

Fertilización y Gestión Integrada de Nutrientes en cacaotales: Importancia, Requerimientos, Deficiencias Balance de nutrientes, Cálculos, Formas de aplicación

Rolando Cerda (CATIE) y Frederic Gay (CIRAD)

¿ Cuales son los objetivos de la gestión integral de nutriente?



Los tres componentes de la fertilidad del suelo

Estructura física

- Aireación del suelo
- Circulación del agua



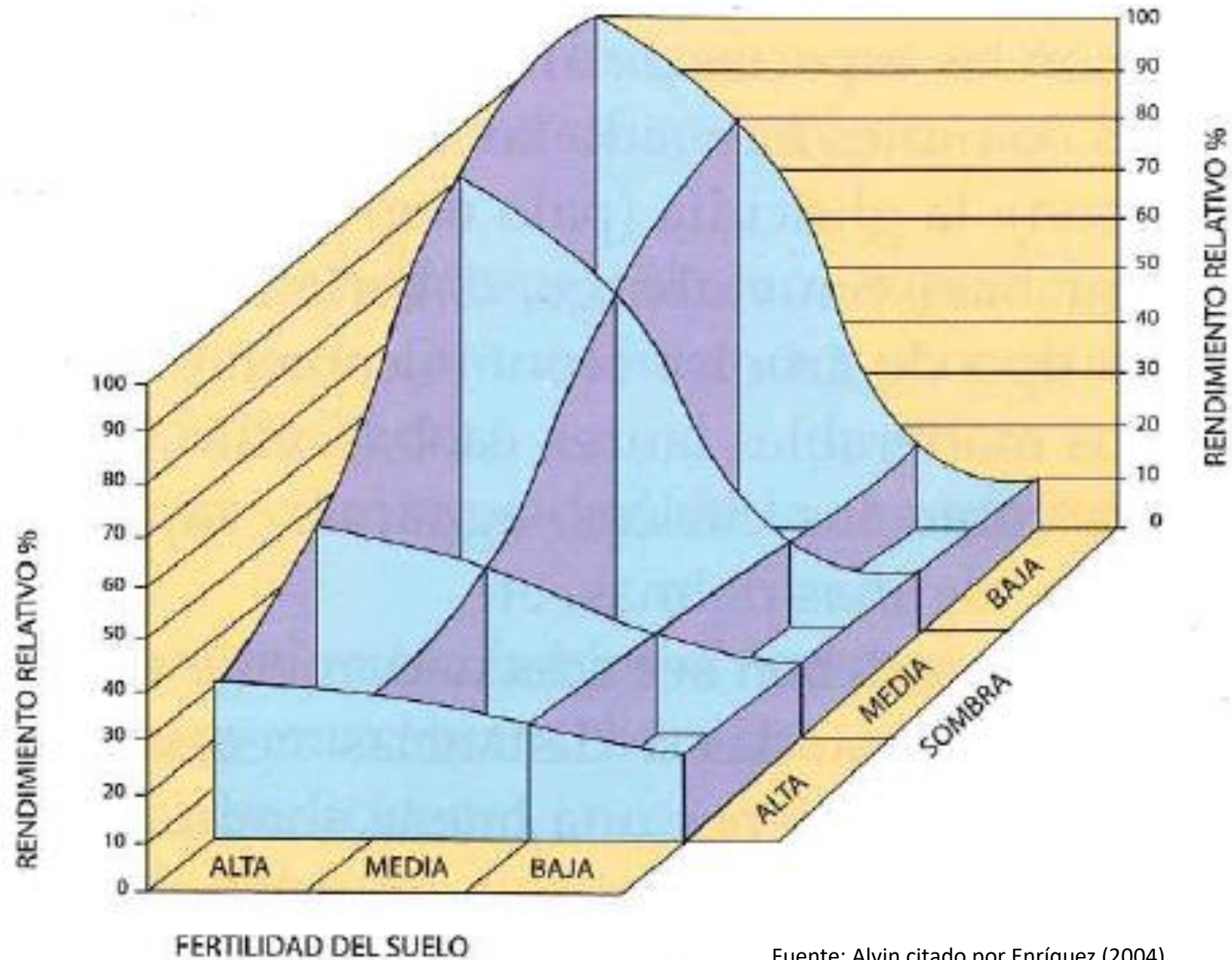
Composición química

- Disponibilidad de los nutrientes

Actividad biológica

- Reciclaje de la materia orgánica

Para obtener buenos rendimientos de cacao : qué es más importante, la sombra o la fertilidad?



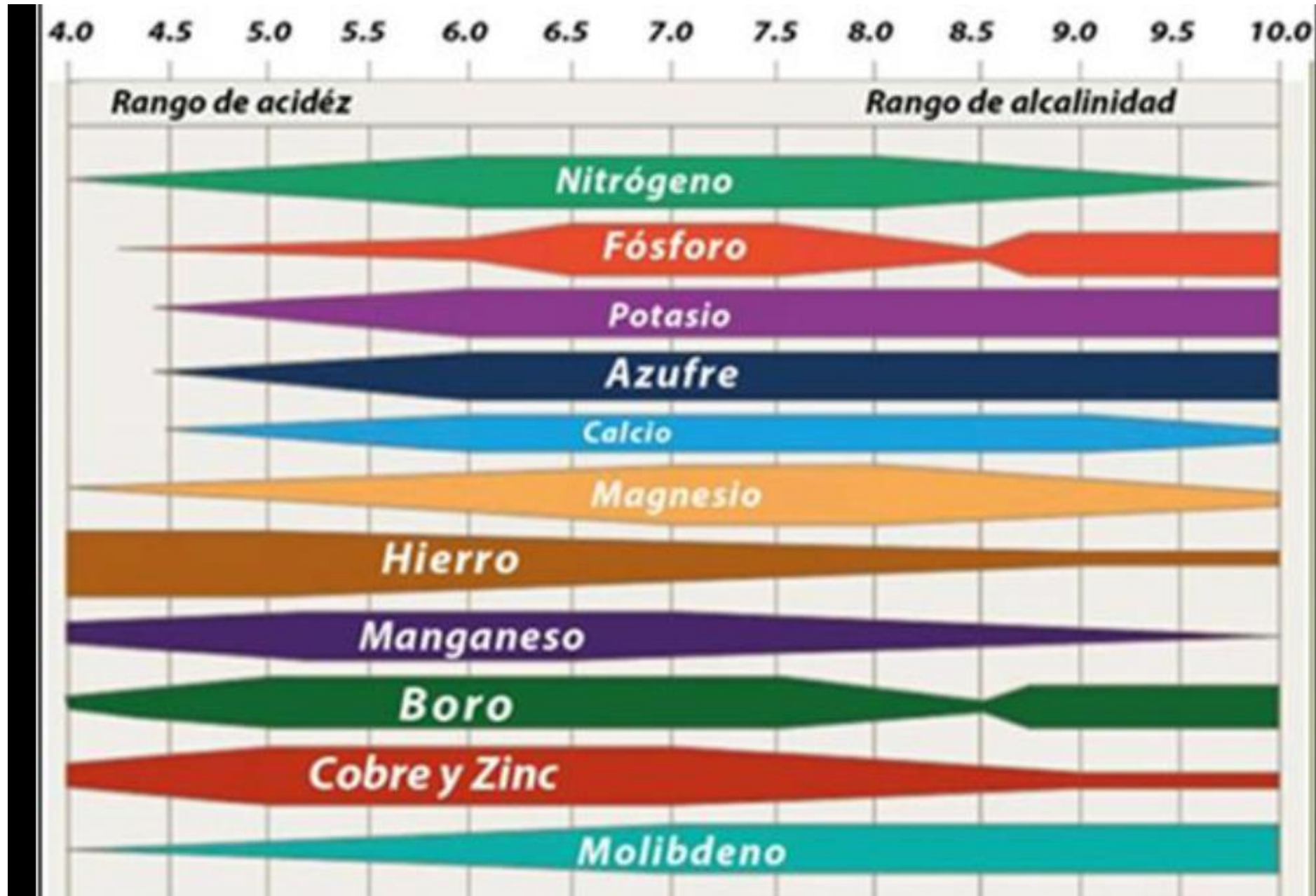
Fuente: Alvin citado por Enríquez (2004)

Requerimiento nutritivo del cacao

Nutriente	Efecto sobre cacao
P , K	Mas importantes para floración y fructificación Siempre tienen un efecto positivo
N	N fomenta la producción vegetativa El efecto depende del nivel de sombra y de la poda Mas sombra, menos N requerimiento
Ca, Mg	A menudo efectivo positivo pero menos que P and K Fortalecen las hojas
Bórax	Parece el micronutriente mas importante

¿Cuáles son los elementos cuya disponibilidad es más limitada por la acidez del suelo?
¿Los macro o micro nutrientes?

Disponibilidad de nutrientes de acuerdo al pH



Aparte de los resultados de análisis de suelos
¿Cómo podríamos saber que hay deficiencia de
algún elemento cuando la fertilidad es baja?

El diagnostico foliar (visual y cuantitativo)

Deficiencias de Nitrógeno



Fotos: Nutrición y fertilización del cacao (s.f.)

Deficiencias de Potasio



Un buen contenido de K
le da al cacao más
tolerancia a las sequías
(Almeida y Valle 2007)



Fotos: Nutrición y fertilización del cacao (s.f.)



Deficiencia de
Fósforo



Deficiencia de
Calcio



Deficiencia de
Magnesio

Fotos: Castillo (2007)



Deficiencia de
Azufre



Deficiencia de
Boro



Deficiencia de
Zinc



Deficiencia de
Hierro



Deficiencia de
Manganeso

Requerimientos del cultivo

Rangos de fertilidad relativa para suelos de cacao

	Parameter	Unit	Medium
Macronutrients	pH (H ₂ O)		5.1 – 7.0
	C org	%	1.7 – 3.2
	N total	%	0.2 – 0.4
	C/N		9.5 – 15.5
	P avail. (Mehlich)	ppm	6.0 – 15.0
	P avail. (Olsen)	ppm	12.0 – 25.0
	K (Ac. Am. pH 7)	me/100g	0.2 – 1.2
	Ca (Ac. Am. pH 7)	me/100g	4.0 – 18.0
	Mg (Ac. Am. pH 7)	me/100g	0.9 – 4.0
	Al (Ac. Am. pH 7)	me/100g	0.1 – 1.5
	CEC (Ac. Am. pH 7)	me/100g	12 – 30
Micronutrients	Fe (Mehlich)	ppm	19 – 45
	Mn (Mehlich)	ppm	3 – 12
	Cu (Mehlich)	ppm	0.4 – 1.8
	Zn (Mehlich)	ppm	0.5 – 2.2
	B (Hot water)	ppm	0.16 – 0.90

Note: 1 me/100g = 1 cmol⁺·kg⁻¹ of soil.

La acidez no debería sobrepasar 1.5 cmol/l

La densidad aparente debería ser 1, o menor de 1

Esos rangos de fertilidad qué significan en kg/ha de nutrientes?

	Parameter	Unit	Medium	Kg/ha (0.3m de prof)
Macronutrients	pH (H ₂ O)		5.1 – 7.0	
	C org	%	1.7 – 3.2	
	N total	%	0.2 – 0.4	150 - 300
	C/N		9.5 – 15.5	
	P avail. (Mehlich)	ppm	6.0 – 15.0	
	P avail. (Olsen)	ppm	12.0 – 25.0	36 - 75
	K (Ac. Am. pH 7)	me/100g	0.2 – 1.2	250 - 1400
	Ca (Ac. Am. pH 7)	me/100g	4.0 – 18.0	
	Mg (Ac. Am. pH 7)	me/100g	0.9 – 4.0	
	Al (Ac. Am. pH 7)	me/100g	0.1 – 1.5	
	CEC (Ac. Am. pH 7)	me/100g	12 – 30	
Micronutrients	Fe (Mehlich)	ppm	19 – 45	
	Mn (Mehlich)	ppm	3 – 12	
	Cu (Mehlich)	ppm	0.4 – 1.8	
	Zn (Mehlich)	ppm	0.5 – 2.2	
	B (Hot water)	ppm	0.16 – 0.90	

Note: 1 me/100g = 1 cmol⁺·kg⁻¹ of soil.

La acidez no debería sobrepasar 1.5 cmol/l

La densidad aparente debería ser 1, o menor de 1

Requerimientos de nutrientes en diferentes estados de desarrollo de cacaotales

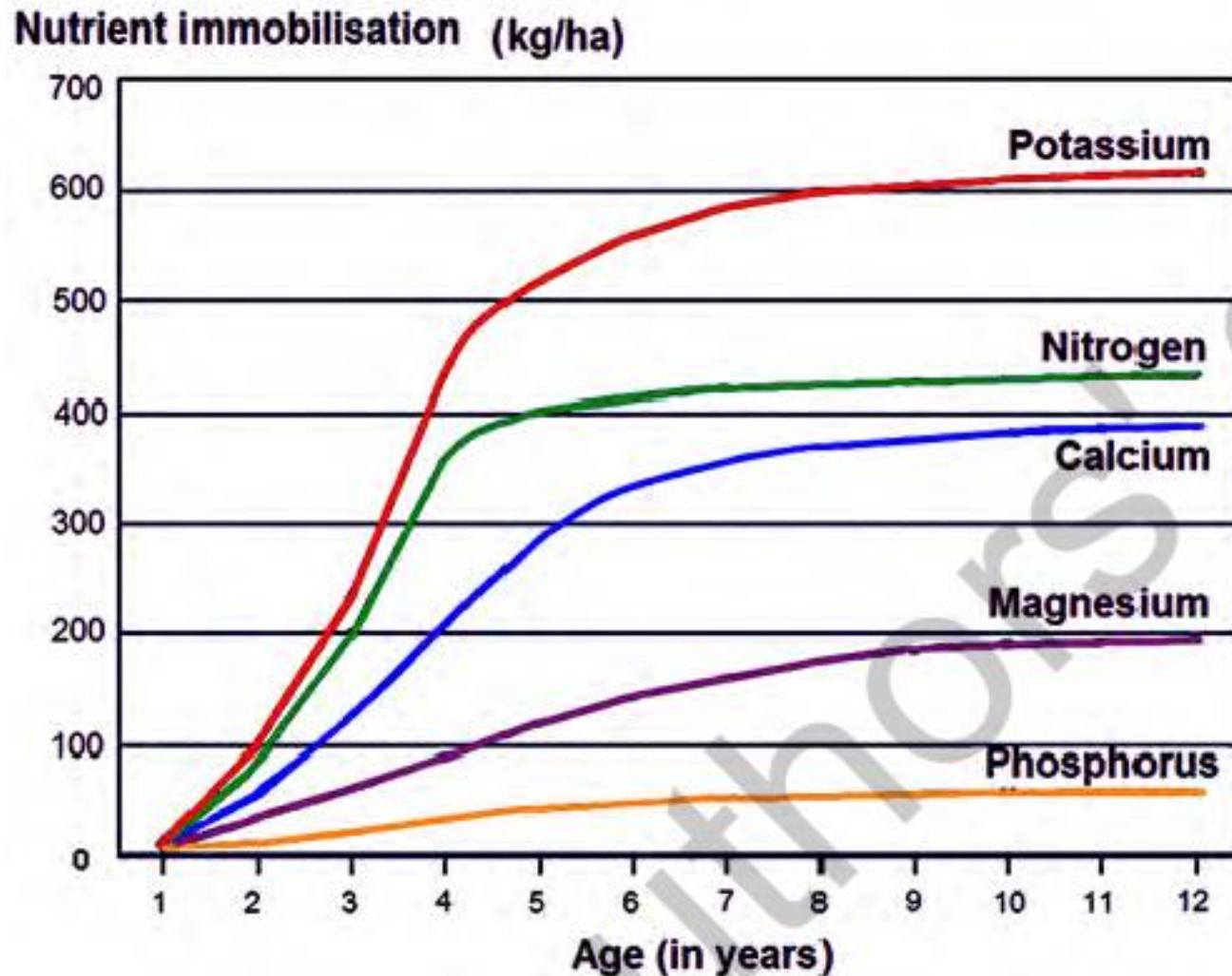
Estado	Edad (meses)	Requerimiento nutricional (kg/ha)						
		N	P	K	Ca	Mg	Mn	Zn
Vivero	5-12	2.4	0.6	2.4	2.3	1.1	0.04	0.01
Establecimiento	28	135	14	156	113	47	3.9	0.5
Inicio producción	39	212	23	321	140	71	7.1	0.9
Plena producción	50-90	438	48	633	373	129	6.1	1.5

Requerimientos del cacaotal

Podemos quedarnos con estos datos para cacaotales en plena producción

	Requerimiento en kg/ha
Nitrógeno	300
Fósforo	50
Potasio	600

Almacenamiento de los macro-nutrientes en la biomasa de las plantas de cacao desde 0 hasta 12 años



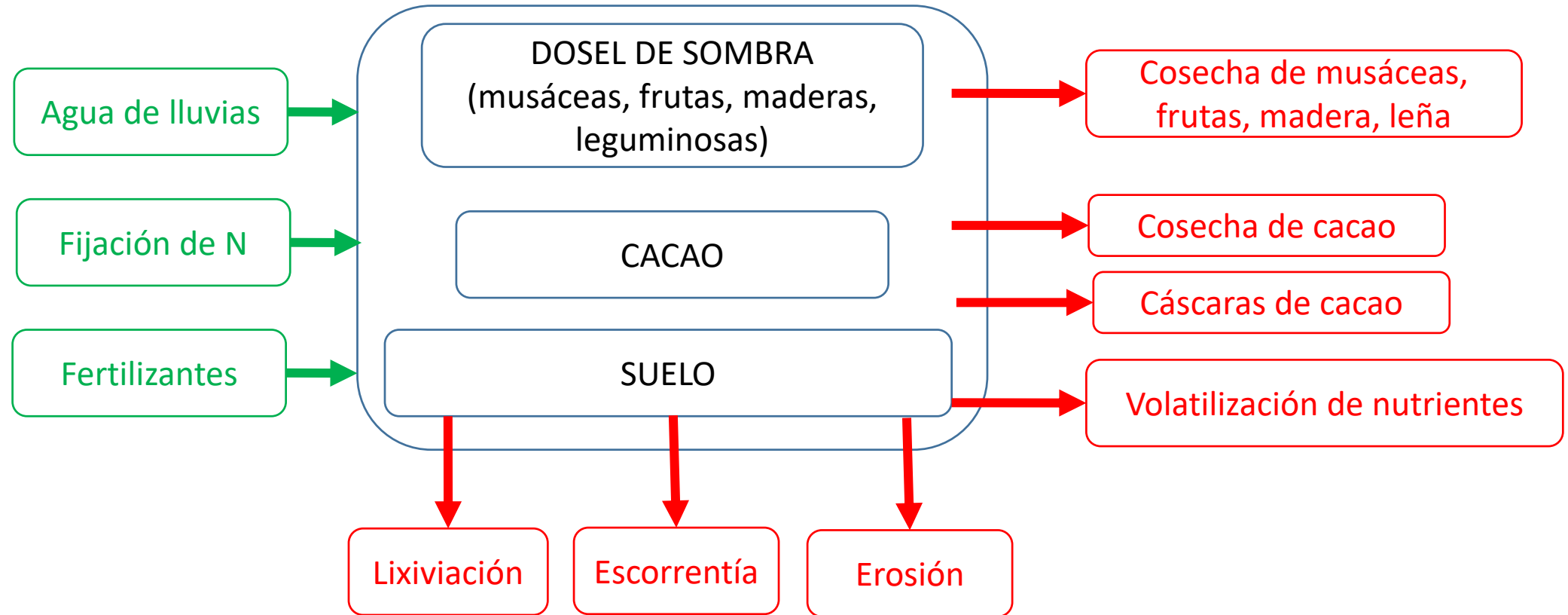
SI NO PODAMOS, LOS
NUTRIENTES SE PUEDEN
ACUMULAR INUTILMENTE
EN ÁRBOLES MUY
GRANDES.....

Thong and Ng (1980) pleno sol, Malasia

¿Si hay tres posibles parcelas para sembrar cacao, en cuál parcela sembraría?

Identificación	Prof.	pH	Acidez	Ca	Mg	K		P	Cu	Zn	Mn	Fe	N	C.O.
	cm	H ₂ O	-----cmol(+)/l-----					mg/l	-----mg/l-----				%	%
PARCELA 1	0-30	4.7	3.48	0.97	0.42	0.14		15.0	21	2.2	22	209	0.20	3.00
PARCELA 2	0-30	4.9	1.50	2.10	0.92	0.40		12.0	21	2.8	14	165	0.30	3.00
PARCELA 3	0-30	5.0	1.48	4.73	1.43	0.38		20.0	25	4.0	23	234	0.20	3.20

¿Qué es un balance de nutrientes en un sistema de producción?



Balance de nutrientes = Entradas – Salidas

Si es negativo, sabré cuánto tengo que aportar para balancearlo

Cálculos:

Dosis de cal (Corregir la acidez)

Existencias de nutrientes en el suelo

Dosis de fertilizantes para nivelar a los requerimientos del cacao

Balance de nutrientes de N, P, K

Dosis de fertilizantes para balancear entradas y salidas

(Rolando Cerda B)

Partimos de los resultados de un análisis de suelo

Profundidad de muestreo = 0.30 m

Identificación	Prof.	pH	Acidez	Ca	Mg	K		P	Cu	Zn	Mn	Fe	N	C.O.
	m	H ₂ O	-----cmol(+)/l-----					mg/l	-----mg/l-----				%	%
Lote TN 2 CATIE	0.3	4.7	2.10	0.97	0.42	0.14		9	21	2.2	22	209	0.19	2.00

Densidad aparente = 1 g/cc = 1 tn/m³

Cálculos

Capacidad de intercambio catiónico (CICE)

$$\text{CICE} = \text{Ca} + \text{Mg} + \text{K} + \text{acidez}$$

% Saturación de acidez (%SA)

$$\% \text{ SA} = (\text{Acidez}/\text{CICE}) * 100$$

El % de saturación deseado (RAS) debe ser 15% (o menor)

CÁLCULO DE DOSIS DE ENCALADO

$$\dagger \text{ cal/ ha} = \frac{2 (\%SA - \%RAS) \text{ CICE}}{100}$$

Con un análisis químico de suelos típico tenemos todos los elementos para calcular la dosis de cal

Cmol(+)/L					%
Acidez	Ca	Mg	K	CICE	SA
2.10	0.97	0.42	0.14		

% de saturación deseado (RAS) es 15%

$$\text{CICE} = \text{Ca} + \text{Mg} + \text{K} + \text{acidez}$$

$$\% \text{ SA} = (\text{Acidez}/\text{CICE}) * 100$$

Cálculos

Cmol(+)/L					%
Acidez	Ca	Mg	K	CICE	SA
2.10	0.97	0.42	0.14	3.63	58

$$\text{t cal / ha} = \frac{2 (\%SA - RAS) \text{ CICE}}{100}$$

$$\text{t cal/ ha} = \frac{2 (58 - 15) * 3.63}{100}$$

$$\text{t cal/ ha} = 3.11$$

$$\text{Sacos cal / ha} = 68$$

Si el cacaotal está sembrado a 3x3m en cuadro:
¿Cuántas libras de cal por planta tengo que aplicar?

Si el cacaotal está sembrado a 3x3m en tres bolillo:
¿Cuántas libras de cal por planta tengo que aplicar?

Densidad de plantas a 3x3m en cuadro=

Densidad 10000 / 3x3m

Densidad de plantas a 3x3m en tres bolillo=

Densidad 10000 / (3x3m * 0.86)

CÁLCULO DE LAS EXISTENCIAS DE N , P , K EN UN CACAOTAL

Tomamos el mismo ejemplo de análisis de suelo

Profundidad de muestreo = 0.30 m

Identificación	Prof.	pH	Acidez	Ca	Mg	K		P	Cu	Zn	Mn	Fe	N	C.O.
	m	H ₂ O	-----cmol(+)/l-----					mg/l	-----mg/l-----				%	%
Lote TN 2 CATIE	0.3	4.7	2.10	0.97	0.42	0.14		9	21	2.2	22	209	0.19	2.00

Densidad aparente = 1 g/cc = 1 tn/m³

P = 8.5 mg/l = 8.5 mg/kg = 8.5 g/tn = 8.5 ppm

¿Cuánto N, P y K hay en
ese suelo por hectárea?

Es importante calcular el peso del suelo por hectárea

Volumen de suelo = $10000 \text{ m}^2 * \text{Profundidad}$

Volumen de suelo = $10000 \text{ m}^2 * 0.3 \text{ m} = 3000 \text{ m}^3$

Peso del suelo = Volumen de suelo * Densidad aparente

Peso del suelo = $3000 \text{ m}^3 * 1 \text{ tn/m}^3$

Peso del suelo = 3000 tn/ha

Cálculo de N por hectárea

Para convertir a N ppm

Relación C/N	Factor de conversión
Mayor a 12	112
Entre 10 y 12	140
Igual o menor que 10	225

$$\text{Relación C/N} = 2/0.19 = 10.52$$

Entonces usa un factor de 140 ppm

$$N = (0.19 * 140) = 26.6 \text{ ppm} = 26.6 \text{ mg/kg} = 26.6 \text{ g/tn}$$

$$N = 26.6 \text{ g/tn} * 3000 \text{ tn/ha} = 79,800 \text{ g/ha}$$

$$N = 79,800 \text{ g/ha} * 1\text{kg}/1000\text{g} = 80 \text{ kg/ha}$$

Cálculo de Fósforo por hectárea

$$P = 9 \text{ ppm} = 9 \text{ g/tn}$$

$$P = 9 \text{ g/tn} * 3000 \text{ tn/ha} = 27,000 \text{ g/ha}$$

$$P = 27,000 \text{ g/ha} * 1\text{kg}/1000\text{g} = 27 \text{ kg/ha}$$

Cálculo de K por hectárea

Para convertir Cmol(+)/L de K a ppm K se usa una factor de 390

$$K = 0.14 \text{ Cmol(+)/L} * 390 = 54.6 \text{ ppm}$$

$$K = 54.6 \text{ ppm} = 54.6 \text{ g/tn}$$

$$K = 54.6 \text{ g/tn} * 3000 \text{ tn/ha} = 163,800 \text{ g/ha}$$

$$K = 163,800 \text{ g/ha} * 1\text{kg}/1000\text{g} = 164 \text{ kg/ha}$$

Entonces, para nivelar los nutrientes

Nivelación requerida= Requerimiento - Existencia

	Requerimiento en producción (kg/ha)	Existencia en el suelo (kg/ha)	Para nivelar el suelo (kg/ha)	Para nivelar el suelo (lb/ha)
Nitrógeno	300	80	220	479
Fósforo	50	27	23	53
Potasio	600	164	436	948

Si el resultado fuera negativo quiere decir que no sería necesario nivelar

¿Cuánto tendría que aplicar de fertilizantes para nivelar el suelo a los requerimientos sugeridos para etapa de producción?

Pensar en estrategia para calcular fertilizantes:

- Vamos a usar el fertilizante 15-15-15 que es el más común
- Primero calcular cuánto de ese fertilizante se necesita para suplir Nitrógeno
- Luego calcular cuánto de Potasio estaría aportando la cantidad de ese fertilizantes y complementar con K-MAG
- Verificar el Fósforo

¿Cuánto tiene un saco de fertilizante 15-15-15?

El saco tiene 100 lb

% de Nitrogeno

15 lb de N/saco

15

15

15

% de P₂O₅ (fosfato o
oxido de fosforo)

P=43.66% de P₂O₅

$15 * 0.4366 =$
6.5 lb de P/saco

% de K₂O
(oxido de potasio)

K=83.01% de K₂O

$15 * 0.8301 =$
12.45 lb de K/saco



0-0-22-18-22

Aplicación al suelo

INGREDIENTES	%
Potasio soluble (K_2O)	22
Magnesio soluble (MgO)	18
Azufre (S)	22

Registro MAGAP No. 03052063

Fabricado bajo un Sistema de Gestión
Certificado en cumplimiento con los estándares
de la NORMA ISO 9001:2008 por SGS

100 lb



DISTRIBUIDO POR FERTISA

Av. San Juan Bosco y la H
Almacenar cerrado en lugar fresco y seco,
manténgase fuera del alcance de los niños

© 2014 The Mosaic Company. Todos los derechos reservados.
K+Mag es una marca comercial registrada de The Mosaic Company.

% de K_2O
(óxido de potasio)

$K = 83.01\%$ de K_2O

$22 * 0.8301 =$
18 lb K/saco



% de Nitrogeno

46 lb de N/saco

¿Cuánto de 15-15-15 para nivelar Nitrógeno?

Sacos de fertilizante = $479 / 15 = 32$ sacos/ha

Para Potasio:

Cuánto K tienen los 32 sacos de 15-15-15?

$$32 \text{ sacos} * 12.5 = 397 \text{ lb de K}$$

Pero necesito 948 lb de K, entonces me falta 551 lb de K que puedo suplirlo con una fuente única de K, como el KMAG

Cada saco de KMAG tiene 18 lb de K

$$\text{Sacos de KMAG} = 551 / 18 = 30 \text{ sacos/ha}$$

Entonces, para nivelar Nitrógeno y Potasio necesito:

32 sacos de fertilizante (15-15-15) y 30 sacos de KMAG por hectárea

Verifiquemos qué pasa con el Fósforo:

32 sacos de fertilizante * 6.5 = 209 lb de P
(se está poniendo más de lo requerido de P, a futuro evitar fuentes con P)

Mensaje:

Esas son las cantidades de nutrientes que se necesitarían para nivelar el suelo a los requerimientos para un buen rendimiento

Luego habrá que hacer un cálculo del balance de nutrientes para reponer lo que sale del sistema cada año (a partir del siguiente año que se ha nivelado).
ESO YA ES EL BALANCE DE NUTRIENTES

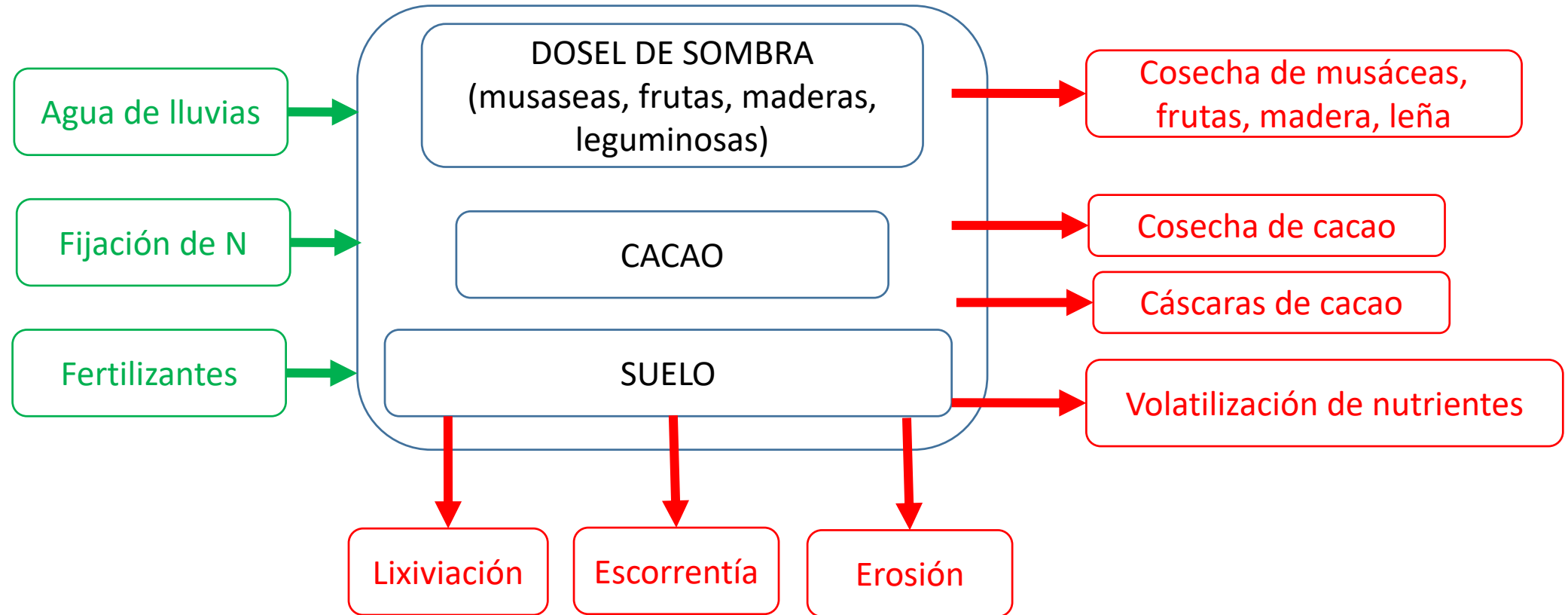
Se recomienda hacer los análisis de suelos cada dos o tres años para verificar que el suelo se mantiene en el nivel de requerimientos

Para calcular dosis de fertilizantes y mantener un buen balance nutricional, se debe calcular la diferencia entre los insumos de cada nutriente y las salidas/perdidas

=

Balance de Nutrientes

¿Qué es un balance de nutrientes en un sistema de producción?



Balance de nutrientes = Entradas – Salidas

Si es negativo, sabré cuánto tengo que aportar para balancearlo

Referencias de salidas

Cantidad de nutrientes (kg) en 1000kg de cacao seco

	Granos			Cascara			Total			Calculated from
	N	P	K	N	P	K	N	P	K	
Malaysia	20.4	3.6	10.5	10.6	1.3	43.3	31.0	4.9	53.8	Thong and Ng (1978)
Venezuela	39.3	n.d. ^a	n.d.	31.4	n.d.	n.d.	70.7	n.d.	n.d.	Aranguren <i>et al.</i> (1982a)
Costa Rica ^b	19.3	4.6	10.9	11.5	1.8	34.5	30.8	6.4	45.4	Heuvel dop <i>et al.</i> (1988)
Costa Rica ^c	21.3	4.2	10.5	14.8	1.8	27.2	36.1	6.0	37.7	Heuvel dop <i>et al.</i> (1988)
Brazil	22.0	n.d.	n.d.	12.0	n.d.	n.d.	34.0	n.d.	n.d.	Santana <i>et al.</i> (1982)
Cameroon	19.2	4.4	10.6	15.0	1.9	62.0	34.2	6.3	72.6	Boyer (1973)
Nigeria	22.8	4.0	8.4	17.0	2.3	77.2	39.8	6.3	85.6	Wessel (1985)
Nigeria	22.9	3.9	8.5	15.4	1.8	68.4	38.3	5.7	76.9	Wessel (1985)
Ivory Coast	22.1	3.0	7.5	13.2	1.8	43.0	35.3	4.8	50.5	Snoeck and Jadin (1992)
Trinidad	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	44.0	3.5	53.1	van Dierendonck (1959)
Trinidad	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	26.6	4.5	37.4	van Dierendonck (1959)

^aNo data.

^bCocoa with *Cordia alliodora* as shade tree.

^cCocoa with *Erythrina poeppigiana* as shade tree.

Promedio 38.3 5.4 51.3

Datos ejemplo para el balance de nutrientes

Entradas:

Fertilizantes = 2 sacos/ha del fertilizante 15-15-15

N de lluvia: 13 lb N/ha

K de lluvia = 11 lb K/ha

N fijado por leguminosas = 9 lb N/ha

Objetivos de producción (representan salidas):

Granos de cacao seco = 1000 kg/ha

Banano = 200 racimos/ha

Leña = 1 carga/ha

Extracción de nutrientes por kg de cacao seco

	N	P	K
Kg	0.038	0.005	0.051
Lb	0.082	0.011	0.111

Extracción de nutrientes en cáscara por cada kg de cacao seco

	N	P	K
Kg	0.015	0.002	0.06
Lb	0.033	0.004	0.131

Extracción de nutrientes por racimo de banano

	N	P	K
Kg	0.031	0.004	0.106
Lb	0.067	0.009	0.231

Extracción de nutrientes por carga de leña

	N	P	K
Kg	5	0.25	3
Lb	11	0.54	6.5

Datos ejemplo para el balance de nutrientes

ENTRADAS	Nitrógeno (lb/ha)	Fósforo (lb/ha)	Potasio (lb/ha)
Fertilizante			
Lluvia			
Fijación N			
Suma ENTRADAS			
SALIDAS	Nitrógeno (lb/ha)	Fósforo (lb/ha)	Potasio (lb/ha)
Cacao seco			
Cáscaras de cacao			
Banano			
Leña			
Suma SALIDAS			
BALANCE DE NUTRIENTES			

Datos ejemplo para el balance de nutrientes

ENTRADAS	Nitrógeno (lb/ha)	Fósforo (lb/ha)	Potasio (lb/ha)
Fertilizante	30.0	13.1	24.9
Lluvia	13.0	0.0	11.0
Fijación N	9.0	0.0	0.0
Suma ENTRADAS	52.0	13.1	35.9
SALIDAS	Nitrógeno (lb/ha)	Fósforo (lb/ha)	Potasio (lb/ha)
Cacao seco	82.0	11.0	111.0
Cáscaras de cacao	33.0	4.0	131.0
Banano	13.4	1.8	46.2
Leña	11.0	0.5	6.5
Suma SALIDAS	139.4	17.3	294.7
BALANCE DE NUTRIENTES	-87.4	-4.2	-258.8

¿Cuánto de 15-15-15 para balancear Nitrógeno?

Sacos de fertilizante = $87.4 / 15 = 6$ sacos/ha

Para Potasio:

Cuánto K tienen los 6 sacos de 15-15-15?

$$6 \text{ sacos} * 12.5 = 75 \text{ lb de K}$$

Pero necesito 259 lb de K, entonces me falta 184 lb de K que puedo suplirlo con una fuente única de K, como el KMAG

Cada saco de KMAG tiene 18 lb de K

$$\text{Sacos de KMAG} = 184 / 18 = 10 \text{ sacos/ha}$$

Entonces, para balancear Nitrógeno y Potasio necesito:

6 sacos de fertilizante (15-15-15) y 10 sacos de K MAG por hectárea

Verifiquemos qué pasa con el Fósforo:

6 sacos de fertilizante * 6.5 = 39 lb de P

(se está poniendo más de lo requerido de P, a futuro evitar fuentes con P)

LES PROVEEREMOS UNA HERRAMIENTA EN
EXCEL PARA TODOS LOS CÁLCULOS QUE VIERON
EN ESTA PRESENTACIÓN

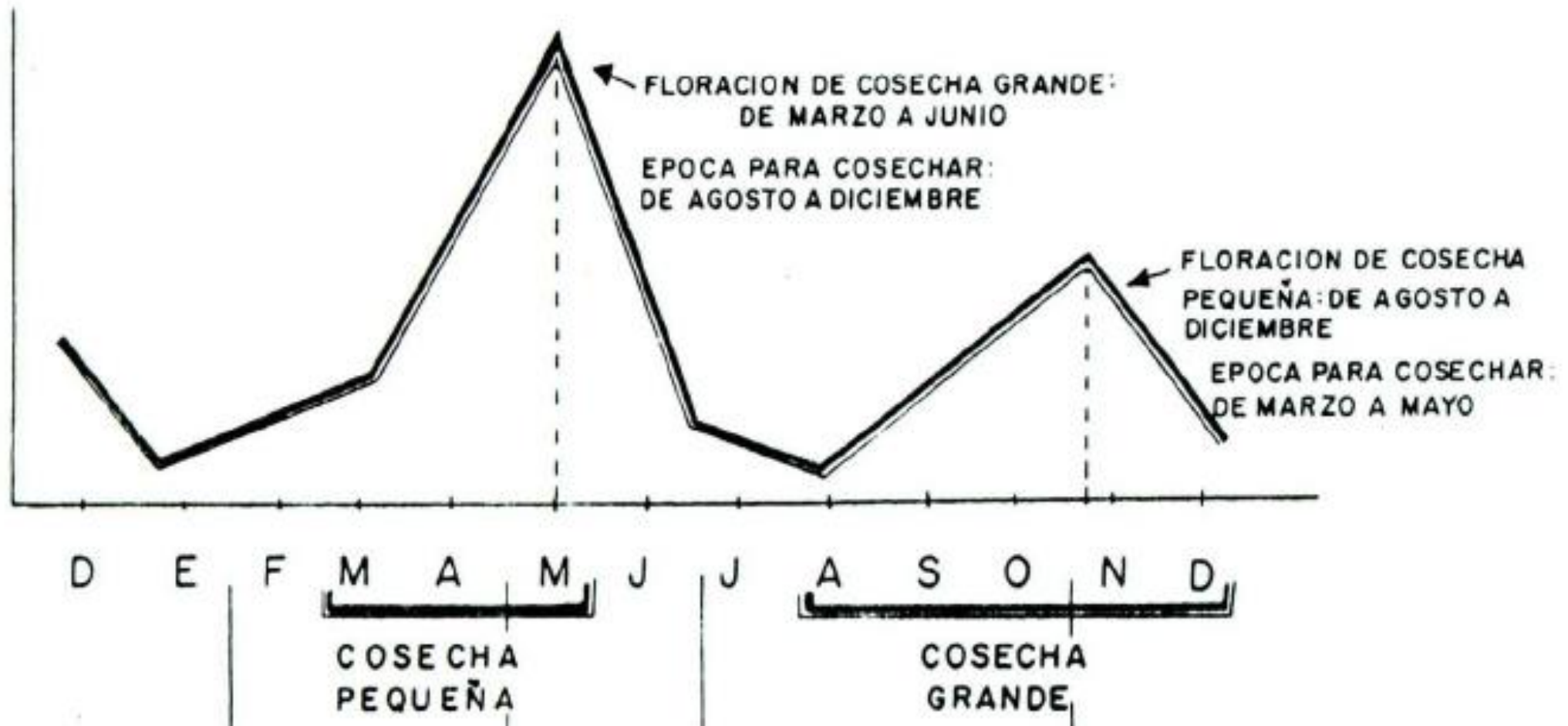
AHORA:

¿En cuántas veces al año podríamos dividir las dosis de fertilizantes? De qué dependería

¿Cuándo se debería hacer los encalados y las fertilizaciones?

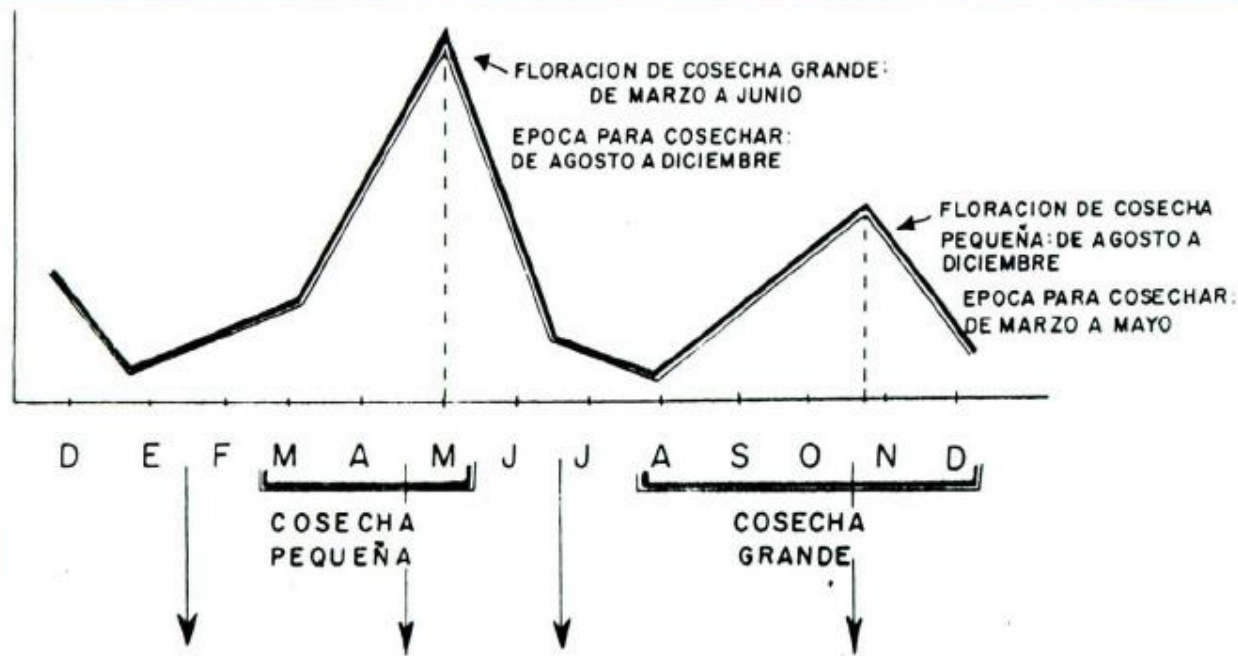
¿Cómo se hace la aplicación de fertilizantes?

Épocas de fertilización



En este ejemplo, Cuándo habría que fertilizar?

Cuántas veces al año?



Recomendación para la Finca La Lola Costa Rica.

- 1a. Aplicación: enero o febrero
- 2a. Aplicación: abril o mayo
- 3a. Aplicación: julio o agosto
- 4a. Aplicación: octubre o noviembre

Si puedo aplicar solo dos veces al año, cuándo serían esas aplicaciones?

Si puedo aplicar solo dos veces al año, cuándo serían esas aplicaciones?

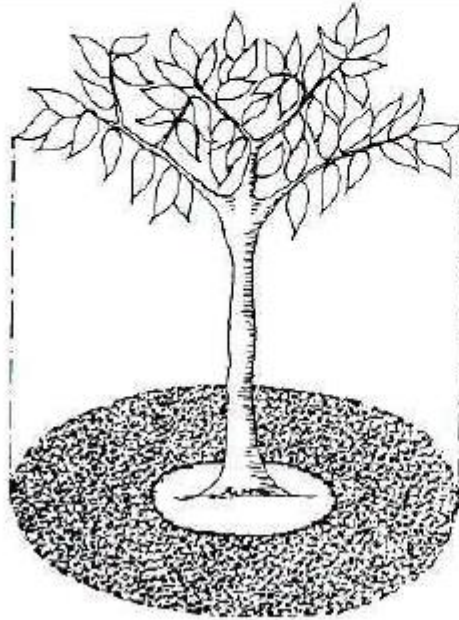
Formas de aplicación

Alrededor del tronco

- 2-12 meses a 50 cm
- 12-30 meses a 1 m
- Más de 3 años de 1.5 a 2 m.



HASTA LOS DOS AÑOS



PLANTA ADULTA

Distribución

- Semicírculo
- Voleo o esparcido
- En banda



Formas de aplicación



Literatura recomendada

Sustainable Agriculture Reviews, vol. 19 (2016)

Chapter 4 Cacao Nutrition and Fertilization

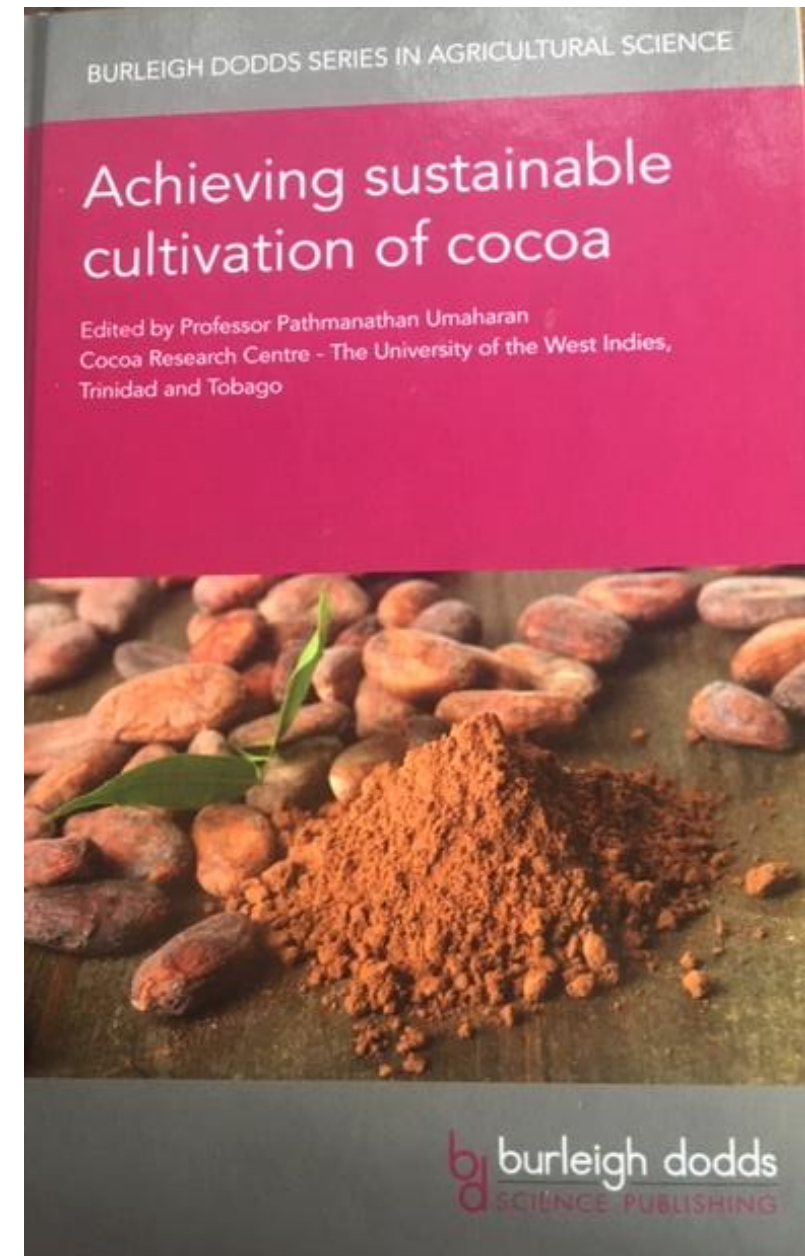
Didier Snoeck, Louis Koko, Joel Joffre, Philippe Bastide, and Patrick Jagoret

NUTRIENT STOCKS, NUTRIENT CYCLING, AND SOIL CHANGES IN COCOA ECOSYSTEMS: A REVIEW

Alfred E. Hartemink

ISRI-World So

Advances in Agronomy, Volume 86



GRACIAS

Rolando Cerda rcerda@catie.ac.cr