FORMULACIÓN Y BALANCEO DE SOLUCIONES NUTRITIVAS

Curso básico desde cero · Fertirriego con FertiKit / NetaJet

¿Qué vamos a aprender?

Al terminar este curso vas a poder tomar una receta nutritiva (o armarla tú), descontar lo que ya trae tu agua, calcular los gramos de cada fertilizante, repartirlos en los tinacos sin que precipiten, y programar la tasa de inyección del equipo. Todo el método son **5 pasos que siempre se repiten**:

Paso	Qué se hace	Herramienta
1	Definir la solución meta (qué debe recibir la planta)	Tabla por cultivo y etapa
2	Restar lo que ya trae el agua	Análisis de agua + resta simple
3	Calcular gramos de cada fertilizante	Multiplicación por peso equivalente
4	Repartir en tinacos sin incompatibilidades	Regla del calcio
5	Preparar tanques madre y tasa de inyección	FertiKit / NetaJet en L/m^3

1. CONCEPTOS BASE — ¿QUÉ COME REALMENTE LA PLANTA?

La planta no come "fertilizante". Cuando disolvemos un fertilizante en agua, la sal se separa en dos partículas con carga eléctrica llamadas **iones**. Por ejemplo, el nitrato de potasio (KNO_3) al disolverse se separa en potasio (K^+) y nitrato (NO_3^-). Eso — los iones sueltos en el agua — es lo único que la raíz puede absorber.

Los iones son de dos familias, según su carga:

CATIONES (carga +)	ANIONES (carga –)
K^+ potasio	NO_3^- nitrato (la forma principal del nitrógeno)
Ca^{2+} calcio	$H_2PO_4^-$ fosfato (la forma del fósforo)
Mg^{2+} magnesio	SO_4^{2-} sulfato (la forma del azufre)
NH_4^+ amonio (otra forma de nitrógeno)	HCO_3^- bicarbonato (viene en el agua, no se desea)

Idea clave #1: cada fertilizante aporta SIEMPRE un catión y un anión al mismo tiempo. El nitrato de calcio trae calcio (+) Y nitrato (–). No se puede comprar "solo calcio". Por eso formular es un rompecabezas: al meter una sal para cubrir un ion, ya estás metiendo también su pareja.

2. LA UNIDAD DEL BALANCEO: EL MILIEQUIVALENTE (meq/L)

Las recetas se pueden ver en ppm (partes por millón), pero el balanceo se hace en **miliequivalentes por litro (meq/L)**. ¿Por qué? Porque el meq mide la **carga eléctrica**, no el peso — y lo que debe cuadrar en una solución es la carga: por cada carga positiva debe haber una negativa.

Piénsalo como un baile: cada catión (+) necesita pareja aniónica (–). Si la suma de cationes no es igual a la suma de aniones, la receta está mal escrita — esa solución no puede existir. Esta es la prueba del balanceo:

Idea clave #2: Suma cationes (meq/L) = Suma aniones (meq/L)

Y un bonus muy útil: **CE estimada (dS/m) ≈ suma de cationes ÷ 10**. Una receta con 12 meq de cationes dará una CE de entrada cercana a 1.2 dS/m. La CE que mides en el gotero no es un número aparte: sale directamente del balanceo.

3. PASO 1 — LA SOLUCIÓN META

Es la lista de lo que la planta debe recibir, en meq/L de cada ion. Cambia por cultivo y por etapa fenológica. Esta es una meta clásica para **fresa en fibra de coco, etapa de fructificación**:

Catión	meq/L	Anión	meq/L
K^+	5.5	NO_3^-	9.5
Ca^{2+}	4.5	$H_2PO_4^-$	1.5
Mg^{2+}	1.5	SO_4^{2-}	1.5
NH_4^+	0.5		
SUMA	**12.0**	**SUMA**	**12.5**

Verificación: las sumas casi cuadran (12.0 ≈ 12.5 ✔) y la CE estimada es 12 ÷ 10 ≈ **1.2 dS/m**. En etapa vegetativa la meta baja un poco de potasio y sube calcio; en invierno se sube la CE total. Pero la estructura es siempre esta tabla.

Nota sobre el amonio (NH_4^+): en fresa se limita al 10–15% del nitrógeno total. Un poco ayuda a controlar el pH del sustrato; en exceso, quema raíz y compite con el calcio → fruta blanda.

4. PASO 2 — RESTAR LO QUE YA TRAE EL AGUA

El agua de pozo **no es agua pura**: ya trae iones disueltos — calcio, magnesio, bicarbonatos. Ese aporte es gratis y hay que descontarlo, o estaremos duplicando. Aquí es donde entra el análisis de agua de laboratorio (se pide en meq/L). La operación es una resta, ion por ion:

Lo que falta aportar = Meta – **Lo que trae el agua**

Ejemplo con un agua típica de pozo de la zona (volcánica, bicarbonatos moderados):

Ion	El agua trae	La meta pide	Falta aportar
Ca^{2+}	1.5	4.5	**3.0**
Mg^{2+}	1.0	1.5	**0.5**
K^+	0.1	5.5	**5.4**
HCO_3^-	3.5	—	**se neutraliza con ácido**

¿Y los bicarbonatos? El HCO_3^- no alimenta a la planta: sube el pH del riego y con el tiempo tapa goteros con sarro. Se neutraliza inyectando ácido (nítrico o fosfórico) del tanque exclusivo. La regla práctica: neutralizar hasta dejar **0.5–1.0 meq/L de bicarbonato** (no llegar a cero — un poco da estabilidad al pH). Bonus: el ácido nítrico aporta nitrato y el fosfórico aporta fosfato, y ese aporte también se descuenta de la receta.

5. PASO 3 — DE meq/L A GRAMOS DE FERTILIZANTE

Cada fertilizante tiene un **peso equivalente**: los miligramos de producto que se necesitan para aportar 1 meq. Es un número fijo de cada sal — se busca en la tabla, no se memoriza:

Fertilizante	Fórmula	Aporta	Peso equiv. (mg/meq)
Nitrato de calcio	$Ca(NO_3)_2$	$Ca^{2+} + NO_3^-$	90.5
Nitrato de potasio	KNO_3	$K^+ + NO_3^-$	101
Sulfato de magnesio (heptahidr.)	$MgSO_4 \cdot 7H_2O$	$Mg^{2+} + SO_4^{2-}$	123
Fosfato monopotásico (MKP)	KH_2PO_4	$K^+ + H_2PO_4^-$	136
Sulfato de potasio	K_2SO_4	$K^+ + SO_4^{2-}$	87
Nitrato de magnesio	$Mg(NO_3)_2 \cdot 6H_2O$	$Mg^{2+} + NO_3^-$	128
Sulfato de amonio	$(NH_4)_2SO_4$	$NH_4^+ + SO_4^{2-}$	66

Idea clave #3 — la fórmula del método:

gramos por m^3 de agua de riego = meq/L faltantes × peso equivalente

¿Por qué funciona sin conversiones raras? Porque 1 meq/L equivale a 1 eq/m^3: los miligramos por litro son exactamente gramos por metro cúbico. Multiplicas y ya tienes la dosis.

6. EL ORDEN DE LLENADO — RESOLVIENDO EL ROMPECABEZAS

Como cada sal trae un catión Y un anión (Idea clave #1), no se puede calcular en cualquier orden. La estrategia que siempre funciona:

① **Primero los iones que solo tienen UNA fuente.** El fósforo solo puede salir del MKP (o MAP). El calcio solo del nitrato de calcio. Esos se calculan primero porque no hay alternativa.
② **Anotar los "regalos".** Al meter MKP por el fósforo, también entró potasio. Al meter nitrato de calcio, también entró nitrato. Se anotan.
③ **Al final, los comodines.** El nitrato de potasio es compatible con todo y completa lo que falte de potasio y nitrato.

Ejemplo completo resuelto (con los faltantes del Paso 2)

Orden	Fertilizante	Cálculo	Dosis	Regalo que trae
1º	MKP (única fuente de P)	1.5 × 136	**204 g/m^3**	+1.5 meq de K
2º	Nitrato de calcio (única fuente de Ca)	3.0 × 90.5	**271.5 g/m^3**	+3.0 meq de NO_3
3º	Sulfato de magnesio	0.5 × 123	**61.5 g/m^3**	+0.5 meq de SO_4
4º	Nitrato de potasio (comodín): K faltante = 5.4 – 1.5 del MKP = 3.9	3.9 × 101	**393.9 g/m^3**	+3.9 meq de NO_3

Receta final por cada m^3 de agua de riego: 204 g de MKP + 271.5 g de nitrato de calcio + 61.5 g de sulfato de magnesio + 394 g de nitrato de potasio (+ ácido para bicarbonatos + micronutrientes).

Verificación final

Antes de dar por buena una receta, se suman los meq que quedaron de cada lado (incluyendo lo del agua) y se comprueba: ① cationes ≈ aniones, ② cada ion llegó a su meta, ③ CE estimada = suma de cationes ÷ 10 ≈ la CE que esperas medir en el gotero. Si algo no cuadra, hay un error de cálculo — se revisa antes de pesar un solo kilo.

7. PASO 4 — REPARTIR EN LOS TINACOS SIN QUE PRECIPITE

En el tanque madre los fertilizantes están **100 veces más concentrados** que en la línea de riego. A esa concentración, ciertos iones se juntan y forman sólidos que van al fondo o tapan el venturi. La regla que manda:

> **Idea clave #4 — la regla del calcio:** el calcio NUNCA comparte tinaco con sulfatos ni con fosfatos. Ca + SO_4 = yeso. Ca + fosfato = piedra. Ambos tapan goteros. Ya inyectados en la línea todos conviven sin problema, porque la dilución es 100 veces mayor.

Distribución para un cabezal de 5 tinacos de 2,500 L + tanque de ácido exclusivo:

Tinaco	Contenido	Por qué
A	Nitrato de calcio + quelato de hierro (Fe-EDDHA)	El calcio va solo; el quelato sí lo tolera
B	Sulfato de potasio + sulfato de magnesio	Los sulfatos, lejos del calcio
C	MKP (fosfato monopotásico)	Los fosfatos, lejos del calcio
D	Nitrato de potasio	Comodín, compatible con todo — da flexibilidad
E	Micronutrientes (Mn, Zn, B, Cu, Mo)	Separados para dosificar fino
Ácido	Ácido nítrico o fosfórico	Control de pH y bicarbonatos, exclusivo

8. PASO 5 — TANQUES MADRE Y TASA DE INYECCIÓN (FertiKit / NetaJet)

Último paso: convertir los g/m^3 de la receta en ① kilos a disolver en el tinaco y ② la tasa de inyección en el equipo. Aquí conectamos con lo que ya haces en el NetaJet.

① Preparar el tanque madre

Se elige una concentración de trabajo — típicamente **100 g/L (10%)** — y se disuelve: para un tinaco de 2,500 L a 100 g/L se pesan **250 kg** de fertilizante. El límite es la solubilidad de cada sal: no se puede concentrar más de lo que el agua puede disolver.

Fertilizante	Solubilidad máx. (20°C)	Concentración práctica de tanque
Nitrato de calcio	~1,200 g/L	150–200 g/L
Nitrato de potasio	~320 g/L	100–150 g/L
Sulfato de magnesio	~700 g/L	100–150 g/L
MKP	~230 g/L	80–100 g/L
Sulfato de potasio	~110 g/L (¡ojo!) el más limitante	60–80 g/L máximo

Tip de preparación: disolver con agua tibia si se puede, agitando; el nitrato de calcio y el nitrato de potasio enfrían el agua al disolverse (es normal). Nunca llenar el tinaco de fertilizante y luego el agua: primero 2/3 de agua, luego el fertilizante poco a poco, luego completar.

② Calcular la tasa de inyección (dosificación proporcional en L/m^3)

El NetaJet dosifica **proporcionalmente**: se le captura cuántos litros de solución madre inyectar por cada m^3 de agua que pasa. La gran ventaja: el caudal NO entra en el cálculo de la tasa — el equipo mantiene la proporción solo, aunque el caudal varíe:

Tasa de inyección (L/m^3) = Dosis (g/m^3) ÷ Concentración del tanque madre (g/L)

Truco: con tanques a 100 g/L, la tasa es la dosis ÷ 100 — se hace de cabeza.

Con la receta del curso y tanques preparados a 100 g/L:

Tinaco	Dosis	Cálculo	Tasa a capturar
A — Nitrato de calcio	271.5 g/m^3	271.5 ÷ 100	**2.7 L/m^3**
D — Nitrato de potasio	393.9 g/m^3	393.9 ÷ 100	**3.9 L/m^3**
C — MKP	204 g/m^3	204 ÷ 100	**2.0 L/m^3**
B — Sulfato de magnesio	61.5 g/m^3	61.5 ÷ 100	**0.6 L/m^3**

③ ¿Para qué sirve entonces el caudal? Consumo y duración de tinacos

El caudal del sistema sí importa para la operación: dice cuánta solución madre se consume por hora y cuánto dura cada tinaco. Ejemplo con un caudal de **130 m^3/h**:

Consumo (L/h) = Tasa (L/m^3) × Caudal (m^3/h)

Tinaco	Consumo con 130 m^3/h	Duración del tinaco de 2,500 L
A — Nitrato de calcio (2.7 L/m^3)	2.7 × 130 = 353 L/h	2,500 ÷ 353 ≈ 7 horas de riego
D — Nitrato de potasio (3.9 L/m^3)	3.9 × 130 = 512 L/h	2,500 ÷ 512 ≈ 4.9 horas (¡ojo!)
C — MKP (2.0 L/m^3)	2.0 × 130 = 260 L/h	≈ 9.6 horas
B — Sulfato de magnesio (0.6 L/m^3)	0.6 × 130 = 78 L/h	≈ 32 horas

Dos cosas a verificar con caudales grandes: ① que cada canal inyector del equipo aguante el consumo calculado (512 L/h es bastante), y ② que el tinaco dure el turno de riego completo. La solución para ambas es la misma: **concentrar más el tanque madre**. A 150 g/L, el nitrato de potasio baja a 2.6 L/m^3 = 341 L/h y el tinaco dura 7.3 horas — menos preparadas y menos exigencia al inyector. El límite siempre es la tabla de solubilidades.

④ Ejemplos resueltos paso a paso (caudal 130 m^3/h · tinacos de 2,500 L)

La lógica del NetaJet es como una receta de cocina: se le dice cuántos litros de solución madre meter **por cada m^3 de agua que pasa**, y él cumple esa proporción solo, pase el caudal que pase. Cada ejemplo responde las mismas 4 preguntas, siempre en el mismo orden.

EJEMPLO 1 — Sulfato de magnesio, tinaco a 100 g/L

Pregunta	Respuesta
① ¿Qué pide la receta?	61.5 g por cada m^3 de agua de riego
② ¿Qué tan cargado está el tinaco?	100 g/L → cada litro que sale del tinaco lleva 100 g adentro
③ ¿Cuántos litros traen los 61.5 g?	**61.5 ÷ 100 = 0.6 L/m^3 ← se captura en el NetaJet**
④ ¿Cuánto gasta y cuánto dura?	0.6 × 130 = 78 L/h → 2,500 ÷ 78 ≈ 32 horas de riego

Es puro sentido común: si cada litro trae 100 g y necesito 61.5 g, necesito un poco más de medio litro. La fórmula solo formaliza eso.

EJEMPLO 2 — MKP con tinaco a 80 g/L (concentración distinta)

El MKP no se puede preparar a 100 g/L con seguridad (su solubilidad práctica es 80–100 g/L), así que el tinaco C se prepara a **80 g/L**. Ojo: al cambiar la concentración del tinaco, cambia la tasa — la receta sigue siendo la misma.

Pregunta	Respuesta
① Receta	204 g/m^3
② Carga del tinaco	80 g/L (cada litro trae 80 g)
③ Tasa	**204 ÷ 80 = 2.55 L/m^3 ← se captura en el NetaJet**
④ Gasto y duración	2.55 × 130 = 332 L/h → 2,500 ÷ 332 ≈ 7.5 horas

Comparar con el Ejemplo 1: si por error se captura la tasa "÷ 100" (2.0 L/m^3) con el tinaco a 80 g/L, la planta recibiría solo 160 g/m^3 en vez de 204 — un 22% menos de fósforo sin que nadie lo note. **La tasa siempre se calcula con la concentración REAL del tinaco.**

EJEMPLO 3 — Nitrato de potasio: por qué conviene concentrar el tinaco

Mismo fertilizante, misma receta (393.9 g/m^3), dos formas de preparar el tinaco D:

	Tinaco a 100 g/L	Tinaco a 150 g/L
Tasa a capturar	393.9 ÷ 100 = 3.9 L/m^3	**393.9 ÷ 150 = 2.6 L/m^3**
Gasto con 130 m^3/h	3.9 × 130 = 512 L/h	**2.6 × 130 = 341 L/h**
Duración del tinaco de 2,500 L	≈ 4.9 horas (¡ojo!)	≈ **7.3 horas**
Kilos a disolver por preparada	250 kg	375 kg

A 100 g/L, el tinaco se vacía antes de terminar un turno largo de riego y exige 512 L/h al canal inyector. Concentrando a 150 g/L (el KNO_3 lo permite: solubilidad ~320 g/L) se resuelven las dos cosas. La planta recibe exactamente lo mismo — solo cambia la logística.

⑤ Calibración de los rotámetros (el ajuste fino para CE y pH estables)

Cada canal del NetaJet tiene un **rotámetro** graduado de 100 a 1,000 L/h que se calibra según el tamaño del sistema. El canal inyecta pulsando un solenoide (abre/cierra) y el rotámetro fija cuánto pasa cuando está abierto. El equilibrio importa:

Posición del rotámetro	Qué pasa
Muy abierto	El solenoide pulsa poquito con pausas largas → la inyección entra "a golpes" → CE y pH oscilan en línea (la clásica CE de serrucho)
Muy cerrado	El solenoide debe estar 100% abierto y ya no le queda margen para corregir → nunca alcanza el setpoint
Al ~90% de trabajo	**Inyección casi continua (suave, CE/pH estables) con 10% de margen para que el control ajuste**

Rotámetro (L/h) = Tasa de inyección (L/m^3) × Caudal del sistema (m^3/h) ÷ 0.9

El 0.9 deja el solenoide trabajando al 90% — encendido casi continuo, con margen de control.

Calibración para el sistema del curso (caudal 130 m^3/h):

Tinaco	Tasa (L/m^3)	Consumo (× 130)	Rotámetro (÷ 0.9)
A — Nitrato de calcio (100 g/L)	2.7	353 L/h	**~390 L/h**
D — Nitrato de potasio (150 g/L)	2.6	341 L/h	**~380 L/h**
C — MKP (80 g/L)	2.55	332 L/h	**~370 L/h**
B — Sulfato de Mg (100 g/L)	0.6	78 L/h	87 → (¡ojo!) abajo de escala

El caso del tinaco B: 87 L/h queda por debajo del mínimo del rotámetro (100). Dos soluciones: dejarlo en 100 (el solenoide trabajará al ~78%, aceptable), o mejor: **diluir ese tanque a 50 g/L** → tasa 1.23 L/m^3 → consumo 160 L/h → rotámetro ~178, en zona cómoda de la escala. Con sales de dosis chica, la dilución del tanque es la herramienta para subir el rotámetro a rango útil — el caso inverso del Ejemplo 3: **concentrar baja el rotámetro necesario, diluir lo sube**. La planta recibe lo mismo; solo cambia la mecánica de inyección.

Comprobación cruzada: el equipo también puede dosificar por CE objetivo. Si el balanceo está bien hecho, al inyectar las tasas calculadas la CE medida en línea debe quedar muy cerca de la CE estimada de la receta (suma de cationes ÷ 10). Si difiere mucho, algo está mal: concentración del tanque, calibración del equipo, o el cálculo.

9. EL MÉTODO COMPLETO EN UNA PÁGINA

Paso	Operación	Fórmula / regla
1	Escribir la meta en meq/L y verificar que cuadre	Suma cationes = Suma aniones · CE ≈ Suma cat ÷ 10
2	Restar el aporte del agua, ion por ion	Faltante = meta – agua · HCO_3 se neutraliza con ácido dejando 0.5–1.0
3	Calcular gramos: primero iones de una sola fuente, anotar regalos, cerrar con comodines	g/m^3 = meq faltantes × peso equivalente
4	Repartir en tinacos	Calcio nunca con sulfatos ni fosfatos
5	Tanque madre e inyección proporcional — tres números en cadena: ① Tasa (se captura en el NetaJet), ② Consumo (solo informa duración del tinaco), ③ Rotámetro (se ajusta a mano)	① Tasa (L/m^3) = dosis (g/m^3) ÷ concentración (g/L) ② Consumo (L/h) = tasa × caudal ③ Rotámetro (L/h) = consumo ÷ 0.9

Ejercicio para practicar

Con la misma agua del curso, calcula la receta para **etapa vegetativa** con esta meta: K^{+} 4.5 · Ca^{2+} 5.0 · Mg^{2+} 1.5 · NO_3^{-} 10.0 · $H_2PO_4^{-}$ 1.5 · SO_4^{2-} 1.0 (meq/L). Recuerda: el agua aporta Ca 1.5, Mg 1.0, K 0.1.

Respuestas para verificar: MKP: 1.5 × 136 = 204 g/m^3 (regala 1.5 de K) · Nitrato de calcio: 3.5 × 90.5 = 316.8 g/m^3 · Sulfato de magnesio: 0.5 × 123 = 61.5 g/m^3 · Nitrato de potasio: (4.4 – 1.5) = 2.9 × 101 = 292.9 g/m^3.

Siguiente nivel: cuando tengas el análisis real de tu agua, repite este mismo ejercicio con tus números — esa será tu primera receta propia. El método no cambia nunca; solo cambian los números de entrada.