



**Práctica de interpretación  
de los resultados de los  
análisis de suelos:**

**UN GIMNASIO DE  
PRÁCTICA PARA LOS  
TÉCNICOS EN CAMPO**

**Ejemplo 1**

**Solidaridad**

## DATOS GENERALES DEL CULTIVO Y DE LA FINCA

<b>Cultivo:</b>	Café variedad Castillo	<b>Edad (meses):</b>	48
<b>Densidad (árboles/ha):</b>	5500	<b>Sombrío (%):</b>	25 %
<b>Precipitación anual (mm):</b>	1450	<b>ASNM (m):</b>	1400

## RESULTADOS DEL ANÁLISIS DE SUELO

pH	MO	N	K	Ca	Mg	Al	P	S	B	Zn	Fe	Mn	Cu
	%		cmol <sup>+</sup> /kg				mg/kg						
4,32	4,95	0,239	0,46	4,53	2,72	9,44	17,9	58,4	0,64	6,33	140	71,4	2,51

CE	Na	CICE	CIC	DA	Arenas	Limos	Arcillas	Textura
dS/m	cmol <sup>+</sup> /kg			g/cm <sup>3</sup>	%			FAr
0,62	0,083	17,2	-	1	32	30	38	



## RECORDEMOS ESTOS TÉRMINOS

<b>pH</b>	Potencial de hidrógeno	<b>Mn</b>	Manganeso
<b>MO</b>	Materia orgánica	<b>Cu</b>	Cobre
<b>N</b>	Nitrógeno	<b>CE</b>	Conductividad eléctrica
<b>K</b>	Potasio	<b>Na</b>	Sodio
<b>Ca</b>	Calcio	<b>CICE</b>	Capacidad de intercambio catiónico efectiva
<b>Mg</b>	Magnesio	<b>CIC</b>	Capacidad de intercambio catiónico
<b>Al</b>	Aluminio	<b>DA</b>	Densidad aparente
<b>P</b>	Fósforo	<b>cmol<sup>+</sup>/kg</b>	centimol por kilogramo
<b>S</b>	Azufre	<b>mg/kg</b>	miligramos por kilogramo
<b>B</b>	Boro	<b>dS/m</b>	deciSiemens por metro
<b>Zn</b>	Zinc	<b>g/cm<sup>3</sup></b>	gramos por centímetro cúbico
<b>Fe</b>	Hierro		

### Texturas:

<b>A</b>	Arena   Arenosa
<b>L</b>	Limo   Limosa
<b>Ar</b>	Arcilla   Arcillosa
<b>ArA</b>	Arcilloarenosa
<b>ArL</b>	Arcillolimosa
<b>FArA</b>	Francoarcilloarenosa
<b>FArL</b>	Francoarcillolimosa
<b>FAr</b>	Francoarcillosa
<b>F</b>	Franca
<b>FL</b>	Francalimosa
<b>FA</b>	Francoarenosa
<b>AF</b>	Arenosafranca



## CÓMO INTERPRETAR EL ANÁLISIS DE SUELO

### 1 Interpretar los rangos de los resultados

La interpretación de los resultados se lleva a cabo utilizando los rangos citados en la literatura. En este caso nos basaremos en los reportados por Sadeghian (2022, p. 152).

#### Clasificación de las propiedades químicas del suelo para café en la etapa de producción

Propiedad	Unidad	Bajo	Medio	Alto
pH	Adimensional	< 5,0	5,0-5,5	> 5,5
Materia orgánica (MO)	%	< 8,0	8,0- 16,0	> 16,0
Nitrógeno total (N)	%	< 0,34	0,34-0,58	> 0,58
Fósforo (P)	mg kg <sup>-1</sup>	< 10	10,0 - 20,0	> 20,0
Azufre (S)	mg kg <sup>-1</sup>	< 6,0	6,0- 12,0	> 12,0
Potasio (K <sup>+</sup> )	cmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup>	< 0,2	0,2-0,4	> 0,4
Calcio (Ca <sub>2</sub> <sup>+</sup> )	cmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup>	< 1,5	1,5 - 3,0	> 3,0
Magnesio (Mg <sub>2</sub> <sup>+</sup> )	cmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup>	< 0,6	0,6-0,9	> 0,9
Aluminio (Al <sub>3</sub> <sup>+</sup> )	cmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup>	< 0,5	0,5 - 1,0	> 1,0
CIC	cmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup>	< 20,0	20,0-30,0	> 30,0
CICE	cmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup>	< 3,0	3,0-6,0	> 6,0
Saturación de aluminio	%	< 15,0	15,0 - 30,0	> 30,0
Saturación de bases	%	< 20,0	20,0-40,0	> 40,0
Hierro (Fe)	mg kg <sup>-1</sup>	< 25	25-50	> 50
Manganeso (Mn)	mg kg <sup>-1</sup>	< 5	5-10	> 10
Zinc (Zn)	mg kg <sup>-1</sup>	< 1,5	1,5 - 3,0	> 3,0
Cobre (Cu)	mg kg <sup>-1</sup>	< 1,0	1,0 - 3,0	> 3,0
Boro (B)	mg kg <sup>-1</sup>	< 0,2	0,2-0,4	> 0,4

Fuente: Sadeghian, 2018 citado en Sadeghian, 2022.

B: Bajo

M: Medio

A: Alto

pH	MO	N	K	Ca	Mg	Al	P	S	B	Zn	Fe	Mn	Cu
	%		cmol <sub>c</sub> /kg				mg/kg						
4,32	4,95	0,239	0,46	4,53	2,72	9,44	17,9	58,4	0,64	6,33	140	71,4	2,51
<b>B</b>	<b>B</b>	<b>B</b>	<b>A</b>	<b>A</b>	<b>A</b>	<b>A</b>	<b>M</b>	<b>A</b>	<b>A</b>	<b>A</b>	<b>A</b>	<b>A</b>	<b>M</b>

### 2 Calcular las saturaciones y relaciones de las bases en el suelo

A partir de los datos reportados para las bases (K, Ca, Mg) y el Al intercambiables, expresados en cmol<sub>c</sub>/kg o meq/100 g de suelo, se calculan las saturaciones y las relaciones entre ellas para determinar su respectivo balance y estimar si su saturación es adecuada para los cultivos. En particular, cuando la saturación de Al excede un 20 %, este elemento causa toxicidad y produce malformaciones o la muerte de las raíces. Este proceso se realiza para cada una de las bases de la siguiente manera:

$$\text{Saturación K (\%)} = \frac{\text{K}}{\text{K} + \text{Ca} + \text{Mg} + \text{Al} + \text{Na}} \times 100$$

$$\text{Saturación K (\%)} = \frac{0,46}{(0,46+4,53+2,72+9,44+0)} \times 100$$

$$\text{Sat K (\%)} = \frac{0,46}{(17,15)} \times 100$$

$$\text{Sat K (\%)} = 2,68$$

$$\text{Saturación Ca (\%)} = \frac{\text{Ca}}{\text{K} + \text{Ca} + \text{Mg} + \text{Al} + \text{Na}} \times 100$$

$$\text{Saturación Ca (\%)} = \frac{4,53}{(0,46+4,53+2,72+9,44+0)} \times 100$$

$$\text{Sat Ca (\%)} = \frac{4,53}{(17,15)} \times 100$$

$$\text{Sat Ca (\%)} = 26,41$$

$$\text{Saturación Mg (\%)} = \text{Mg} / (\text{K} + \text{Ca} + \text{Mg} + \text{Al} + \text{Na}) \times 100$$

$$\text{Saturación Mg (\%)} = 2,72 / (0,46 + 4,53 + 2,72 + 9,44 + 0) \times 100$$

$$\text{Sat Mg (\%)} = 2,72 / (17,15) \times 100$$

$$\text{Sat Mg (\%)} = 15,86$$

$$\text{Saturación Al (\%)} = \text{Al} / (\text{K} + \text{Ca} + \text{Mg} + \text{Al} + \text{Na}) \times 100$$

$$\text{Saturación Al (\%)} = 9,44 / (0,46 + 4,53 + 2,72 + 9,44 + 0) \times 100$$

$$\text{Sat Al (\%)} = 9,44 / (17,15) \times 100$$

$$\text{Sat Al (\%)} = 55,04$$

En este análisis de suelos se tienen las siguientes saturaciones y relaciones entre las bases, con su correspondiente interpretación, basadas en García (2011), quien, citando a varios autores, establece que las saturaciones apropiadas deben situarse dentro de los siguientes intervalos:

- Ca 50-70%
- Mg 10-15%
- K 5-7%
- Relación Ca/Mg entre 5 y 10
- Relación Ca/K entre 9 y 20
- Relación Mg/K entre 2 y 5

B: Bajo

M: Medio

A: Alto

SatK	SatCa	SatMg	SatAl	Ca/Mg	Ca/K	Mg/K
2,68	26,41	15,86	55,04	1,67	9,85	5,91
<b>B</b>	<b>B</b>	<b>A</b>	<b>A</b>	<b>B</b>	<b>M</b>	<b>A</b>

### 3 Calcular los niveles de los nutrientes en el suelo (dosis)

A partir de cada uno de los valores obtenidos en el análisis de suelo con su respectiva unidad (cmol+/kg o meq/100 g de suelo y mg/kg o ppm), también se calculan los niveles de nutrientes disponibles en kg/ha para una profundidad determinada del perfil del suelo. En la mayoría de los cultivos, se consideran los primeros 20 cm, ya que esta es la profundidad a la que se toma la muestra de suelo y donde además crece la mayor parte de raíces.

Como parámetro inicial, se calcula la masa del suelo que existe en los 20 cm superficiales de una hectárea de terreno. Este cálculo se basa en el valor de la densidad aparente del suelo, que generalmente se asume como como 1 g/cm<sup>3</sup> o 1000 kg/m<sup>3</sup>, cuando no se especifica en el análisis. Además, se tiene en cuenta que el área de una hectárea es 10 000 m<sup>2</sup>.

$$\text{Masa de suelo (kg/ha)} = 1000 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} (100 \text{ m} \times 100 \text{ m} \times 0,2 \text{ m}) = 2000000$$

Luego, se procede a calcular por hectárea el contenido total de cada elemento utilizando los valores del análisis de suelo, mediante reglas de tres simples. Además, es posible calcular la cantidad asimilable o disponible de cada elemento para los cultivos, asumiendo una tasa de mineralización aproximada entre el 2% y el 3%, dependiendo de la altitud y clima de la finca. Para el propósito de este ejercicio, se usa el 3% para altitudes entre 1000 y 1500 msnm, y el 2% para altitudes entre 1501 y 2000 msnm.

En este análisis se empleará entonces una tasa de mineralización del 3%, así como los factores de conversión correspondientes de cada elemento, desde su forma elemental a su forma oxidada. Estos factores se utilizan en forma generalizada en las fórmulas de fertilizantes.

Para convertir de	Multiplicar por	Para convertir de	Multiplicar por
PaP <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	2,2914	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> aP	0,4364
KaK <sub>2</sub> O	1,2046	K <sub>2</sub> OaK	0,8301
CaCaO	1,3992	CaOaCa	0,7147
MgMgO	1,6579	MgOaMg	0,6030
SaSO <sub>4</sub>	2,9959	SO <sub>4</sub> aS	0,3338
BaB <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	3,2199	B <sub>2</sub> O <sub>3</sub> aB	0,3106
ZnZnO	1,2447	ZnOaZn	0,8034

Estos factores se derivan de los pesos atómicos de cada elemento en sus formas oxidadas y de las respectivas proporciones en porcentaje que tienen entre sí, de la siguiente manera:

Átomo	Peso atómico (g/mol)	Forma oxidada	Peso atómico (g/mol)	Relación forma oxidada/átomo	Relación átomo/forma oxidada
O	15,9994	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	141,945	$141,945 / (30,9738 \times 2) = 2,2914$	$(30,9738 \times 2) / 141,945 = 0,4364$
P	30,9738				
K	39,0983	K <sub>2</sub> O	94,196	$94,196 / (39,0983 \times 2) = 1,2046$	$(39,0983 \times 2) / 94,196 = 0,8301$
Ca	40,078	CaO	56,077	$56,077 / 40,078 = 1,3992$	$40,078 / 56,077 = 0,7147$
Mg	24,305	MgO	40,304	$40,304 / 24,305 = 1,6579$	$24,305 / 40,304 = 0,6030$

Contenido total por hectárea	Cantidad asimilable por hectárea
<p>Nitrógeno 0,239 %</p> <p>100 kg suelo                      0,239 kg de N</p> <p>2000000 kg de suelo                      X</p> <p>X= 4780 kg de N</p>	<p>Por cada 100 kg totales se mineralizan 3:</p> <p>100 kg N                      3 kg de N</p> <p>4780 kg de N                      X</p> <p>X= <b>143,4 kg de N</b></p>
<p>Fósforo 17,9 mg/kg</p> <p>1 kg suelo                      17,9 mg de P</p> <p>2000000 kg de suelo                      X</p> <p>X= 35800000 kg de P × kg/1000 000mg</p> <p>X= 35,8 kg de P</p>	<p>100 kg P                      3 kg de P</p> <p>35,8 kg de P                      X</p> <p>X= 1,074 kg de P × 2,2914</p> <p>X= <b>2,46 kg de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub></b></p>
<p>Potasio 0,46 cmol/kg</p> <p>1 cmol de K                      0,39 g K</p> <p>0,46 cmol de K                      X</p> <p>X= 0,1794 g de K</p> <p>1 kg suelo                      0,1794 g de K</p> <p>2000000 kg de suelo                      X</p> <p>X= 358800 g de K × kg/1000g</p> <p>X= 358,8 kg de K</p>	<p>100 kg K                      3 kg de K</p> <p>358,8 kg de K                      X</p> <p>X= 10,764 kg de K × 1,2046</p> <p>X= <b>12,97 kg de K<sub>2</sub>O</b></p>
<p>Calcio 4,53 cmol/kg</p> <p>1 cmol de Ca                      0,2 g Ca</p> <p>4,53 cmol de Ca                      X</p> <p>X= 0,906 g de Ca</p> <p>1 kg suelo                      0,906 g de Ca</p> <p>2000000 kg de suelo                      X</p> <p>X= 1812000 g de Ca × kg/1000g</p> <p>X= 1812 kg de Ca</p>	<p>100 kg Ca                      3 kg de Ca</p> <p>1812 kg de Ca                      X</p> <p>X= 54,36 kg de Ca × 1,3992</p> <p>X= <b>76,06 kg de CaO</b></p>

Contenido total por hectárea		Cantidad asimilable por hectárea	
Magnesio 2,72 cmol/kg			
1 cmol de Mg	0,12 g Mg	100 kg Mg	3 kg de Mg
2,72 cmol de Mg	X	652,8 kg de Mg	X
X= 0,3264 g de Mg		X= 19,584 kg de Mg × 1,6579	
X= <b>32,47 kg de MgO</b>			
1 kg suelo	0,3264 g de Mg		
2000000 kg de suelo	X		
X= 652800 g de Mg × kg/1000g			
X= 652,8 kg de Mg			
Azufre 58,4 mg/kg			
1 kg suelo	58,4 mg de S	100 kg S	3 kg de S
2000000 kg de suelo	X	116,8 kg de S	X
X= 116800000 mg de S × kg/1000000mg		X= 3,504 kg de S × 2,9959	
X= 116,8 kg de S		X= <b>10,50 kg de SO<sub>4</sub></b>	
Boro 0,64 mg/kg			
1 kg suelo	0,64 mg de B	100 kg B	3 kg de B
2000000 kg de suelo	X	1,28 kg de B	X
X= 1280000 mg de B × kg/1000000mg		X= <b>0,0384 kg de B</b>	
X= 1,28 kg de B			
Zn 6,33 mg/kg			
1 kg suelo	6,33 mg de Zn	100 kg Zn	3 kg de B
2000000 kg de suelo	X	12,66 kg de Zn	X
X= 12660000 mg de Zn × kg/1000000mg		X= <b>0,38 kg de Zn</b>	
X= 12,66 kg de Zn			

## 4

## Calcular los nutrientes requeridos por el cultivo

Dado que el objetivo principal de la fertilización es sostener la fertilidad del suelo sustituyendo parcial o totalmente los nutrientes removidos por la producción del cultivo, resulta esencial considerar los datos de remoción proporcionados por los frutos de café en función del nivel de producción esperado.

Como referencia se usan los valores para cada nutriente reportados por Sadeghian (2022, p. 50) para un volumen de cosecha equivalente a 1250 kg de café pergamino seco.

Nivel de cosecha	N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	CaO	MgO	S	B	Zn	Fe	Mn	Cu
kg cps/ha	kg										
1250	30,9	5,18	44,34	5,96	3,75	1,2	0,05	0,018	0,107	0,061	0,033

Por comodidad y como medida aproximada, es necesario extrapolar estos requerimientos en función del nivel de producción esperado, ya que a medida que se incrementan las cosechas, las remociones también aumentan, lo que significa que los niveles de nutrientes se agotan más rápido. A continuación, se presenta el ejemplo para una producción superior al promedio nacional, que equivale a 1875 kg cps/ha. Nótese que los valores de remoción también se incrementan en un 50%.

Nivel de cosecha	N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	CaO	MgO	S	B	Zn	Fe	Mn	Cu
kg cps/ha	kg										
1875	46,35	7,77	66,51	8,94	5,63	1,80	0,08	0,03	0,16	0,09	0,05

Ahora bien, los frutos corresponden al 27 % de la materia seca, las hojas equivalen al 31 %, el tallo al 23 % y las ramas al 19 % de la parte aérea de las plantas de café (Sadeghian, 2022, p. 48), a partir de estos valores y las cantidades absorbidas en gramos de nutrientes (frutos/planta entera) reportados por la Asociación Nacional del Café (Anacafé, 2014, p. 18), siempre es necesario adicionar al menos 1,2 veces la cantidad removida de cada

nutriente para asegurar que el cultivo produzca frutos sin sacrificar otros componentes y evitar especialmente el paloteo de los cafetales. Los valores que se van a utilizar son los que se señalan en negrilla a continuación.

Nivel de cosecha	N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	CaO	MgO	S	B	Zn	Fe	Mn*	Cu
Absorción partes vegetativas	16	1	12	13	5	0,26	0,047	0,079	0,88	0,88	0,037
Absorción frutos	35	3	38	8	6	1,23	0,039	0,044	0,46	0,46	0,052
Absorción planta entera	51	4	50	21	11	1,49	0,09	0,12	1,34	1,34	0,09
Relación Absorción frutos/Absorción P lanta entera (IE- índice de extacción)	0,69	0,75	0,76	0,38	0,55	0,83	0,43	0,37	0,34	0,34	0,58
<b>Factor (1/IE)</b>	<b>1,46</b>	<b>1,33</b>	<b>1,33</b>	<b>2,63</b>	<b>1,83</b>	<b>1,21</b>	<b>2,31</b>	<b>2,73</b>	<b>2,91</b>	<b>2,91</b>	<b>1,73</b>

\* Para Mn no se reporta información por lo que se puede usar el mismo valor que para Fe.

Finalmente, a partir de las recomendaciones dadas por instituciones, como el Instituto Internacional de Nutrición Vegetal (IPNI), International Fertilizer Association (IFA), The Fertilizer Institute (TFI) y the U.S. Department of Agriculture (USDA), se estima la dosis de nutriente a ser aplicada, a partir de la siguiente formula:

$$\text{Dosis} = (\text{requerimiento} - \text{suministro}) / \text{eficiencia}$$

Como se mencionó, el requerimiento cambia en función de la producción esperada, y el suministro se basa en los resultados del análisis de suelo. Por otro lado, la eficiencia de cada nutriente y sus fuentes dependen de diversos factores que afectan su disponibilidad, siendo el pH el principal, tal como lo reporta Jones (2012). Los detalles para NPK se presenta en la siguiente tabla:

pH	Eficiencia (%)		
	N	P	K
4,5	30	23	33
5,0	53	34	52
5,5	77	46	77
6,0	89	52	100
7,0	100	100	100

A partir de esta tabla y mediante una regresión entre el pH y cada uno de estos nutrientes, es posible emplear las siguientes ecuaciones para calcular las eficiencias respectivas de N, P y K, teniendo en cuenta el pH del suelo.

$$\text{Eficiencia N (\%)} = -11,761(\text{pH}^2) + 163,6(\text{pH}) - 468,81 \quad R^2 = 0,9973$$

$$\text{Eficiencia P (\%)} = 8,0736(\text{pH}^2) - 63,309(\text{pH}) + 146,37 \quad R^2 = 0,9856$$

$$\text{Eficiencia K (\%)} = -14,015(\text{pH}^2) + 190,06(\text{pH}) - 541,07 \quad R^2 = 0,9732$$

No existe un reporte similar para los otros nutrientes, por lo que se sugiere utilizar un factor de eficiencia generalizado del 80%.

En este ejercicio solo se considera el pH del análisis de suelo. Es importante aclarar que especialmente cuando estos valores son bajos y se combinan con altas saturaciones de aluminio, se debe incluir la aplicación de una enmienda. A medida que el pH aumenta, también se incrementan los valores de eficiencia para los nutrientes NPK, por lo que es factible utilizar el nuevo valor de pH después de encalar.

$$\text{Eficiencia N (\%)} = -11,761(\text{pH}^2) + 163,6(\text{pH}) - 468,81$$

$$\text{Eficiencia N (\%)} = -11,761(4,32^2) + 163,6(4,32) - 468,81$$

$$\text{Eficiencia N (\%)} = -219,488 + 706,752 - 468,81$$

$$\text{Eficiencia N (\%)} = 18,454$$

$$\text{Eficiencia P (\%)} = 8,0736(\text{pH}^2) - 63,309(\text{pH}) + 146,37$$

$$\text{Eficiencia P (\%)} = 8,0736(4,32^2) - 63,309(4,32) + 146,37$$

$$\text{Eficiencia P (\%)} = 150,673 - 273,495 + 146,37$$

$$\text{Eficiencia P (\%)} = 23,548$$

$$\text{Eficiencia K (\%)} = -14,015(\text{pH}^2) + 190,06(\text{pH}) - 541,07$$

$$\text{Eficiencia K (\%)} = -14,015(4,32^2) + 190,06(4,32) - 541,07$$

$$\text{Eficiencia K (\%)} = -261,553 + 821,059 - 541,07$$

$$\text{Eficiencia K (\%)} = 18,436$$

Entonces, a partir de los valores de remoción, la relación frutos/partes vegetativas y los factores de eficiencia según el pH se calculan las dosis por cada nutriente y nivel de producción, así:

$$\text{Dosis (kg / ha)} = \frac{(\text{Nutriente en frutos de producción esperada} \times \text{Factor IE}) - \text{Nutriente suelo}}{\text{Eficiencia}}$$

En los casos en los que el valor resultante sea negativo, la cantidad mínima a aplicar corresponde a la remoción del cultivo, con el propósito de evitar una extracción excesiva de nutrientes y conservar la fertilidad del suelo. Este cálculo se estima mediante la siguiente ecuación:

$$\text{Dosis (kg / ha)} = \frac{(\text{Nutriente removido en frutos de producción esperada})}{\text{Eficiencia}}$$

Nutriente	1250 kg cps	1875 kg cps
N	$30,9 \times 1,46 = 45,1$ $(45,1-143,4)/0,184 = -533^* (167)$	$46,35 \times 1,46 = 67,7$ $(67,7-143,4)/0,184 = -410 (251)$
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	$5,18 \times 1,33 = 6,9$ $(6,9-2,5)/0,235 = 18,9$	$7,77 \times 1,33 = 10,4$ $(10,4-2,5)/0,235 = 33,5$
K <sub>2</sub> O	$44,34 \times 1,33 = 58,3$ $(58,3-13)/0,184 = 246$	$66,51 \times 1,33 = 87,5$ $(87,5-13)/0,184 = 404$
CaO	$5,96 \times 2,63 = 15,6$ $(15,6-76,1)/0,8 = -75,5 (7,5)$	$8,94 \times 2,63 = 23,5$ $(23,5-76,1)/0,8 = -65,7 (11,2)$
MgO	$3,75 \times 1,83 = 6,9$ $(6,9-32,5)/0,8 = -32,0 (4,7)$	$5,63 \times 1,83 = 10,3$ $(10,3-32,5)/0,8 = -27,7 (7,0)$
S	$1,2 \times 1,21 = 1,5$ $(1,5-3,5)/0,8 = -2,6 (1,5)$	$1,8 \times 1,21 = 2,2$ $(2,2-3,5)/0,8 = -1,7 (2,3)$
B	$0,05 \times 2,31 = 0,12$ $(0,12-0,04)/0,8 = 0,06$	$0,08 \times 2,31 = 0,17$ $(0,17-0,04)/0,8 = 0,09$
Zn	$0,02 \times 2,73 = 0,05$ $(0,05-0,4)/0,8 = -0,41 (0,02)$	$0,03 \times 2,73 = 0,07$ $(0,07-0,4)/0,8 = -0,38 (0,03)$

\*Para dosis negativas se deja entre paréntesis el resultado de la segunda ecuación.

## 5 Calcular la cantidad de fertilizantes a aplicar (fuente)

Por último, se estima la cantidad en kg/ha de una o varias fuentes comerciales de alta concentración y eficiencia que suplan tales requerimientos. Para propósitos de este gimnasio, se utilizará una fuente simple, como sigue:

Nutriente	Fuente	1250 kg cps	1875 kg cps
N	Urea estabilizada 46-0-0	$167/0,46 = 363$	$251/0,46 = 546$
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	MAP 11-52-0	$18,9/0,52 = 36$	$33,5/0,52 = 64$
K <sub>2</sub> O	KCl 0-0-60	$246/0,6 = 410$	$404/0,6 = 674$
CaO	Polysulphate 0-0-14-17-6-19	$7,5/0,17 = 44$	$11,2/0,17 = 66$
MgO	Kieserita 0-0-0-25-20	$4,7/0,25 = 19$	$7,0/0,25 = 28$
S	Polysulphate 0-0-14-17-6-19	$1,5/0,19 = 8$	$2,2/0,19 = 12$
B	Microfertil* 1B-3Zn	$0,06/0,01 = 6$	$0,09/0,01 = 9$
Zn	Microfertil 1B-3Zn	$0,02/0,03 = 0,7$	$0,03/0,03 = 1$

\*Se usa como ejemplo Microfertil por ser una fuente balanceada en B, Zn y otros micronutrientes.

En aquellos casos en los que algunas fuentes suplen más de un nutriente, se hace una corrección de manera que las cantidades de nutriente a suministrar no excedan los valores requeridos por el cultivo. Por ejemplo, al utilizar el requerimiento de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> se calcula inicialmente la cantidad de MAP, y luego se descuenta su aporte de N (11%) para estimar la cantidad de urea, así:



Nutriente	Fuente	1250 kg cps	1875 kg cps
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	MAP 11-52-0	$18,9/0,52 = 36$ kg/ha	$33,5/0,52 = 64$ kg/ha
N	Urea estabilizada 46-0-0	$167 - (36 \times 0,11)/0,46 = 354$ kg/ha	$251 - (64 \times 0,11)/0,46 = 530$ kg/ha

En este punto, se sugiere elaborar medidas precisas en tarros de plástico o botellas de gaseosa con ayuda de una balanza pequeña para optimizar tanto la eficiencia en la aplicación como el uso de los nutrientes. Desde un enfoque práctico, se aconseja estimar las proporciones de cada fertilizante y hacer una mezcla de todas las fuentes para hacer una sola medida por aplicación, en lugar de elaborar medidas para cada fertilizante y aplicaciones individuales, que incrementarían los costos de la aplicación.

## 6 Definir las épocas de aplicación de los fertilizantes (momento)

El momento o frecuencia de aplicación se decide principalmente con base en la textura del suelo y las épocas de lluvia de la finca, las cuales determinan la retención de humedad del suelo, el drenaje y la disponibilidad del fertilizante en la solución del suelo para beneficio del cultivo. En suelos arenosos y con altas precipitaciones se recomienda fraccionar la aplicación entre 3 y 4 veces al año, mientras que en suelos arcillosos con bajas precipitaciones, se pueden hacer entre 2 y 3 aplicaciones anuales para maximizar la eficiencia de la fertilización.

Para este ejercicio, las dosis calculadas se distribuirán en 3 aplicaciones al año. Una vez conocida la cantidad total de las fuentes escogidas, se procede a dividirla por el número de aplicaciones y luego por la densidad de siembra, con el fin de estimar la cantidad exacta a aplicar por cada sitio o árbol. Por ejemplo, para urea y MAP se dividen las dosis totales entre 5500 plantas y luego entre tres aplicaciones al año para obtener la dosis exacta de fertilizante por cada planta, así:

Nutriente	Fuente	1250 kg cps	1875 kg cps
N	Urea estabilizada	$354\,000 \text{ g}/5500 \text{ plantas}/3 = 21 \text{ g/planta}$	$530\,000 \text{ g}/5500 \text{ plantas}/3 = 32 \text{ g/planta}$
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	MAP	$36\,000 \text{ g}/5500 \text{ plantas}/3 = 2,2 \text{ g/planta}$	$64\,000 \text{ g}/5500 \text{ plantas}/3 = 3,9 \text{ g/planta}$

## 7 Dónde aplicar los nutrientes en el cultivo (lugar)

En cuanto a la ubicación, se recomienda aplicar la mezcla de fertilizantes de manera uniforme en todo el plato del árbol en terrenos planos. Para terrenos quebrados, se sugiere aplicarla en media luna en la parte superior del plato, siempre y cuando la aplicación sea factible, especialmente en lotes muy densos o de edad avanzada.