) y estructuralmente (mitocondrias y cloroplastos).

Rol Fisiológico y Biológico del Ca.

Universalmente se le reconoce al Ca un papel de gran importancia en la división celular (crecimiento de meristemas), el que se basa en el hecho de que el Ca constituye un elemento estructural de las membranas, por un lado, y regula la permeabilidad de las mismas, por otro. El calcio participa en la constitución de las paredes celulares, en donde juega rol de "cementante".

El rol de Ca se puede comprender mejor si se considera su influencia en el crecimiento de la raíz. En este órgano el papel del Ca es triple: multiplicación celular, crecimiento celular y neutralización del H exudado. Sin Ca, no hay crecimiento radicular, simplemente.

El calcio es importante también en la neutralización de ácidos, producidos en el proceso del metabolismo de la planta; como son el ácido oxálico.

El Ca cataliza el funcionamiento de algunas enzimas como la amilasa.

Efecto del Ca sobre las Cosechas:

Deficiencias de Ca causas reducción del crecimiento de los meristemas; visibles primeramente en los ápices foliares, los que aparecen de formas cloróticas, pudiendo aparecer incluso necróticos, si las carencias de Ca son agudas.

El efecto más serio, dado su influencia a la absorción de nutrientes y agua, ocurre sobre las raíces, como ya fue sugerido el crecimiento de las raíces cesa y éstas se deforman y pierden su poder selectivo y su poder de acumular carbohidratos. En leguminosas la carencia de Ca es particularmente importante por su efecto sobre la nodulación y el poder de éstos para fijar el N_2 .

La necrosis de los cítricos, pudriciones en tomate y melón, "corazón negro" en zanahoria y las deformaciones de flores y frutos son algunos de los efectos más comunes asociados a carencias de Ca.

6.3. Fertilizantes Cálcicos:

Desde el punto de vista conceptual debe distinguirse claramente un fertilizante cálcico de un correctivo o enmienda. Este último consiste en cal (apagada o viva), carbonatos o sulfatos y aún silicatos de Ca aplicados al suelo con el objetivo de corregir la reacción del suelo, fundamentalmente. Por el contrario el objetivo de un fertilizante es aportar nutrientes para la planta. Sin embargo, en la práctica, en cuanto a los efectos, no siempre resulta claro establecer una diferencia tajante entre una enmienda y un fertilizante; de hecho, las deficiencias de calcio en suelos ácidos se corrigen aplicando los mismos materiales que se usan como correctivos, tales como: CaO , $Ca(OH)_2$, $CaCO_3$, y $CaSiO_4$, en suelos cuya reacción oscila entre levemente ácida a neutral, la aplicación del fertilizante fosfatado o nitrogenado suele ser suficiente para mantener un nivel adecuado al Ca en el suelo, evitando estados carenciales; tales son, por ejemplo, superfosfato normal, fosfato natural, termo fosfatos y escorias Thomas. Entre los fertilizantes nitrogenados que aportan Ca se tiene el nitrato cálcico y el nitrato amónico cálcico.

El yeso o sulfato cálcico ($CaSO_4$), se usa frecuentemente en suelos alcalinos sódicos. En tal caso el uso de este material no tiene como objetivo nutrir la planta con Ca ni corregir el pH del suelo, sino que elimina el Na del complejo y del perfil del suelo, etc.

CAPITULO VII. FERTILIZACION MAGNESICA.

7.1. Fuentes y contenidos, formas y dinámica del Mg. en el suelo.

El Mg es un elemento abundante en la corteza terrestre representando alrededor de 2,3% en peso. El contenido de Mg de los suelos oscila entre 0,5% (en los suelos arenosos) y 25% (en los suelos arcillosos), en términos medios:

Las principales fuentes de Mg en el suelo están representadas por minerales ferromagnesianos (biotita, serpentina, hornblenda y clivino) y silicatos de aluminio secundarios (arcillas), tales como clorita y montmorillonita.

En algunos suelos el Mg se encuentra mayoritariamente como Mg CO₃ y CaMgCO₃ (dolomita). En otros como en los suelos de regiones áridas y semi-áridas la fuente principal del Mg corresponde al Mg SO₄.

Formas del Magnesio y su dinámica en el suelo:

Como en el caso del K, y desde el punto de vista de la nutrición de la planta, el Mg en el suelo se encuentra bajo tres formas fundamentales: Mg no intercambiable (no aprovechable), Mg intercambiable y Mg solubilizado.

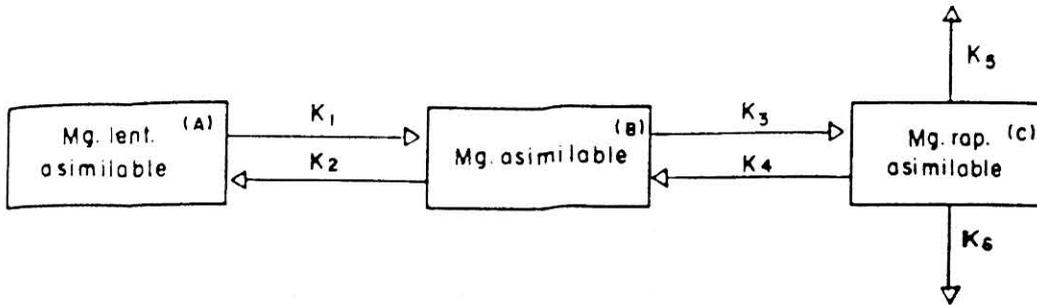
El Mg no intercambiable comprende la gran parte del Mg presente en el suelo y está representado por el Mg contenido en los minerales primarios y gran parte del Mg presente en los minerales secundarios el cual si bien es cambiabile lo es en cantidades ínfimas y a velocidades muy lejos de ser importantes para la nutrición de los cultivos.

El Mg cambiabile, representa cerca del 5% del Mg del suelo y corresponde al Mg adsorbido al complejo coloidal, constituyendo de 4-20% de la CIC total.

En Mg solubilizado es relativamente alto, comparado con el P y el K; su concentración varía ampliamente, oscilando entre valores extremos que pueden variar entre 0,2 a 150 mg.

Estas dos últimas fracciones estan directamente relacionadas con la nutrición de las cosechas y existe entre ellas una relación dinámica, en términos de equilibrio químico (leyes de GAPON Y KENN).

La dinámica del Mg en el suelo es muy similar a la del K y la del Ca, en el sentido que se pueden establecer tres fracciones (muy lentamente disponibles, disponibles y directamente disponible), entre las que existe un determinado equilibrio como se ilustra en el esquema siguiente:



Formas en que se encuentra el Mg. en el suelo

Los procesos envueltos en la dinámica del Mg y la significación de cada uno ya son conocidos, en el contexto de esta asignatura y de estas notas. Los procesos representados por K_1 y K_2 corresponden respectivamente a intemperización y fijación. Este último consiste en el "atrapamiento" del Mg por parte de las esmectitas y su incorporación a la red cristalina, ambos procesos se les considera de importancia, respecto de la nutrición de los cultivos.

La porción B corresponde al factor cantidad (definida para el P_0) y representa el Mg lábil, K_3 representa entonces la medida de desorción del Mg desde el complejo coloidal y K_4 expresa la adsorción. La razón K_3/K_4 representa la tasa de solubilización del Mg, de la cual depende la concentración de Mg en la solución del suelo; en otras palabras, la magnitud del factor I (intensidad) obviamente influencia la dinámica entre B y C directamente controlada por la remoción de Mg desde el suelo por las plantas (K_5) y/o la lixiviación (K_6). Esta última, a su vez, influenciada por el clima (precipitación) y por factores edafológicos como la presencia de H^+ , Al y otros cationes como el Ca y el NH_4 (acción antagónica tanto por los sitios de adsorción como por los de desorción).

En comparación con el Ca, las pérdidas por lixiviación son menores (2-3 veces) para el Mg (dado un mismo régimen de lluvias).

7.2. El Mg. en la planta

El Mg es absorbido desde el suelo como Mg^{2+} y se le encuentra como tal formando parte de la molécula clorofila y también formando sales orgánicas como malato, nitrato, pectano y oxalatos principalmente en semillas y hojas, 15-20% del Mg en la planta se encuentra formando parte de clorofila. Se trata de un nutriente muy móvil en la planta, siendo redistribuido fácilmente desde las hojas viejas hacia las nuevas y ápices.

El rol bioquímico más conocido del Mg en la planta es su participación en la estructura de la molécula de clorofila y se conoce también que el Mg juega un rol clave en la fosforilización de la glucosa ya que es cofactor (activador) de muchas de las

enzimas que participan en dicho proceso. Es también cofactor en la glucólisis (respiración vegetal), ciclo de krebs y síntesis de los ácidos nucleicos.

Las deficiencias de Mg se vienen presentando más frecuentemente en la agricultura moderna asociado con el uso intensivo de fertilizantes amoniacales, cálcicos y potásicos, especialmente en suelos de textura ligera y cuando se trata de cultivos exigentes en Mg.

Remoción de Mg por los cultivos.

La Remoción de Mg por parte de los cultivos varía ampliamente, oscilando entre 4-50 kg Mg/ha/año.

Los llamados "granos" son poco exigente en Mg, con la sola excepción del maíz, el que remueve alrededor de 30 kg/ha/año.

Leguminosas como la alfalfa y tréboles presentan una demanda de Mg moderada, alrededor de 20 Kg/ha/año. Los cultivos más exigentes están representados por la caña la azúcar (26 kg/ha/año), remolacha azucarera (50 kg/ha/año); los típicos cultivos de plantaciones, con la excepción de la palma, no son exigentes a Mg. Los árboles frutales, en especial el manzano, son exigentes en Mg y también muy sensibles a la carencia de Mg. Los cultivos de raíces son también exigentes en Mg.

La carencia de Mg afecta el proceso de elaboración de la clorofila y por ende la síntesis de carbohidratos, afecta también la síntesis de proteínas. Así mismo, afecta el metabolismo en general, definiendo los rendimientos y disminuyendo la calidad de las cosechas al reducir el contenido de proteínas.

Los síntomas de carencia se expresan, primero en las hojas viejas. La clorosis intervenal es el síntoma típico (a veces blanquecimiento) y necrosis bajo condiciones de carencia severa; esto vale en general para dicotiledóneas. En monocotiledóneas y particularmente en cereales la sintomatología que presentan se observa en la base de las hojas viejas, las cuales suelen presentar puntuación verde oscura (acumulación de clorofila) contrastando nítidamente con la lámina clorótica, acompañado de necrosis en el ápice de las hojas.

7.3. Fertilizantes Magnésicos:

Para el tratamiento de los suelos, en cuanto a mantener un adecuado nivel de Mg, a fin de evitar carencias de este nutriente se suele utilizar algunos de los materiales descritos en la tabla 23, en la que se indican además los respectivos contenidos de Mg.

Tabla 23. Contenidos en Mg. de algunos fertilizantes.

MINERALES	CONTENIDO % MgO
Carbonato de Mg ($MgCO_3$)	5-20
Oxido de Mg (MgO)	10-33
Kiesenita ($MgSO_4 \cdot H_2O$)	27
Sal Epson ($MgSO_4 \cdot 7H_2O$)	16
Sulfato de K magnesico ($K_2SO_4 \cdot MgSO_4$)	11
Magnesita ($MgCO_3$)	45
Dolomita ($Mg, CaCO_3$).	

La aplicación de éstos materiales se aconseja en casos de marcadas deficiencias. Un régimen de fertilización que induzca uso de fertilizantes conteniendo Mg, mantiene niveles adecuados de Mg en el suelo. Entre los fertilizantes portadores de Mg se tiene al fosfato de amonio magnésico y el fosfato térmico y las "escorias Thomas", y más recientemente, la industria de los fertilizantes está lanzando fertilizantes tanto nítricos como compuestos (PK) enriquecidos con Mg.

Las dosis a aplicar depende de la gravedad de la carencia y de la textura del suelo; en suelos arenosos este puede alcanzar hasta los 160 Kg MgO/ha , especialmente si se trata de cultivos que responden claramente al Mg como es la papa, tubérculos y raíces, en general.

Finalmente, se debe tener presente que la fertilización Mg es de mucha importancia en las empresas ganaderas dedicadas a lechería, ya que el Mg es necesario para la fisiología del animal; carencias del contenido de Mg en los animales, se operan por la vía de forrajes carentes en Mg. El resultado suele ser, el tétano ("tétano del pasto").

CAPITULO VIII. FERTILIZACION AZUFRADA

8.1 Azufre en el suelo.

El azufre en los suelos inorgánicos se presenta en forma de sulfato. Cantidades importantes de S se encuentran fijadas en la materia orgánica del suelo. De hecho, la materia orgánica constituye la fuente principal de S para la mayoría de los suelos. Por lo tanto, el contenido de materia orgánica y su proporción de descomposición influyen en la cantidad disponible de S para las plantas.

El ión sulfato tiene cargas negativas. De modo que éste no es atraído por las arcillas o la materia orgánica del suelo, con excepción de ciertas condiciones. Permanece en la solución del suelo y se mueve con el agua del suelo. De modo que es lixiviable. Es debido a esto que la capa superficial de los suelos es a menudo pobre en S. El azufre aumenta con la profundidad.

En algunos suelos de regiones áridas, la mayor parte de los sulfatos se presentan como yeso o asociado con cal libre. El agua de riego de estas zonas también pueden contener muchos sulfatos.

El S del suelo se recupera principalmente debido a los gases de dióxido de S de la atmósfera que son precipitados por la lluvia, y por los fertilizantes e insecticidas que contienen S.

La cantidad de S añadido por la atmósfera varía de acuerdo al medio ambiente local, las zonas cercanas a los centros urbanos y a la industria contienen las concentraciones de azufre más altas en su atmósfera.

Debido a que las lluvias, junto con los fertilizantes, han sido una fuente confiable de S, las deficiencias de este elemento han sido raras, y en las zonas donde se presentan deficiencias probablemente se deba a que las normas industriales reducen la producción de azufre y por la pureza de fabricación de los fertilizantes, no así los superfosfatos normal y los triple. Otra gran causa de la aparición de estas deficiencias en nuestros suelos se debe al monocultivo y la sobre explotación de los suelos, con la consecuente pérdida de la materia orgánica.

La dinámica del S es influenciado por seis factores: entre los cuales se cuentan : pH, arcillas, concentración de la solución del suelo, temperatura, tiempo de contacto entre suelo y sulfato.

En los ANDISOLES normalmente se asume que tienen niveles relativamente altos de S en la región centroamericana, sin embargo se considera que ya son importantes las deficiencias de este elemento, y que estas deficiencias han aparecido después de corregir las de P y B, según Jiménez, E. y Cordero, A. (1988).

Una de las propiedades de los Andisoles compartida con los Oxisoles y Ultisoles, es la de adsorber cantidades considerables de sulfato del suelo, por supuesto que en menor cuantía que la del fósforo.

La forma más importante de S insoluble es el S elemental, el cual no está disponible en forma inmediata para los cultivos. Su oxidación (generalmente por bacterias) en la forma de sulfatos se ve favorecida por:

- temperaturas cálidas del suelo
- humedad del suelo
- aireación del suelo
- tamaño de la partícula de S aplicado.

8.2 Azufre en las plantas.

El azufre es uno de los elementos importantes en las plantas en donde se encuentra desde trazas, hasta 1% en los tejidos. En algunos cultivos llegan a contener hasta mayor cantidad que la de fósforo por ejemplo en la cebolla.

La absorción del S por las raíces, es un proceso que requiere una buena dosis de energía por las raíces por que los días luminosos son muy efectivos para su asimilación.

Las funciones del S en la planta están relacionadas con la formación de proteínas y péptidos cuya estructura está unida por enlaces de S-S ; así como en compuestos de reserva en la planta, en resumen las funciones del azufre son tanto estructurales como enzimáticas.

Se sabe que las deficiencias de S están relacionadas con una disminución de la reducción de los nitratos en la planta, así como de la fijación del nitrógeno por leguminosas.

Las funciones del S en la producción se pueden resumir como:

-Mejora la calidad y cantidad de proteína en los granos de muchas plantas.

-En los pastos aumenta el nivel de proteína y reduce las relaciones N/S en ellos y su concentración de nitratos.

-Mejora la calidad de los cereales, tanto en lo que se refiere a su molienda y horneado como en su valor nutritivo.

-En los cultivos Oleaginosos aumenta el contenido de aceite.

-Mejora la calidad, color y uniformidad de las hortalizas.

8.3 Fertilizantes azufrados:

Los materiales usados como fertilizantes azufrados pueden ser agrupados en :1) solubles en agua y 2) insolubles en agua.

Las formas solubles incluyen los sulfatos de Ca, Mg, K, NH_4 , Zn, Cu y Mn. Los compuestos solubles por lo general son de efecto inmediato para las plantas, ellos se pueden lixiviar, especialmente en los suelos arenosos con pluviometría alta. Debido a su alta solubilidad se recomienda utilizarlos cuando ya se presenta una deficiencia severa de S

Los fertilizantes en polvo ya no son tan usados por el peligro de incendios, en la actualidad existen fertilizantes que contienen arcilla de bentonita la cual al aplicarse al suelo se hincha de agua y luego rompe el gránulo liberando el S. Así mismo existen productos de S que se usan con el agua de riego para regular el pH.

Tabla 24. Fuentes comunes de S y sus porcentajes.

Material	% de S
S elemental	30-100
Sulfato de Amonio	23.7
Yeso	12.0
Sulfato de Magnesio	13.0
Sulfato de Manganeso	14.5
Sulfato de Potasio	18.0
Sulfato de Potasio y Magnesio	22.0
Superfosfato normal	11.9
Superfosfato concentrado	1.4
Tiosulfato de Amonio	26.0

En Nicaragua se reporta que en la región del pacífico se ha informado niveles bajos de S y se recomienda que en los planes de abonamiento se debiera de incluir el S, según Burbano y Blasco (1975).

CAPITULO IX. MICRONUTRIENTES

9.1 INTRODUCCION:

Basándose en las cantidades que necesitan las plantas y en las funciones que realizan en ellas, los elementos se clasifican en distintas categorías a saber:

Nutrientes Primarios o Principales: Entre los que se pueden mencionar el N, P y K, los cuales son necesarios en cantidades relativamente grande, son los llamados macronutrientes principales.

Macro-nutrientes Secundarios: Es la calificación dada al calcio magnesio y azufre, debido a su existencia relativamente abundante tanto en suelos como en las plantas.

En los últimos años algunos autores han considerado a éstos dos grupos como uno solo, dándoles el nombre de macronutrientes; existiendo otros grupos importantes para el desarrollo de las plantas, el cual será nuestro objeto de estudio.

Micronutrientes: El término se refiere a aquellos elementos que son exigidos por las plantas en pequeñas cantidades y que en los suelos existen también en pequeñas cantidades. Sus proporciones se dan normalmente en partes por millón (p.p.m).

En la actualidad más de media docena de elementos menores se sabe, o se supone, son esenciales para el desarrollo normal de las plantas, entre ellos tenemos al Boro (B); zinc (Zn); hierro (Fe), manganeso (Mn); cobre (Cu); molibdeno (Mo) y el cloro. Además se ha demostrado que algunas especies de plantas se benefician de la presencia de sodio (Na); sílice (Si) y también vanadio (V) en el medio en que crecen.

Aunque la cantidad de micronutrientes encontrados en las plantas en cultivo es pequeña, todos ellos se encuentran presentes en cantidades adecuadas en el suelo para que la planta tenga un crecimiento y rendimientos óptimos. La carencia de uno, cualquiera de ellos, traerá como consecuencia la disminución de los rendimientos y una carencia grave, que puede originar la pérdida completa de la cosecha, con lo que se hace necesario el conocimiento sobre el comportamiento de estos nutrientes en el suelo, de sus funciones en las plantas y de los efectos de carencias o excesos posibles en la producción de cosechas.

9.2 Fuentes y Contenidos de Micronutrientes en el Suelo:

Material Parental:

Los suelos normales "reciben" sus microelementos principalmente de las rocas mediante los procesos de meteorización química y pedogenética que han sufrido los materiales que forman el suelo.

La distribución de los microelementos en suelo varía mucho conforme los tipos de rocas y los minerales que constituyen un suelo en partículas. En la tabla 25, se puede constatar que las rocas básicas tienen contenidos elevados, en cuanto que las rocas ácidas son más pobres en micronutrientes. Las rocas sedimentarias presentan contenidos intermedios.

Tabla No.25. Micronutrientes en rocas presentes en el suelo (p.p.m) Coelho y Verlengia (1973).

MICRO NUTRIENTE	ROCAS BASICAS	ACIDAS	SEDIM.	SUELO
B	10.0	15.0	12.0	10.0
Mn	2000.0	600.0	670.0	850-2500
Fe	86000.0	27000.0	33000.0	25000
Cu	140.0	30.3	57.0	50
Zn	130.0	60.0	80.0	40-60
Mo	1.4	1.9	2.0	1-2

Además se puede observar que los contenidos de Fe y Mn son relativamente altos en comparación con los de Zn y Cu.

La resistencia relativa de diversas rocas y minerales a la meteorización tienen relación sobre la textura y el contenido de microelementos de los suelos, así que los suelos de textura fina proceden de minerales que se meteorizan fácilmente, los cuales tienen contenidos altos de microelementos representando fuentes principales de micronutrientes (olivino, hornblenda). Mientras que los suelos de textura gruesa proceden de minerales como el cuarzo, que son resistentes a la meteorización y presentan bajos contenidos de micronutrientes.

Hay que hacer notar que a través de procesos de meteorización, precipitación, lavado y fijación se produce una gran diferenciación en el contenido de microelementos entre los suelos y dentro de su perfil.

La Materia Orgánica: Una segunda fuente importante de micronutrientes es la Materia Orgánica (M.O), en el proceso de mineralización de esta, los micronutrientes contenidos en ella son liberados y reincorporados al suelo. En suelos recién cultivados, se suele encontrar una mayor concentración de microelementos en el horizonte superficial del suelo, lo que sugiere que, gran parte de ellos se encuentra en la fracción orgánica.

Los micronutrientes contenidos en la materia orgánica no siempre están disponible para las plantas, esto se debe en parte a que la materia orgánica coloidal actúa como "acomplejante" de micronutrientes, es decir que se forman complejos organo-metálicos; constituyendo esto una "reserva" potencial a largo plazo; pues son bastante resistentes al ataque microbiológico.

Fertilización: Una tercera fuente de micronutriente es la fertilización, esta reviste una notable importancia, se trata de fertilizantes enriquecidos con micronutrientes, con diversas presentaciones.

9.3.- Factores que afectan la disponibilidad de Microelementos para las plantas:

Varios aspectos del suelo tienen influencia sobre la disponibilidad de micronutrientes; destacándose entre éstos la mineralogía, el grado de evolución, la reacción del suelo, el manejo del suelo (en cuanto a las prácticas de fertilización y encalado) y el grado de humedad de suelo.

La Mineralogía:

Ya fue referida la importancia de las rocas respecto al contenido de micronutrientes en el suelo, por lo que, la mineralogía del material parental va a definir originalmente la medida de riqueza del suelo en micronutrientes. En la tabla 26, se observa una marcada variación en los contenidos de microelementos en los minerales presentados.

Tabla No. 26. Distribución de elementos trazos, en varios minerales (Bear, 1964).

MICRONUTRIENTE	CONTENIDO DEL ELEMENTO EN P.P.M		
	Plagioclasa	Piroxeno	Olivino
Mo	<1	2	10
Cu	40	35	20
Mn	<10	2100	1700
Co	< 2	50	125
V	10	250	5

Grado de Evolución:

Un proceso típico de los ambientes húmedos tropicales es aquel que conlleva a un lavado intenso de los suelos, teniendo como consecuencia no solo el lavado de base, sino, también el de micro nutrientes. Los suelos tropicales muy evolucionados (oxisoles y ultisoles) presentan serias deficiencias en microelementos. Por otro lado en suelos arenosos (dado que en ellos predomina el cuarzo) al contenido de elementos trazos, es bajo.

La explotación intensiva de estos suelos conlleva un agotamiento rápido en micronutrientes.

La textura del suelo, es uno de los factores que tienen relación con los contenidos de micronutrientes disponibles en suelos minerales, pero existe poca información sobre la textura como factor que afecta la disponibilidad. Sin embargo se han registrado deficiencias de micronutrientes como B, Mn, Co, Cu, Mo, Fe y Zn en suelos de textura arenosa.

En el siguiente tabla 27, se muestra la disminución de los contenidos de micronutrientes solubles a medida que la textura de los suelos se torna más gruesa.

Tabla # 27. Promedio del contenido total y del contenido soluble (en acetato de amonio pH 4.6) de 5 microelementos en dos suelos de textura diferentes (Sillampaa, M. 1960).

MICRONUTRIENTES	SUELOS MINERALES FINOS (0) = 0,017mm)		SUELOS MINERALES GRUESOS (0) = 0.223mm)	
	Total	Soluble	Total	Soluble
Cu	33	0.61	16	0.29
Mn	1489	31.7	709	8.00
Ni	50	0.73	24	0.20
Pb	22	0.32	24	0.25
Zn	69	0.31	48	0.41

Reacción del Suelo:

El pH del suelo puede afectar de modo notable la disponibilidad y en consecuencia la absorción de micronutrientes por las plantas. Bajo condiciones de acidez, micronutrientes como el Cu, Fe, Mn, Zn, aumentan grandemente su solubilidad, hasta el punto de que algunos de ellos pueden tornarse tóxicos (Ej: Mn). Bajo condiciones de alcalinidad éstos elementos forman hidróxidos (OH) u otros compuestos insolubles, por el contrario el Mo aumenta su solubilidad.

Frecuentemente el micronutriente más sensible a los cambios de la reacción del suelo es el Mn, mientras que los menos afectados son el cobre y el zinc. La intensidad del efecto de un cambio del pH sobre la solubilidad de los micronutrientes no siempre es la misma, pues el pH influye sobre la actividad microbiana, la estabilidad del complejo metal-orgánico, factores que varían de un suelo a otro, por lo que a igual cambio de pH no se puede esperar una misma variación en la disponibilidad del microelementos en cuestión.

La fig.12, muestra el comportamiento de diferentes micronutrientes por efecto del pH.

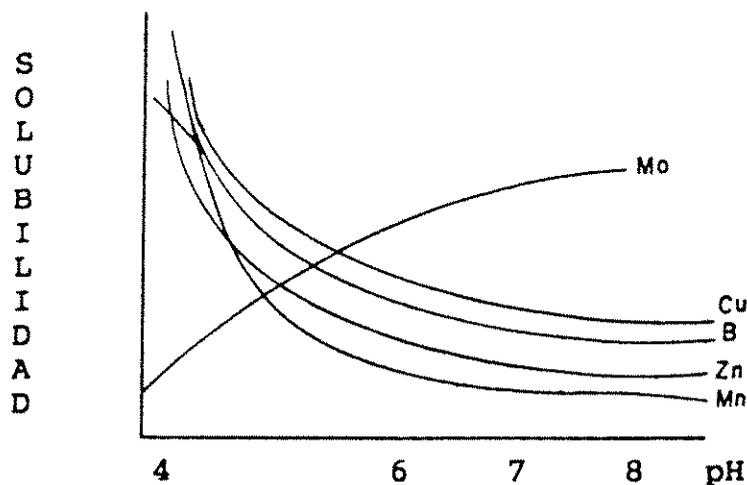


Fig.12. Solubilidad de algunos micronutrientes con relación al pH.

Grado de Humedad del Suelo.

La disponibilidad de Mn y Fe se ve más afectada por oxidación y reducción que la de otros micronutrientes, pero la reducción ocasionada por un alto contenido de humedad o por inundación puede aumentar en algunos casos la disponibilidad de S, Cu, Mn, Ni, Zn, Pb, hasta niveles tóxicos.

La baja disponibilidad de Mn y Fe en estado oxidado se explica por la menor solubilidad de la forma trivalente (Fe^{3+}) en comparación con la reducción divalente. (Fe^{2+}) (Ej: arroz de inundación).

Manejo del Suelo: (Encalado, fertilización, etc).

Entre los aspectos que pueden condicionar la disponibilidad de los micronutrientes se puede mencionar al encalado, una excesiva aplicación de "cal", trae como consecuencia carencias de micronutrientes, por esto se insolubilizan cuando aumenta el pH.

Se han reportado datos en los que se demuestra que los contenidos de Mn intercambiable pueden disminuir cuando se han aplicado dosis de cal en un suelo ácido. También se ha encontrado que estas aplicaciones tienen efectos en la absorción de algunos micronutrientes por las plantas, lo cual se ilustra en la tabla 28.

Tabla 28. Efecto del encalado sobre el pH y sobre el contenido de algunos micronutrientes en las plantas (FAO, 1972).

Tratamiento del suelo	pH	Contenido de micronutrientes(ppm) en tejido							
		Pasto mezclado				Trébol rojo.			
		Co	Ni	Mo	Mn	Co	Ni	Mo	Mn
Sin Ca CO ₃	5.4	0.28	1.83	0.42	125	0.22	1.98	0.28	58
14.4 t/ha.	6.1	0.19	1.34	1.54	112	0.18	1.4	1.48	41
27.1 t/ha.	6.4	0.15	1.08	2.14	72	0.12	1.1	1.53	40

Se puede observar también que el aumento del pH incrementa el contenido de Mo en las plantas por lo que se puede asociar con un aumento en la solubilidad del mismo en el suelo.

Materia Orgánica:

La influencia de ésta sobre la disponibilidad de micronutrientes, ha sido estudiada ampliamente, obteniéndose resultados contradictorios, lo que ha causado confusiones, al interpretarse los resultados analíticos. Lo que se sabe a ciencia cierta es que el humus retiene los cationes metálicos di y trivalentes con más fuerzas que los cationes metálicos alcalinos.

Se ha sabido durante mucho tiempo que el cobre (Cu) forma complejos bastante fuertes con compuestos orgánicos y es más vulnerable que el Mn para ser fijado por el humus, sin embargo algunos autores plantean que las plantas tienen el poder de tomar el Cu de los compuestos orgánicos.

Se asegura también que al añadir materia orgánica a los suelos minerales se aumenta el Mn intercambiable, así como otros microelementos tal como lo demuestra la fig.13

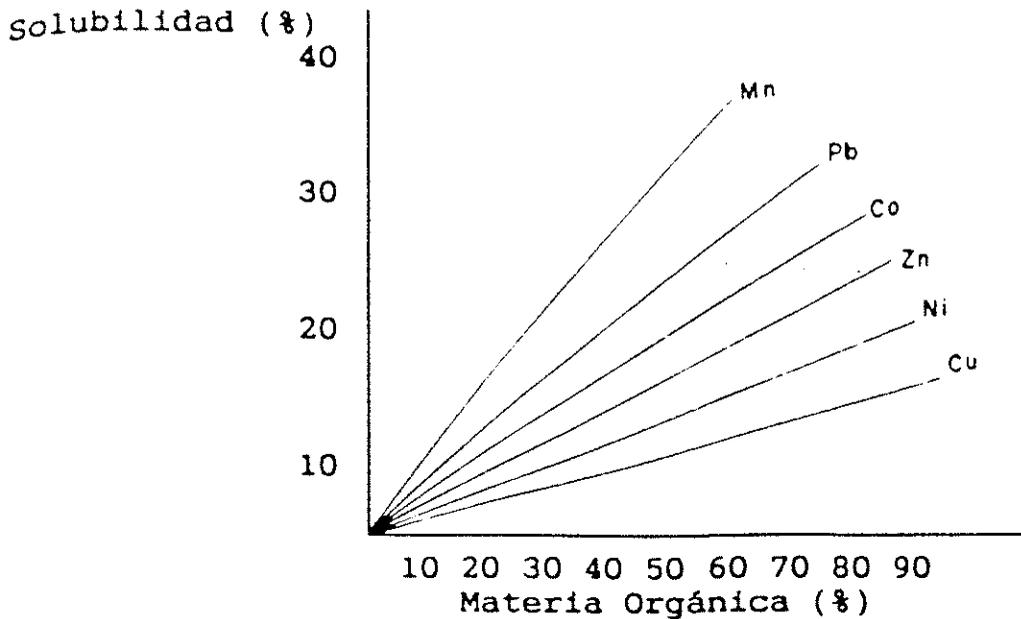


Fig.13. Relaciones entre la solubilidad relativa (acetato ácido de amonio) de sus macronutrientes y el contenido de materia orgánica (Sillampaa, M, 1960).

La disminución del pH con el aumento del contenido de materia orgánica, es aparentemente responsable, en parte, de la mayor solubilidad de los micronutrientes en los suelos orgánicos.

Las plantas son capaces de absorber micronutrientes acomplexados (quelatos), unidos a la materia orgánica y es claro que muchos de los casos de deficiencias encontrados en suelos turbosos no se deben al bajo nivel de disponibilidad sino a las carencias totales de micronutrientes en estos suelos.

Fertilización:

Una fertilización excesiva reduce la disponibilidad de micronutrientes, por causa de antagonismo, ya sea en el suelo como en la planta. Los principales antagonismos que afectan a los micronutrientes son:

- a). Exceso de P: Provoca insuficiencias de Cu, Zn, y F posiblemente causadas más por efectos dentro del vegetal, que en el suelo.
- b). Exceso de N: Provoca insuficiencias de Cu.

- c). Exceso de K: Causaría insuficiencias de B, Mn y Zn.
- d). Exceso de Mn: Provoca insuficiencias de Fe, porque aun dentro del vegetal, el Fe se oxida y se mal trasloca, puede haber suficiente Fe total y faltar Fe_2 , que es el metabólicamente activo.
- c). Exceso de Cu: Causaría insuficiencia de Fe y otros metales pesados.
- f). Excesc de Zn: Provoca insuficiencias de Fe, posiblemente porque el Zn actúa como agente catalítico de reacciones oxidativas.

El conocimiento de los factores antes mencionados permitirán asegurar la disponibilidad de micronutrientes para el normal desarrollo de los cultivos y por tanto la obtención de rendimientos óptimos; en conjunto con el conocimiento del comportamiento en el suelo como en la planta de cada micronutriente en particular, por lo que a continuación se hará un estudio más profundo en detalle de estos:

De los principales micronutrientes:

9.4.. El Hierro (Fe).

El Fe en el Suelo: fuentes, contenidos y dinámica:

Las principales fuentes naturales de hierro son los silicatos ferromagnesios como: El olivino, la angita, hornblenda, biotita, lapirita. Este se concentra en el suelo en forma de hematita (Fe_2O_3) y siderita ($Fe CO_3$), sùtil limonita, etc.

Contenido y dinámica del Fe en el suelo:

De los micronutrientes es el que más abunda en el suelo, y ocupa el cuarto lugar entre los elementos minerales más abundantes de la corteza terrestre, después del Si, Al y Mg.

En promedio los suelos contienen aproximadamente un 5% de Fe en peso. Los suelos ferruginos contienen un % más alto (más del 10%). Los suelos arenosos tienen un bajo contenido total de Fe (aprox. 1%) y las arenas ácidas lixiviadas son las que contienen menos de 1%. Sin embargo la nutrición de las plantas en Fe no

depende del contenido total en el suelo, sino de la cantidad de Fe disponible para las plantas, disponibilidad que depende del pH del suelo y del potencial de reducción-oxidación, principalmente. Así en suelos ácidos el Fe está normalmente en formas ferrosas (Fe^{2+}) las cuales son asimilables para las plantas. Pero en suelos de neutro a alcalinos, con buena aireación, el Fe_2 se oxida pasando a hierro férrico (Fe_3) el cual puede formar compuestos de baja solubilidad y por lo tanto se torna indisponible para las plantas.

El Fe en la planta: Rol Fisiológico y Nutricional:

El hierro desempeña un papel importante en varios sistemas enzimáticos, es constituyente de varias enzimas de oxidación-reducción, entre las que figuran las catalasas, peroxidasas deshidrogenasas (esta última es importante en el proceso de fijación simbiótica de N_2); además el Fe participa como "donador" de electrones en la cadena de citocromos, en la fase final de la respiración.

El hierro no forma parte de la clorofila, pero es indispensable para su biosíntesis. Las plantas que tienen carencia de hierro carecen de clorofilas y son cloróticas.

El contenido de Fe en las plantas es escaso en comparación con su presencia en el suelo. La cantidad de Fe en la planta varía según las partes de ellas y la especie. Su concentración oscila entre 50-100 ppm, según se observa en la tabla 29.

Tabla 29. Contenido de hierro en diversas plantas cultivadas (Wallian, 1966).

PLANTA EN CULTIVO	PARTE DE LA PLANTA	CONTENIDO DE Fe(ppm)	
		Deficiente	Normal
Maíz	Hojas maduración reciente	24-56	56-178
Arroz	Hojas	<63	>80
Soja	Vastagos (34 días de edad)	28-38	44-60
Girasol	Hojas maduración reciente	80	113
Alfalfa	15cm superiores	<30	30-400
Algodón	Hojas maduración reciente	<50	50-350

En general, las leguminosas son más ricas en Fe que las gramíneas. En las plantas jóvenes el contenido puede ser muy alto y disminuir con la edad, también las partes viejas de las plantas son más ricas que las jóvenes, debido al parecer, a la inmovilidad del hierro en la planta.

Efectos de Carencia y/o Exeso del Fe en la Producción:

El síntoma más común de la carencia de hierro es la clorosis de las hojas jóvenes, la clorosis comienza con un color pálido, seguido de amarillamiento de las zonas intervenales; a medida que la deficiencia se agrava toda la hoja acusa clorosis y finalmente se transforma en blanco apergaminado, pueden aparecer manchas necróticas.

La deficiencia de Fe, provoca un retraso en el crecimiento, en casos graves, la muerte de la planta.

Existe una amplia gama de cultivos sensibles a la carencia de hierro, pero entre los más sensibles están el: sorgo, arroz (secano), soya, cítricos y algunas plantas ornamentales.

Síntomas de Toxicidad de Fe:

Es raro encontrar concentraciones tóxicas de Fe en los cultivos. El arroz de inundación es una excepción, este sufre toxicidad en suelos muy ácidos, los síntomas aparecen en las hojas inferiores en forma de pequeñas manchas marrones, por lo general, las manchas se reúnen en las zonas intervenales. En casos de toxicidad grave todas las hojas toman un color marrón púrpura con la consecuente necrosis, lo cual trae como consecuencia baja en los rendimientos.

9.5.- El Cobre (Cu).

Fuentes, contenido y dinámica del Cu en el suelo.

Fuentes: El cobre se presenta en forma de sulfato. La calcopirita (CuFeS_2) es el más abundante de ellos, además el (Cu S) sulfuro cúprico, malaquita, etc, también se encuentra adsorbido a la superficie de los coloides del suelo como catión intercambiable; formando complejos organo-metálicos y una pequeña fracción del contenido total, se presenta en forma soluble (aprox. menos de 0.001 p.p.m).

Contenido en el suelo:

El contenido total de cobre del suelo varía entre 10 y 20 p.p.m, con un valor medio de 55 p.p.m. El cobre es más abundante en el basalto (100 ppm) que en el granito (10 ppm) por lo que suelos de origen basáltico son mas ricos en contenido total que los de origen granítico.

La disponibilidad de cobre está estrechamente relacionada con el contenido total de cobre, ésta fluctúa ligeramente según el pH del suelo; disminuye cuando el pH excede de 7.0 y mejora su disponibilidad con valores de pH menores que 6. En los suelos muy ácidos (pH < 4.5) la baja disponibilidad de cobre puede deberse a que: una absorción excesiva de otros nutrientes obstaculiza la absorción de cobre o bien, que cuando el pH es bajo el cobre soluble queda inmovilizado en silicatos aluminicos, fosfatos y otros iones.

De los micronutrientes catiónicos el Cu está más fuertemente enlazado con la materia orgánica.

El problema de la normal nutrición de las plantas tomando en cuenta las necesidades mínimas de Cu que ellas requieren, no puede plantearse en función de los mayores o menores contenidos en el suelo, sino a las condiciones edáficas en particular, que permitan o no su absorción, en este sentido ya se ha explicado la influencia de factores como el contenido de materia orgánica y el pH, pero también los contenidos de otros elementos como: N,P,Zn; pueden considerarse influyentes. Debido a que un alto contenido de N y de P obstaculiza la nutrición de Cu y por consiguiente, origina la carencia de este micronutriente en los cultivos. Un exceso de zinc en el suelo puede ocasionar deficiencias de cobre en la planta.

El Cobre en la Planta: .

Las funciones del Cu estan asociadas con un buen número de enzimas, ya sea como activador, o formando parte de ellas. Su capacidad de experimentar reducción reversible, al igual que el Fe ($Cu^+ \rightleftharpoons Cu_2^{+2}e^-$), le permite intervenir en una gran variedad de procesos redox. También tiene una destacada participación, como elemento catalítico, en la síntesis de proteínas.

La concentración de cobre en las plantas varía generalmente entre 5 y 20 ppm, lo cual se puede observar en la tabla 30.

Tabla 30. Contenido de Cu en diversas plantas (Jones, 1972).

PLANTA DE CULTIVO	PARTE DE LA PLANTA	CONTENIDO DE Cu (ppm)		
		Deficiente	Natural	Excesivo
Maíz	Hoja de la mazorca	<5	5-30	>30
Algodón	Hojas de maduración reciente.	<8	8-20	>20
Citricos	Hojas de 4-7 meses	4-6	6-16	17-22
Soya	Hojas de maduración reciente.	10	10-30	>30

El cobre se comporta como un elemento móvil en las plantas que están bien provistas (abastecidas), mientras que en plantas con carencias de Cu, se comporta como un elemento inmóvil; por ésta razón en plantas bien abastecidas, las hojas jóvenes y los extremos de los brotes tendrán una concentración relativamente más alta que las hojas viejas. En cambio en plantas con carencia de Cu será al contrario.

El cobre es absorbido por la planta como Cu_2 , o como complejo orgánico (Cu-EDTA), ya sea por vía radicular o foliar.

El cobre se puede detectar en los distintos órganos del vegetal, pero es en las hojas donde se encuentra en mayor concentración. También las semillas tienen alta concentración.

Efectos de Carencia y/o Exceso en la Producción:

El límite de concentración de Cu en las plantas por debajo del cual muestran síntomas de carencia y responden al tratamiento con cobre, varía según las especies en cultivos, si las plantas contienen menos de 4 ppm, suele haber carencia de este nutriente en la planta.

No se sabe muy bien cual es el contenido que resulta tóxico, pero en general se cree que valores mayores de 20 ppm pueden perjudiciar a la planta.

Sintomas de Carencia:

Estos síntomas varían mucho con las especies, en general, las hojas se forman cloróticas o verde-azules, con los bordes enrollados, abarquillándose, en etapas más avanzadas se necrosean las yemas y meristemas. La floración y formación de frutos se impide.

Sintomas de Toxicidad: El más destacado es la clorosis, la cual se parece a la causada por deficiencia de Fe.

9.6. Manganeseo:

Fuentes, contenido y dinámica del Mn. en el suelo.

El Mn de los suelos procede principalmente de la descomposición de las rocas ferromagnéticas.

Los minerales secundarios más importantes en que se concentra el Mn son la perolusita (MnO_2), la manganita ($MnO_2 \cdot H$) y la braunita (Mn_2O_3).

El contenido total de Mn varía considerablemente según el suelo, en ciertos suelos tropicales puede alcanzar valores altos, hasta un 10%. Lo más corriente es que el contenido total de Mn oscile entre 200 y 3000 ppm.

Las fracciones más importantes de Mn en el suelo son el Mn_2 , y una serie de óxidos de manganeso en los cuales el Mn se presenta en formas trivalentes o tetravalentes.

El manganeso bivalente (Mn_2) y los óxidos de Mn se hallan en equilibrio dinámico. El equilibrio entre las diversas formas de Mn depende del estado de oxidación-reducción del suelo. La reducción del suelo inclina el equilibrio hacia el Mn^{2+} , cuyo contenido aumenta en los suelos saturados.

El Mn_2 tiene cierta movilidad en el suelo y puede lixivarse en condiciones extremas, lo cual puede reducir el contenido total en el suelo.

El contenido total de Mn de un suelo, sin embargo, no es un buen índice para determinar la disponibilidad de Mn para las plantas. El nivel del Mn_2 disuelto depende de varios factores; entre ellos el pH, contenido de materia orgánica, humedad del suelo, textura del suelo. (En un suelo con poca aireación y condiciones de pH ácidas favorecen mucho la mayor cantidad de Mn_2 disuelto). La alcalinidad y la aireación favorecen la conversión a formas menos solubles, como Mn_3 y Mn_4 .

Es sabido, que al igual que otros micronutrientes el Mn forma complejos metal-orgánicos (quelatos) con la materia orgánica, reduciendo temporalmente la disponibilidad de éste, para las plantas.

Suelos arenosos en general, y suelos arenosos ácidos en particular tienen un contenido bajo de manganeso.

El Mn en la planta: .

El Mn es absorbido por las plantas como Mn_2 , sin embargo, en el tejido vegetal se encuentra como Mn_3 y Mn_4 , lo cual indica que éste en la planta (Mn_2), está sometido a reacciones de óxido-reducción.

El Mn desempeña diversas funciones en las plantas. Es esencial para la fotosíntesis, actúa como agente catálico en la reducción del nitrato, es constituyente de algunas enzimas respiratorias y de enzimas responsables de la síntesis de proteínas, actúan como activador de síntomas enzimáticos como: El metabolismo de los carbohidratos y del ciclo del ácido carboxílico.

El contenido normal de Mn en las plantas varía entre 20 y 500 ppm sobre la base en peso seco.

Efectos de Carencia y/o Exceso de Mn sobre la producción:

La concentración de Mn en las plantas refleja directamente el rendimiento de la planta. Los contenidos críticos de Mn por debajo de los cuales se supone que la planta responderá, varía en dependencia de la especie en cultivo, en términos generales se plantea que un contenido inferior a 20 ppm indica carencia de Mn y concentraciones mayores de 500 ppm se consideran tóxicos. Existen diversas especies que pueden tolerar concentraciones altas de Mn, tal es el caso del arroz que puede tolerar concentraciones tan altas como 2 500 ppm y seguir creciendo sin mostrar ninguna anomalía.

Síntomas de Carencias: Las características de los síntomas de carencia de Mn varían según las plantas en cultivo. Generalmente los síntomas de deficiencia incluyen una decoloración de verde pálido a amarillo, o manchas necróticas entre los nervios de las hojas jóvenes; a veces las características recuerdan las de la deficiencia del Fe o Mg.

Los cultivos acusan diferencias en cuanto a su respuesta al contenido bajo o alto de Mn en el suelo. Así la soya, avena, remolacha azucarena y cítricos acusan fácilmente la carencia de Mn.

Síntomas de Toxicidad:

Se manifiestan por la presencia de manchas marrones en las hojas más viejas; zonas intervenales realzadas, que dan a la hoja un aspecto arrugado. Los síntomas es probable que se desarrollen en suelos ácidos donde la disponibilidad de éste elemento está en un máximo.

9.7. El Molibdeno (Mo).

Fuentes, Contenido y Dinámica del Mo. en el suelo.

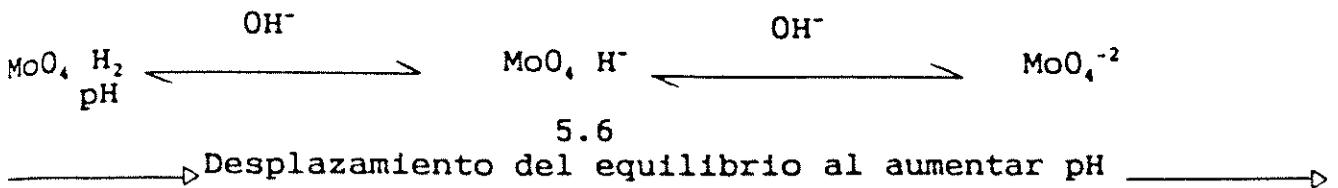
Los minerales que contiene Mo son: La molibdenita (MoS_2), Wulfenita (PbMoO_4) y la ferromolibdita ($\text{Fe}(\text{MoO}_4)_3 \cdot 8\text{H}_2\text{O}$). El Mo también está presente en las estructuras silicatadas de micas y feldspatos minerales, en esta forma, el Mo es muy insoluble. En los suelos, especialmente en los suelos ácidos, el Mo se presenta en asociación con sesquioxidos, éste es retenido y es prácticamente indisponible para las plantas.

El contenido total de Mo del suelo varía entre 0.6 y 3.5 ppm, con un valor medio de 2 ppm. El Mo en el suelo está en gran parte en forma no asimilable porque hasta el 90% del Mo total puede encontrarse en forma mineral. Las fracciones disponibles están

representadas por el Mo adsorbido a los coloides, por el Mo presente en la solución del suelo y el Mo que se encuentra "ligado" con la materia orgánica.

El contenido de Mo presente en la solución del suelo depende mucho del pH, el cual al parecer es el principal regulador de la solubilidad del Mo. Al contrario que otros microelementos (Mn, B, Fe, Cu, Zn), el Mo se hace cada vez mas disponible al aumentar el pH.

La concentración de MoO_4^{2-} (forma asimilable por la planta) se incrementa al aumentar el pH, ya que ésta forma tiende a predominar sobre las de MoO_4H^- y MoO_4H_2 , cuando el cambio se va produciendo, lo cual se demuestra en la siguiente reacción.



A un pH 5-6, la especie MoO_4H^- es la dominante, mientras que a un pH mas bajo la forma no ionizada (MoO_4H_2) y el catión MoO_2 , son los que están presentes. Estos cambios explican que en los suelos alcalinos, las deficiencias de este microelemento no se presentan y que en los suelos ácidos al encalarse eleven su contenido de Mo asimilable.

En suelos ácidos la disponibilidad Mo es demasiado escasa para cubrir la necesidad de los cultivos, esto se debe a la presencia de óxidos de Fe y Al en estas condiciones, ya que puede darse un adsorción, debido a que, estos óxidos son capaces de crear cargas positivas y adsorber aniones. Según se observa en la fig. 14.

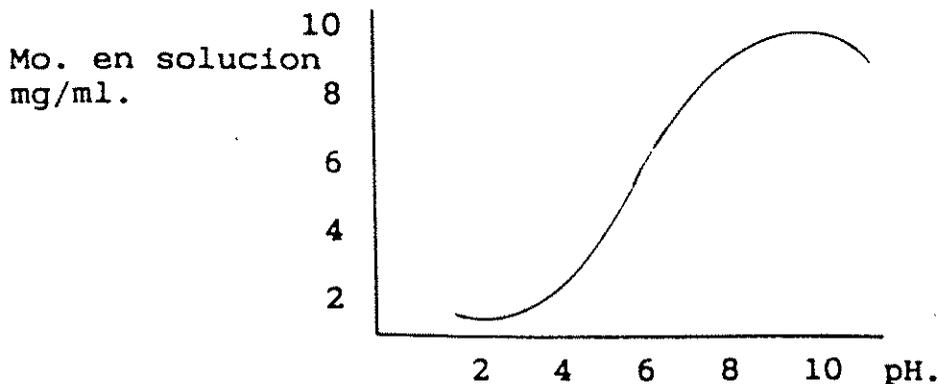


Fig.14. Efectos del pH sobre la concentración de Mo en solución (Gelho F. 1973).

El Mo. en la Planta: Rol Fisiológico y Nutricional:

El Mo es absorbido por las plantas como anión MoO_{4-2} . Es un componente esencial de las enzimas nitrato reductasa y nitrogenasa, jugando un rol importante en la reducción de los nitratos y en la fijación biológica de N_2 .

Se considera que el Mo es un correctivo en casos de exceso de Cu, B, Ni, Zn en las plantas. Las concentraciones de Mo en las plantas son muy variables pueden tener menor de 0.1 ppm o mas de 300 ppm. Una concentración típica oscila entre 0.1 y 2.0 ppm.

Las plantas pueden tolerar concentraciones altas de Mo, pero un alto contenido en los forrajes (mas de 15 ppm) puede causar trastornos al grado (por ejemplo; la "molibdenosis").

Efectos de Carencia y/o Exceso en la Producción:

Las plantas más sensibles a la carencia de Mo son las crucíferas y las leguminosas. Cítrico y alfalfa son de sensibilidad media.

Síntomas de Carencias: La deficiencia de Mo se presenta frecuentemente en suelos ácidos, pero raramente se observa en los alcalinos.

Como el Mo interviene en el metabolismo del nitrógeno en las plantas, su carencia se parece a la del nitrógeno. Esto es aún más notable en las leguminosas, en donde un contenido inadecuado de Mo en el medio de crecimiento, obstaculiza la fijación del nitrógeno.

Las plantas con carencia de Mo tienen un crecimiento restringido, sus hojas palidecen y acaban marchitándose. Los síntomas varían de una especie a otra, pero, por lo general aparecen primero en las hojas adultas, y luego aparecen en las jóvenes sobre el punto de crecimiento. Esto trae como consecuencia la reducción de los rendimientos.

En los cítricos la deficiencia se manifiesta con el apareamiento de manchas amarillas de aspecto brillante, circulares o elípticas, entre los nervios y en el envés de las hojas puede formarse una sustancia gomosa de color pardo.

Síntomas de Toxicidad:

Estos casos bajo condiciones de campo son, en general, muy raros. Las plantas pueden tolerar concentraciones relativamente

altas de Mo en sus tejidos. Sin embargo, como ya ha sido señalado, el exceso de Mo en las plantas destinadas para forraje, puede dar lugar, a serios trastornos en los animales que consumen dicho material.

9.8. El Boro (B).

Fuentes, contenido y dinámica del B. en el suelo.

El más importante mineral del suelo que contiene boro, es la turmalina, que es un borosilicato que contiene aproximadamente un 3% de B y cantidades variables de Fe, Al, Mg, Ca, Li y Na. Es un mineral resistente a la meteorización, la liberación del B de este material bajo la forma de boratos es lenta, por lo que el suministro de B para las plantas a partir de esta fuente no es muy importante. Otro mineral importante es el Borax ($\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \cdot 10 \text{H}_2\text{O}$) el cual también es un mineral poco soluble. Otra fuente de B en el suelo es la materia orgánica, además hay que tener presente que el B también forma complejos con la materia orgánica (quelatos). El agua de mar es una fuente de B digna de ser mencionada, ya que en las zonas costeras suelen hallarse cantidades superiores de este micronutriente, que en suelos interiores al litoral.

Los niveles totales de B en la mayor parte de los suelos oscilan entre 2 y 100 ppm, con un promedio de 30 ppm. La mayor parte, no es utilizable por la planta. La forma asimilable (en solución) solo alcanza un rango entre 0.4 y 5 ppm y es suministrada principalmente por la fracción orgánica.

Los valores más bajos se encuentran en suelos derivados de rocas ígneas ácidas (textura gruesa) y en suelos con bajo contenido en materia orgánica. En cambio en suelos de textura fina dan valores más altos en contenido total de Boro.

El B es lixiviado fácilmente, por ésta razón, los suelos de zonas húmedas tienen contenidos bajos de Boro.

El ciclo del B en el suelo abarca, consecuentemente, el B de la materia orgánica, el del complejo coloidal, el de la solución del suelo y el contenido en los minerales ya referidos. El equilibrio está controlado por el pH, se ha demostrado que la solubilidad del B decrece con pH en el rango de alcalinidad; en cuanto que esta solubilidad no es alterada por las variaciones de pH en condiciones de acidez; la solubilidad es mayor en condiciones ácidas que en condiciones alcalinas.

El Boro en la Planta:

El B es absorbido como BO_3^- lo mismo que como H_3BO_3 (no disociado). El B es un elemento estructural de las paredes celulares, se acumula en los puntos de crecimiento, estimula el

crecimiento y la formación de frutos. El B facilita el transporte de los carbohidratos a través de las membranas de las células, tiene influencia también en la síntesis de proteínas y en la absorción activa de nutrientes, es imprescindible para la formación de nódulos en las leguminosas.

El contenido de B en las plantas está estrechamente relacionado con su carencia o toxicidad se considera como adecuado un valor de Boro que oscile entre 15 y 100 ppm. En los casos que contiene menos de 15 ppm se puede sospechar que dicha planta sufre carencias y si excede de 200 ppm, cabe suponer que hay toxicidad debida al Boro.

Efectos de Carencia y/o Excesos sobre la Producción:

Entre las plantas más sensibles a las carencias de Boro se encuentran las leguminosas y las crucíferas, los cereales son poco sensibles a las carencias de Boro en el suelo.

Sintomas de Carencia:

Los primeros síntomas aparecen en las partes jóvenes, debido a que el Boro es poco móvil en la planta: Los brotes terminales forman rosetas y no se desarrollan. En algunos casos las yemas terminales mueren y favorecen la formación de yemas laterales.

Sintomas de Toxicidad:

La toxicidad natural por Boro es relativamente rara, mientras que la toxicidad por B añadido es más probable debido principalmente a:

Aplicación de B con el agua de riego, la cual a veces puede ser rica en Boro.

Utilización indiscriminada de fertilizantes a base de Boro.

9.9. El Zinc (Zn).

Fuentes, contenido y dinámica del Zn. en el suelo.

Las principales fuentes de Zn, son la Biotita, Augita, y la Hornblenda.

El contenido en zinc de la litósfera es aproximadamente de 80 ppm. su contenido en los suelos oscila desde 10 a 300 ppm, pero estos contenidos no son suficiente criterio para evaluar su disponibilidad para las plantas.

La disponibilidad del Zn para las plantas, está condicionada por diversos factores del suelo : pH, nivel de fósforo, contenido de materia orgánica y adsorción por las arcillas.

Numerosos estudios han mostrado que el Zn es generalmente más disponible para las plantas en suelos ácidos que en los alcalinos, como regla general la mayor parte de las deficiencias de Zn inducidas por el pH ocurren en el orden de 6 a 8.

Con frecuencia se ha observado deficiencias de Zn en suelos ricos en fosfato. En la florida, la deficiencia de Zn en cítricos fue asociada con altos niveles de fósforo en el suelo. La naturaleza de este fenómeno no es ciertamente conocido, por lo que se considera que la precipitación del fosfato de Zn, no es suficiente para explicarlo.

Así mismo la materia orgánica tiene efectos relacionados con la disponibilidad del Zn para las plantas, deficiencias de Zn han sido observadas en suelos ricos en materia orgánica, al parecer los microorganismos tienen un efecto de inmovilización del Zn.

Por otro lado el Zn esta sujeto a la dinámica de adsorción por las arcillas en relación con la presencia de carbonatos de Ca y Mg. Por tal razón las deficiencias de Zn son acentuadas en suelos calcareos y la adición de cal en suelos ácidos también ha producido deficiencias de Zn.

Insuficiencia de Zn se puede presentar en:

- 1.- Suelos Arenosos, ácidos, lavados, con bajo contenido de Zn total.
- 2.- Suelos formados a partir de granitos, gneis y otras rocas ácidas de "grano grueso".
- 3.- Suelos Orgánicos con bajo potencial de mineralización.
- 4.- El encalado disminuye la asimilabilidad del Zn.

El Zn en la planta:

El Zn se absorbe como Zn_2 .

- Interviente en la formación de auxinas.
- Síntesis de proteínas.
- Agente catalítico en reacciones oxidantes.
- Metabolismo de carbohidratos y fotosíntesis.

Deficiencia:

El Zn no es traslocado en la planta, de ahí que sus síntomas de deficiencias aparezcan primero en las hojas más jóvenes y otras partes de la planta en crecimiento activo.

Una buena forma de corregir las deficiencias es la de aplicarlo al voleo o en surco con los otros fertilizantes. Este tipo de aplicaciones duran por varios años. Las aplicaciones foliares han sido usadas con éxito por lo general como medida de emergencia o temporal.

Tabla 31. Fuentes de Zn y sus contenidos.

Fuente	% de Zn
Sulfatos de Zn(hidratados)	23-25
Oxido de Zn	78
Sulfato de Zn básico	55
Carbonato de Zn	52
Quelatos de Zn	9-14
Otros organicos	5-10
omplejos de Zn	10

9.10 OTROS MICROELEMENTOS

Estos oligoelementos (microelementos), no ha sido plenamente plenamente como elementos esenciales, sin embargo se conoce que realizan papeles importantes en la planta y están en procesos de investigación a fin de precisar sus roles dentro de las funciones de los cultivos.

A continuación se presentan alguno de ellos, con el objetivo de proporcionar a los estudiantes de Suelos y Agua, alguna información al respecto de estos microelementos.

COBALTO

No ha sido definitivamente demostrado que el Cobalto sea necesario para las plantas superiores, aunque existe información respecto de la respuesta de algunos cultivo a este elemento, sobre todo en no-leguminosas. El Cobalto, sin embargo, es requerido por las bacterias Rhizobium para la fijación del Nitrógeno.

Los niveles de Cobalto disponible son bajos, siendo del orden desde algunas centésimas hasta una parte por millón. Trabajos realizados en Rusia, demuestran que el Cobalto aumenta su disponibilidad con el contenido de humus del suelo desde 3.4 a 16.9

por ciento; sin embargo en la India no se encontró esta relación tan directa. Investigadores en la Universidad de Cornell obtuvieron resultados en que la Arcilla tipo 2:1 tienen una mayor capacidad para la adsorción de Cobalto.

Actualmente se ha demostrado, que al aumentar el pH del suelo, disminuye la disponibilidad del cobalto.

El Cobalto no se aplica actualmente como fertilizante.

CLORO

Poco se conoce acerca del Cloro como nutriente para las plantas. Trabajos realizados en invernaderos en California demostraron que en el cultivo de Trébol podía tener deficiencias de Cloro. Investigadores en Maine, han descrito una deficiencia de Cloro en Patatas.

Numerosos estudios han demostrado que el Cl se filtra con gran facilidad en los suelos. La filtración en suelos bien drenados tiende acumularse en las profundidades, lo que pudiera ser un problema en suelos de pH alto.

SELENIO

Este elemento que no se considera como microelemento, es un factor de importancia en la producción, pues algunas zonas son tan ricas en este elemento que los animales pastando se han envenado, por ejemplo en Nebraska en 1856. Se conoce como "enfermedad alcalina". Se ha demostrado que es importante para los animales y no para las plantas, aunque se hacen investigaciones para encontrar su relación con la nutrición de los cultivos.

Debido a su efecto tóxico no se aplica como fertilizante

SILICIO

El Silicio es el segundo elemento más abundante en la litosfera después del oxígeno, la accesibilidad del Si para la planta depende de la capacidad de pasar a la fase soluble del suelo. Cuando se encuentra asociado con minerales el Si, es difícilmente disponible, tal como el Cuarzo. El Si está presente como Si(OH)_4 en un amplio rango de pH y está en equilibrio con la forma SiO_2 . Estas formas están controladas por el pH y las reacciones en los sesquioxidos, sin embargo la absorción decrece a pH 9.5. Los suelos ácidos no presentan cantidades importantes de Si en solución.

La forma de absorción por las plantas es en la forma de ácido monosilicato o sea Si(OH)_4 . Según, Mengel(1988), el Si protege los cultivos contra enfermedades y ataques de insectos, cuando los niveles de ataque son normales, así como contribuye a la

resistencia de las plantas a los altos niveles de Mn. Uno de los cultivos que responden al Si es el Arroz y Tabaco.

Los fertilizantes con Silicio contienen silicatos solubles, silicato de fosfato y silicatos de calcio.

CAPITULO X. ABONOS ORGANICOS

10.1 Introducción.

La materia orgánica y la aplicación de diferentes abonos orgánicos se ha relacionado tradicionalmente con la fertilidad de suelos ricos en materia orgánica y que son generalmente productivos. Por otro lado desde la antigüedad y hasta que surgieron los fertilizantes minerales, los abonos orgánicos fueron la única forma de aumentar la fertilidad.

Los abonos orgánicos aportan diferentes cantidades de N y P así como pequeñas cantidades de potasio y elementos menores en una proporción menor que la aportada por los fertilizantes minerales, sin embargo, no solo debe verse como aportadora de elementos nutritivos asimilables, sino además, como compuestos de una acción activa y multifacética que actúa directamente en el mejoramiento de los suelos aumentando la estructuración y la estabilidad del suelo, la aireación y permeabilidad, aflojando el suelo, aumentando la retención de agua aprovechable, la actividad microbiana, cediendo lentamente el nitrógeno y formando compuestos que facilitan la asimilación de elementos como el fósforo y su preservación, su efecto es particularmente importante en suelos arenosos así como arcillosos o pesados.

Su combinación con fertilizantes minerales han reportado beneficios incuestionables.

En los países desarrollados se hace uso muy intensivo de los abonos orgánicos representando una porción considerable en los elementos fertilizantes aplicados. Por ejemplo en Rusia, los abonos orgánicos aportan del 35 al 40% de los elementos nutritivos aplicados al suelo, los abonos orgánicos pueden ser de origen animal, vegetal y mixtos.

Entre los principales abonos orgánicos se encuentran: Estiércol, purín, gallinaza, guano de murciélago, cachaza, paja, turba, compost y los desechos urbanos, como basura, sedimentos, aguas residuales, etc.

10.2 Abonos orgánicos de origen animal

Estiércoles:

Este puede ser vacuno, caballar, caprino, etc. El más comúnmente utilizado es el estiércol de ganado vacuno. El estiércol vacuno esta formado por una mezcla de las deyecciones sólidas y líquidas con la cama de los animales que ha sufrido un proceso más o menos avanzado de fermentación.

Se considera su aplicación, cuando posee propiedades físicas tales que permite su esparcimiento.

La composición varía según el tipo de cama, sea paja, aserrín o turba, alimentación, etc.; pero en las instalaciones más modernas se colecta el estiércol puro a veces incluso separando lo sólido del líquido. Esta forma resulta más higiénica y económica concentrándose el estiércol en fases preparadas al efecto.

Como promedio de la composición básica del estiércol vacuno se tienen los siguientes contenidos de forma general:

N = 0.34%; P_2O_5 = 0.13 y K 20 = 0.35%

En el estiércol fresco se concentra más el N y el P que en la parte líquida, como puede apreciarse en la tabla No.32.

Tabla 32.COMPOSICION POR FASES DEL ESTIERCOL VACUNO

FASE	N	P2O5	K20
Sólida	0.32	0.21	0.15
Líquida	0.85	0.01	1.4

En el establo o en la estercolera se producen pérdidas del nitrógeno en forma de amoníaco y para evitarlas se emplea el superfosfato simple a razón de 450 g/animal formándose así en forma de sulfato de amonio y fostato de amonio.

El estiercolero debe tener piso impermeable con unos 15cm. sobre el nivel del suelo y techo. La mejor forma de preparar el estiércol es por el método denominado intermedio (ni en frío ni en caliente) que consiste en hacer pilas hasta que alcance una temperatura de 60-70°C, después se riega y se prensa; para evitar las pérdidas de nitrógeno se añade superfosfato y se mantiene húmeda la pila. Debe mantenerse con techo, y aunque su composición es variable su relación C/N es suficientemente baja como para no provocar inmovilización del N.

Se considera que del estiércol puede aprovecharse en el primer año el 60% del N, 80% del P y el 70% del K.

Las dosis fluctúan entre 10 y 60 t/ha. antes de la siembra.

GALLINAZA:

Es más rica en nutrientes que otros estiércoles, se obtiene de 2 formas: pura y seca (a veces con cal) y gallinaza mezclada con 60-70% de materiales de cama.

En el primer caso se pierde mucho nitrógeno por volatilización. En otros casos se utilizan los desechos de las aves de engorde que contienen virutas de aserrín u otros materiales de cama que se descomponen más lentamente.

Por alta relación C/N, si se añade superfosfato del 12-25% del peso de la gallinaza, se reduce las pérdidas del N.

En la tabla No. 33 se muestran los contenidos de nutrientes en diferentes tipos de gallinaza.

Tabla No.33 CONTENIDO DE NUTRIENTES PROMEDIO DE DISTINTOS TIPOS DE GALLINAZA EN %

TIPO AVE	HUMEDAD	N	P205	K20
Ponedora	75.0	1.42	1.06	0.47
Engorde	74.1	2.09	1.08	0.88

Se recomienda aplicar diariamente 1 Kg. de superfosfato simple por cada 100 aves, lo cual equivale aproximadamente a 150Kg. de superfosfato por toneladas de gallinaza.

GUANO DE MURCIELAGO:

Se obtiene de las cavernas donde habitan, además de los murciélagos, otras aves, ratones, insectos, etc. Cuyas excretas y restos producen un material muy rico en fosforo si es viejo y rico en nitrógeno si es fresco. Contenidos de nutrientes se muestran en la tabla 34.

Tabla 34. COMPOSICION PROMEDIO DEL GUANO DE DIFERENTES EDADES

Nutrientes %	Fresco	Viejo
N	9.5	0.24
P total	7.0	18.8
P asimilable	6.0	7.9
K20	2.5	0.74

El guano es pobre en materia orgánica y es apropiado para suelos ácidos.

Preparación de estiercoleros:

Estos deben de tener piso inpermiable sobre unos 15 cm del piso. Estos estercoleros son los sitios donde los estiércoles sufren el proceso de transformación hasta alcanzar el punto para su aplicación, algo inevitable es la pérdida de nitrógeno en el proceso, es recomendable el techar el lugar para evitar el efecto directo de las lluvias y el sol, afectando el proceso. El proceso es parecido al usado en el compostaje, usando capas alternas de suelo en el montón. En el caso de la gallinaza se usa superfosfato esto retarda la descomposición del ácido urico y la urea retardando la volatilización del amoníaco.

10.3 Abonos orgánicos de origen vegetal

CACHAZA:

Es un sub-producto de la industria azucarera consistente en una mezcla de fibras, tierra, sacarosa, cera, compuestos albuminoácidos, etc. Obteniendo como residuo en el proceso de clasificación del guarapo. Esta se acumula en pilas para darle diferentes usos o se arroja a desagües naturales o a canales de regadío.

La composición es variable. En general presenta buen contenido de N y P, pero bajo en Potasio.

Valor medio de contenido de nutrientes (%)

Humedad	N	P ₂ O ₅	K ₂ O
70	3.6	4.1	0.38

Su aplicación en los suelos tiende en ocasiones a aumentar el pH y el contenido de calcio. Se aplica en cantidades aproximadas de 60-70 t/ha., cuando se esparce en toda el área, pero si se localiza en el surco basta con 35 t/ha. para producir el mismo efecto. La cachaza incrementa el contenido de fósforo en el suelo y mejora las propiedades físicas de suelos pesados.

Los efectos positivos son más visibles en suelos pesados. Una limitante es el manejo de los grandes volúmenes de hasta 80-100 T/ha.

TURBA

Es un material compuesto por restos vegetales, debidamente humificados en un medio anaeróbico debido a excesos de humedad. Posee color pardo a oscuro, su composición es variable de forma general, su composición podría darse como media, la siguiente:

pH	N	P ₂ O ₅	K ₂ O
7.4	2-3	0.18-0.53%	0.38

Posee una alta relación C/N, no obstante mejora las propiedades físicas del suelo.

PULPA DE CAFE

Se trata de los desperdicios del beneficio del café o sea el epicarpio y parte del mesocarpio del pergamino del café.

En la tabla 35. se muestran los contenidos de nutrientes (promedios) de la pulpa de café (%).

Tabla 35. Algunos nutrientes contenidos en la pulpa de café (%).

Humedad	materia org.	N	P	K	Ca	Mg	Fe	Si
80	90-92	1.5	0.4	3.03	0.25	0.05	150(ppm.)	0.7

Cabe destacar que este material no se aplica directamente ya que los problemas serían muy serios por la gran cantidad de ácidos que desprende, sino que se somete al proceso de Compostaje.

Para almácigos se recomienda aplicarlo revuelto con tierra, o en el proceso de transplante.

10.4 COMPOST.

Se obtiene artificialmente a partir de diferentes restos orgánicos de cosechas, pajas, basura, etc; utilizándose además tierra superficial rica en microorganismos, ceniza, caliza, molida y agua ocasionalmente.

La descomposición natural que se da en el suelo, puede ser regulada en su velocidad de descomposición por el hombre. La materia orgánica puede ser colectada en un montón. Así la descomposición es más intensiva y en mejores condiciones por que el montón es hecho casi enteramente solo por materia orgánica. Al final, el producto es materia orgánica podrida, con humus y nutrientes. Esto es esencialmente lo conocido como Compost el cual es usado como fertilizante, con los beneficios ya conocidos de la materia orgánica.

Para conseguir un proceso correcto, rápido y efectivo de la fermentación, en la primera fase es necesario garantizar lo siguiente:

-El montón debe de ser hecho de todo tipo de material orgánico.

-Los microorganismos deben de estar presentes.

-Es necesario una adecuada relación de oxígeno y agua.

El proceso de fermentación comienza después de 4 a 5 días después de hacer el montón. La máxima fermentación se desarrolla a temperaturas de 60-70 °C, en el montón; las siguientes fases son las de enfriamiento del montón y finalmente la de maduración. El proceso es perfecto cuando el material ya descompuesto se torna color negro. Todo este proceso puede llevar algunos meses dependiendo de la calidad del material adicionado.

Los materiales se disponen en forma de pila de ancho no menor de 3.5 m y altura máxima de 1.5 m. Los diferentes materiales se colocan por capas hasta la altura deseada, se evita el apisonamiento y se abren 3 o 4 agujeros de 15 a 20 cm de diámetro de arriba a bajo. A las 3 semanas se voltea la pila y se adiciona agua, se repiten las operaciones a las 5 semanas más, a los 3 meses de iniciado el proceso, está listo y se tapa con paja, bagazo, etc., para evitar que se reseque.

Las dosis son de 20-25 T/ha, por supuesto que esto depende de las fuentes de abastecimiento y del nivel de la empresa.

10.5 ABONOS VERDES:

Consiste en incorporar al suelo mediante una labor de cultivo un material o cultivo en desarrollo generalmente una leguminosa con el fin de incorporar nitrógeno y mejorar la fertilidad y propiedades del suelo. El aporte de materia orgánica depende del tipo de cultivo. Mas de 25 t. de masa hasta 40 t. por ha.

La práctica del cultivo intensivo ha traído como consecuencia la pérdida de la materia orgánica y con ello la degradación del recurso suelo y las consecuencias negativas para la agricultura

La definición de abonos verdes esta relacionado a la aplicación de plantas vivas con alto contenido de agua, ricas en azúcares, almidones, proteínas y nitrógeno, estas plantas son de porte arbustivo y herbáceas. Se consideran las hojas, de arbustos y arboles; cultivos cortos en barbecho y cultivos plurianuales de arbustos.

Para ésta práctica, en la actualidad los estudios han evidenciado que las leguminosas ejercen efectos muy positivos, pues producen una buena cantidad de materia fresca, y el aporte de nitrógeno el cual fijan por simbiosis.

Las plantas deben ser incorporadas al suelo cuando se encuentran en pl no desarrollo, esto debe hacerse antes de la siembra del cultivo principal, ya que que en el proceso de

descomposición se generan subproductos perjudiciales que inhiben el desarrollo del cultivo. Por lo tanto se aconseja incorporarlo de 3-6 semanas antes del establecimiento del cultivo.

TIPOS DE ABONOS VERDES

-Leguminosas Forrajeras: Son plantas de cobertura, desarrollan raíces profundas, se deben incorporar al suelo antes de cumplir su ciclo.

-Leguminosas productoras de granos: Soya, frijoles, garbanzo etc. Son ricas en nitrógeno, aumentan el contenido de materia orgánica en los suelos, aportando hasta 40% del N total.

-Plantas para mejoramiento y conservación de suelos: Pueden ser o no leguminosas, siendo más efectivas las de hábito de macoyamiento o los propios pastos.

SISTEMAS DE ABONADOS VERDES:

-Abonos verdes entre cultivos: Se incorporan entre dos ciclos del cultivo esto permite un mejor laboreo del suelo.

-Abono verde como cultivo principal: Se establece una rotación de cultivos que después de la cosecha pueden incorporarse como abonos verdes, tiene la desventaja de excluir otros cultivos del área.

-Abonos verdes asociados: Esta es una de las formas más eficientes se establece a los 1-2 meses del cultivo principal y después de la cosecha se incorporan con los rastrojos de la cosecha. Es importante no confundir este sistema, con el sistema asociado de maíz-frijol, cuya práctica es muy común entre el campesinado Nicaragüense.

-Abono verde en barbecho: consiste en establecer el abono al final del ciclo del cultivo, el cual será incorporado antes de la próxima siembra con el abono verde, para este tipo de prácticas es importante usar plantas resistente a la sequía.

-Abono verde de hojas de árboles: Consiste en recolectar las hojas verde y material verde el cual se incorpora al terreno.

La eficiencia de las leguminosas están función de su calidad y volumen así como el contenido inicial de nutrientes y materia orgánica en el suelo.

CAPITULO XI. EVALUACION DE LA FERTILIDAD DE LOS SUELOS.

11.1 Clasificación de los fertilizantes:

Los fertilizantes se clasifican según su origen (en orgánicos e inorgánicos), número de elementos nutrientes (simples, compuestos, complejos), el estado físico en que se presenta y la concentración total o graduación.

Según su origen:

ORGANICOS: Se aplican al suelo no solamente como portadores de nutrientes sino también como enmiendas; es decir, actúan como mejoradores de las condiciones del suelo; estructura, capacidad de intercambio carbónico, aereación, retención de humedad. Otra característica de estos fertilizantes es la de ceder sus nutrientes a medida que se mineralizan; su acción es lenta.

Origen animal: Estiércol vacuno
Gallinaza etc.

Origen vegetal: Turba, Abonos verdes.
Cachaza etc.

INORGANICOS: Generalmente poseen una gran efectividad, mientras menor tiempo de aplicados tengan; usualmente este efecto va desminuyéndose con el tiempo, por pérdidas por lavado, fijación, etc.

Componentes de los Fertilizantes Inorgánicos

Portador:

Es una sustancia que contiene uno o más de los elementos esenciales. Ejemplo: Sulfato de amonio, superfosfato triple, cloruro de potasio. El sulfato de amonio contiene el nitrógeno y por tanto es su portador. El superfosfato triple es un portador del fósforo y el cloruro de potasio lo es del potasio.

Relleno o Material de Carga:

Es un material que se añade a una mezcla de fertilizante o al material fertilizante a fin de cubrir la diferencia entre el peso de los ingredientes activos requeridos para suministrar los nutrientes a las plantas y el peso final de un producto de análisis determinado. Como relleno pueden emplearse materiales tales como arena caliza, dolomita, etc.

El relleno no incrementa el contenido de nutrientes de los fertilizantes mezclados y sólo se utiliza con la finalidad de

obtener los pesos deseados (una tonelada métrica) al formular un fertilizante. En la actualidad se trata de eliminar la presencia de relleno el cual representa un mayor gasto en transporte, almacenamiento y aplicación.

Acondicionadores:

Los materiales de acondicionamientos se añaden a los fertilizantes no granulados, granulados y líquidos, para mejorar sus condiciones físicas y disminuir el aterronamiento y problemas de compatibilidad.

En los fertilizantes que están bajo presión, sirven como separadores entre las partículas.

Para el caso de los granulados, los materiales de acondicionamiento sirven como un agente envolvente de los gránulos.

La mayor parte de los elementos nutrientes aplicados a los cultivos se hace a través de los fertilizantes simples, mezclados o complejos. Los fertilizantes presentan la gran ventaja de una mayor concentración de elementos nutritivos que los abonos orgánicos, pero también pueden perderse cantidades apreciables por solubilidad o por interacciones con el suelo. Por otro lado no influyen sobre la actividad microbiológica, en sentido general, ni en las condiciones físicas del suelo con la excepción del salitre usado consecutivamente, que afecta las propiedades físicas.

Debido a los aspectos señalados la industria se ha dado a la tarea de producir fertilizantes cada vez más concentrados de mejores condiciones físicas que faciliten su manejo y mecanización, que regulen la solubilidad y su interacción con el suelo.

Según el número de elementos:

Fertilizantes Simples:

Son los que contienen un solo elemento nutritivo, ya sea nitrógeno, fósforo o potasio; un ejemplo de fertilizantes simples es el NH_4HO_3 , y el KCl , que aunque poseen otros elementos, se aplican principalmente por sus contenidos de nitrógeno y potasio y no así de los demás elementos.

Fertilizantes Compuestos:

Se trata de productos que contiene más de uno de los elementos nutrientes. Sin embargo, conviene distinguir dos tipos que en muchos casos presentan características diferentes de mucha importancia:

Fertilizantes Mezclados:

Se obtienen por simple mezcla de abonos simples sin producirse cambios esenciales en sus componentes.

Fertilizantes Complejos:

Se producen por combinaciones o reacciones químicas importantes entre los materiales básicos o entre los abonos simples que se emplean para su obtención, NH_4O_3 , NH_4NO_3 + NH_4Cl .

Los fertilizantes mezclados y los complejos pueden ser binarios o terciarios:

Binarios: Nitrofosfóricos (N-P), Nitropotásicos (N-K)
Fosfopotásicos (P-K).

Según el estado físico en que se presentan:

Sólidos: Pueden ser pulverizados, granulados, perlados y cristales por ejemplo(perlados como la Urea)

Líquidos: Pueden aportar un solo nutriente como el agua amoniacal y las soluciones de sales como el nitrato amónico, urea foliar y también pueden aportar varios: N, P, K, y microelementos.

Gaseosos: Amoníaco anhídrico, que es un fertilizante bastante utilizado en algunos países.

Según la concentración total o graduación:

Se llama concentración total de un fertilizante compuesto al contenido total unidades nutritivas primarias del contenido de N, P_2O_5 + K_2O .

7-8-8 = 23 unidades nutritivas
13-13-20 = 46 unidades nutritivas

Clasificación: Fertilizantes de alta concentración 40 U. nutr.
Fertilizantes de media concentración 30-40 U. nutr.
Fertilizantes de baja concentración 30 U. nutr.

Para cada elemento se emplea la unidad que llamamos nutritiva o fertilizante. Estos son convencionales y de expresión mundial.

ELEMENTO	UNIDAD FERTILIZANTE	SIMBOLO
Nitrógeno	Nitrógeno	N
Fósforo	Pentóxido de fósforo	P ₂ O ₅
Potasio	Potasa	K ₂ O
Calcio	Oxido de calcio	CaO
Manganesio	Oxido de Magnesio	MgO

Naturalmente, puesto que se trata de medidas de peso hemos de tener presente:

- Una unidad de fertilizante nitrógeno equivale a un kilo neto de nitrógeno (N).
- Una unidad fertilizante de fósforo equivale a un kilo neto de pentóxido de fósforo (P₂O₅).
- Una unidad fertilizante de potasio equivale a un kilo neto de potasio (K₂O).

*Se puede hacer uso de los multiples de 10.

Fórmula de un fertilizante:

La fórmula de un fertilizante expresa el contenido en porcentaje de los elementos que componen el fertilizante comenzando por el N, después el P y finalmente el K.

El nitrógeno se expresa como N; el fósforo como P₂O₅ y el potasio, como K₂O. Según esto, el abono completo 12-24-12 tendrá 12% de nitrógeno (N) 24% de pentóxido de fósforo (P₂O₅) y 12% de potasio K₂O o lo que es igual: 12 Kg de N, 24 Kg de P₂O₅ y 12 Kg de K₂O por cada 100 Kg de abono.

Relación Nutriente:

Es la que existe entre los elementos que contiene el abono; en general se toma como unidad el nitrógeno. También puede obtenerse dividiendo los porcentajes entre el menor de todos ellos.

FORMULA	RELACION NUTRIENTE
14-14-14	1 - 1 - 1
12-24-12	1 - 2 - 1
20-10-10	2 - 1 - 1

Esta relación nutriente es muy importante ya que de ella depende que un cultivo disponga de los elementos necesarios en la preparación correcta; sin embargo, en su elección debe tenerse en cuenta no solo el cultivo, sino también el estado de fertilidad del suelo.

Si en determinadas condiciones de suelo y cultivo se considera apropiada, por ejemplo la relación 1-1-1, se podrá emplear igualmente un abono 10-10-10 que un 14-14-14 que un 15-15-15, ya que todos ellos tienen el mismo equilibrio nutriente entre el nitrógeno, el fósforo y el potasio.

Indice de Acidez:

Es el número de partes en peso de carbonato de calcio (CaCO_3) necesario para neutralizar la acidez originada por el uso de 100 unidades de material. Por ejemplo un índice de 110, nos indica que por cada 100 kg de éste fertilizante que apliquemos debemos agregar 110 kg de carbonato de calcio para neutralizar su acidez.

Indice de Basicidad o Alcalinidad:

Es el número de partes en peso de carbonato de calcio que ejerce la misma acción neutralizadora que 100 unidades de fertilizantes.

Por ejemplo, el índice de basicidad de la cianamida cálcica es de 63. Esto significa que la aplicación de 100 kg de cianamina cálcica ejerce el mismo efecto neutralizador sobre la acidez del suelo, que 63 kg de carbonato de calcio.

Incompatibilidad:

La incompatibilidad en fertilizantes es debido a que entre las materias primas empleadas, existen muchas de ellas que no se deben mezclar, porque al hacerlo pueden afectarse algunas propiedades físicas o químicas.

No se deben mezclar sustancias amoniacaes con materiales que sean fuertemente alcalinos como: CaO , Ca(OH)_2 , ni sustancias fosfatadas con materiales fuertemente alcalinos.

11.2 Uso y manejo de los fertilizantes:

El uso de los fertilizantes simples o compuestos (mezclados o complejos) deben ser utilizados conforme a las leyes que rigen la fertilización y las transformaciones que los mismos experimentan en los diferentes suelos y condiciones.

El tipo de fertilizante y la dosis estarán en relación con la riqueza en elementos nutrientes del suelo y las exigencias del cultivo para una producción determinada.

Los fertilizantes sólidos pueden presentarse ensacados o a granel, pero como la forma predominante es ensacados, a ellos haremos referencia. Los sacos pueden ser de papel, de yute o de material plástico, este último es el más utilizado por sus grandes ventajas y diversidad de uso. Tienen una capacidad de 50 kg y se fabrica con polietileno y cloruro de polivinilo.

Los fertilizantes deben almacenarse bajo techo, preservarlos de la humedad y de los cambios bruscos de temperatura, dentro de lo posible.

No deben colocarse directamente sobre el piso, sino sobre una cama o pieza de madera y separado de las paredes de modo que circule el aire.

Las pilas deben considerar el tipo de fertilizante, su estado físico hidrosopicidad, etc, pero en ningún caso deben sobrepasar los 15 sacos, (promedio 10).

Las pilas deben aparecer espacios entre sí para la circulación. Los fertilizantes de distinta composición y graduación deben amontonarse separadamente.

11.3 Evaluación de la fertilidad del suelo.

Las técnicas de diagnóstico, incluyendo la identificación de los síntomas de deficiencias mediante las pruebas de los suelos y plantas, constituyen una gran ayuda para determinar el momento en que es necesario fertilizar.

La elección de las proporciones adecuadas de los nutrientes para las plantas, depende del conocimiento que se tenga de los requerimientos de nutrientes del cultivo, y de la riqueza de nutrientes del suelo, cuando existe un desequilibrio a causa de déficit en el suelo de nutrientes se complementan con fertilizantes. Esto implica que exista un método que permite identificar los elementos deficientes. El diagnóstico de las necesidades de los vegetales se puede comparar con el diagnóstico de enfermedades humanas, el agricultor observa las plantas, obtiene la información y efectúa las pruebas en suelo y planta. El diagnóstico correcto depende de la información de las necesidades de la planta y de la interpretación exacta de los datos que posea.

Métodos empleados para el análisis de la fertilidad:

Diversas técnicas que se emplean actualmente dan una indicación del grado de fertilidad del suelo, como por ejemplo:

1. Síntomas de deficiencia en las plantas
2. Análisis en los tejidos de las plantas.
3. Pruebas biológicas.
4. Análisis químico de suelos.

Para hacer un buen diagnóstico el ingeniero agrónomo debe ver mas allá de solamente los problemas de deficiencia de nutrientes, ya que además de esto es necesario analizar otros factores que influyen en el crecimiento y desarrollo del cultivo, como son los que se explican en el capítulo "Bases de la producción vegetal", de este texto. Es importante adicionar a todos esos factores el del historial del lote o de la finca a quien va dirigida la recomendación, como por ejemplo, la historia del cultivo y de todo tipo de prácticas realizadas por el agricultor, fertilizantes o enmiendas usadas en el pasado.

A continuación se presenta una descripción de éstas técnicas.

1.- Síntomas de deficiencias en los cultivos

Los síntomas identifican deficiencias. Un síntoma generalmente ocurre dentro del campo, estos síntomas pueden estar relacionados con ciertos factores como: mal drenaje, condiciones arenosas, áreas infértiles o áreas con diferente manejos. Los síntomas tempranos en el cultivo son de más ayuda que los tardíos.

Si el síntoma se presenta en una sola planta, considérese como enfermedad o daño mecánico o variación genética.

En las técnicas de diagnóstico visual se debe de tener en cuenta que existen nutrientes móviles e inmóviles. Cuando ocurren deficiencias en un nutriente móvil los síntomas ocurren en las hojas inferiores o más viejas, esto es válido para el N,P,K y Mg.

De todas maneras debe de enfatizarse que el patrón de deficiencias no siempre obedece a estas reglas generales. Por lo que requiere de experiencias y de suficiente información del cultivo.

1.- Análisis en los tejidos de las plantas

El análisis foliar ha sido usado como herramienta de diagnóstico durante mucho años, pero su uso en América Latina es más reciente que el análisis de suelo. Este tipo de análisis se basa en el concepto de que la concentración de un elemento esencial para la planta indica la habilidad del suelo para proporcionar éste nutriente.

La expresión "análisis foliar", usualmente se refiere al análisis cuantitativo del contenido de macro o micro nutrientes en toda la planta o en parte de ella. Este análisis debe de diferenciarse de los análisis rápidos y semicuantitativos de tejidos que pueden hacerse en el campo, éstos pueden dar una idea pero no tienen la precisión del análisis foliar. ¡Para este análisis, aunque se puede analizar toda la planta solo se toma la hoja u otro órgano que refleje adecuadamente la nutrición de la planta.

En ocasiones la planta puede sufrir una deficiencia de nutriente, pero no muestra ningún síntoma, en este caso el análisis foliar puede mostrar más allá del análisis visual. O sea identifica el efecto de "Hambre Oculta".

En general el análisis foliar es de utilidad para determinar, si los nutrientes aplicados han ingresado a la planta; para indicar interacciones o antagonismos entre nutrientes al estudiar el comportamiento de los nutrientes a través del tiempo.

Es de gran importancia la relación entre el análisis foliar y los niveles de nutrientes en el suelo. Por ejemplo: producciones de café de 1500 kg por ha, se obtienen con una concentración foliar de Boro de 40 ppm.; por otro lado producciones de 1800 kg se obtienen con 50-60 ppm.

El muestreo de hojas para el diagnóstico nutricional, evaluación de la fertilidad y recomendaciones puede ser más crucial que el análisis de suelo. Las hojas más representativas son aquellas que han madurado recientemente, cuyo crecimiento ha terminado pero no ha empezado a envejecer. En cafeto se recomienda tomar el tercero o cuarto par de hojas, contando desde la punta de la rama productiva.

3.- Pruebas biológicas:

Estas consisten en la evaluación de la fertilidad del suelo a través de ensayos o experimentos con el cultivo de interés, es uno de los métodos más importantes y prácticamente ha sido la base de numerosos experimentos los cuales han generado valiosa información en importantes cultivos. Este tipo de método generalmente se utiliza en conjunto con los análisis de suelos y foliar.

En contraposición con los análisis químicos de suelo, que dependen de los reactivos para determinar los nutrientes disponibles para las plantas, los métodos biológicos se sirven de las plantas como agentes extractivos para lograr los mismos propósitos. En general los ensayos biológicos son de dos tipos: los que usan plantas superiores y los que usan plantas inferiores como bacterias y hongos.

Básicamente se trata de pruebas en la que se correlacionan resultados de los cultivos con los contenidos en el suelo, a través de la respuesta de los cultivos a los fertilizantes aplicados en las parcelas o a nivel de finca. Todo esto relacionado con los rendimientos de los cultivos.

Como resultado de estos experimentos es posible determinar los niveles críticos para cada elemento. El nivel crítico es el valor mínimo del análisis de suelo, debajo del cual hay una alta probabilidad de respuesta a la aplicación de ese elemento.

4.- Análisis del suelo:

Las técnicas de diagnóstico basadas en el análisis químico del suelo para recomendaciones de fertilizantes, requiere de un entendimiento claro de sus posibilidades y limitaciones y de los factores que lo pueden afectar. La obtención de valores exactos ha sido una meta de todos los analistas en todos los tiempos, sin embargo las fases previas al análisis como son la obtención de la muestra, el secado, la molienda, y el submuestreo, son elementos claves en la validéz de este método.

Las fracciones que más se emplean en estudios de fertilidad son la extractable y la intercambiable, y en un menor grado las restantes. Ocasionalmente se usa el contenido total de un nutriente presente en el suelo. La fracción extractable, cuando es relacionada cuantitivamente con el parámetro producción, se llama disponible, o impropriamente asimilable. Este último término debe reservarse exclusivamente para aquellos casos en que las cantidades de un nutriente extractado con una determinada solución se relacionan de manera definida con las cantidades o porcentajes del mismo nutriente dentro de una planta.

Los estudios de correlación y calibración constituyen la columna vertebral de cualquier intento para establecer el análisis químico del suelo como una práctica rutinaria de diagnóstico de la fertilidad del suelo.

Especial atención pondremos en la fase de toma de muestra, sobre la cual tiene incidencia directa el técnico. Las muestras deben de ser representativas, ya que no es posible procesar todo el volumen del suelo, recordando que el suelo es un cuerpo heterogéneo en sus dimensiones longitudinal, lateral y en profundidad, además se debe tener presente que la muestra lo que pretende es hacer una inferencia acerca del valor medio de la población de valores expresados en propiedades químicas o físicas para la nutrición de las plantas.

En los casos de un suelo sin mayor variación, el área a muestrear varía desde 3 mz. (2 ha) para sistemas de explotación de cultivos intensivos (algodón, tabaco, perennes, hortalizas etc.); hasta 14 mz.(10 ha) para pastos. Cultivos extensivos (granos básicos, tubérculos, etc.) deben tener un máximo de 7 mz. (5ha.).

Las muestras deben de estar identificadas en una correcta correspondencia entre el dato que corresponde al campo, con la muestra que analizará el laboratorio, normalmente se marca con números, enviando una bolsa o caja pequeña de un kilo aproximadamente.

La cantidad de submuestras por muestra del lote oscilan entre 15 a 20. La cantidad de submuestras no está relacionada con el

tamaño del área muestreada (Quintana, 1983). Es necesario que cada submuestra que participe en una muestra compuesta esté representada en igual proporción que las otras.

La profundidad del muestreo depende del tipo de cultivo por lo general es de 15-20cm., y hasta de 50-60 en cultivos de sistema radicular profundo. La mejor época de la toma de muestra es a los 2-3 meses antes del inicio del ciclo agrícola, y la frecuencia con que se practiquen en el lote dependerán de las posibilidades económicas del agricultor así como de los problemas que se presenten en el cultivo y que se relacionen con una supuesta deficiencia nutricional.

Avances recientes en el análisis de Suelo:.

1.- Resinas de Intercambio de iones: Es un método propuesto para evitar las dificultades del uso de soluciones químicas para extraer cierta porción (disponible para la planta) y consiste en la técnica de resinas mixtas de intercambio de iones (Skoglgly et al., 1992). Con este procedimiento se colocan en el suelo cápsulas de resina mixta de intercambio de iones que sirven como núcleos para absorber nutrientes en respuesta a la concentración y difusión de nutrientes en la solución del suelo. Esta técnica ha sido usada con éxito en el análisis rutinario de N, P, Ca, Mg y S en el suelo. Este método extrae NO_3 y NH_4 .

Van Raij et al. (1986), recomendaron el uso de resinas para extraer P, Ca, Mg y K en suelos de Brasil. Las resinas estaban saturadas con Na, H y HCO_3 ; los iones adsorbidos en la resina se remueven con NaCl 1M. y HCl 0.1 M

2.- Membrana de intercambio de iones: Se ha reportado que las membranas mixtas de intercambio de aniones y cationes proveen un índice simple, rápido y simultáneo de la disponibilidad relativa de NPK y S en el suelo (Schoenau et al., 1992). Se considera que esta extracción de nutrientes simula muy de cerca la acción de las raíces de la planta, por lo cual se considera superior a la extracción de soluciones químicas especialmente para P y K.

Tiempos de extracción y elución (remoción de iones de membranas) tan corto como 15 minutos son satisfactorios. Las planchas o tiras de membrana de intercambio se cortan en tiras de 46 X 10 mm. para aniones y de 40 X 14 mm. para cationes, pudiendo usarse repetidamente según el cuidado. El costo de cada tira está entre US 0.50 y 1.00

3.- Método modificado de la solución extractora Kelowna: La solución modificada Kelowna compuesta de HoAc 0.25N, NH_4F 0.015N y NH_4OAc 0.25N, utilizada en una relación suelo-solución de 1:10 y un tiempo de agitación de 5 minutos, ha tenido éxito en la provincia de British Columbia, Canadá para medir el contenido de NO_3 , P y K

disponibles en el suelo. Esta solución parece ser también satisfactoria para la extracción de SO_4 (Gough, 1993). Schoenau et al (1992) han sugerido que este extractante es superior a otros de su género para determinar la disponibilidad de P.

11.4 Formulación de recomendaciones de fertilización

El asesoramiento técnico a los agricultores en materia de fertilización debe estar en concordancia con el manejo eficaz del conjunto de prácticas agrícolas que concurren en el proceso productivo, entre las cuales podemos citar: adecuada selección de la semilla, buena preparación del suelo densidad de siembra, control de plagas, y manejo de los déficits y excesos de humedad.

Una recomendación de fertilizantes debe incluir:

- Tipo o fuente de fertilizante a utilizar.
- Dosis.
- Epoca
- Forma de aplicación.

Tipo de fertilizante

Se refiere a la fuente o tipo de fertilizante adecuado a las condiciones del suelo, cultivo, clima, e indudablemente de la disponibilidad comercial del producto.

Dosis de fertilizante

La cantidad de fertilizante requerida está relacionada con la disponibilidad de nutrimentos en el suelo, los requerimientos del cultivo, de la eficiencia del fertilizante, el sistema de manejo de la finca y de la esperanza o meta económica que tenga el productor.

Epoca de aplicación

La mejor Epoca de aplicación del fertilizante es aquella, que con un mínimo de dosis y de trabajo, garantiza suficiente disponibilidad de nutrimentos en aquel período del cultivo en el cual son requeridos por la planta (Guerrero, 1988). La época de fertilización puede ser antes, al momento o después de la siembra, dependiendo del cultivo, tipo de fertilizante y condiciones edafoclimáticas.

Formas de aplicación

Se refiere a los diferentes procedimientos y formas de localización de fertilizantes en el suelo. En la aplicación de los fertilizantes generalmente se utiliza los fertilizantes sólidos, así como los líquidos, aplicados directamente al suelo o en el agua de riego. La fertilización foliar es un procedimiento cuando se aplica directamente al follajes de la planta en desarrollo o establecida, en la mayoría de los casos es complemento de la edáfica. Las formas más comunes de aplicar el fertilizante son:

- Al voleo.
- En banda.
- Al fondo del surco.
- En media luna.
- En hoyos.

La selección de un adecuado método de aplicación debe responder a la necesidad de buscar eficiencia de aprovechamiento de los fertilizantes por parte de los cultivos, evitando pérdidas por volatilización, lixiviación o fijación. En este aspecto es importante conocer la fuente o naturaleza del fertilizante y las condiciones edafoclimáticas de la parcela o finca.

FORMULACION DE LAS RECOMENDACIONES:

La interpretación del análisis de suelo es la fase más importante y difícil de un programa de utilización de resultados para la recomendación de fertilizantes o enmiendas. Aunque no existen recetas definidas, sin embargo es posible dar algunas pautas generales, que complementadas con la teoría existente, ayudarán a explicar el significado del análisis.

A continuación se explican los principales análisis y sus cálculos.

La acidez y la alcalinidad de los suelos.

La acidez se expresa como unidades de pH, y está asociada a la presencia de iones H y de Aluminio en casos extremos, como acidez intercambiable. Este parámetro es de los primeros a examinar o sea viene a ser como la temperatura en un enfermo, ya que proporciona los primeros indicios sobre el estado nutricional de un suelo. El pH determina la disponibilidad de muchos nutrientes, tal como ya ha sido explicado en la fertilización por elementos.

La Materia Orgánica.

Esta se expresa como porcentajes del peso total del suelo. representa generalmente menos del 5% de su contenido, sin embargo

esto es muy variable. Existe una estrecha relación entre su contenido y la actividad biológica del suelo. Es indudable sus beneficios para el suelo en todos los sentidos. A mayor contenido de materia orgánica mejor fertilidad tendrá un suelo.

El Nitrógeno del suelo

Este análisis ha caído en desuso por la falta de correlación entre su contenido y los rendimientos de los cultivos. Otro aspecto es que la aprovechabilidad del nitrógeno depende de su mineralización lo cual es muy importante conocer en los diferentes suelos la llamada " tasa de mineralización". En Nicaragua es importante determinar estos rangos, su velocidad y constantes a fin de aprovechar las condiciones que ofrecen los Andosoles en cuanto a la fijación de la materia orgánica. Otros investigadores utilizan el % de C para inferir a través de la materia orgánica la cantidad de N.

El calculo en peso del nitrógeno se basa en el calculo del Peso de la Hectárea Surco = $cm \cdot Da \cdot 10,000 \text{ m}^2$. Posteriormente el % de N se expresa en Peso.

El Fósforo del suelo

El fósforo es expresado en ppm ó en ug/ml los cual es igual y que significa (kilogramos en un millón de kilogramos) para este caso veamos el siguiente ejemplo: Dado el caso de contar con un suelo, cuyo peso de la capa arable es de 2,000,000 kg. y en el análisis de suelo el Laboratorio nos reporta 1 ppm de P, entonces este suelo tendrá 2 kg de P. Ahora bien, para expresar este resultado en forma de P_2O_5 se multiplica por 2.29 lo cual daría 4.58 kg por ha.

Los microelementos son expresados igualmente, en ppm.

Tabla 36. Niveles críticos tentativos de contenidos de micronutrientes en suelos. Hunter(1977) y Sánchez(1976), citados por Quintana (1992)

Nutriente	Nivel critico en el suelo
Cobre	1 ug/ml.
Manganeso	5 ug/ml.
Zinc	3 ug/ml.
Azufre	12 ug/ml.
Boro	0.2 ug/ml.

Bases intercambiables.

El término se refiere a las bases (K, Ca, Mg, Na.) las cuales son expresadas en meq/g ó /ml. En las reacciones de oxidación-reducción y en las reacciones de neutralización, el peso equivalente es el peso en gramos de un elemento que se combina, reemplaza o es equivalente a un peso átomo de hidrógeno. En la práctica este valor se encuentra dividiendo el peso atómico del elemento o en este caso las bases expresadas en esta medida, así: el peso equivalente del K es $39/1= 39$; el del Ca es $40/2 = 20$; el del Mg es $24/2= 12$ y el del Na es $23/1= 23$.

Los pesos equivalentes se expresan en gramos, o en miligramos y se abrevian como miliequivalentes.

Por ejemplo si tomamos el peso de la ha., del ejemplo anterior y el laboratorio nos reporta 1 meq/100 g y lo queremos expresar en kilogramos de K_2O por ha.

Aplicamos la fórmula:

$$1 \text{ me K} = 39 \text{ mg de K.}$$

$$1 \text{ me K/100 g} * 39 \text{ mg/me} * 10 * 2 = 780 \text{ kg K/ha.}$$

Para expresarlo en K_2O se multiplica por 1.2 lo cual es 936 kg K_2O /ha.

A continuación se presenta la tabla 37 que, presentan niveles críticos tentativos en los suelo para Nicaragua.

Tabla No.37, Niveles críticos tentativos en los suelos para Nicaragua. Quintana (1992).

Cultivo	Nivel critico en el suelo	
	P(u/ml)	K(me/100 ml)
Maíz	6	0.15
Sorgo	6	-
Frijol	7	0.14
Arroz	6	0.30

En la tabla 38, se presentan los rangos de clasificación para algunos nutrientes, lo cual es una gran herramienta para las recomendaciones de fertilizantes, en Nicaragua. Estos aportes científicos, han sido realizados por el Dr. Ovidio Quintana.

Tabla 38. Rango de clasificación aproximada para contenidos de algunos nutrientes en suelos de Nicaragua (Quintana et al,1983)

Nutriente	Pobre	Medio	Alto
Nitrógeno(%)	0.07	0.07-0.15	0.15
Materia Orgánica(%)	2.0	2.0-4.0	4.0
Fósforo(ug/ml)	10	10-20	20
Potasio(me/100ml)	0.2	0.2-0.3	0.3
Calcio(me/100ml)	2.5	2.5-5.5	5.5
Magnesio(me/100ml)	0.3	0.3-1.0	1.0

Extracción de nutrientes por los cultivos

La extracción de los cultivos es uno de los parámetros necesarios para determinar la recomendación de fertilizantes. En Nicaragua no se cuenta con niveles de extracción basados en nuestras propias condiciones agroecológicas producción. No obstante, se conocen algunos niveles de extracción presentados por Aguilar (1992) en la Tabla 39.

Tabla No.39 Niveles de extracción por algunos cultivos. (Aguilar,1992).

Cultivos	Redimiento t/ha	N	P ₂ O ₅	K ₂ O kg/ha	MgO	S
Algodón	1	120	45	90	40	20
Arroz	6	100	50	160	20	10
Banana	40	250	60	1000	140	15
Café	1.5	120	30	130	30	20
Caña de Azúcar	100	130	90	340	80	60
Cebolla	35	120	50	160	15	20
Cítricos	30	270	60	350	40	30
Cocos(10.000 Frutos)		130	60	200	50	15
Maíz	6	150	55	150	25	20
Palma Aceitera	25	190	60	300	100	30
Papa	40	175	80	310	40	20
Piña	50	185	55	350	110	20
Soya	3	220	40	170	40	20

Finalmente la formulación de una recomendación de fertilizantes, se realiza tomando en cuenta las demandas o extracción del nutriente por el cultivo en cuestión, el contenido del nutriente en el suelo y considerando además la eficiencia del fertilizante o fuente del nutriente. Un ejercicio propuesto a partir de una muestra analizada por el Laboratorio de Suelos de la Escuela de Suelos y Agua de la U.N.A.; se explica a continuación:

El análisis de una muestra de suelo, para la siembra de Maíz con rendimiento propuesto de 6 t/ha es el siguiente:

- pH= 6.5
- Mat. Org.= 2 %.
- P = 5 ppm.
- K = 0.5 me/100 g.
- Da= 1 g/cm₃

Con los datos propuestos el peso de la hectárea de suelo arable sería= 1 g/cm³ * 20 cm * 10,000 m²/ha = 2,000,000 kg/ha

A partir de la materia orgánica se calcula el contenido de N. Como el % de materia orgánica es 2, eso significa un peso de 40,000 kg de materia orgánica.

Se considera que esta materia orgánica, contiene 5 % de Nitrógeno total, lo cual significaría = 2,000 kg de N. Total. De este 5 % se asume que 2 % es N disponible; lo cual significan = 40 kg.de N por ha, disponible.

El Fósforo se calcula apartir de los 5ppm.; Si ya hemos calculado el peso del suelo en la capa arable, eso significa que tenemos 10 kg. de P. Para expresarlo en P₂O₅, se multiplica *2.29 = 22.9 kg/ha

En cuanto al K se aplica la formula ya explicada .

0.5 me/100 g * 39 mg/me * 10 * 2 = 390 kg de K * 1.2 = 468 kg K₂O/ha

De acuerdo a las exigencias del cultivo del Maíz Tabla 39.

Las dosis sería:
$$\frac{Dc-Cs}{Ef}$$

Donde:

Dc= Demanda del cultivo.

Cs= Contenido del suelo.

Ef= Eficiencia del fertilizante.

Entonces:

$$N = 150 - 40 / 0.5 = 220 \text{ kg de N.}$$

$$P_2O_5 = 55 - 22.9 / 0.45 = 71 \text{ kg/ha.}$$

$$K_2O = 150 - 468 / 0.6 = - 530 \text{ kg/ha.}$$

* La eficiencia de los fertilizantes se considera tentativamente en 50 % para los Nitrogenados; en 45 % para los Fosfatados y del 60 % para los Potásicos.

En el caso del cálculo de K, nótese que el contenido del suelo rebasa la Demanda del Cultivo.

Cantidad de fertilizante a aplicar.

UREA: 100 kg (Urea)-----46 kg de N.
 X-----220 kg de N

$$X = 478 \text{ kg de Urea.}$$

SFT: 100 kg (SFT)-----46 kg de P_2O_5
 X-----71 kg de P_2O_5
 X = 153 kg de SFT.

Otras determinaciones importantes:

Cálculo de fórmulas de fertilizantes

-Calcular los ingredientes de una tonelada de 3-12-12, empleando los materiales siguientes, pero derivando 1/3 del nitrógeno del abono orgánico y 2/3 del sulfato de amonio:

-Abono orgánico----- 8 % de N; 4 % de P_2O_5 .

-Sulfato de amonio-----20 % de N.

-Superfosfato-----20 % de P_2O_5 .

-Cloruro de potasio-----62 % de K_2O .

La mezcla pedida debe de contener 12% de P_2O_5 , pero como el abono orgánico que proporcionará parte del N, introduce en la mezcla cierta cantidad de P_2O_5 , es preciso conocer esta última cantidad, a fin de poder determinar el P_2O_5 , necesario.

Una tonelada de la mezcla llevará $0.03 * 1000 = 30$ kg de N.

Una tercera parte, 10 kg, procederá del abono orgánico y el resto, del sulfato de amonio. Si el abono orgánico contiene el 8% de N, tenemos:

$$\begin{array}{r} 100\text{-----}6 \\ X\text{-----}10 \end{array} \quad X = 125 \text{ kg. de abono orgánico necesario para proporcionar el N.}$$

De forma similar se encontrará que se necesitan 100 kg de sulfato de amonio y 193.5 kg de cloruro de potasio.

Si para suministrar el P_2O_5 se emplea superfosfato del 20 % entoces vemos que si de los 120 kg de P_2O_5 que se necesitan, restamos 5 kg (que son los suministrados por los 125 kg de abono orgánico), quedan 115 kg, que divididos por 0.20 darán 575 kg, que son los requeridos de superfosfato.

Si sumamos estos ingredientes hallados, nos darán un total de 993.5 kg y por lo tanto para completar la tonelada sólo necesitamos 6.5 kg de relleno.

Interpretación del análisis de las bases cambiables en el suelo:

Las relaciones entre el contenido de las bases son muy importantes en el manejo de los suelos, pues la mayor o menor proporción proporciona al suelo características definidas con diferente manejo. Un suelo alto en Na, se considera sódico, un suelo alto en magnesio se considera magnésico. Una relación $\frac{Ca + Mg}{K}$ demasiado alta (> 120) puede indicar deficiencias de potasio.

Un promedio aceptable de estas relaciones se presentan en la tablas 40, 41 y 42.

Tabla 40. Relaciones de Ca. y Mg en los suelos. Manzanares(1990).

Relacion de Ca/Mg	Clase
Menor de 1	Invertida
1- 1.5.	Condicional
1.5- 3.0	Normal
Mayor de 3.0	Amplia

Tabla 41. Relaciones Ca, Mg, y K en los suelos. Manzanares(1990).

Relación Ca + Mg/ K	Clase
Menor de 70	Normal
70- 120	Condicionada
Mayor de 120	Alta

Tabla 42. Límites de saturación de algunas bases. Manzanares(1990).

Saturación de bases	Límites(%)
Calcio	40-80
Magnesio	4-80
Sodio	1-15
Potasio	1-5

Determinación de las dosis económicas de un nutrimento.

El método consiste en graficar los resultados de un cultivo (rendimiento) en función de dosis crecientes de un determinado nutrimento en una figura tipo XY. El rendimiento se coloca en el eje de las Y, como variable dependiente de las dosis del nutrimento, que se colocan en el eje de las X.

Por lo general la respuesta es curvilínea. Cuando el contenido de nutrimento en el suelo es bajo se encuentran incrementos en rendimiento, debido a las aplicaciones del nutrimento en el suelo. Estos incrementos decrecen hasta llegar a un punto máximo, que corresponde a las dosis óptima agronómica.

La determinación de la dosis óptima económica se puede obtener gráficamente. El procedimiento es utilizar el gráfico XY agregando un nuevo eje Z, que representa, los valores del costo del nutrimento asociado con los valores de X. Estos valores forman una línea ascendente, donde incremento en las dosis incrementan el valor del costo del insumo.

Una vez que se ha graficado la curva de respuesta de rendimiento y la línea de costo del nutrimento, se traza una línea paralela a la del costo, de tal manera que toque en forma tangencial el punto más alto de la curva de rendimiento. Este punto se proyecta verticalmente al eje de las X donde identifica la dosis óptima económica. Un ejemplo de este método se presenta en el gráfico 15.

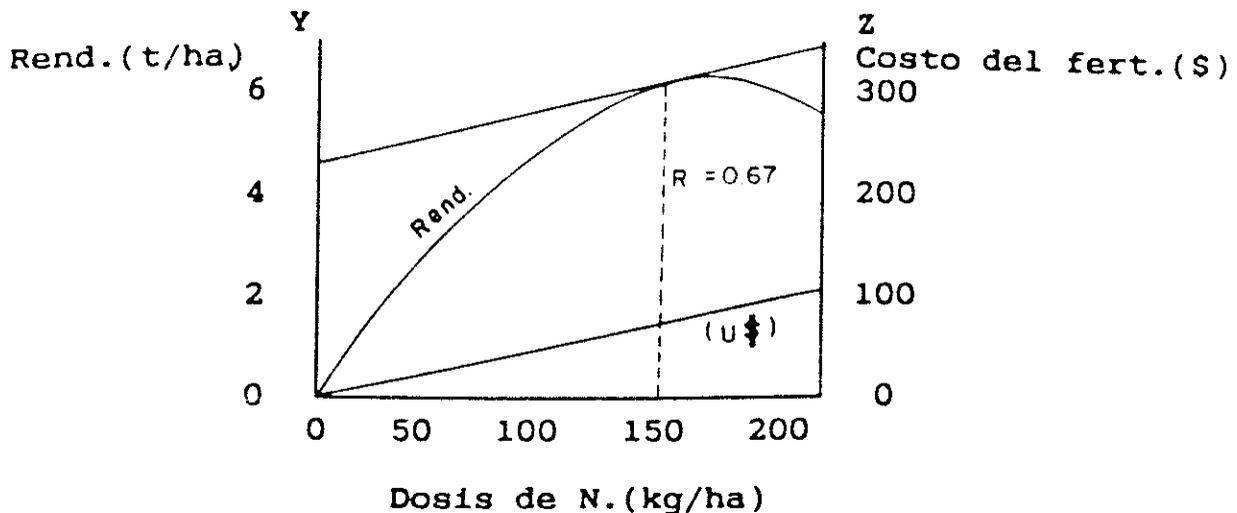


Gráfico 15. Determinación de la dosis óptima agronómica y económica en el cultivo de arroz utilizando el modelo cuadrático. (Cordero, 1993).

A pesar de la simpleza del método gráfico, hay que tener mucho cuidado ya que el modelo cuadrático en algunos casos sobre estima el valor máximo encontrado. Este procedimiento se puede realizar usando el método de modelos discontinuos, el cual es un método gráfico en el que separan las poblaciones de puntos de respuesta del cultivo, en aquellos de mayor pendiente y los que representan la estabilidad de la curva de rendimiento en un sistema XY. El punto donde se separan las poblaciones, y se designa como la dosis óptima económica. Debe tenerse el cuidado de sustituir en el eje de las Y el valor del retorno económico o ganancia, que es la diferencia entre el valor del producto y el costo del nutrimento.

Otra forma de calcular la eficiencia económica de los fertilizantes es el uso del retorno neto o de la razón entre el valor adicional de los rendimientos entre el costo del fertilizante correspondiente a ese rendimiento.

Sea AY el Incremento Adicional de la producción por el uso de una unidad adicional de fertilizante y P el Precio de la unidad de producto y F el Precio del fertilizante. Entonces $AY * P =$ (valor de la producción adicional). Entonces, el Retorno Neto es el valor de la producción conseguido por el uso de una unidad adicional de fertilizante, menos el costo de esa unidad.

$$RN = (AY * P) - F.$$

Si RN, es positivo implica que el uso de la unidad adicional de fertilizante es rentable. De otra forma el cálculo de la razón beneficio-costos (V/C) es igual a: $(AY * P) / F$. Si $V/C = 1$, significa que no hay beneficio económico, entonces si $V/C > 1$ existe beneficio económico por la aplicación del fertilizante. Dado el valor de 2 implicaría el 100% de beneficio económico por la aplicación del fertilizante.

CAPITULO XII. FERTILIZACION Y AGRICULTURA SOSTENIBLE.

12. Introducción

El concepto de agricultura sostenible en relación con la agricultura se refiere básicamente al mantenimiento de la capacidad productiva a través del manejo de los recursos biofísicos, para satisfacer las necesidades humanas, mateniendo o aumentando la calidad del medio ambiente y la conservación de los recursos naturales, económicamente viable y adaptable por parte de los agricultores.

Existen diferentes criterios de sostenibilidad que plantean conflictos principalmente por diferentes puntos de vista, lo cual se vuelve más complejo debido a la incidencia sobre los recursos naturales por parte de los agricultores, la comunidad y el gobierno. Lo cierto es que a todos los niveles es necesario encontrar un concenso como nación, planteando alternativas que aseguren un desarrollo sostenible. Las condiciones en que se encuentra Nicaragua exige desde ya, acciones concretas que aseguren opciones y alternativas de producción debido al avanzado deterioro de nuestros recursos, a fin de superar los bajos niveles de rendimientos de nuestros cultivos y la creciente pérdida de la fertilidad de nuestros suelos.

De acuerdo con la FAO, los problemas ambientales en los países en desarrollo han sido provocados por la sobre explotación de las tierras, la extensión de la frontera agrícola y la deforestación (Alexandrantos 1988). Enormes áreas han sido afectadas por la salinidad, el mal manejo de los fertilizantes y pesticidas, causando problemas de contaminación del medio ambiente. Particular importancia tiene para nosotros la degradación de la fertilidad de los suelos. Mundialmente se estima que el 43 % de áreas no desérticas en Africa, 32 % en Asia y 19 % en América Latina están en riesgo de desertificación.

El estilo predominante de agricultura en Centroamérica es la agricultura de ladera, ésta crea una crisis creciente como resultado de la deforestación, la pérdida de la diversidad biológica, el deterioro de los suelos y la contaminación de las aguas. Entre las principales causas de esta situación, se encuentran el crecimiento rápido de la población, un estilo insostenible de desarrollo y el uso de tecnología inapropiada. (Lindarte y Benito, 1993)

Las actuales estructuras de incentivos y tenencia de la tierra no promueven la conservación de suelos y con ello la pérdida de la fertilidad, ni estimulan interés por las prácticas sostenibles. La sobrevaluación de los términos de intercambio internacionales y el hecho de que el mercado en nuestros países, no considera el deterioro de los recursos naturales como costo de producción, permiten que éstos se traten como flujos de ingreso. Las políticas de sustitución de las importaciones, y sus arreglos institucionales, discriminan en contra de la agricultura, especialmente de los agricultores pequeños y pobres. Ni los mandatos políticos ni los arreglos institucionales han promovido la generación y el uso de tecnologías sostenibles. (Lindarte y Benito, 1993)

Más del 60% de la tierra para la agricultura y ganadería del istmo centroamericano se encuentran en zonas montañosas. Por su parte, más del 50% de los Bosques se encuentran en laderas. Entre los cultivos permanentes de laderas el café es el más importante (7% del área de laderas). Otro cultivo plurianual de importancia es la Yuca, una gran parte de su producción es destinada para el consumo familiar y otra al mercado. El maíz, el frijol y el trigo (65 y el 75 % de su área se cultiva en laderas). Una gran proporción de las fincas con maíz y frijol son operadas por pequeños y medianos productores. En cambio la gran mayoría del área cultivada de arroz, banano, plátano, caña de azúcar, algodón y el tabaco se cultivan en tierras planas o valles.

Nicaragua es el país de mayor área geográfica de América Central. Esta área está dividida en tres grandes zonas denominadas región del pacífico, región central y región atlántica. La economía Nicaragüense descansa sobre la producción agropecuaria. Cerca del 75 % del valor de las exportaciones provienen del sector agropecuario. El carácter de la agricultura Nicaragüense y su estructura interna se define a mediados del siglo pasado bajo un modelo agroexportador desacansando sobre el latifundio y el monocultivo. (Salmerón, 1993)

En Nicaragua las áreas de agricultura asentadas en laderas son de alrededor del 60 % (Áreas según la FAO, 1989). De las cuales el frijol, el maíz y el café ocupan el mayor porcentaje.

En condiciones de ladera los campesinos utilizan el sistema de tumba-roza -quema de una parcela (producto del avance de la frontera agrícola). Tal práctica aumenta la fertilidad de la tierra durante las primeras cosechas, después de un período de dos o tres años los rendimientos se caen o sencillamente ya no se produce nada y queda un suelo erosionado, entonces el campesino se traslada o otro sitio y utiliza el mismo sistema. Y en el caso de

regresar a alguna parcela dajada anteriormente en barbecho, por supuesto que el suelo será irrecuperable y los rendimientos muy pobres.

El principal objetivo de cualquier método de cultivo o programa de utilización de suelos es mantener una producción provechosa y sostenible por largo tiempo. Scarseth (1962) decía: "La erosión del suelo es un síntoma, no una causa primaria de la destrucción del suelo, la causa primaria de la destrucción del suelo por erosión es el empobrecimiento en nutrientes, especialmente en N".

Como se hacía referencia la finalidad de todo sistema de cultivo ha de ser la de mantener el máximo rendimiento de la producción. Al evaluar un sistema de cultivo deben de tenerse en cuenta diversos factores:

- La materia orgánica de la tierra cultivada.
- El suministro de nutrientes de la planta.
- La incidencia de malas hierbas, insectos y enfermedades.
- La absorción de agua y la erosión de suelos.

Los suelos difieren mucho por sus características, y por lo tanto en el modo de utilizarse.

Para la mayor parte de los agricultores, el único modo económico de tener más materia orgánica en sus suelos es hacer crecer la materia orgánica en sus parcelas o fincas. Mayor cantidad de cultivos significaran mayor volumen de raíces, favoreciendo la actividad de los microorganismos, mayor cantidad de rastrojos, más alimento para su ganado, cultivos de leguminosas que favorecerán el enriquecimiento del suelo. La diversificación del uso de las parcelas y del sistema que tiene el campesino lo hace menos vulnerable a sucumbir frente a un sistema en el que cada día se le presentan menos oportunidades, y de hecho el campesino con intuición tiende a diversificar su sistema, del cual tenemos mucho que aprender como profesionales del agro, a fin de transformarlo hacia niveles superiores de producción.

Las leguminosas comparadas con el fertilizante comercial inorgánico, tienen sus ventajas, una de las razones para incluir leguminosas en una rotación es el suministro de N, no obstante su uso depende de varios factores como aspectos culturales y sobre todo económicos que lleven al agricultor a elegir un sistema de

esta naturaleza. En los países sub-desarrollados, en los que el agricultor, muchas veces no tiene acceso a los fertilizantes inorgánicos, es necesario un sistema de cultivo que incluya el manejo de leguminosas y abonos orgánicos en general, con el objetivo de aumentar su materia orgánica.

He aquí algunas de las características de los sistemas de cultivo y la fertilización en relación a las pérdidas de suelos:

-La densidad de la cobertura o de la capa. Esto afecta la eficacia de la protección contra el impacto de la lluvia (energía cinética) y la evaporación. Cuando se realizan quemas, el suelo queda desprotegido o desnudo lo cual lo hace susceptible a su arrastre, sobre todo en sistemas de agricultura en laderas, y por consiguiente afectando los microorganismos tan útiles en la disponibilidad de N.

-La proporción de tiempo en que el suelo está cultivado en relación con el tiempo de cobertura.

-La cantidad de rastrojos restituidos al suelo. Los residuos aplicados a la superficie del suelo, o dejados en ella a apartir del cultivo del cultivo precedente, se utilizan para reducir las pérdidas del suelo y el desarrollo de malezas así como de conservar la humedad del suelo.

Las prácticas de labranza mínimas, con un cultivo en hileras como es el maíz, es un buen método en relación a la conservación de la fertilidad del suelo. En un cultivo en hileras el suelo puede dividirse en dos zonas: el suelo inmediato alrededor del sembrado y el suelo entre las hileras, los cuales tienen requerimientos diferentes. Estos espacios pueden manejarse de forma que permitan un buen desarrollo de la semilla en la hilera y aprovechando el espacio entre hileras, para diversificar el sistema o aumentar la materia orgánica del suelo, existen muchos ejemplos en relación a estos sistemas.

12.2 La fertilidad y su relación con algunos problemas ambientales

Los análisis de suelo pueden ser indicador para monitoriar algunos problemas con nutrientes aplicados al suelo, ya sea como fertilizantes o como abonos orgánicos en forma de residuos de corral, desechos humanos, compost de basuras, de pulpas, cachaza, etc.

El Nitrógeno y el Fósforo están relacionados con los problemas de contaminación del ambiente. Principalmente los nitratos por su alta movilidad del suelo hacia aguas profundas puede llegar a cuerpos de agua superficiales. A pesar de que el P es menos móvil y puede ser fijado por el suelo, este puede ser arrastrado a los cuerpos de agua superficiales por medio de la erosión.

La fertilización Nitrogenada es una necesidad universal ya que ésta es uno de los factores limitantes de nuestra agricultura por lo que la aplicación de fertilizante nitrogenados, es una de las prácticas más comunes, razón por la cual la forma de nitrato se encuentra en suelos bien drenados y se moviliza vía flujo de masa.

Datos presentados por (Kyuma,1990) citado por (Beaton,1993); demuestran que en tierras altas arables se perdió entre el 10- 50 por ciento del fertilizante nitrogenado aplicado y entre 0 a 20 % fué removido de los pastizales. La magnitud de estas pérdidas dependen de la textura del suelo, la cantidad y frecuencia de las precipitaciones y de la capacidad de infiltración del suelo. La importancia de la aplicación de las dosis recomendadas en base al análisis de suelos, realizada de forma correcta, evita en gran medida la contaminación con nitrato. A continuación se presentan datos reportados por (Beaton,1993), relacionados con la fertilización y la lixiviación del nitrato.

Tabla 42. Influencia de la aplicación de N en la descarga de NO_3 en los tubos de drenaje (Miller,1979); citado por Beaton,1993.

Lote	Dosis de N recomendada (kg/ha)	Dosis de N aplicada (kg/ha)	NO_3 en los tubos de drenaje.
1	50	35	17
2	104	92	15
3	150	150	4
4	130	110	8
5	85	110	57
6	150	200	55

Los niveles de NO_3 , que se descargan en los tubos de drenaje de los campos 1 a 4 son similares a aquellos de ecosistemas naturales, nótese que las dosis aplicadas son casi iguales a las cantidades removidas por el cultivo. Es interesante hacer notar que la pérdida de N, fue menor en el campo 3, al cual se le aplicó la mayor dosis de N, en consecuencia, altas aplicaciones de fertilizantes nitrogenados no resultan en problemas ambientales si la aplicación está sustentada y técnicamente correcta. Por el contrario, existió una mayor pérdida en los campos 5 y 6 donde las dosis de fertilizante excedieron considerablemente la cantidad recomendada.

En cuanto al fósforo, cuyo balance dinámico tiende a la poca movilidad, la mayor pérdida se produce a causa de la erosión que arrastra las partículas de arcilla que fijan el fósforo, así como las partículas de materia orgánica que también contienen P (Kyuma, 1990). Las pérdidas de P por erosión, son 100 veces mayores que las producidas por lixiviación. Una de las diferencias del P, en relación con la contaminación del ambiente, es que el P se deposita con los sedimentos y no actúa como agente directo de contaminación. Aunque eventualmente puede participar con su liberación como ión, en determinadas condiciones de pH, en la contaminación de estanques o represas, tal como lo hace directamente el NO_3 .

El muestreo con fines de detectar alguna contaminación debe hacerse considerando algunos factores como:

Momento de la toma de muestra

- Antes de la siembra.
- Antes de la aplicación de fertilizantes.
- A continuación de eventos significativos de precipitación o riego.
- Después de la cosecha.

Profundidad de muestreo

- Un poco más profundo que la capa arable (hasta 30 cm. en cultivos anuales).
- Hasta profundidades de 60 a 180 cm. en áreas de baja precipitación para medir NO_3 residual.
- Se debe tomar en cuenta la profundidad del sistema radicular factor que está relacionado con las categorías de uso de suelo.

Los fertilizantes y otros insumos de agricultura moderna en ocasiones han sido considerados como perjudiciales a la calidad del medio ambiente. Sin embargo, es claro que las prácticas de manejo que favorecen los rendimientos altos también mantienen la calidad del ambiente. (Espinosa, J., 1993).

Considerando lo antes expuesto nos podríamos preguntar ahora: Hacia donde va la producción de alimentos en los próximos 20 años?.

A medida que se acerca el final del siglo 20, la oferta ha sido abundante en los países eminentemente exportadores o sea los países desarrollados, los cuales son autosuficientes, sin embargo el panorama no es optimista debido a que la inmensa mayoría tiene deficiencias de alimentos y carecen de divisas para exportarlos, por tal razón los estamentos más empobrecidos de los países del tercer mundo sufren de desnutrición y hambruna (Nicaragua no está lejos de esta situación). Se proyecta que para el año 2,000 se necesitarán 130 millones de toneladas métricas adicionales de trigo y 100 millones de toneladas métricas adicionales de maíz. La clave en estos retos será el de desarrollar nuevas tecnologías que permita producir rendimientos más altos por área.

En el período del año 1977 hasta el 2,000 se ha proyectado que la población del globo se incrementará en 40 % y la cantidad de tierra arable se estima se incrementará solamente el 4 %.

Sabemos que los fertilizantes jugarán un rol importante en este proceso de producción de alimentos. Al enfrentar este reto, habrá una creciente preocupación ya que el incremento de la producción agrícola actualmente se está logrando a costa de la degradación del medio ambiente.

Los grandes avances en los últimos 25 años que se conocieron como la " Revolución Verde", fueron entre otros:

- Variedades de arroz y de trigo de alto rendimiento.
- Métodos de producción interdisciplinario que envuelve a la genética, a la agronomía y a la fitopatología.

Alguna razón tuvieron estos impulsos tecnológicos que estaban acompañados de un gran paquete de altos insumos, ya que se lograron altos rendimientos, por ejemplo en la India este auge produjo el financiamiento para incorporar áreas a la producción bajo riego. Argentina no siguió este modelo típicamente, pero debido al hecho de mantener monopolio sobre los precios internacionales del trigo mantuvo sus rendimientos y ritmo de producción.

En opinión del autor, las consecuencias negativas de la revolución verde en la degradación del medio ambiente, se produjeron, no tanto por los paquetes tecnológicos y los préstamos puentes condicionados, sino por la acción de los profesionales agropecuarios en nuestros países, los cuales fueron formados en una filosofía de aplicación de paquetes tecnológicos y carentes de métodos de adaptación de las tecnologías, que fueran apropiadas a nuestras condiciones. El papel de los técnicos agropecuarios de la época, se limitó a aplicar el paquete tecnológico, sin analizar nuestras propias condiciones, a largo plazo habiéramos obtenido rendimientos más sostenidos, si se hubiera considerado la experiencia de nuestros campesinos y el ambiente biofísico donde se iban a implementar éstos.

La FAO estima que en Africa se remueven 10 veces más nutrientes de lo que se adiciona al suelo através de los fertilizantes. La mayoría de los países subdesarrollados son bajos en P y N. En sistemas de cultivos intensivos, que cada vez se incrementan más, el satisfacer solamente de P y N gradualmente va disminuyendo las reservas de éstos nutrientes así como de otros. Lo cual hace necesario la aplicación de fertilizantes debidamente sustentado. A medida que se incrementa el uso de fertilizantes, también aumenta la preocupación de sus efectos sobre el medio ambiente. Por lo tanto la principal interrogante para los involucrados en la agricultura, es cómo obtener incrementos en la producción de alimentos, en lo cual los fertilizantes juegan un papel importante, sin profundizar la crítica situación de deterioro del medio ambiente.

El método para compatibilizar los altos rendimientos, el uso de fertilizante y el mantener la calidad del ambiente debería considerar la implementación de algunas prácticas como por ejemplo:

- Interacción del N con otros nutrientes:
- Aplicaciones fraccionadas de fertilizantes
- Apovechamiento eficiente del agua.
- Interacción del fertilizante con el control de malezas.
- Interacción del fertilizante con el control de enfermedades (manejo integrado de plagas).
- Control de la erosión-.

Es claro que habrá una mayor necesidad de producción de alimentos debido al incremento poblacional.

El recurso suelo no es infinito y la expansión horizontal de este recurso no es posible. Por esta razón la creciente necesidad de alimentos debe ser satisfecha con los incrementos del rendimiento por área. En este contexto el manejo de la fertilidad de los suelos y su fertilización, jugarán un papel muy importante en la producción de alimentos. El uso de fertilizantes, los altos rendimientos y la seguridad ambiental son compatibles a través del buen manejo de los recursos naturales y del ambiente.

BIBLIOGRAFIA

- ACOSTA, R.(1979). Respuesta al azufre en suelos de América Central. Agroindustria.Costa Rica.
- AGRODOK.1990. The preparation and use of compost.8. Wageningen, the Netherlands.
- ANDERSON, J.M. 1989. Tropical soil biology and fertility. A handbook of methods. Wallingford. Cabi. USA.
- ARVIZU, R., y LAIR, R. 1978. Fertilización del trigo en el valle del yaqui. Folleto Técnico Num. 26, O.E.E. , México.
- BAZAN, R.(1977). Fertilidad de suelos cañeros del istmo Centroamericano
- BEATON, J.D.1993. El análisis de suelo como herramienta para monitoriar posibles problemas ambientales. Memorias del Seminario de Correlación y Calibración y Calibración de Análisis de Suelo. Universidad Nacional Agraria(UNA)- Instituto de la Potasa y del Fósforo. Managua, Nicaragua.
- BOOKER, T.1990. Booker Tropical Soil Manual. A handbook for soil survey and agriculture in the tropic and subtropics.
- BORNEMISA, E.1990. Problemas del azufre en suelos y cultivos de Mescamérica. Universidad de Costa Rica.
- CORDERO, A. 1993. Evaluación y mejoramiento de la fertilidad de las necesidades de nutrimentos por los cultivos. Memorias del seminario de correlación y calibración de análisis de suelo. Universidad Nacional Agraria(UNA- Instituto de la Potasa y del Fósforo.(INPOFOS). Managua, Nicaragua.
- CORTES, J. 1975. Diseño de recomendaciones prácticas de fertilización y de densidades de población. C.P. Chapingo México.
- ETCHEVERS, B.J. et al. 1986. Correlación y calibración de métodos químicos para la determinación de fósforo disponible. Agrociencia (México)
- ETCHEVERS, B.J. 1988. Diagnóstico de la fertilidad del suelo. Universidad Autónoma. Chapingo, México.
- FAO. 1978. Improved use of plant nutrients. 34. Roma

- FAO. 1980. Los fertilizantes y su empleo. Roma.
- FASSBENDER, H.U. 1969. Química de suelos. FAO/IICA. San José C.R.
- FATH, H.D., Boy, G.E. 1988. Soil fertility. Michigan State University. USA.
- HAUSER, G.F. 1985. Investigaciones sobre fertilidad de los suelos en terrenos agrícolas. FAO. Roma.
- HUNTER, A. 1977. Técnicas de laboratorio e invernadero para estudios de nutrimentos para determinar enmiendas de suelos para u óptimo crecimiento de las plantas. CATIE, Turrialba, Costa Rica.
- ILEIA. 1992. Farming for the future. An introduction to Low-External- Input and Sustainable Agriculture. Leusden, Netherland.
- INPOFOS. 1993. Diagnóstico nutricional de los cultivos. I.D.L. Quito Ecuador.
- LAIRD, R.L. 1986. Consideraciones metodológicas de la generación y validación de tecnología de producción agronómica. Serie de cuadernos de Edafología 7. Centro de Edafología, Colegio de Postgraduados, Chapingo, Mexico.
- MANZANARES, P.1989. Apuntes personales sobre fertilidad de suelos. Universidad Nacional Agraria (UNA). Managua, Nicaragua.
- MARIN, E. 1987. Ordenamiento del sistema productivo. Región II. DGTA- MIDNRA. Managua, Nicaragua.
- MENGEL, K., KIRBY, E,A. 1987. Principles of plant nutrition. International Potash Institute Bern, Switzerland.
- Mc MAHON, M.A.1992. El uso de fertilizantes y los rendimientos altos son compatibles con la calidad del medio ambiente. Informaciones Agronómicas.11. INPOFOS.Editor ESPINOZA, J.
- NAVARRO, G.J.1884. Química de suelos. México.
- PADILLA, C. 1992. Modelo de recomendación de fertilizantes del SITVEN. Curso sobre fertilización balanceada. Valencia, Venezuela.
- QUINTANA, J.O. et al. 1983. Informe de las investigaciones sobre fertilidad de los suelos en Nicaragua 1980-1982. Guía de y recomendaciones de fertilización para grans básicos. DGTA-MIDINRA. Managua, Nicaragua.

-QUINTANA, J.O. et al. 1992. Manual de fertilización para suelos de Nicaragua. Universidad Nacional Agraria (UNA) y Consultora profesional Indígena. (INDOCONSUL S.A.). Managua, Nicaragua.

SALMERON, F.J. 1993. Importancia del mantenimiento de la fertilidad de los suelos para el desarrollo de Nicaragua. Memorias del Seminario de Correlación y Calibración de Análisis de Suelo. Universidad Nacional Agraria(UNA) - Instituto de la Potasa y el Fósforo(INPOFOS). Managua, Nicaragua.

TEUSCHER, H.; ADLER, R., 1985. El suelo y su fertilidad. Estados Unidos.

VOLKE H. 1987. Enfoque para generar tecnología agrícola. Serie de Cuadernos de Edafología 11. Centro de Edafología. Colegio de Postgraduados, Chapingo, México.

WIERERK. 1978. Mercadeo de los fertilizantes. FAO. Roma.