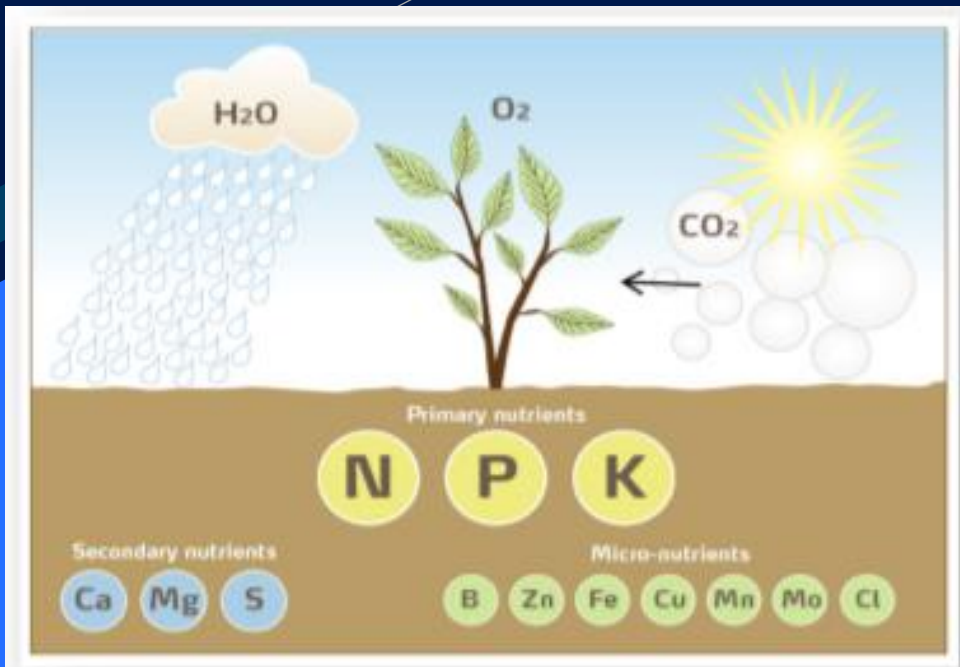




Webinar 13



Fertilizantes para fertirriego: conceptos y propiedades

M. I. Q. Christian Martínez Sánchez
Profesor del Instituto Tecnológico Superior
de Comalcalco, Tabasco, México

24 de abril de 2020

Contenido

➤ 1. Generalidades

- 1.1 Conceptos
- 1.2 Ventajas de la fertirrigación
- 1.3 Desventajas de la fertirrigación
- 1.4 Elementos esenciales
- 1.5 Clasificación de los fertilizantes
- 1.6 Manufactura de fertilizantes

➤ 2. Propiedades de los fertilizantes

- 2.1 Propiedades físicas
- 2.2 Propiedades químicas



1. Generalidades, 1.1. Conceptos



- La práctica de aplicar fertilizantes a los cultivos por vía del agua de riego se llama **fertirrigación** o **fertirriego** (Bar-Yosef, 1991).

El objetivo de la fertirrigación es el aprovechamiento del flujo de agua del sistema de riego para transportar los elementos nutritivos que necesita la planta hasta el lugar donde se desarrollan las raíces, con lo que se optimiza: **agua, nutrientes, energía, y se reduce la contaminación (buen manejo).**

- **Fertilizante.** Se define como un producto químico, que aporta elementos nutritivos para las plantas, y que como producto químico es una sal inerte sin carga, que al mezclarse con el agua (ya sea del suelo o de una solución) se disocia dejando nutrientes en forma iónica; es decir, elementos con carga negativa (**aniones**) o con carga positiva (**cationes**).
- **Abono.** Sustancia o subproducto de origen vegetal o animal que se aplica al suelo para modificar su estructura y mejorar la fertilidad; comúnmente son sustancias orgánicas (por ejemplo, estiércol y compostas).
- **Nutrición.** Proceso para extraer los nutrientes que existen en los fertilizantes aplicados al sustrato. Una nutrición óptima permite aplicar y absorber los nutrientes por la planta acoplado las necesidades nutricionales con la aplicación de fertilizantes.

1.2. Ventajas de la fertirrigación



- Mayor eficiencia en la aplicación de fertilizantes con un ahorro tanto de fertilizantes como de mano de obra usada para su aplicación.
- Mejor asimilación y rapidez de actuación de los fertilizantes al localizarlos en la zona de raíces.
- Mejor distribución (tanto en superficie como en el perfil del suelo, ocupando los nutrientes la zona humedecida por el sistema de riego).
- Control de pérdida de nutrientes con buen manejo.
- Gran flexibilidad en la aplicación, lo que permite la adecuación del fertirriego a las necesidades del cultivo en cada momento.
- Incremento del rendimiento y mejora de la calidad de la cosecha.

1.3. Desventajas de la fertirrigación



- La corrosión puede dañar componentes metálicos del sistema, como tuberías de acero no protegidas, válvulas, filtros y unidades de inyección.
- Los fertilizantes inyectados al sistema de riego pueden causar posibles problemas ambientales si no se utilizan e inyectan de manera adecuada.
- Mayor costo de inversión inicial del sistema de riego al incluir un sistema de inyección y control de fertilización (instalaciones y equipos).
- Mayores habilidades requeridas del personal para el manejo adecuado de los equipos de inyección y manejo de fertilizantes.
- Necesidad de un sistema de riego con buena uniformidad para garantizar la correcta distribución de la solución regante en el suelo.
- Necesidad de utilizar fertilizantes con propiedades adecuadas para fertirriego (solubilidad, pureza, etc.).
- Posible riesgo de falta de micronutrientes por la pureza de los fertilizantes líquidos solubles.
- Riesgo de obturaciones de goteros por precipitados, con el consiguiente incremento en el costo de la unidad fertilizante al usar fertilizantes solubles y compatibles con el agua de riego para evitar precipitados, y la necesidad de lavado del sistema de riego.

1.3. Desventajas de la fertirrigación



Corrosión relativa de varios metales por soluciones de fertilizantes
(considerando 120 g de material en 1.0 litro de agua)

Tipo de metal	Nitrato de calcio	Nitrato de sodio	AN-20	Sulfato NH ₄	Urea	Ácido fosfórico	DAP*
Hierro galvanizado	2	1	4	3	1	4	1
Alumino	No	2	1	1	No	2	2
Acero inoxidable	No	No	No	No	No	1	No
Bronce	1	No	3	3	No	2	4
Latón amarillo	1	No	3	2	No	2	4
pH de la solución fertilizante	5.6	8.6	5.9	5.0	7.6	0.4	8.0

No: Ninguna
1: Ligera
2: Moderada
3: Considerable
4: Severa

* Fosfato diamónico

Fuente: (Burt et al., 1995).

1.4 Elementos esenciales

Dieciséis elementos son esenciales para el crecimiento de los cultivos.



Elemento	Símbolo	Forma Iónica	% P.S.	Fuente	Clasificación
Carbono	C		89	Aire	Macronutriente
Oxígeno	O			Aire	Macronutriente
Hidrógeno	H			Aire	Macronutriente
Nitrógeno	N	NO_3^- , NH_4^+	4.0	Suelo/aire	Macronutriente
Fósforo	P	HPO_4^- , H_2PO_4^-	0.5	Suelo	Macronutriente
Potasio	K	K^+	4.0	Suelo	Macronutriente
Azufre	S	SO_4^- , SO_3^-	0.5	Suelo	Secundario
Magnesio	Mg	Mg^{++}	0.5	Suelo	Secundario
Calcio	Ca	Ca^{++}	1.0	Suelo	Secundario
Boro	B	BO_3^- , HBO_3^-	0.006	Suelo	Micronutriente
Fierro	Fe	Fe^{++} , Fe^{+++}	0.02	Suelo	Micronutriente
Manganes	Mn	Mn^{++}	0.02	Suelo	Micronutriente
o					
Molibdeno	Mo	MoO_4^-	0.0002	Suelo	Micronutriente
Cobre	Cu	Cu^{++}	0.001	Suelo	Micronutriente
Zinc	Zn	Zn^{++}	0.003	Suelo	Micronutriente
Cloro	Cl	Cl^-	0.1	Suelo	Micronutriente

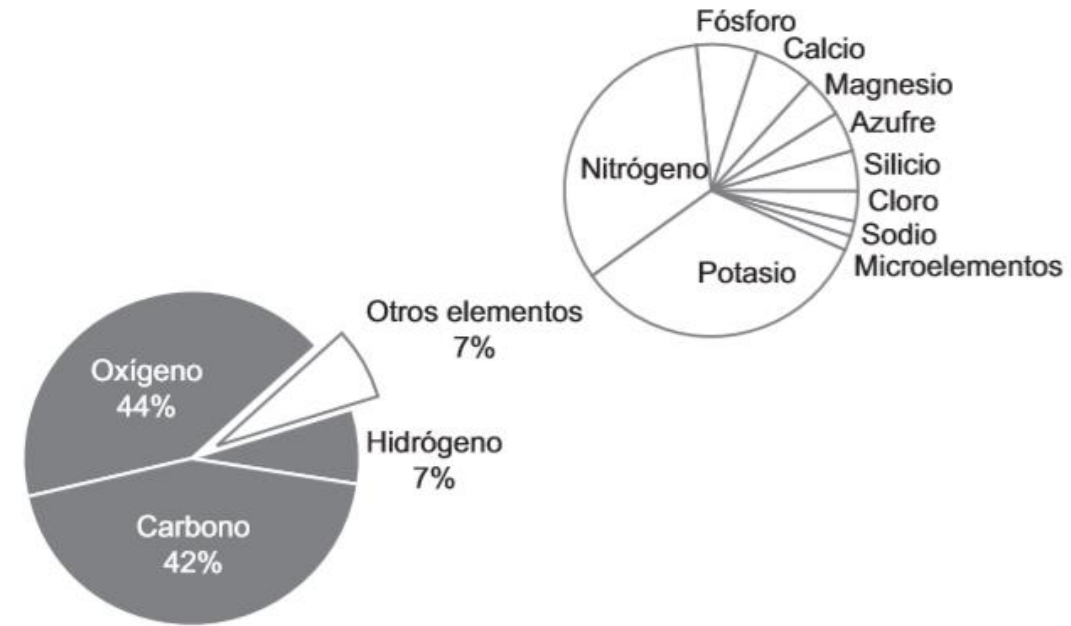
% P.S.= Contenido típico de nutriente en la planta en % de peso seco

1.4 Elementos esenciales

Los elementos que requiere una planta provienen del *aire*, *agua* y de la *solución del suelo* en la zona radical.

Fuentes principales de los elementos esenciales:

- Aire:** carbono (C) como CO₂ (dióxido de carbono)
- Agua:** hidrógeno (H) y oxígeno (O).
- Suelo,** como fertilizante o abono animal: nitrógeno (N) – las plantas leguminosas obtienen el nitrógeno del aire con la ayuda de bacterias que viven en los nódulos de las raíces- fósforo (P), potasio (K), calcio (Ca), magnesio (Mg), azufre (S), hierro (Fe), manganeso (Mn), zinc (Zn), cobre (Cu), boro (B), molibdeno (Mo) y cloro (Cl).

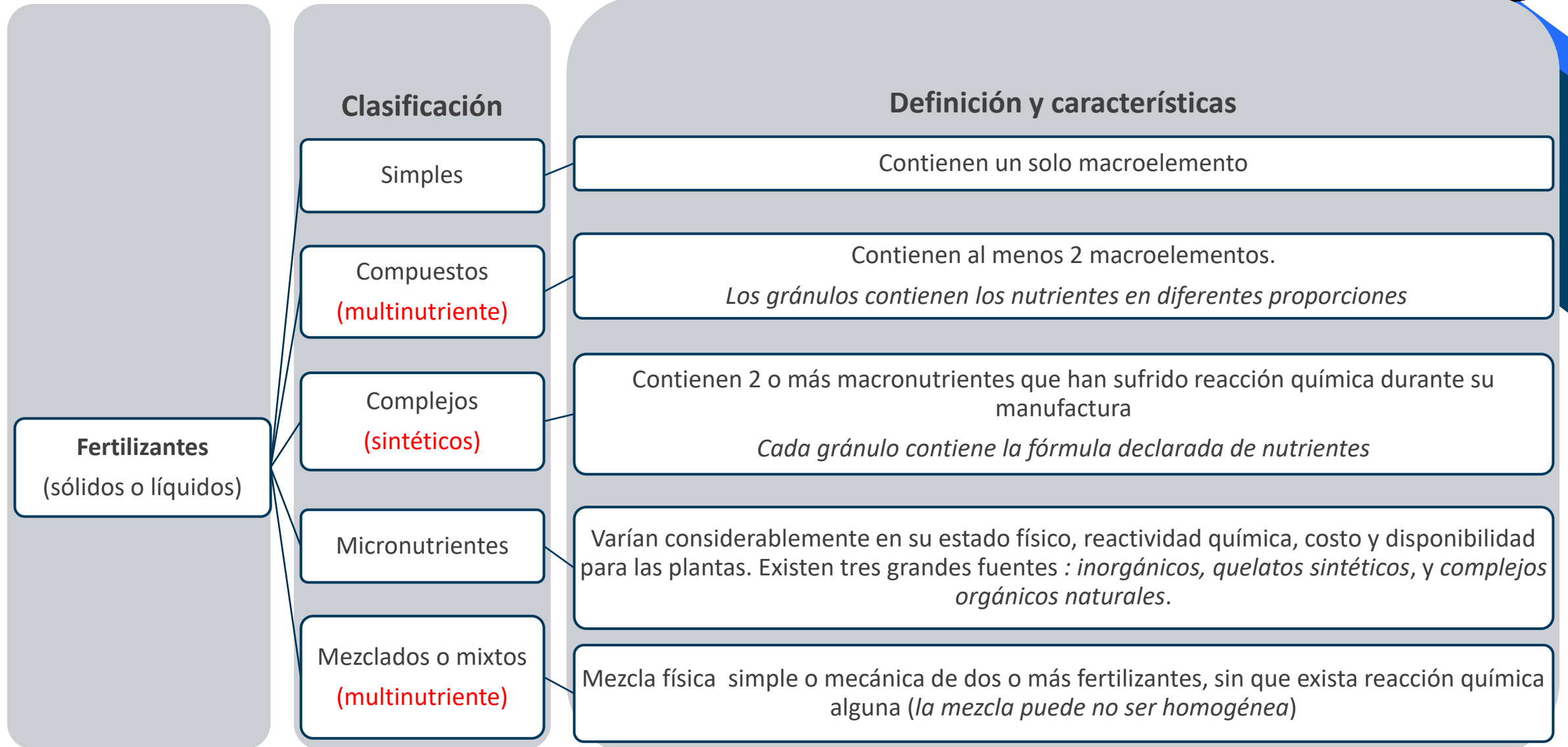


Composición elemental promedio de las plantas

Disociación iónica de dos fertilizantes típicos en la solución del suelo

Fertilizante	Iones cargados después de la hidrólisis	
KNO ₃ (Nitrato de Potasio)	K ⁺ (Cation Potasio)	NO ₃ ⁻ (Anión Nitrato)
NH ₄ H ₂ PO ₄ (Fosfato Monoamónico)	NH ₄ ⁺ (Cation Amonio)	H ₂ PO ₄ ⁻ (Anión Fosfato)

1.5 Clasificación de los fertilizantes

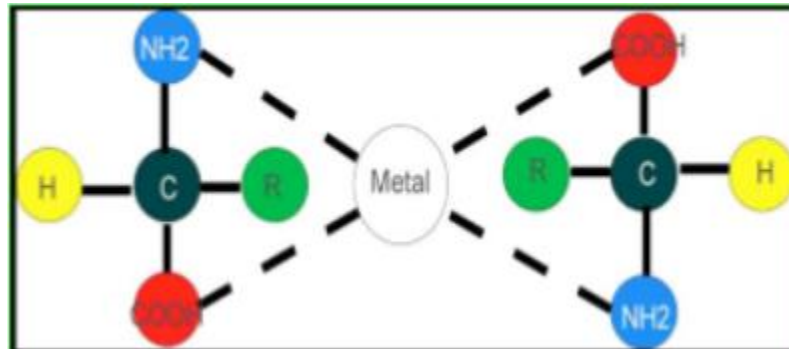


1.5 Clasificación de los fertilizantes

Quelatos

Fuente	Fórmula	Contenido del elemento %
Quelatos de Cu	Na ₂ CuEDTA	13
	CaCuHEDTA	9
Quelatos de Fe	NaFeEDTA	5-14
	NaFeHEDTA	5-9
	NaFeEDDHA	6
	NaFeDTPA	10
Quelatos de Mn	MnEDTA	12
Quelatos de Zn	ZnEDTA	6-14
	NaZnNTA	13
	NaZnHEDTA	9

Algunos quelatos sintéticos para micronutrientes



Esquema general de un quelato

Los quelatos están formados por un agente quelatante (orgánico o sintético) que se acompleja con un ión metálico en una estructura cíclica denominada quelato. El quelato le da mayor estabilidad al catión metálico y lo protege de reacciones de precipitación, adsorción, oxidación-reducción, etc., lo cual le permite mantener una disponibilidad más duradera para ser aprovechado por la planta.

Algunos de los agentes quelatantes sintéticos más utilizados son EDTA, HEDTA, DPTA.

El EDTA (ácido etilendiaminotetracético) es el más popular, y en su fabricación se mezcla con el micronutriente, generalmente en forma de cloruro u óxido, ya que son más baratos que los sulfatos. La mayoría de los quelatos de EDTA se formulan en forma líquida debido a su menor costo, pero también pueden fabricarse en polvo fino.

Los quelatos sintéticos u orgánicos son más efectivos que las fuentes de sales inorgánicas en aplicaciones al suelo porque protegen al catión metálico de reacciones adversas que afectan su disponibilidad, y además facilitan la penetración a través de cutícula de la raíz.

Algunos ejemplos de fertilizantes para uso en fertirrigación (Burt et al., 1995)

Fertilizante	Composición	Precauciones	Características
Amoníaco anhidro	82-0-0	Nunca inyectar en sistemas de microirrigación.	n/a
Solución de nitrato de amonio (AN-20) $\text{NH}_4\text{NO}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$	20-0-0	Nunca mezcle la solución con ácidos concentrados.	Densidad – 1.29 kg/L Comúnmente utilizado en fertirrigación.
Urea solida $(\text{NH}_2)_2\text{CO}$	46-0-0	Nunca mezcle urea con ácido sulfúrico.	Solubilidad – 1 kg/L
Nitrato de calcio y amonio (CAN17) $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2 \cdot \text{NH}_4\text{NO}_3$	17-0-0-8.8 Ca	No combinar con soluciones que contengan sulfatos / tiosulfato.	Densidad – 1.55 kg/L Efectivo para obtener alta calidad de frutos en algunos cultivos
Tiosulfato de amonio $(\text{NH}_4)_2\text{S}_2\text{O}_3$	12-0-0-26	No mezclar con ácidos ni aplicar en suelos de pH bajo.	Densidad – 1.33 kg/L Agente acidificante, ideal para el tratamiento de suelos calcáreos.
Quelatos metálicos	La mayoría de los micronutrientes metálicos deben estar quelados con EDTA, DTPA o EDDHA para evitar la precipitación.		Los metales quelados son muy efectivos en suelos alcalinos.
Ácido fosfórico H_3PO_4	0-54-0	Nunca mezcle ácido fosfórico con fertilizante de calcio.	Densidad– 1.69 kg/L El ácido verde es más común, pero es menos puro que el ácido blanco.
Nitrato de potasio KNO_3	13-0-44	Ninguna	Solubilidad– 0.133 kg/L Segunda fuente más popular de fertilizantes de potasio.
Tiosulfato de potasio (KTS) $\text{K}_2\text{S}_2\text{O}_3$	0-0-25-17 0-0-22-23	Las mezclas de KTS pueden tener un pH inferior a 6.	Contiene 0.36 kg/L K_2O and 0.25 kg/L S
Sulfato de potasio K_2SO_4	0-0-50	Ninguna.	Solubilidad - 0.12 kg / L Popular para la fertirrigación como buena fuente de azufre

1.6 Manufactura de fertilizantes

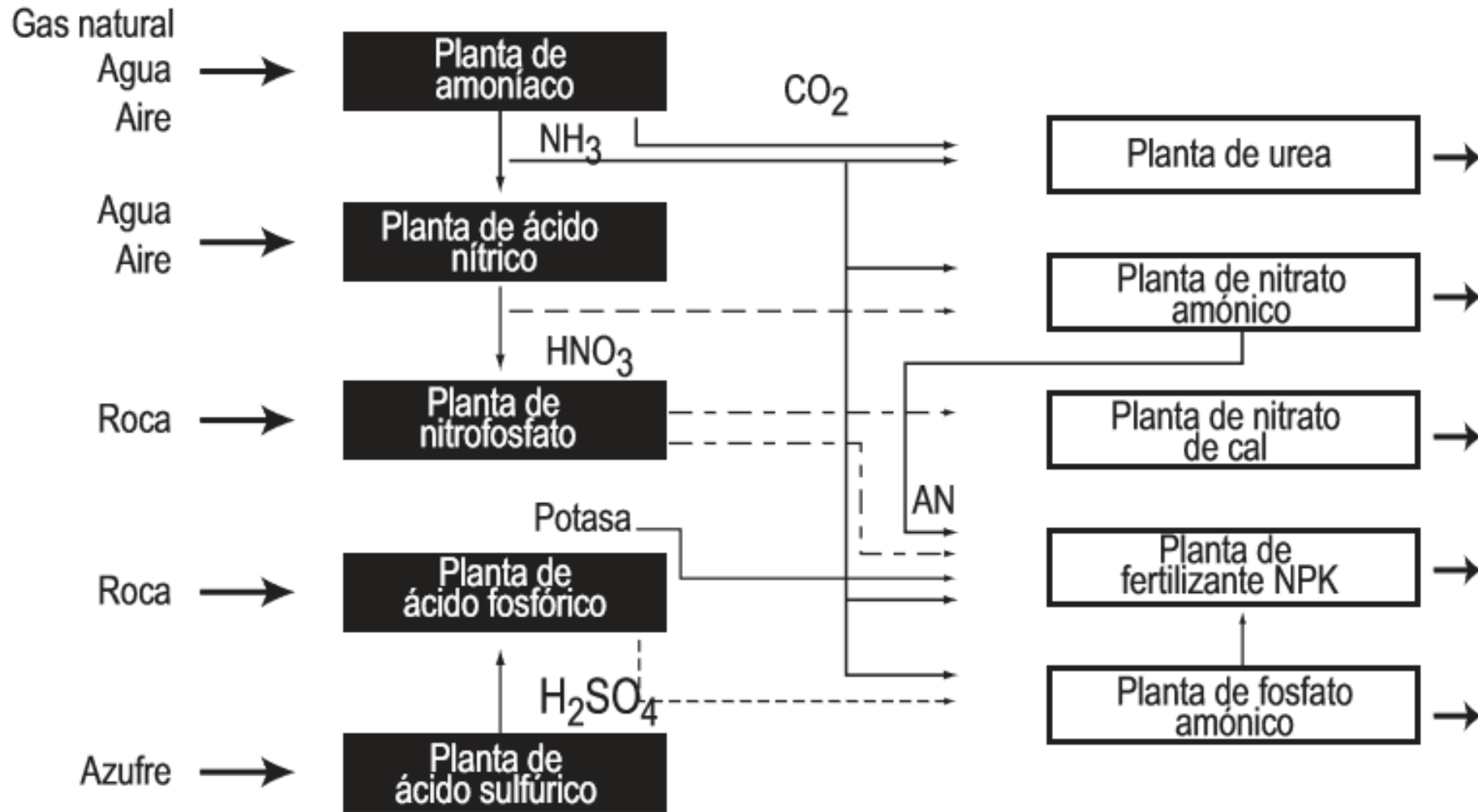
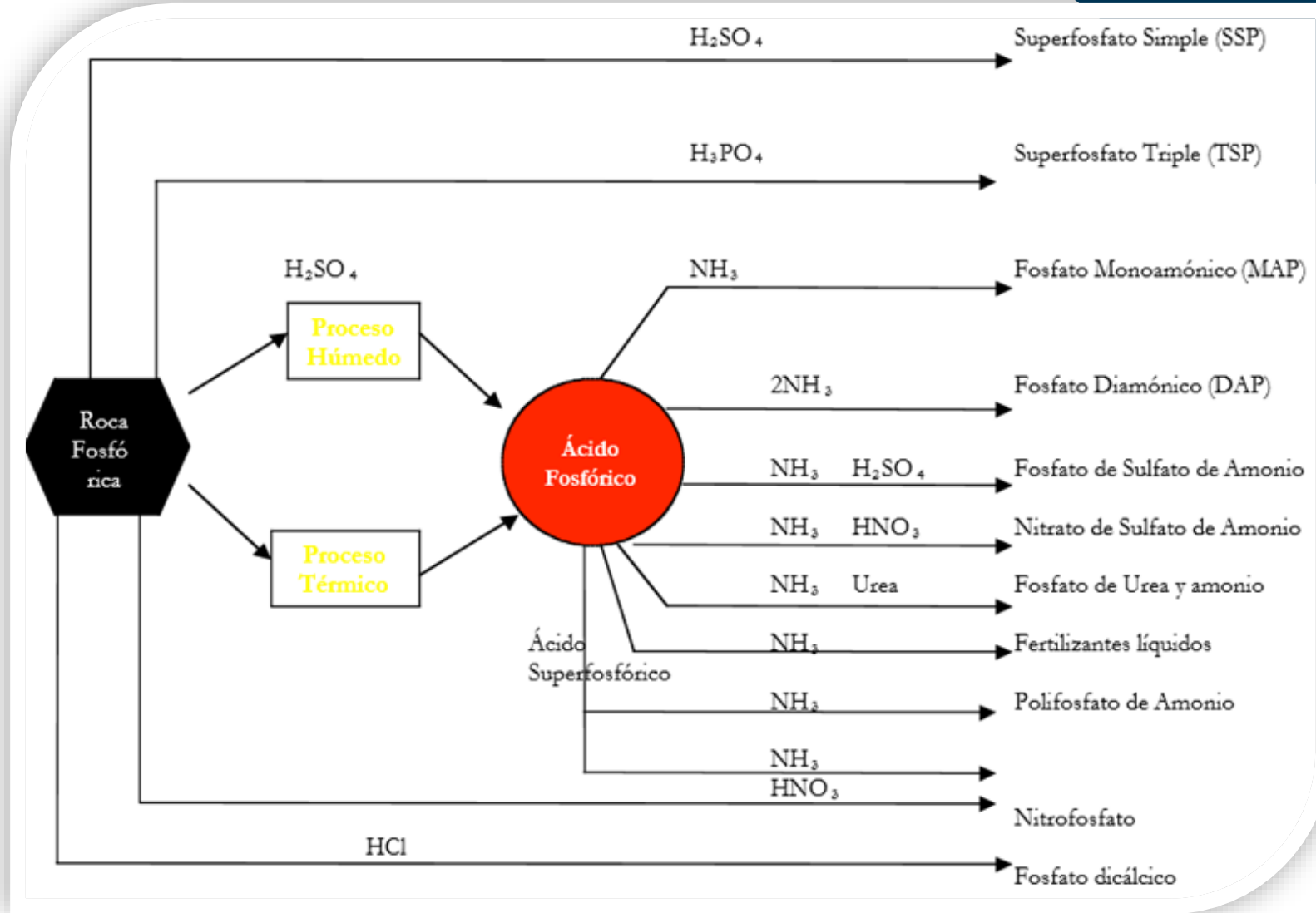


Diagrama de flujo de producción de fertilizantes (IFA, 1992)

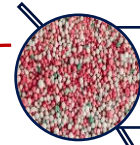
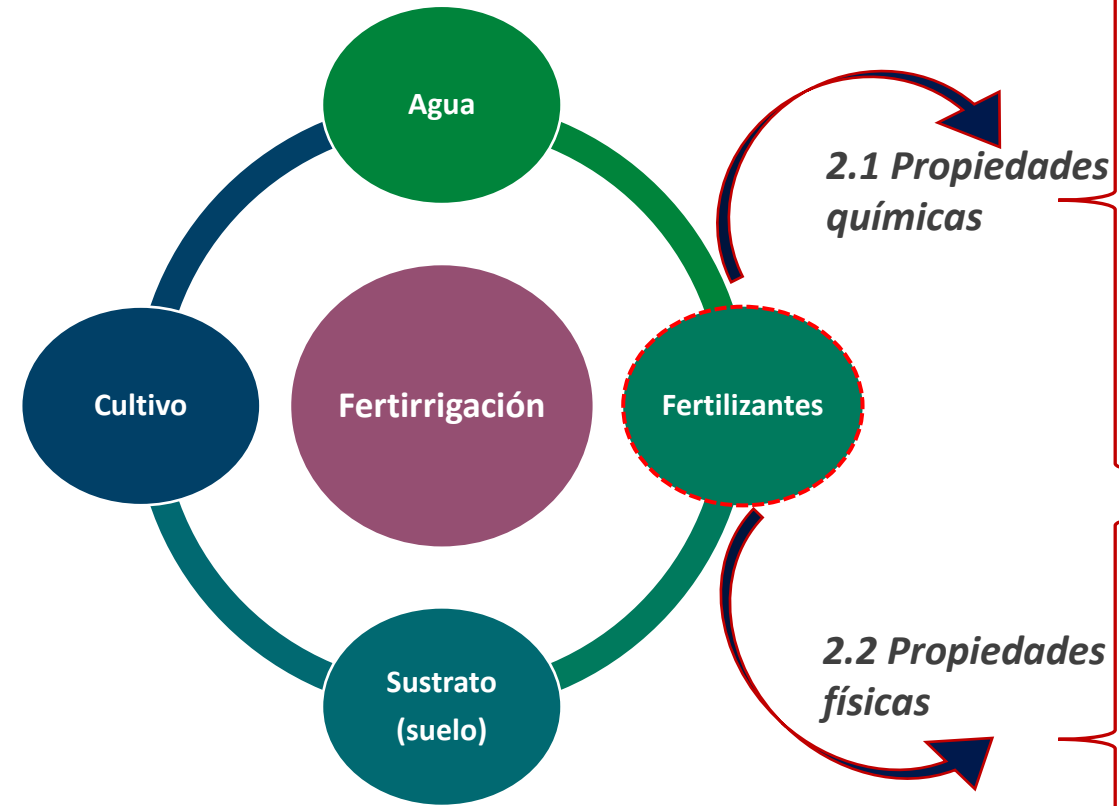
1.6 Manufactura de fertilizantes



Esquema de fabricación de fertilizantes fosfatados



2. Propiedades de los fertilizantes



2.1.1 Composición



2.1.2 Solubilidad



2.1.3 Compatibilidad de los fertilizantes



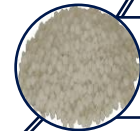
2.1.4 Índice de salinidad y acidez



2.2.1 Tamaño de partícula



2.2.2 Densidad aparente



2.2.3 Humedad relativa crítica

2.1.1. Composición (o grado del fertilizante)

- Los nutrientes primarios (macroelementos) son expresados comúnmente en porcentajes de nitrógeno elemental (N), pentóxido de fósforo (P_2O_5) y óxido de potasio (K_2O), en la forma **$N:P_2O_5:K_2O$** (algunas veces complementado con nutrientes secundarios o microelementos).
- La *composición o grado de un fertilizante* consiste de serie de números separados por guiones. Cada uno indica la cantidad de un nutriente que el fabricante garantiza que está contenido en el fertilizante. **Este número incluye solo la cantidad de nutrientes encontrados por los procedimientos analíticos prescritos.** El contenido de cada nutriente siempre se expresa como un *porcentaje en peso*, o en otras palabras, como kilogramos del elemento por 100 kg del producto fertilizante.

Por ejemplo, el siguiente fertilizante: **[12 – 6 – 22 – 2MgO]**. El proceso de manufactura de este producto garantiza que tiene la siguiente composición:

*12% de N, o 12 Kg de N en cada 100 Kg de fertilizante
6% de P_2O_5 , o 6 Kg de P_2O_5 en cada 100 Kg de fertilizante
22% de K_2O , o 22 Kg de K_2O en cada 100 Kg de fertilizante
2% de MgO, o 2 Kg de MgO en cada 100 Kg de fertilizante*

- Es común utilizar el término *fórmula* en lugar de *grado*, pero estrictamente hablando ese término tiene otro significado. **La fórmula del nutriente se refiere a las proporciones relativas de los nutrientes respectivos.**

Por ejemplo: *el grado 17-17-17* debería tener una razón 1:1:1 de N- P_2O_5 - K_2O , mientras un grado 12-24-12 debería tener una razón 1:2:1.

2.1.1. Composición (o grado del fertilizante)

El grado expresado sobre una base elemental para el ejemplo anterior, sería: **[12 – 2.6 – 18.3 – 1.2 Mg]**.

Para ello, utilizamos la siguiente tabla de conversión.

$P_2O_5 \times 0,44 = P$	$Ca \times 1,40 = CaO$
$P \times 2,29 = P_2O_5$	$MgO \times 0,60 = Mg$
$K_2O \times 0,83 = K$	$Mg \times 1,66 = MgO$
$K \times 1,20 = K_2O$	$SO_4 \times 0,50 = S$
$CaO \times 0,71 = Ca$	$S \times 2,99 = SO_4$

Factores de conversión para nutrientes, desde el óxido a la forma elemental y viceversa.

Forma de absorción y expresión química de los nutrientes en el fertilizante

Elemento	Forma de absorción	Expresión química en el fertilizante
Nitrógeno	NH^{+4}, NO^{-3}	N
Fósforo	$H_2PO_4^{-}, HPO_4^{-2}$	P_2O_5
Potasio	K^{+}	K_2O
Calcio	Ca^{+2}	CaO
Magnesio	Mg^{+2}	MgO
Azufre	SO_4^{-}	S
Hierro	Fe^{+2}	Fe
Cobre	Cu^{+2}	Cu
Zinc	Zn^{+2}	Zn
Manganeso	Mn^{+2}	Mn
Boro	$B_4O_7^{-2}, H_2BO_3^{-}$	B
Cloro	Cl	Cl
Molibdeno	MoO_4^{-2}	Mo

Es importante conocer el análisis del fertilizante o el grado para calcular la cantidad correcta de fertilizante para la dosis necesaria de nutrientes a ser aplicada por hectárea.

Por ejemplo, un agricultor necesita 8 bultos de 50 kg (400 kg) de grado 15-15-15 para aplicar una dosis de **60-60-60** por hectárea.

2.1.1. Composición (o grado del fertilizante)

Tipo de fertilizante		% N	% P ₂ O ₅	% K ₂ O
Fertilizantes NPK		5 - 26	5 - 35	5 - 26
Fosfatos amónicos	DAP	16 - 18	42 - 48	-
	MAP	11	52	-
Nitrofosfatos	NP	20- 26	6 - 34	-
Fertilizantes PK	PK	-	6 - 30	6 - 30

Fertilizantes multinutrientes-rango de contenido de nutrientes (IFA, 1992)

El valor del uso de grados de fertilizantes en la identificación de un producto fertilizante no está demás. **Es un recordatorio constante para el productor de que está comprando nutrientes para las plantas**, no un producto fertilizante con nombre.

Por ejemplo, el producto fertilizante *fosfato diamónico* (DAP) que se conoce en todo el mundo por ese nombre o acrónimo. Sin embargo, el contenido de P₂O₅ en productos DAP disponibles comercialmente en todo el mundo varía de **42% a 48%**.

Algunos fertilizantes con micronutrientes importantes (IFA, 1992)

Portador de micronutrientes	(fórmula)	Micronutrientes
Sulfato ferroso	FeSO ₄ .7H ₂ O	Hierro (Fe)
Sulfato de cobre	CuSO ₄ .5H ₂ O	Cobre (Cu)
Sulfato de zinc	ZnSO ₄ .7H ₂ O	Zinc (Zn)
Sulfato de manganeso	MnSO ₄ .7H ₂ O	Manganeso (Mn)
Bórax	Na ₂ B ₄ O ₇ .10H ₂ O	Boro (B)
Molibdato de sodio	Na ₂ MoO ₄ .10H ₂ O	Molibdeno (Mo)

2.1.2. Solubilidad

La solubilidad es la capacidad de disolución de un fertilizante en el agua de riego, y está influenciada por tres factores: **temperatura**, **pH** y presión.

➤ Efecto de la temperatura

Solubilidad aproximada (gramos de producto por 100 g de agua) a diferentes temperaturas (adaptado de Primary Industries: Agriculture, 2000).

Temperatura	KNO_3	KCl	K_2SO_4	NH_4NO_3	Urea
10°C	21	31	9	158	84
20°C	31	34	11	195	105
40°C	46	37	13	242	133

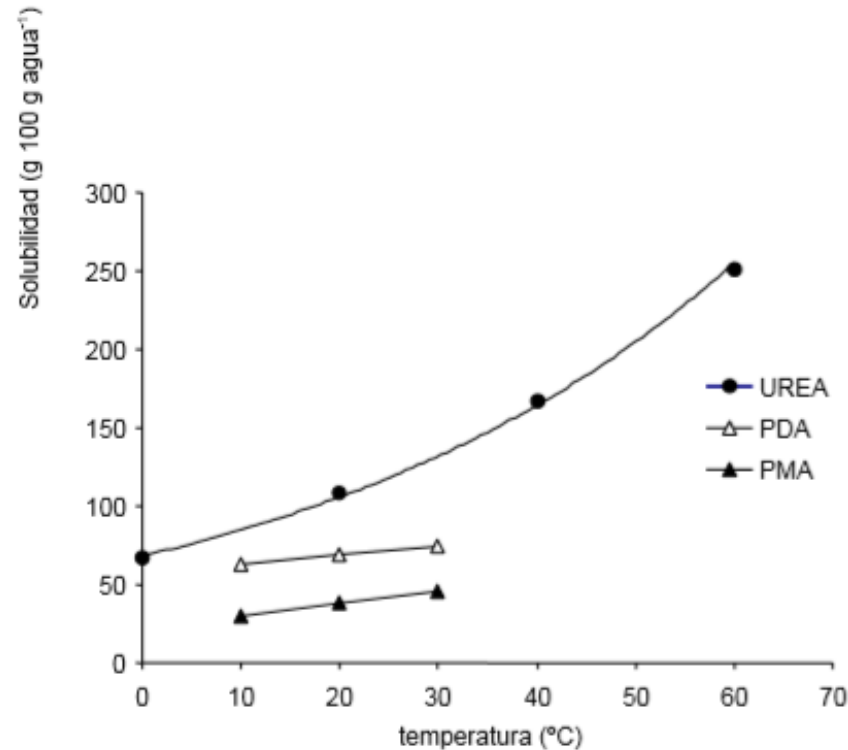
Algunas recomendaciones importantes:

- ✓ Revisar la temperatura resultante de mezclar varios tipos de fertilizantes en condiciones de campo. Algunos fertilizantes solos o en combinación pueden bajar la temperatura de la solución a niveles de congelamiento (por ejemplo, KNO_3 , $Ca(NO_3)_2$, urea, NH_4NO_3 , KCl).
- ✓ Sin embargo, cuando se adquieren fertilizantes líquidos listos para su uso, la *reacción endotérmica* no ocurre en el campo; por eso se pueden alcanzar concentraciones de nutrientes un poco más altas en la solución.

2.1.2. Solubilidad

✓ Lo anterior nos sirve de orientación, sin embargo, se tiene que considerar que en el caso de los fertilizantes nitrogenados producen una *reacción endotérmica*, es decir, enfrían el agua en la que se disuelve el fertilizante. Incluso pueden bajarla a 0°C , disminuyendo de esta manera la solubilidad del otro fertilizantes a disolver en la solución.

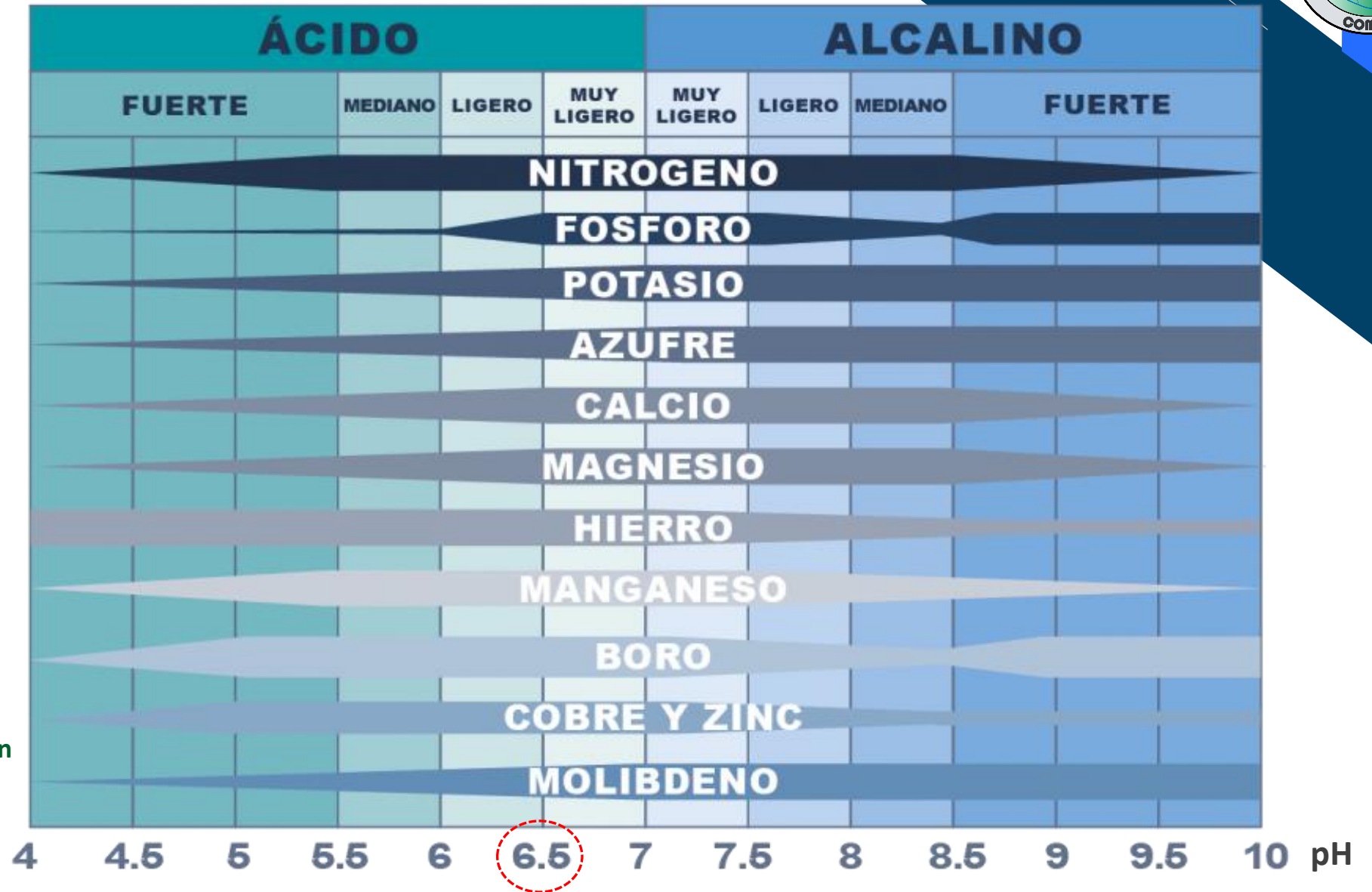
Valores de solubilidad en función de la temperatura para: urea, PDA (fosfato diamónico) y PMA (fosfato monoamónico)



➤ Efecto del pH

El pH es un parámetro que indica la acidez o basicidad de una solución. Se considera el pH 7 como *neutro*. El valor de pH óptimo de la solución nutritiva para cualquier tipo de cultivo varía entre 6 y 6.5, pues a estos valores existe una mayor asimilación de nutrientes por las raíces, se consigue una óptima dilución y estabilidad de la solución nutritiva y se evitan obturaciones por precipitados.

2.1.2. Solubilidad



Representación esquemática de la relación entre disponibilidad de los nutrientes de las plantas y la reacción del suelo (según Troug, 1946)

2.1.2. Solubilidad



Algunas recomendaciones importantes:

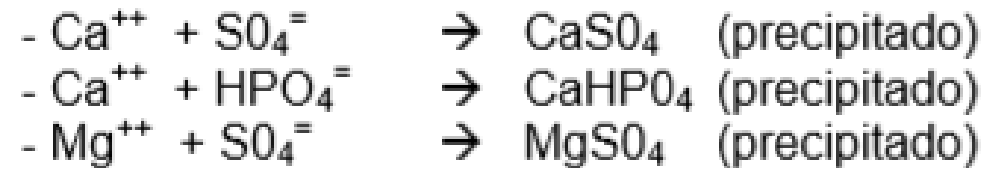
- ✓ Valores demasiado altos de pH (>7.5) disminuyen la *disponibilidad del fósforo, hierro, cobre y zinc* para las plantas, además se pueden formar *precipitados de carbonatos y ortofosfatos de calcio y magnesio* en las tuberías y emisores.
- ✓ Valores demasiado bajos de pH (<5.5) pueden aumentar la absorción de concentraciones de *boro y hierro*.
- ✓ El caso más generalizado es que las *aguas para riego* tengan el pH superior a 5.8 y normalmente la presencia de los *iones bicarbonato*, y algo menos los *iones carbonato*, son los responsables de ello. La forma de bajar pH de este agua de riego consiste en eliminar estos iones, y ello se consigue con la *adición de algún ácido*.
- ✓ Los ácidos más utilizados en soluciones nutritivas para cultivos sin suelo, son el *ácido nítrico* y el *ácido fosfórico*. Estos ácidos tienen la ventaja de que además de servir para hacer el ajuste de pH, aportan elementos nutritivos necesarios para la planta.

2.1.3 Compatibilidad de los fertilizantes



Como dijimos los fertilizantes son sales, que en contacto con el agua se disocian formando iones (*aniones y cationes*); diferentes iones pueden interactuar en la solución y precipitar (formando *compuestos insolubles*), con el consiguiente riesgo de no estar disponibles para las raíces o con alto riesgo de taponar emisores, disminuyendo consecuentemente la eficiencia de aplicación de los nutrientes.

✓ Las interacciones más comunes son:



En aguas duras (con contenido relativamente grande de calcio y magnesio >150 ppm) estos ***cationes*** podrían combinarse con *fosfato, polifosfato neutro o compuestos de sulfato* para formar sustancias insolubles

✓ Los micronutrientes por otro lado, pueden reaccionar con las sales del agua de riego formando precipitados, por lo tanto, es recomendable aplicarlos en forma quelatada.

2.1.3 Compatibilidad de los fertilizantes



Carta de compatibilidad entre fertilizantes (Roddy, 2008).

	Urea	Nitrato de amonio	Sulfato de amonio	Nitrato de calcio	Nitrato de potasio	Cloruro de potasio	Sulfato de potasio	Fosfato de amonio	Sulfato de Fe, Zn, Cu, Mn	Quelatos de Fe, Zn, Cu, Mn	Sulfato de magnesio	Acido fosfórico	Acido sulfúrico	Acido nítrico
Urea	√													
Nitrato de amonio	√	√												
Sulfato de amonio	√	√	√											
Nitrato de calcio	√	√	x	√										
Nitrato de potasio	√	√	√	√	√									
Cloruro de potasio	√	√	√	√	√	√								
Sulfato de potasio	√	√	R	x	√	R	√							
Fosfato de amonio	√	√	√	x	√	√	√	√						
Sulfatos de Fe, Zn, Cu, Mn	√	√	√	x	√	√	R	X	√					
Quelatos de Fe, Zn, Cu, Mn	√	√	√	R	√	√	√	R	√	√				
Sulfato de magnesio	√	√	√	x	√	√	R	x	√	√	√			
Acido fosfórico	√	√	√	x	√	√	√	√	√	R	√	√		
Acido sulfúrico	√	√	√	x	√	√	R	√	√	√	√	√	√	
Acido nítrico	√	√	√	√	√	√	√	√	√	x	√	√	√	√

√ = compatible x = incompatible R = compatibilidad reducida

2.1.3 Compatibilidad de los fertilizantes



Algunas recomendaciones importantes:

- ✓ Asegurarse de que los fertilizantes que se utilizarán sean compatibles para prevenir la precipitación.
- ✓ Evitar especialmente mezclar soluciones fertilizantes que contengan *calcio* con soluciones que contengan *fosfatos* o *sulfatos* cuando el pH en la solución no sea suficientemente ácido.
- ✓ Corroborar la solubilidad y la precipitación potencial con la composición química del agua local.
- ✓ Antes de usar un nuevo fertilizante, mezclar 50 ml de la solución fertilizante con 1 litro del agua de riego y observar la precipitación dentro de las siguientes 1 a 2 horas. Si se forma precipitado o la muestra se vuelve turbia, evite utilizar este fertilizante en el sistema de riego (Roddy, 2008).

2.1.3 Compatibilidad de los fertilizantes



Reglas para el mezclado de fertilizantes (Burt et al., 1995)

Siempre llene el recipiente de mezcla con 50 - 75% del agua requerida para usar en la mezcla.

Siempre agregue los fertilizantes líquidos al agua antes de agregar los fertilizantes secos y solubles

Siempre agregue los ingredientes secos lentamente con circulación o agitación para evitar la formación de grumos grandes, insolubles o lentamente solubles.

Siempre agregue ácido al agua, no agua al ácido.

Nunca mezcle un fertilizante ácido o acidificado con cloro (gas, líquido o sólido).

No mezcle soluciones concentradas de fertilizantes con otras soluciones concentradas de fertilizantes.

La **cloración** de la fuente de agua es necesaria para el agua de riego que contiene altas poblaciones bacterianas para evitar la formación de limos bacterianos.

Cuando se usan **quelatos** debe evitarse la acidificación del agua porque se podría perder la estabilidad si el pH de la solución es ácido (precipitación).

Se recomienda realizar una "**prueba de jarra**" para verificar la compatibilidad de los fertilizantes antes de mezclar fertilizantes por primera vez en el tanque de mezcla para fertirrigación.

2.1.4 Índice de salinidad (IS) y acidez (IA)

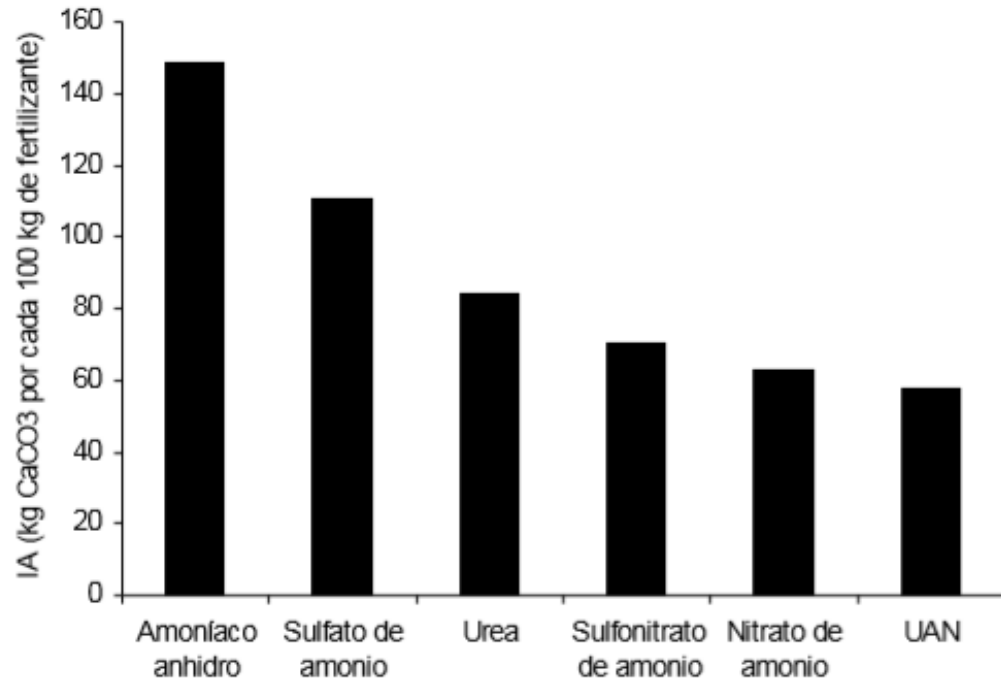


- El *índice de salinidad (IS)* de un fertilizante es una cifra indicativa del grado en el cual una cantidad dada del producto incrementa la presión osmótica de la solución del suelo. Esta, sin embargo, es una cifra relativa, ya que se interpreta como el incremento en la presión osmótica de la solución del suelo, en comparación con el incremento obtenido con la aplicación de un peso igual de nitrato de sodio (IS=100 %).

Algunas recomendaciones importantes:

- Debe quedar claro, por lo tanto, que los índices de salinidad son válidos únicamente para comparar un fertilizante con otro.
- La cantidad de fertilizantes que puede ser aplicada sin peligro de daño al cultivo depende, además del índice de salinidad, de varios otros factores, tales como la especie cultivada, la época de aplicación, sistema de aplicación, tipo de suelo, contenido de humedad, etc.
- El IS **permite comparar entre fertilizantes y prever prácticas de aplicación más adecuadas**, con el objetivo de evitar quema de semillas, raíces o acumulación de sales en los suelos.
- También ayuda a seleccionar el fertilizante que debe ser aplicado en contacto o muy cerca de la semilla.

2.1.4 Índice de salinidad (IS) y acidez (IA)



Índices de acidez (IA) de los principales fertilizantes nitrogenados (expresados en kg de CaCO₃ por cada 100 Kg de fertilizante)

Equivalente de acidez o basicidad e índice salino (IS) de algunos fertilizantes (IFDC,1979)

Material fertilizante comercial	Equivalente de acidez (-) o basicidad (+) residual	Índice de salinidad
	kg CaCO ₃ /100 kg de Fertilizante	NaNO ₃ = 100
Urea	-84	75,5
Nitrato de amonio	-63	104,7
Sulfato de amonio	-112	69,0
Fosfato monoamónico	-65	29,9
Fosfato diamónico	-64	34,2
Superfosfato triple	0	10,1
Roca fosfórica	+56	
Cloruro de potasio	0	116,3
Sulfato de potasio	0	46,1
Sulpomag	0	43,2
Nitrato de potasio	0	40,2
Sulfato de calcio	0	8,1
Cales calcínicas	+80a +95	4,7
Cales dolomíficas	+90a +100	0,8

2.1.4 Índice de salinidad (IS) y acidez (IA)



El fertilizante aplicado al suelo puede tener sobre éste **una acción modificante del pH o no**; así, podrán ser *ácidos*, *neutros* o *alcalinos*.

- Se define como *índice de acidez* (IA), al número de partes en peso de carbonato de calcio necesarias para neutralizar la acidez contenida en 100 partes en peso del suelo una vez aplicado el fertilizante.

Algunas recomendaciones importantes para índice de acidez y basicidad:

- ✓ La aplicación continua de fertilizantes de reacción ácida en el suelo, puede provocar un **efecto acumulativo** acidificando el suelo.
- ✓ **Las fuentes amoniacales dejan acidez residual en el suelo** debido a la liberación de *iones H^+* de la nitrificación del NH_4 . Fuentes como *sulfato de amonio*, *cloruro de amonio* y *fosfatos de amonio* presentan reacción ácida, debido a que el N está acompañado por un *anión* formador de ácido.
- ✓ El *nitrato de sodio*, *potasio* y *calcio* tienen valores bajos de basicidad, debido a que la acidez generada por el N es neutralizada por la basicidad generada por el catión acompañante (*el metal*). En la tabla anterior, se presentan los valores de acidez o basicidad fisiológica de algunos fertilizantes.

2.2.1 Tamaño de partícula



Tamaño de partícula

Es muy importante en el control de la tasa de liberación del fertilizante en el suelo. Los fertilizantes con baja solubilidad en agua pueden tener un tamaño de partícula más fino para asegurar su disolución y un mejor aprovechamiento por las plantas. Ejemplos: roca fosfórica, escorias Thomas, fosfato bicálcico, cal, dolomita, etc.

El tamaño de partículas de los fertilizantes se puede resumir a continuación:

- a) Fertilizantes *en polvo*, con grado de finura variable según el tipo de fertilizante (**0.8-1 mm**).
- b) Fertilizante *estándar*: gránulos muy pequeños, similar en tamaño a prilados, generalmente **< 1 mm**
- c) Fertilizantes *granulados*: fertilizantes en los que al menos el 90 % de las partículas presentan un tamaño de **1-4 mm**. Esta presentación permite un manejo más cómodo, un mejor funcionamiento de las abonadoras, una dosificación más exacta y una distribución sobre el terreno más uniforme.
- d) Fertilizante *crystalinos*: Sus partículas están constituidas por cristales de diferente tamaño y forma, y son muy solubles en agua (**0.2-1 mm**).
- e) Fertilizante *prilados* (prill): mediante el sistema de pulverización en una torre de gran altura, se obtienen esferas de tamaño muy uniforme al solidificarse las gotas durante la caída (**1-2mm**).
- f) Fertilizante *macrogranulados*: constituidos por grandes gránulos, de **2-5 cm** de diámetro e incluso mayores, de liberación progresiva de los elementos nutritivos.

2.2.2 Densidad aparente

La *densidad aparente* se define como el peso del producto por unidad de volumen a granel.

- ✓ La consideración de esta característica es importante para calcular el tamaño de los empaques, determinar la capacidad de almacenamiento en bodegas o en vehículos de transporte, así como para la calibración de dosificadores volumétricos de fertilizantes.

Fertilizantes	Densidad aparente
Productos no granulados	
	Kg/m ³
Roca Fosfórica	1.360 - 1.520
Superfosfato simple	960 - 1.120
Superfosfato triple	880 - 1.040
Cal agrícola	1.280 - 1.520
Sulfato de amonio	1.020
Cloruro de potasio	1.140 - 1.200
Productos granulados	
Nitrato de amonio "prill"	720
Urea "prill"	740
Sulfato de amonio (cristales gruesos)	1.010 - 1.060
Superfosfato simple	1.120
Superfosfato triple	1.040 - 1.200
Fosfato Diamónico	960 - 1.040
Fosfato monoamónico	960 - 1040
Cloruro de potasio	1.040
Sulfato de potasio	1.180
Sulfato doble de potasio y magnesio	1.520 - 1.570
* Segun IFDC (1979)	

2.2.3 Humedad relativa crítica

La *humedad relativa crítica (HRC)* se define como la humedad de la atmósfera por encima de la cual el material absorbe espontáneamente humedad. Todas las sales solubles, incluidos los fertilizantes, tienen humedades críticas características.

Para fertilizantes es deseable que se tenga una elevada HRC, ya que permitirá que tal material pueda ser expuesto y manejado bajo altos niveles de humedad atmosférica, sin que se humedezca o pierda fluidez, y sin que el fertilizante absorba humedad y más tarde se compacte.

La HRC normalmente **disminuye con el aumento de la temperatura.**

Producto	HRC a 30 °C
Urea	70-75
Sulfato de Amonio	75-85
Nitrato de Amonio	55-60
Fosfato Diamónico	65-75
Fosfato Monoamónico	70-75
Superfosfato Triple	75-85
Superfosfato Simple	80-85
Cloruro de Potasio	70-80
Sulfato de Potasio	75-80

2.2.3 Humedad relativa crítica

La **HRC de un fertilizante determina en gran proporción el tipo de empaque** (grado de protección a la humedad) requerido en cada caso, y es también determinante del nivel de manejo y almacenamiento a granel al que puede someterse. Esta consideración reviste particular importancia cuando su manejo se efectúa bajo condiciones de clima con *alta humedad relativa*.

Por otra parte, **la combinación de diferentes fertilizantes genera modificaciones en la humedad relativa crítica de la mezcla física resultante.**

Ejemplos:

1. Al mezclar nitrato de amonio (HRC:59) con urea (HRC:75), la humedad relativa crítica resultante baja a 18.

2. La mezcla de Urea (HRC:75) y KCl (HRC:84) conducen a la obtención de una mezcla con una habilidad para humedecerse mas alta (HRC = 60).

Nitrato de amonio	Urea	Cloruro de amonio	Sulfato de amonio	Fosfato diamónico	Cloruro de potasio	Nitrato potásico	Fosfato monoamónico	Sulfato de potasio	Urea - DAP	Urea - DAP Superfosfato triple	Polifosfato de amonio
59,4	75,2										
18,1	75,2										
51,4	57,9	77,2									
62,3	56,4	71,3	79,2								
59	62	-	72	82,8							
67,9	60,3	73,5	71,3	70	84,0						
59,9	65,2	67,9	69,2	-	78,6	90,5					
58,0	65,2	-	75,8	78	72,8	59,8	91,6				
69,2	71,5	71,3	81,4	77	-	87,8	79,0	96,3			
45	50	50	50	50	45	50	-	-	55		
50	60	60	70	75	65	80	70	75	60	80*	
55	50	70	70	65	65	70	65	70	-	75*	70*

Humedad relativa crítica de algunos fertilizantes y de sus mezclas físicas a 30 °C. IMC,fertilizer,Inc.1990



Muchas gracias

M. I. Q. Christian Martínez Sánchez
Profesor del Instituto Tecnológico Superior
de Comalcalco

iqmartinez@hotmail.com



Para citar esta presentación:

Martínez Sánchez, C. 2020. **Fertilizantes para fertirriego: conceptos y propiedades.** Serie de Seminarios Virtuales 2020. Colegio Mexicano de Ingenieros en Irrigación (COMEII). México. 33 pp.

Consulta el portal del COMEII y sus redes sociales:
www.comeii.com y www.riego.mx