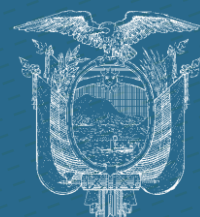


INSTITUTO NACIONAL DE  
INVESTIGACIONES AGROPECUARIAS



EL  
GOBIERNO  
DE TODOS

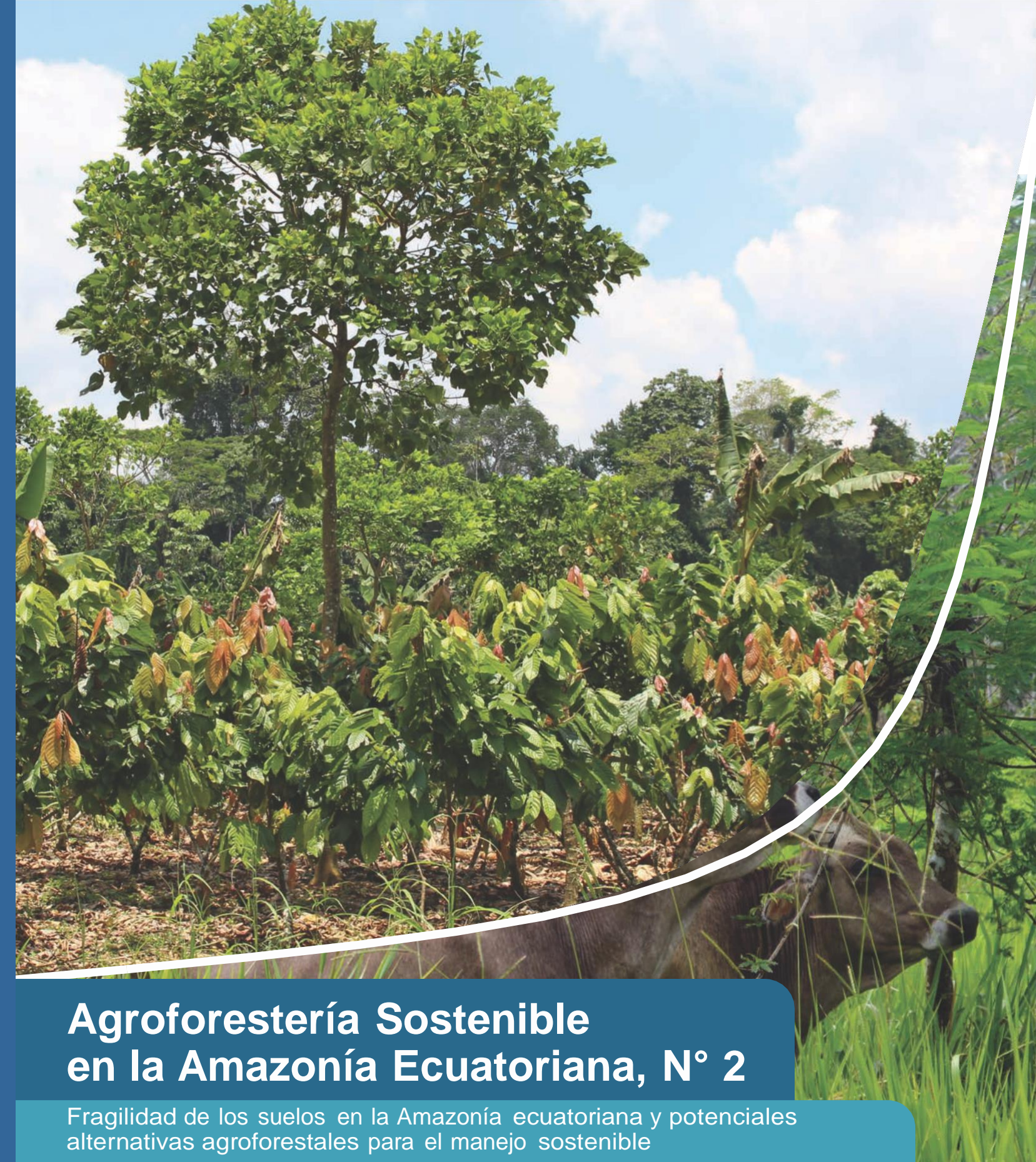
CATIE (Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza) es un centro regional dedicado a la investigación y la enseñanza de posgrado en agricultura, manejo, conservación y uso sostenible de los recursos naturales. Sus miembros son Belice, Bolivia, Colombia, Costa Rica, El Salvador, Guatemala, Honduras, México, Nicaragua, Panamá, Paraguay, República Dominicana, Venezuela y el Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura (IICA).



ISBN: 978-9942-36-039-7



9 789942 360397



## Agroforestería Sostenible en la Amazonía Ecuatoriana, N° 2

Fragilidad de los suelos en la Amazonía ecuatoriana y potenciales alternativas agroforestales para el manejo sostenible

agroinvestigacionecuador

@INIAPECUADOR

agroinvestigación iniap

[www.iniap.gob.ec](http://www.iniap.gob.ec)



# **Agroforestería Sostenible** en la Amazonía Ecuatoriana, N° 2

Fragilidad de los suelos en la Amazonía ecuatoriana  
y potenciales alternativas agroforestales  
para el manejo sostenible

Julio, 2018

## Publicación Miscelánea No. 445

### Créditos

#### **Autores:** Astorga

Carlos Barrera  
Paulo Bastidas  
Félix Caicedo  
Carlos Calderón  
Darío Calero  
Andrés Casasola  
Francisco Chávez  
Joffre Congo Carlos  
Virginio Filho Elias de Melo  
Díaz Alejandra  
Fernández Fabián

Lima Luís  
Moncayo Luis  
Osorio Bertín  
Paredes Nelly  
Pico Jimmy  
Sotomayor Dennis  
Subía Cristian  
Vargas Yadira  
Vera Antonio Vizuete  
Omar Velástegui  
Francisco

#### **Revisores:**

Caicedo Carlos - INIAP  
Moncayo Luís - INIAP  
Paredes Nelly - INIAP  
Pico Jimmy - INIAP  
Subía Cristian - INIAP  
Vargas Yadira - INIAP  
Vera Antonio - INIAP  
Casanoves Fernando - CATIE  
Villarreyna Rogelio - CATIE  
Villanueva Cristóbal - CATIE

#### **Editores:**

Elias de Melo Virginio Filho (CATIE)  
Carlos Astorga D (Consultor CATIE)  
Francisco Casasola (CATIE)  
Carlos Caicedo (INIAP)

#### **Fotografías:**

Elias de Melo Virginio Filho  
Carlos Astorga Domia  
Francisco Casasola  
Cristian Subía García  
Jimmy Pico

#### **Diagramación:**

Rocío Jiménez Salas,  
Tecnología de Información  
y Comunicación, CATIE

## Capítulo 9

# Balance de nutrientes en sistemas productivos con café, cacao y pastos: una guía para técnicos facilitadores de capacitación y asistencia técnica en la amazonia ecuatoriana

*Carlos Astorga, Francisco Casasola.*

El suelo es un ecosistema vivo y complejo, compuesto por agua, aire, sustancias sólidas y gran número de seres vivos que interactúan activamente. Todos los elementos que lo constituyen y están presentes en el suelo son determinantes para la presencia y disponibilidad de nutrientes, los cuales inciden sobre la condición del mismo y la permanencia de las actividades agropecuarias en un sistema productivo (Sadeghian *et al.* sf).

## 9.1. Nutrientes para la producción agropecuaria

Los nutrientes mayores que se encuentran en las plantas, frutos y productos que utilizamos de las plantas son el carbono, nitrógeno, oxígeno, fósforo, potasio y azufre, etc. y cada uno de estos nutrientes son parte de un proceso o ciclo biológico y químico (biogeoquímico) diferente, el cual requiere de un manejo del suelo de forma única. Debido a las pérdidas o exportaciones de nutrientes fuera del suelo por la cosecha de las plantas, procesos de lixiviación y/o la volatilización, los fertilizantes químicos u orgánicos deben ser adicionados continuamente en grandes cantidades, en muchos agroecosistemas para reponer la pérdida de los mismos. Además, el costo de los fertilizantes como insumo está aumentando, y el fertilizante lixiviado contamina las fuentes de agua superficiales y subterráneas; de este modo, la comprensión de cómo deben reciclarse eficientemente los nutrimentos en los agroecosistemas es esencial para la sostenibilidad a largo plazo de los sistemas de producción (Gliessman, 2002).

El café, cacao, los pastos y las plantas en general requieren del suministro de nutrientes (elementos) para realizar sus funciones vitales que le permitan elaborar sus propios alimentos para cumplir con los ciclos de mantenimiento, producción y reproducción. En principio las plantas requieren cuatro elementos básicos para realizar sus funciones, estos son: **luz**, permite a las plantas realizar la fotosíntesis en las hojas, **temperatura**, cada especie de planta está adaptada para desarrollarse en un ambiente determinado (frio o caliente), todas las plantas requieren una temperatura óptima la cual es la condición de confort para cumplir su ciclo de vida, sin embargo, las plantas soportan rangos de temperaturas extremas las cuales se denominan temperatura máxima

y mínima, a partir de esos rangos la planta no puede funcionar adecuadamente y puede llegar a morir si se encuentra en condiciones extremas (<http://www.slideshare.net/utzsamaj/funcin-de-los-nutrientes>).

El **agua** es un elemento básico para las plantas y la requiere en cantidades importantes a lo largo de su ciclo de vida. El agua la toman las plantas del suelo y

la absorben a través de las raíces. Igualmente las plantas requieren cierta cantidad de agua, así se encuentran plantas que están adaptadas para desarrollarse en ambientes secos o con poca disponibilidad de agua, mientras que otras requieren condiciones de alta disponibilidad de agua (ambientes húmedos). Cuando las plantas en ciertos periodos de tiempo enfrentan condiciones adversas de disponibilidad de agua entran en lo que se denominan periodos de estrés, por ejemplo, en tiempos de sequía el agua es limitante, las plantas retienen el agua, y reducen su funciones metabólicas para ahorrar agua, si la condición se prolonga puede llegar a producir la muerte de la planta, mientras que puede presentarse la condición contraria con alta disponibilidad de agua que puede llegar a saturar el suelo y si la condición se prolonga por varios días desaparece el oxígeno del suelo provocando que las raíces de las plantas no puedan respirar y producir serios daños y hasta la muerte de las plantas o árboles. Por lo anterior es que es importante conocer los requerimientos de las plantas respecto a luz, temperatura y agua para establecer y manejar los cultivos apropiadamente (Cornell, sf.).

Finalmente, el café, cacao y pastos requieren de los **nutrientes** que constituyen el alimento o la materia prima para que las plantas elaboren sus propios alimentos. Como se mencionó anteriormente las plantas requieren de 16 elementos, los cuales se subdividen en macronutrientes porque las plantas los requieren de mayores cantidades y micronutrientes porque las plantas los requieren en menores cantidades:

**Macronutrientes: C-H-O-N-P-K-Ca-Mg-S**

**Micronutrientes: Fe-Mn-B-Mo-Cu-Zn-Cl**

El carbono y el oxígeno lo toman las plantas del aire en forma de CO<sup>2</sup> (dióxido de carbono), a través de las hojas.

El hidrógeno lo toman las plantas del agua que absorben por las raíces y que está disponible en el suelo, los catorce elementos restantes se encuentran en el suelo y son absorbidos por las raíces y transportados hasta las hojas donde son utilizados por la planta para preparar los alimentos. Como los nutrientes son absorbidos

por las raíces y transportados hasta las hojas para producir los alimentos que la planta necesita, estos deben estar en solución en el suelo por lo que la presencia y disponibilidad de agua en el suelo es fundamental para que los nutrientes puedan ser absorbidos por las raíces.

El cuadro 1 presenta los nutrientes esenciales para las plantas y enumera la(s) principal(es) función(es), así como, las características o proceso que se afecta y/o manifiesta la planta cuando el nutriente es limitante (Cornell, sf.) (Cuadro 28).

**Cuadro 28. Nutrientes y funciones que desempeñan en la planta y principales síntomas de deficiencia.**

Nutriente	Función(es)	Deficiencia
Carbono	Interviene en el proceso de fotosíntesis, la planta lo toma a partir del CO <sub>2</sub> que se encuentra en el aire	La ausencia de carbono produce la muerte de la planta por falta de fotosíntesis.
Oxígeno	Es indispensable para el proceso de fotosíntesis, respiración celular y es parte estructural de compuestos como los carbohidratos, proteínas, etc que produce la planta.	La ausencia de oxígeno produce la muerte de la planta por falta de fotosíntesis.
Hidrógeno	Interviene en los procesos de fotosíntesis y es parte estructural de compuestos como los carbohidratos, proteínas, etc que produce la planta.	La ausencia de hidrógeno produce la muerte de la planta por falta de fotosíntesis.
Nitrógeno	Interviene en el desarrollo de hojas, forma parte de las proteínas, se encuentra en los cloroplastos de las hojas, participa en la fotosíntesis.	Su deficiencia muestra las hojas viejas de color amarillento y se produce la defoliación de la planta.
Fósforo	Influye en la producción y almacenamiento de energía.	Su carencia en hojas viejas, ocasiona manchas amarillas desuniformes que se vuelven de color rojo violeta.
Potasio	Proporciona consistencia a los tejidos, aumentando su resistencia a las enfermedades, es fundamental en la formación de almidones.	La deficiencia se manifiesta por la aparición de zonas necróticas en el ápice y bordes de hojas viejas.
Calcio	Actúa en los puntos de crecimiento y favorece el desarrollo de raíces.	Su carencia provoca un color blanquecino, volviendo convexas las hojas jóvenes. Tiene poca movilidad en la planta.]
Magnesio	Participa en el proceso fotosintético y contribuye al aprovechamiento del Fósforo.	Las hojas viejas con deficiencia, son amarillentas, con nervaduras secundarias color verde.
Azufre	Interviene en la composición de aminoácidos y se relaciona con la transformación de la energía.	Las hojas jóvenes con deficiencia, se vuelven amarillentas con nervaduras verdes, hay defoliación y acortamiento de entrenudos.
Hierro	Forma parte de la clorofila y participa en el metabolismo de la planta.	Su carencia muestra hojas jóvenes amarillentas, con nervaduras verde oscuro.
Boro	Participa en la división celular, influyendo en la fertilidad de las flores y crecimiento del café.	Su carencia muestra hojas nuevas amarillentas, deformes, pequeñas, lanceoladas y bordes redondeados. Hay muerte de yemas apicales.
Zinc	Es precursor del ácido Indol Acético (AIA), hormona responsable del crecimiento meristemático.	Su deficiencia se manifiesta en hojas jóvenes con clorosis intervenal, deformes, pequeñas y quebradizas.

Nutriente	Función(es)	Deficiencia
Manganeso	Participa en la fotosíntesis, formando parte de la mangano-proteína responsable de la fotólisis del agua y producción de O <sub>2</sub> . Interviene en la síntesis de proteínas, ya que participa en la asimilación del amonio (NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> ).	La deficiencia de manganeso en los distintos tipos de cultivos se manifiestan mayormente en las hojas y el síntoma más notable es una clorosis en las hojas.
Molibdeno	El molibdeno cumple una importante función en el intercambio de nitrógeno.	Una deficiencia de este microelemento retiene la formación de la clorofila y disminuye generalmente el contenido del ácido ascórbico.
Cobre	Activa las enzimas y muchas veces forma parte de ellas, protege las plantas participando en la formación de la vitamina C	La deficiencia puede conducir a problemas como el marchitamiento prematuro de las hojas, el resquebrajamiento y el color amarillento de estas.
Cloro	Interviene en el metabolismo de la planta	No se conoce los efectos de deficiencia en la plantas.

Fuente: Funciones de los elementos. Disponible en: <http://www.slideshare.net/utzsamaj/funcin-de-los-nutrientes>

Flor de planta. Disponible en: <http://www.flordeplanta.com.ar/fertilizantes-suelos/micronutrientes-propiedades-y-funciones-del-cobre-en-las-plantas/>

Propiedades de los nutrientes de las plantas. Disponible en: <http://www.botanical-online.com/propiedadesnutrientes.htm>

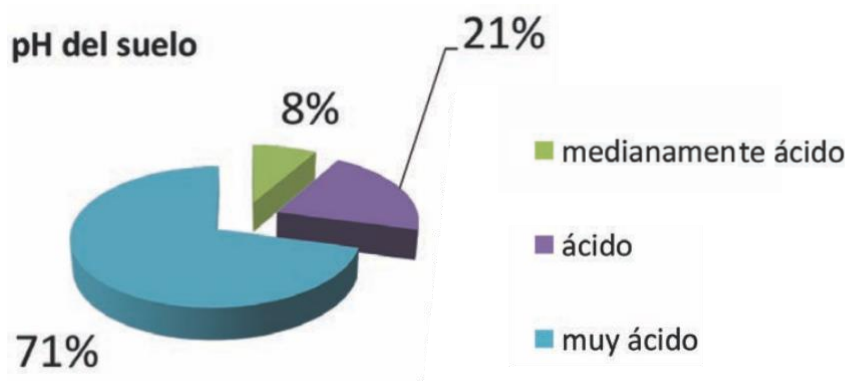
## 9.2. Efecto de los desequilibrios de los nutrientes o deficiencias en café, cacao y pastos

Cuando los nutrientes que están en el suelo no son suficientes o no se encuentran en la proporción correcta como por ejemplo la relación potasio, calcio y magnesio, se presentan condiciones desfavorables para la planta ya que dificulta la absorción de los mismos.

Otra característica que se presenta en los suelos es lo que se conoce como acidez o pH del suelo. El pH del suelo se mide en un rango de 0 a 14, por lo que un suelo neutro tiene un pH de 7, menor de 7 son suelos ácidos y mayor a 7 son suelo alcalinos. Diferentes factores contribuyen a que un suelo sea ácido o básico iniciando por el origen del suelo que es uno de los principales factores que determinan si un suelo será ácido, además de los factores de clima como temperatura, precipitación, etc que intervienen en los procesos de meteorización del material parental de los suelo (Cruzate y Casas, 2012).

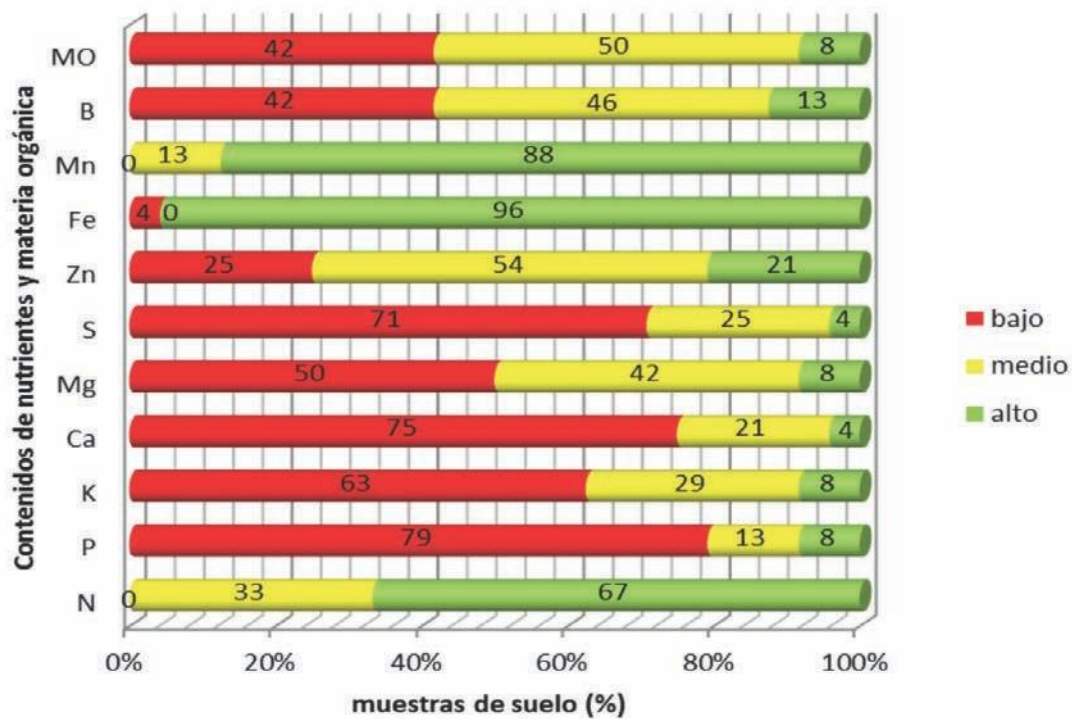
La Amazonía Ecuatoriana por el origen de los suelos y las condiciones de ambiente, los suelos son principalmente ácidos o muy ácidos (Figura 18) por lo que esta condición representa una limitante importante para el desarrollo de los cultivos ya que la acidez tiene una relación estrecha con la disponibilidad de nutrientes (Figura 19), además de las condiciones de ambiente otros factores como prácticas de cultivo intensivas, el monocultivo, el uso de fertilizantes químicos, etc. contribuyen a incrementar la acidez del suelo y en consecuencia ponen en riesgo la sostenibilidad de los sistemas de producción (Días, 2014).

La región amazónica se caracteriza por presentar alta precipitaciones y altas temperaturas lo que se denomina Trópico húmedo, estas condiciones tienen un efecto directo en las características del suelo, además, el exceso tiene un efecto directo en el metabolismo de las plantas sobre todo en el ciclo de crecimiento ya que reduce el contenido de oxígeno en la zona radicular de las plantas relacionadas con una deficiente circulación de nutrientes, alta temperatura y deshidratación condiciones que inciden directamente en el crecimiento y los rendimientos potenciales de los cultivos como café, cacao y pastos (<https://www.oas.org/dsd/publications/Unit/oea27s/ch12.htm>).



Fuente: Días A., 2014.

**Figura 18.** Porcentaje de acidez del suelo de 24 parcelas, Provincia de Orellana.



Fuente: Días A., 2014.

**Figura 19.** Fertilidad de los suelos de 24 parcelas, provincia de Orellana.



Otros aspectos que tienen incidencia en la disponibilidad de nutrientes en los suelos amazónicos que tienen incidencia en la producción de los cultivos se mencionan:

- I Mecanismos de los ciclos de nutrientes en el suelo: mientras la biomasa se descompone o se perturba en forma continuada, los rendimientos disminuyen;
- I Alto índice del ciclo de nutrientes: muy pocos nutrientes se pierden cuando hay una cubierta vegetal continua, ya sean bosques o cultivos permanentes, pero con buena cobertura de suelo por la hojarasca;
- I Baja capacidad de intercambio de cationes (CIC): la mayor parte de los suelos de los trópicos húmedos no ofrecen producción sostenida sin fertilización. Los suelos con CIC alto tienen menos pérdida de nutrientes debido a la lixiviación y a una mejor respuesta a la fertilización (Jordán, 1982).

### 9.3. Balance de nutrientes

El balance de nutrientes es la diferencia entre la cantidad de nutrientes que entran y que salen de un sistema definido en el espacio y en el tiempo. En general, estos balances se consideran para la capa de suelo explorada por las raíces en períodos anuales. Esta definición permite estimar balances nutricionales de un lote en una campaña (ciclo) agrícola a partir de los nutrientes que egresan del suelo en los granos y forrajes cosechados, en los productos animales y en los residuos de cultivos que son transferidos a otros lotes. Los ingresos de nutrientes al suelo están constituidos por los aportados por fertilizantes, abonos orgánicos (incluyendo residuos de cultivos no generados en el mismo lote) y, en el caso

de nitrógeno (N), por la fijación de  $N_2$  del aire (García O, 2015). El aporte de nutrientes de los residuos de cultivos realizados en el mismo lote, se considera un reciclaje de nutrientes dentro del mismo sistema suelo y, por lo tanto, no se incluye entre los ingresos (Fontanetto y Gambaudo, 2010).

Los balances de nutrientes han merecido especial atención en los últimos años, esté, se puede estimar a distintas escalas espaciales (lote, establecimiento, región, país) y temporales (cultivo anual, toda una secuencia de rotación, etc.). En general, los balances se estiman sobre la reserva total de nutrientes del suelo, bajo el concepto de “caja negra”, es decir sin considerar las transformaciones de los nutrientes y sus fracciones dentro del suelo (García y González Sanjuan, 2010; Cruzate y Casas, 2012).

Frecuentemente, los cambios en los balances de nutrientes suelen asociarse con variaciones en una fracción específica del nutriente en el suelo o con un indicador de su disponibilidad porque es más difícil estimar los impactos de balances negativos y positivos sobre la cantidad total de nutrientes de un suelo. Por otra parte, los contenidos totales de los nutrientes en los suelos (por ejemplo, N o P total) se relacionan muy débilmente o no se relacionan con la producción de los cultivos. Así, para el caso de P, el efecto de los balances suele relacionarse con la variación del P que es solamente un índice de la disponibilidad de este nutriente (García O, F; González Sanjuan, sf).

#### 9.3.1. ¿Por qué es importante estimar el balance de nutrientes?

La importancia de estimar el balance de nutrientes, ya sea a nivel país o región o a nivel de lote (finca), radica en que permite determinar la cantidad de nutrientes que se están extrayendo de la finca o parcela de producción. Los balances negativos son indicativos de que se extrae una mayor cantidad de nutrientes de los que se incorporan al sistema de producción, razón por la cual es necesario aplicar fertilizantes (nutrientes) al suelo para

evitar que disminuya la fertilidad de los suelos afecten

la productividad y rentabilidad del sistema, además de degradar el recurso volviéndolo improductivo en el transcurso del tiempo. Por otra parte, balances exageradamente positivos (aplicar más nutrientes de los que se extraen con los granos y/o forrajes), resultan en bajas eficiencias de uso de los nutrientes y pobres resultados económicos y pueden generar problemas ambientales (Cordone y Martínez, 2004).

### 9.3.2. ¿Cómo realizar un balance de nutrientes?

Se han propuesto muchas metodologías para realizar un balance de nutrientes desde las más elementales donde se parte de los productos y materiales que salen de un sistema de producción como por ejemplo café o cacao en grano, bananos, plátanos, naranjas, leña, madera, etc. o el pasto que consumen los animales para la producción de leche o carne, hasta métodos más complejos que incorporan más variables o bien requieren realizar análisis más complejos para determinar el contenido de ciertos elementos en el suelo y en los productos que se extraen de la parcela (finca) y de los mismos que entran al sistema de producción.

Por ejemplo, para el cálculo de balances de nutrientes en agroecosistemas se han desarrollado múltiples herramientas computacionales para tal fin entre ellas: el N-Cycle (Nutrient-Cycling, Crops, Livestock, Environment and Soils) (Pellerin *et al.* S.F.), el WFN BET (Whole Farm Nutrient Balance Education Tool), FNB (Maryland Farm Nutrient Balancer) (Kohn 2001), WFNB (Whole Farm Nutrient Balance) (Paschold y Koelsch 2006), Whole Farm Nutrient Balance Spreadsheet (Cornell S.F.), que son en esencia hojas de cálculo con programación lineal en Microsoft Excel; así como el programa Nutmon (Nutrient monitoring for tropical farming systems); los cuales facilitan coleccionar, organizar información para tomar decisiones sobre el manejo del cultivo (Vlaming *et al.* 2003).

Sin embargo, las herramientas antes mencionadas son complejas y además requieren en cierta medida de toma de muestras en campo y análisis de laboratorio con diferente grado de complejidad que muchas veces no están a disposición de personal técnico y/o productores, o bien el costo de los análisis limita en cierto grado la realización de los mismos. Es por eso que el CATIE, en 2012 publicó una metodología bastante simple para realizar el balance de nutrientes a nivel de campo con productores (Haggar *et al.* 2012). Por la simplicidad de la metodología es por eso que para los efectos de esta publicación se ha considerado oportuno incorporarla con el propósito de que los técnicos y productores hagan usos de esta herramienta.

#### La metodología consiste en:

El propósito de aplicar la metodología propuesta es: Determinar si se está manejando bien la fertilidad del suelo del cafetal, cacaotal o potrero(s) que permitan la producción sostenible de los sistemas de producción y en caso contrario que permita conocer las limitaciones que se presentan en el sistema de producción por la extracción de nutrientes que le permitan al productor tomar las decisiones necesarias para reducir los efectos negativos que se puedan presentar a mediano y largo plazo (Haggar *et al.* 2012).

La forma de hacerlo consiste en revisar el manejo de la fertilidad del suelo determinando cuántos nutrientes salen del cafetal, cacaotal o potrero y cuántos entran. Esto se llama “calcular el balance de nutrientes del sistema de producción”. Cuando entran más nutrientes de los que salen, estamos mejorando la fertilidad del suelo. Si sacamos más nutrientes de los que ponemos, estamos agotando la fertilidad del suelo (Haggar *et al.* 2012).

### 9.3.3. Cálculo de las entradas y salidas de nutrientes de un sistema de producción (café, cacao o pasto)

Lo primero que se debe hacer es determinar cómo entran los nutrientes al sistema de producción y luego cómo salen los nutrientes del sistema de producción. Para realizar esto es necesario preparar una hoja de cálculo (Figura 20) donde se anotan las principales entradas y salidas.

Con la cosecha de café, cacao y la producción de pastos salen nutrientes del sistema de producción, una parte sale en los granos de café, otra parte con la pulpa de café y en el mucílago. En la producción de cacao los nutrientes salen en el grano, pero también en la pulpa de cacao y en algunos casos la cáscara de cacao cuando se extraen las mazorcas de la parcela. En el caso de los pastos los nutrientes salen del sistema de producción por el pasto que es consumido por los animales para lo cual es necesario determinar la producción de pasto en el potrero para así después determinar la cantidad de nutrientes que están consumiendo los animales en forma de pasto.

### Ejemplo de una hoja de cálculo para hacer el balance de nutrientes de un cafetal.

Finca: \_\_\_\_\_ Propietario (a): \_\_\_\_\_

Fecha: \_\_\_\_\_

Salidas	Cantidad	Libras de nutrientes		
		Nitrógeno	Fósforo	Potasio
Cosecha de café				
Aprovechamiento de leña				
Cosecha de banano				
Suma de todas las salidas				
Entradas	Cantidad y fórmula	Libras de nutrientes		
		Nitrógeno	Fósforo	Potasio
Fertilización				
Abonos				
Poda de árboles leguminosos				
Suma de todas las entradas				
Entradas menos salidas (Balance)				

Fuente: Haggan *et al.* 2012

Figura 20. Hoja de cálculo para hacer el balance de nutrientes de un cafetal.

Por cada quintal de café pergamino que sacamos del cafetal, extraemos las siguientes cantidades de nutrientes:

Nitrógeno	Fósforo	Potasio
1,9 lb	0,15 lb	2,05 lb

Fuente: Haggan *et al.* 2012.

En Centro América y otros países de Sur América es común que los familias productoras de café utilicen la leña producto de la poda del café y de los árboles de sombra para cocinar o bien vender la leña a los beneficios de café u otros propósitos. Se ha determinado que para lo que se denomina una marca o carga de leña que consiste en estiba de leña de 2 m de largo, 2 m de alto y 1 m de ancho se extraen:

Nitrógeno	Fósforo	Potasio
10.8 lb	0.74 lb	6,3 lb

Fuente: Haggan *et al.* 2012.

En el Cuadro 29, se presenta la extracción de nutrientes que se produce por cada 1000kg de cacao seco producido, reportada por varios autores en diferentes años, donde se observa que los de mayor importancia son el nitrógeno y potasio, mientras que las cantidades de fósforo, calcio y magnesio extraídas son relativamente bajas. Los contenidos de nutrientes de los frutos, almendras y cáscara de cacao se presentan en el Cuadro 30.

Los sistemas de producción de café y cacao por lo general están asociados con plantas de banano o plátanos

**Cuadro 29.** Extracción de nutrientes en la cosecha de 1000 kg de cacao seco por ha.

Elemento (kg)	Enríquez (2003)	Mejía (2000)	*Heuveldop et.al (1988)	Omotoso (1975)
Nitrógeno	44	31 a 40	19-26	20
Fósforo	10	5 a 6	4-4.3	4
Potasio	77	86	26-28	10
Calcio		5 a 8	5-7	
Magnesio		5 a 7	4-4.5	

\* Media de extracción de 7 años de producción)

**Cuadro 30.** Contenido de nutrientes en frutos, almendras secas y cáscaras de cacao en kg t<sup>-1</sup> (1000 kg).

Parte analizada	Kilogramos				
	N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	CaO	MgO
Frutos	31.0	11.2	64.6	6.9	8.6
Almendras	20.4	8.3	12.6	1.5	4.5
Cáscara	10.6	3.0	52.0	5.3	4.2

Fuente: Enríquez, 1985

los cuales hacen uso las familias productoras para consumo familiar y en algunos casos dedican a la venta en los mercados locales. Hagggar *et al.* (2012), reportan que por cada racimo de banano cosechado se extraen las siguientes cantidades de nutrientes:

Nitrógeno (N)	Fósforo (P)	Potasio (K)
0,068 lb	0,009 lb	0,234 lb

Fuente Hagggar *et al.* 2012.

Para hacer el cálculo del balance de nutrientes, es recomendable disponer de la información de producción de al menos dos cosechas, debido a que la producción de un cafetal o cacaotal puede variar mucho entre un año y el siguiente. Para el caso de los pastos de igual forma es recomendable disponer de información de producción de pasto por año y al menos de dos años consecutivos de toma de datos ya que se presentan variaciones importantes en la producción y en especial cuando se trata de sistemas de pastoreo de animales donde no

existe un sistema de rotación, ya que los animales pastorean sin control en el potrero o finca.

Una vez realizada la determinación de los productos que se extraen del sistema de producción (café, cacao, pasto, etc), se debe proceder a determinar las posibles fuentes de fertilizante (químico u orgánico) que se utilizarán para realizar las aplicaciones correspondientes para reponer los nutrientes que han sido extraídos en los diferentes productos.

Si se va a hacer uso de fertilizantes químicos para realizar la fertilización de los cultivos o pastos, los elementos como el fósforo y el potasio no vienen en el saco como elemento puro sino que se adiciona en forma de un compuesto, es decir que viene acompañado de otros elementos como el oxígeno. Además, hay que fijarse en los números que vienen en el saco ya que estos números indican la cantidad de cada uno de los elementos que contiene el fertilizante en el saco, así por ejemplo una fórmula como 10 – 30- 10 lo que indica es que 10%

del saco está constituido por nitrógeno, 30% de fósforo y 10% de potasio el 50% restante lo constituye un compuesto inerte que no cumple ninguna función en la fertilización es decir que se utiliza para preparar la mezcla y así facilitar la aplicación del fertilizante.

Además, como se mencionó antes, los elementos vienen acompañados de otros elementos y entonces es necesario aplicar un factor de corrección al momento de realizar los cálculos para determinar la cantidad de fertilizante químico que se debe multiplicar el número que viene en el saco que corresponde al fósforo por el factor 0.44 y el tercer número que corresponde al potasio se

multiplica por el factor 0.83, el producto de la multiplicar para restituir los nutrientes al sistema de producción como se presenta a continuación:

Fósforo	Potasio
0,44	0,83

Fuente Hagggar *et al.* 2012.

### 9.3.4. Estudio de caso de balance de nutrientes en cultivo de cacao

Se realizó el estudio de balance de nutrientes en la finca del Sr Ariolfo García en la Parroquia de Enokanqui, cantón Joya de los Sachas, Provincia de Orellana, Ecuador. El estudio fue realizado por técnicos de la Estación Experimental Central de la Amazonia (EECA) del INIAP integrado por la Ing Alejandra Díaz, Ing Andrés Calero, Ing Bertín Osorio y Mvz Francisco Velástegui (2014); como parte del proceso de investigación / capacitación a productores en el marco del proyecto AFAM – CATIE – INIAP.

La producción promedio de la finca de cacao seco en el año 2013 fue de 315 kg ha<sup>-1</sup> (equivalente a 7 quintales ha<sup>-1</sup>), el factor de extracción (salida) de nutrientes para el cultivo de cacao es:

**Nitrógeno (N):** 0,02 kg N / Kg de cacao seco x 315 kg de producción = 6.3 Kg

**Fósforo (P):** 0,008 kg P / Kg de cacao seco x 315 kg de producción = 2.52 Kg

**Potasio (K):** 0,013 kg K / Kg de cacao seco x 315 kg de producción = 4.1 Kg

En consecuencia la producción de cacao seco (315 kg) extrajo 6.3 kg de nitrógeno, 2.52 kg de fósforo y 4.1 kg de potasio, los cuales deberán ser restituidos al sistema de producción (Cuadro 31).

Se determinó la entrada o reposición de nutrientes al sistema de producción por tres vías diferentes:

Entrada (aporte) por fertilización química

**Producto aplicado:** Muriato de potasio (K<sub>2</sub>O) 0-0-60

Cantidad aplicada: 180 Kg.

$$180 \times 0.60 = 108 \text{ Kg de K}_2\text{O}$$

$$108 \times 0.83 \text{ (factor de corrección)} = 89.64 \text{ Kg de K}$$

$$89.64 \times 0.75 \text{ (factor de eficiencia)} = 67.23 \text{ Kg de K}$$

Entrada (aporte) por la especie de leguminosa:

Guaba (*Inga spp*)

Número de árboles: 1

Porcentaje de sombreado: 1 %

Aporte por fijación de nitrógeno: 32.4 Kg ha<sup>-1</sup>

$$32.4 \text{ (fijación de N)} \times 0.01 \text{ (grado de incidencia)} = 0.32 \text{ Kg de N año}^{-1} \text{ ha}^{-1}$$

Entrada (aporte) por la Cáscara de cacao

Cantidad aplicada: 715 Kg

**Nitrógeno (N):** 10,6 Kg/1000 Kg de cáscara

**Fósforo (P):** 3 Kg/1000 Kg de cáscara

**Potasio (K):** 52 Kg/1000 Kg de cáscara

$$\text{Nitrógeno (N): } 10.6 / 1000 = 0.011 \text{ Kg de N} \times 715 = 7.87 \text{ Kg de N}$$

$$\text{Fósforo (P): } 3 / 1000 = 0.003 \text{ Kg de P} \times 715 = 2.15 \text{ Kg de P}$$

$$\text{Potasio (K): } 52 / 1000 = 0.052 \text{ Kg de K} \times 715 = 37.2 \text{ Kg de K}$$

El análisis permitió determinar la cantidad de nutrientes extraídos por la cosecha de cacao seco y las entradas al sistema de producción a partir de la aplicación de fertilizante, el aporte de nitrógeno por un árbol de servicio de la especie *Inga spp* y la cáscara de cacao como residuo de cosecha.

**Cuadro 31.** Balance de nutrientes (salidas y entradas de nutrientes) del sistema de producción con cacao

Salidas	Cantidad Kg	Kg de nutrientes		
		Nitrógeno en kg	Fósforo en kg	Potasio en kg
Cosecha de cacao	315 Kg	6.3	2.52	4.1
	(7qq)			
Suma de salidas	315 Kg.	6.3.	2.52	4.1
Entradas	Cantidad en kg	Kg de nutrientes		
		Nitrógeno en kg	Fósforo en kg	Potasio en kg
Fertilización química	180	0	0	67.23
Abonos orgánicos	715 Kg de cáscara de cacao	7.87	2.15	37.2
Aporte leguminosas	1 árbol de guaba	0.32	0	0
<b>Suma de entradas</b>		<b>8.19</b>	<b>2.15</b>	<b>104.43</b>
<b>Balance (entradas menos salidas)</b>		<b>1.89</b>	<b>-0.37 Kg.</b>	<b>100.33</b>

Además permitió determinar que:

- I El Balance de Nitrógeno (N) es positivo (1.89 Kg), pero se puede fertilizar con este nutriente para garantizar una mayor disponibilidad este elemento para los árboles de cacao.
- I El Balance de fósforo (P) es negativo (-0.37 Kg.), a pesar que el déficit es relativamente bajo se puede incrementar la presencia de este con fertilizantes que aporten este nutriente.
- I El balance de potasio (K) es positivo (+100.33 Kg.) representando un superávit importante de este nutriente, lo que indica que la fertilización aplicada es innecesaria.
- I Se puede mejorar la fertilización del suelo utilizando fertilizantes que aporten menos cantidad de K y más de N y P para lograr que todos los nutrientes se encuentren en niveles adecuados.

### 9.3.5. Estudio de caso balance de nutrientes para banco forrajero

Una hectárea de banco forrajero de napier verde (*Penisetum* spp) en condiciones adecuadas de suelo, con un adecuado plan de fertilización y con suficiente humedad en el suelo puede producir entre 30 a 50 ton/de materia fresca por año. (Toruño *et al.* 2014) y

de acuerdo a los análisis realizados por el laboratorio de calidad de los forrajes de la Estación Experimental Central de la Amazonia (EECA) el pasto napier tiene un 22 % de materia seca.

Por tanto si asumimos una producción de 40 toneladas de materia fresca ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup>, con un 22% de materia seca una hectárea produce:

$40 \text{ t ha}^{-1} \text{ año}^{-1} * 0,22 = 8,8$  toneladas de materia seca ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup>.

Análisis de laboratorio realizados por la EECA muestran que el forraje de napier en base a materia seca contiene:

N%	P%	K%
1,24	0,18	1,87

Y extrae anualmente en kilogramos por hectárea las siguientes cantidades de nutrientes:

Nitrógeno	Fósforo	Potasio
109,1	15,8	164,5

El pasto *Panicum máximum* con una producción de materia seca de 16,5 toneladas/ha extrae por tonelada de materia seca producida 11,8; 5,7 y 50,8 kilogramos de nitrógeno, fósforo y potasio respectivamente, mientras el pasto *Brachiaria* spp con una producción de materia seca de 13 toneladas/ha extrae 12,1; 0,2; y 4,8 kilogramos de nitrógeno, fósforo y potasio por tonelada de materia seca producida (IPNI, 2016).

Para reponer los nutrientes extraídos anualmente existen diferentes formas:

- Utilizando fertilizantes sintéticos (químicos)
- Utilizando estiércol de bovinos
- Un aporte de ambas fuentes

Reposición de nutrientes extraídos por el pasto napier

Asumiendo que un quintal de 10-30-10 aporta N, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> y K<sub>2</sub>O

$46 \text{ kg} * 0,10 = 4,6 \text{ kg de nitrógeno}$

$46 \text{ kg} * 0,30 = 13,8 \text{ kg de P O}$

$46 \text{ kg} * 0,10 = 4,6 \text{ kg de K}_2\text{O}$

Utilizando factores de conversión de 0,44 para pasar de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> a P y 0,83 para pasar de K<sub>2</sub>O a K (Bernal y Espinoza, 2003; Hagggar *et al.* 2012), entonces un quintal de 10-30-10 aporta

$13,8 \text{ Kg de P}_2\text{O}_5 * 0,44 = 6 \text{ kg de P}$

$4,6 \text{ K}_2\text{O} * 0,83 = 3,8 \text{ kg de K}$

Como los aportes de N y K son muy bajos y la extracción por parte del cultivo fue alta se podría aplicar fórmulas altas en K<sub>2</sub>O como el Muriato de potasio (0-0-60) y en N como el nutrán (Nitrato de Amonio) 33,5-0-0 (Solera, 2005).

Cada quintal de muriato de potasio aporta en K

$46 \text{ Kg Muriato de potasio} * 0,60 = 27,6 \text{ kg de K}_2\text{O}$  y por tanto de aplicando el factor de corrección para pasar de K<sub>2</sub>O a K,

$27,6 \text{ kg de K}_2\text{O} * 0,83 = 22,9 \text{ kg de K}$  mientras

Cada quintal de nutrán (33,5-0-0) aporta de N

$46 \text{ Kg nutrán} * 0,335 = 15,4 \text{ kg de N}$

Por otra parte si se utiliza estiércol bovino este aporta las siguientes cantidades de nutrientes.

Contenido promedio de nutrientes en heces recolectadas en fresco, provenientes de vacas doble propósito alimentadas solamente con pastos:

	Nitrógeno	Fósforo	Potasio
Concentración en estiércol (en % del peso seco)	1,5	0,5	0,9
Cantidad de nutrientes en kg (en un quintal de estiércol seco)	0,69	0,23	0,414

Adaptado de Cruz y Nieuwenhuyse, 2008.

A continuación se presenta la eficiencia de aplicación de fertilizantes químicos y abono (estiércol de bovinos) una vez aplicados al suelo:

	Nitrógeno	Fósforo	Potasio
Fertilizante químico	0,5	0,75	0,75
Abono	0,9	0,9	0,9

Fuente: Hagggar *et al.* 2012.

De acuerdo a lo anterior se presenta la cantidad de nutrientes disponibles para uso de las plantas en kilogramos por quintal una vez aplicadas las fuentes al suelo:

Fórmula	Nitrógeno	Fósforo	Potasio
10-30-10	2,3	4,5	2,85
0-0-60	0	0	17,1
33,5-0-0	7,7	0	0
Estiércol de bovino*	0,62	0,21	0,37

Cuando se conoce la extracción de nutrientes por parte del forraje por hectárea al año y el aporte de las diferentes fuentes se realiza un balance de nutrientes, a continuación se presenta un ejemplo:

Salidas	Materia seca	Kg. de Nutrientes		
		Nitrógeno	Fósforo	Potasio
Suma de Salidas En Kg Ha <sup>-1</sup> Año <sup>-1</sup>	8800	109,1	15,8	164,5
Entradas	Cantidad	Aporte de Nutrientes en Kg		
		Nitrógeno	Fósforo	Potasio
Formula 10 -30-10	3,5 Quintales	8	15,7	9,9
Formula 0-0-60	9 Quintales			154,5
Fórmula Nutrán (33,5-0-0)	13,1 Quintales	101,1		
Suma de Entradas		109,1	15,7	164,4
Entradas menos salidas (Balance)		0	-0,1	0,1

En conclusión para cubrir los 109,1 kg de nitrógeno, 15,8 kg de fósforo y 164,5 kg de potasio extraídos por la producción 8.8 t de materia seca de forraje del banco forrajero se requiere hacer una aplicación de fertilizante de 3,5 quintales de fertilizante de la fórmula 10 30 10; 9 quintales de 0 – 0 – 60 (Muriato de Potasio) y 13,1 quintales de la Nutran (también conocido como Nitrato de Amonio) 35 – 0 – 0.

Para cubrir 164,5 kg de potasio con estiércol seco recolectado en el corral se deberían aplicar 441,5 quintales lo cual no parece ser práctico, sin embargo si el productor cuenta con disponibilidad de mano de obra sería ideal que coloque en el banco forrajero de gramíneas a menos 80 quintales por año, pues el aporte de la materia orgánica al sistema es fundamental para propiciar condiciones adecuadas para mejorar las propiedades físicas del suelo y las condiciones para el funcionamiento de microorganismos presentes en el suelo.

## 9.4. Bibliografía

- Bernal, J; Espinoza, J. 2003. Manual de nutrición y fertilización de pastos. International Plant Nutrition Institute. 100 p.
- Cordone, G; Martínez, F. 2004. El monocultivo de soja y el déficit de nitrógeno. Informaciones Agronómicas del Cono Sur No. 24 pag 1-4. INPOFOS Cono Sur, Acassuso, Buenos Aires.
- Cornell. S.F. Cornell University Nutrient Management Planning System. Disponible en <http://nmsp.cals.cornell.edu/software/calculators.html>
- Cruz, J; Nieuwenhuysse, A. 2008. Establecimiento y manejo de leñosas arbustivas en bancos de proteínas y en sistemas en callejones. 1er ed. Turrialba, CR. CATIE, 2008. 151 p. Serie técnica. Manual técnico. CATIE, No. 86.
- Cruzate, G; Casas, R. 2012. Extracción y balance de nutrientes en los suelos agrícolas de Argentina. Informaciones Agronómicas de Hispanoamérica, 6:7-14. IPNI.
- Días, A. 2014. Laboratorio de Suelos, Estación Experimental Central de la Amazonia (EECA), Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INIAP). Orellana, Ecuador.
- Díaz, A; Calero, A; Osorio, B, Velástegui, F. 2014. Calculo de Balance de nutrientes en cacao. Estación Experimental Central de la Amazonia (EECA), proyecto AFAM, CATIE- INIAP. Presentación de grupo en sexto taller 24 de noviembre, 2014. In presentación power point. Joya de los Sachas, Ecuador.
- Enríquez, G. 1985. Curso sobre el cultivo del cacao. CATIE. Turrialba, Costa Rica. 240p
- Enríquez, G. 2003. El cultivo orgánico de cacao bajo el concepto de calidad total. Consultado 12 de octubre del 2009. Disponible en [http://www.ceaecuador.org/imagesFTP/4640.Cacao\\_organico\\_y\\_biol\\_INIAP.pdf](http://www.ceaecuador.org/imagesFTP/4640.Cacao_organico_y_biol_INIAP.pdf)



- Flor de planta. Disponible en: <http://www.flordeplanta.com.ar/fertilizantes-suelos/micronutrientes-propiedades-y-funciones-del-cobre-en-las-plantas/>
- Fontanetto, H; Gambaudo, S. 2010. El Balance de Nutrientes para Sistemas Agropecuarios Sustentables, Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA). Argentina. Disponible en: <https://www.engormix.com/MA-agricultura/girasol/articulos/balance-nutrientes-sistemas-agropecuarios-t2824/p0.htm>
- Funciones de los elementos. Disponible en: <http://www.slideshare.net/utzsamaj/funcin-de-los-nutrientes>
- García, OF; González Sanjuan MF. sf. La nutrición de suelos y cultivos y el balance de nutrientes: ¿Cómo estamos? IPNI Cono Sur – Av. Santa Fe 910, Acassuso, Buenos Aires, Argentina. Disponible en: [http://www.ipni.net/publication/ia-lacs.nsf/0/6E55A4956F44419585257B3400548C6E/\\$FILE/2.pdf](http://www.ipni.net/publication/ia-lacs.nsf/0/6E55A4956F44419585257B3400548C6E/$FILE/2.pdf)
- García, OF; González Sanjuan M.F. 2010. Balances de nutrientes en Argentina ¿Cómo estamos? ¿Cómo mejoramos? Informaciones Agronómicas del Cono Sur. 48:1-5. IPNI Cono Sur. Acassuso, Buenos Aires, Argentina.
- García, OF. 2015. Balance de nutrientes y necesidades de fertilización del cultivo de trigo 1: Argentina 31 mayo, 2015 en Agro, Novedades. INPOFOS Cono Sur. Disponible en: <http://mundoagropecuario.com/balance-de-nutrientes-y-necesidades-de-fertilizacion-del-cultivo-de-trigo-1/>
- Gliessman, SR. 2002. Agroecología: procesos ecológicos en la agricultura sostenible. Ed. Eli Rodríguez, Tamara Benjamín, Laura Rodríguez y Alexandra Cortes. CATIE: Turrialba, Costa Rica. 359p
- Haggar, J; Nieuwenhuys, A; Barrios M. 2012. ¿Cómo calcular el balance de nutrientes de un cafetal? Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (CATIE). Managua, Nicaragua. 36p.
- Heuvelop, J; Fassbender, HW; Alpizar, L; Enríquez, G; y Fölster, H. 1988. Modelling agroforestry systems of cacao (*Theobroma cacao*) with laurel (*Cordia alliodora*) and poro (*Erythrina poeppigiana*) in Costa Rica II. Cacao and wood production, litter production and decomposition. Agroforestry Systems. Volume 6, Numbers 1-3. <https://www.oas.org/dsd/publications/Unit/oea27s/ch12.htm>
- IPNI (International Plant Nutrition Institute, Unit States of America). 2016. Fuentes de nutrientes específicos no 22. Consultado el 31 de marzo, 2016. Disponible en [http://www.ipni.net/publication/nss-es.nsf/book/1F51C7CDE-49DF9E985257BBA0059DB3C/\\$FILE/NSS-ES-22.pdf](http://www.ipni.net/publication/nss-es.nsf/book/1F51C7CDE-49DF9E985257BBA0059DB3C/$FILE/NSS-ES-22.pdf)
- Jordan, CF. 1982. Amazon Rain Forests. American Scientist 70: 394-401.
- Kohn, R. 2001. FNB (Maryland Farm Nutrient Balancer). Disponible en <http://nutrients.umd.edu/index.htm>
- Mejía, L. 2000. Nutrición del cacao. Publicación de CORPOICA. Tecnología para el Mejoramiento del Sistema de Producción de Caca. Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria, Bucaramanga, Colombia. pp. 33-35.
- Omotoso, T. 1975. Amounts of Nutrients removed from the soil in harvested Amelonado and F3 Amazon Cacao during a year. Turrialba, 235: 425-428.
- Paschold, J; Koelsch, R. 2006. Estimating a Whole Farm Nutrient Balance. Disponible en <http://water.unl.edu/mmresources/software>
- Pellerin, D; Wattiaux, M; Charboneau, E; Moreia, V; y Flis, S. S.F. N-CyCLES (Nutrient-Cycling, Crops, Livestock, Environment and Soils). Disponible en <http://dairy nutrient.wisc.edu/N-CyCLE/page.php?id=517>
- Propiedades de los nutrientes de las plantas. Disponible en: <http://www.botanical-online.com/propiedadesnutrientes.htm>
- Sadeghian S.; Rivera JM; Gómez ME. s.f. Impacto de sistemas de ganadería sobre las características físicas, químicas y biológicas de suelos en los Andes de Colombia. *Agroforestería para la Producción Animal en Latinoamérica*. Disponible en: <http://www.fao.org/ag/aga/agap/FRG/AGROFOR1/Siavosh6.htm>
- Toruño, I; Villanueva, C; López, M; Tobar, D; Louman, B. 2014. Buenas prácticas para la adaptación al cambio climático en fincas ganaderas de Nicaragua. Turrialba, C.R, CATIE, 2014. 40p. (Serie técnica. Materiales de extensión no 12).
- Vlaming, J; van den Bosch, H; van Wijk, MS; de Jager, A; Bannink, A; van Keulen, H. 2003. Nutmon (Nutrient monitoring for tropical farming systems). Wageningen UR. Disponible en <http://www.nutmon.org/index.php3>