

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



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 8

Estudios de casos sobre los suelos en fincas cafetaleras, cacaoteras y ganaderas en la amazonia ecuatoriana

Cristian Subía, Darío Calderón, Alejandra Díaz, Carlos Congo.

8.1. Introducción

Nieto y Caicedo (2012) indican que los suelos de la RAE se encuentran distribuidos de acuerdo a la categoría de aptitud de suelo en un 52.7% para bosques, el 25.6% se encuentra en el Sistema Nacional de Áreas Protegidas y el 21.7% para las actividades pecuarias y agrícolas, de donde se derivan los conflictos de uso de suelo por subutilización con el 14.5% y sobreutilización con el 20.9%.

Las actividades agrícolas y pecuarias en la RAE se desarrollan en suelos de orden inceptisoles, con características de baja fertilidad, pH que varían de ácido a ligeramente ácido, sumándose a estas características físicas y químicas las altas precipitaciones. Estudios realizados en el 2012 por la EECA del INIAP, recomienda fomentar la investigación y el desarrollo de tecnologías basados en sistemas de producción análogos a los ecosistemas de la región, con los enfoques y fundamentos de los sistemas de producción forestal y agroforestal (Nieto y Caicedo, 2012).

El suministro de nutrientes es la característica del suelo esencial para la producción de los cultivos y la disponibilidad de los mismos se relaciona con aspectos como: las cantidades o concentraciones, las formas en que se encuentran presentes y la tendencia del suelo a fijarlos en formas que la planta no puede aprovecharlos. La disponibilidad y asimilación de muchos nutrientes por las plantas, en gran parte, depende de la reacción del suelo (pH), característica que afecta los procesos de mineralización y la humificación de los materiales orgánicos, la población biológica, entre otras (Gutiérrez, 2003).

Sólo una reducida fracción del suelo está disponible para las plantas, lo restante está ligado fuertemente a la fracción mineral y materia orgánica, convirtiéndose en inaccesible. Los elementos son absorbidos por parte de las plantas en forma iónica, así, el calcio, potasio y magnesio se absorben como iones de Ca^{++} , K^+ y Mg^{++} , el nitrógeno como NH_4^+ o NO_3^- y el fósforo, principalmente como H_2PO_4^- (Thompson y Troeh, 1982).

El pH sube al aumentar las concentraciones de bases (Ca, Mg, K) y tiende a bajar cuando las concentraciones de H y Al son mayores (Thompson y Troeh, 1982). Al aumentar la acidez del suelo se hacen menos disponibles el Ca, Mg, Mo y P y aumenta la disponibilidad de Fe, Mn, B, Cu y Zn según INPOFOS (1993).

Con base en este antecedente desde el año 2013 la EECA – INIAP y el CATIE, ejecutan el proyecto “Implementación Interinstitucional de la Agroforestería Sostenible en la Amazonía Ecuatoriana: investigación y capacitación aplicada, Ecuador AFAM-CATIE-INIAP”, del que se realizó el levantamiento de línea base y diagnósticos de fertilidad de parcelas de investigación, validación y desarrollo. Durante el periodo de intervención del proyecto se ha fortalecido el concepto de agroforestería, como estrategia de producción sostenible para la región, lo que permite obtener buenos réditos a los agricultores, y a su vez conservar el frágil ecosistema amazónico, alineándose a los preceptos de la Agenda de Transformación Productiva Amazónica (ATPA), marco legal que rige la intervención agropecuaria en la región (Caicedo y Sotomayor, 2015; MAGAP, 2014).

8.2. Metodología

Para el presente estudio de caso se trabajó con una muestra de 255 reportes de suelos analizados, los que fueron tomados en fincas con cultivos de cacao, café y pastos en las Provincias de Orellana y Sucumbíos, como parte de la línea base que se estableció para la ejecución del proyecto AFAM – INIAP – CATIE. Las muestras fueron tomadas en 17 parroquias de 6 cantones de las dos provincias que corresponden al área de acción del proyecto en sus etapas iniciales.

Por lugar geográfico de donde se tomaron las muestras de suelo para el estudio, se analizaron 188 observaciones de Sucumbíos y 67 de Orellana; mientras que por cultivo, 115 reportes fueron de lotes cultivados con cacao, 104 de café y 36 de pastos.

Para determinar el nivel de fertilidad de los suelos, se analizaron las muestras en el Laboratorio de Suelos y

Aguas de la EECA-INIAP. A partir de extractos de suelos obtenidos por el método Olsen modificado; se determinaron los contenidos de Nitrógeno amoniacal (NH_4^+) con el método indofenol azul, Fósforo con azul de molibdeno, ambos por colorimetría; para el caso de Potasio, Calcio y Magnesio se realizó mediante espectrofotometría de absorción atómica; materia orgánica mediante el método Walkley y Black, y para la determinación del pH se utilizó el método potenciométrico (1:2.5); técnicas establecidas según el Manual de Procedimientos de análisis de suelos, plantas y abonos del laboratorio (Díaz y Changoluisa, 2012).

La base de datos desarrollada fue una matriz donde se trabajó como variables los registros de: potencial hidrógeno (pH), materia orgánica y los elementos mayores: N, P, K, Ca y Mg como componentes del análisis básico que se realiza en el laboratorio de la EECA.

El análisis de los datos registrados, consistió en determinar las estadísticas descriptivas para el total de la muestra a fin de describir de manera general la situación de los suelos en la zona de estudio. Se realizaron análisis de frecuencias por provincia y cultivo con herramientas de estadística univariada, por cada elemento en

estudio, para finalmente realizar el análisis multivariado y agrupar los diferentes tipos de suelo por cultivo y provincia, además de identificar un suelo representativo del estrato.

8.3. Resultados y discusión

Los resultados de los análisis de suelo fueron tabulados en la respectiva base de datos y entregados a los productores, la misma que fue depurada previo al análisis estadístico.

8.3.1. Descripción general de la disponibilidad de nutrientes en los suelos de la Amazonía

Para el pH, se establecen como escala de interpretación: prácticamente neutros (> 6.5), ligeramente ácidos ($6.0 - 6.5$), moderadamente ácidos ($5.5 - 6.0$), ácidos ($5.0 - 5.5$) y muy ácidos (< 5.0). En el Cuadro 1, se presentan las medidas resumen de las principales características químicas de los suelos analizados por cultivo y se observa que el promedio general de pH es de 5.2 considerados como suelos ácidos, sin diferenciarse entre los cultivos, registrándose un mínimo de 4 es decir suelos muy ácidos y un máximo de 7.1 prácticamente neutros, resultados que coinciden con la información del Sistema de Información Nacional de Agricultura, Ganadería, Acuacultura y Pesca (SINAGAP), donde los suelos ácidos (62.7%) y ligeramente ácidos (27.0%) ocupan el mayor porcentaje de la superficie de la RAE, seguido de suelos muy ácidos (5.2%) y en menor superficie suelos moderadamente alcalinos (1.4%) y neutros (3.6%) (MAGAP, 2016).

Para el caso del NH_4^+ el parámetro de referencia es entre 20 y 40 ppm considerado como nivel medio, por lo que en el (Cuadro 24), se observa que la media oscila entre 39 y 42 ppm, lo que se interpreta como un alto contenido de nitrógeno en los suelos estudiados, Sin embargo, existen suelos con cacao, café y pastos que presentan muy bajos contenidos de NH_4^+ , menor a 5 ppm y extremos muy altos que alcanzan los 132 ppm,

lo que corrobora los resultados reportados por Montero (2015), en el estudio de la condición de las pasturas en la provincia de Orellana, donde se reporta niveles de nitrógeno en la capa superficial de 0 a 20 cm valores promedio de 31.6 – 42.5 ppm de NH_4^+ para las localidades de Francisco de Orellana, coincidiendo con los resultados de este estudio.

Los promedios de los otros macroelementos como P, K, Ca y Mg en los tres cultivos se encuentran en el rango medio y en todos los casos se observa amplia variación numérica entre los mínimos, es decir, deficientes nutritivamente, respecto a suelos con alto contenido de estos nutrientes.

En materia orgánica (MO) los promedios registrados oscilan entre 4 y 5% lo que se traduce como contenido medio. En cacao y café se registraron los niveles más bajos ($< 0.4\%$) y el mayor valor se registró en pastos, alcanzando hasta el 14%.

8.3.2. La acidez en los suelos de la RAE

El pH de la mayor parte de suelos productivos fluctúa entre 4.0 a 8.0, sin embargo, el pH ideal para los cultivos de interés oscila entre 5.5 y 6.5 (Zapata, 2004). Cuando el pH es bajo, la acidez es alta, condición que puede deprimir el crecimiento por uno o varios factores, razón por la cual, los suelos ácidos afectan de diversas maneras el crecimiento de la planta. Como consecuencia de elevados niveles de acidez tenemos que la concentración de los elementos como Al, Fe y Mn podrían llegar a niveles tóxicos, principalmente altas concentraciones de Al son sin duda el factor que más limita el crecimiento de las plantas en suelos con pH inferiores a 5.5. Además de presentarse deficiencias de Ca y Mg, se reduce la disponibilidad de P, y Mo a la vez que favorece la lixiviación del K. En suelos arcillosos muy ácidos existe una baja permeabilidad y aireación (IPNI, 1997).

En la Figura 12, se presenta la frecuencia absoluta de los rangos de acidez de los suelos analizados para los cultivos en estudio de las dos provincias, donde se observa que tan solo el 2% de las muestras analizadas

Cuadro 24. Estadísticas descriptivas de los elementos analizados en las muestras de suelo.

Cultivo	Variable *	N	Media	Min	Max
Cacao	pH	115	5.37	4.07	6.72
Café	pH	104	5.09	4	7.19
Pasto	pH	36	5.21	4.32	6.36
Cacao	NH4+	115	42.04	3.81	97
Café	NH4+	104	40.65	4.16	95.48
Pasto	NH4+	36	39.79	1.09	132
Cacao	P	115	10.09	1.7	47.1
Café	P	104	8.59	1.09	33.7
Pasto	P	36	7.66	2.03	42
Cacao	K	115	0.23	0.06	1.33
Café	K	104	0.23	0.05	1.96
Pasto	K	36	0.32	0.08	3.9
Cacao	Ca	115	5.57	0.21	19.1
Café	Ca	104	4.94	0.7	15.78
Pasto	Ca	36	4.14	0.87	13.95
Cacao	Mg	115	1.11	0.31	5.19
Café	Mg	104	1.00	0.33	2.94
Pasto	Mg	36	1.24	0.46	5.13
Cacao	MO	115	4.72	0.3	9.8
Café	MO	104	4.99	0.4	12.5
Pasto	MO	36	5.15	1.7	14

* Unidades: NH4+, P (ppm); K, Ca, Mg (meq/100ml) y M.O. (%)

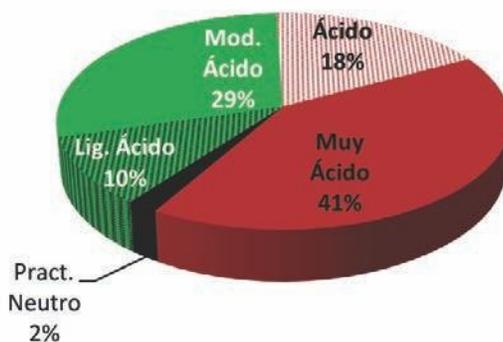


Figura 12. Rangos de acidez de los suelos dedicados a cacao, café y pastos en las provincias de Orellana y Sucumbíos.

presentaron un pH prácticamente neutro y cerca del 60% de los suelos oscilan entre ácido y muy ácido, lo que indica no sólo una reacción ácida, sino también, la probable presencia de niveles tóxicos de Al intercambiable, situación que puede ser superada con labores de encalado. El 39% de los suelos se presentan en el rango ideal de acidez para la producción de cacao y café, principalmente. Con el pH de 6.0 y 7.0 elementos como el N son más disponibles para las plantas, estos niveles de pH son los mejores para el cultivo de cacao y la mayoría de los cultivos. Aunque el cacao es tolerante a la acidez, para el mejor desempeño del cultivo, el pH no debería estar por debajo de 5.5 (Amores *et al.* 2009); mientras que para el café los rangos más adecuados de pH van desde 5.6 a 6.5 (Enríquez *et al.* 2014).

8.3.2. Niveles de fertilidad relativa por contenido de elementos mayores y materia orgánica en los suelos

Los nutrientes del suelo están divididos en dos grupos de acuerdo a la cantidad demandada por la planta, los

macro y los micronutrientes. Los macro nutrientes son conocidos así, porque son demandados en cantidades relativamente altas y se distinguen dos sub-grupos, los principales y secundarios. Nutrientes como el N, P y K son considerados como los macronutrientes principales y Ca, Mg y S son los secundarios (Ronen, 2007).

Los organismos del suelo (biota), incluyendo los microorganismos, usan los residuos de las plantas, animales y los derivados de la materia orgánica de los alimentos, que a medida en que se descomponen liberan los nutrientes en el suelo, dejándolos disponibles para la nutrición de los cultivos. Los productos del desecho producidos por los microorganismos contribuyen a la formación de la materia orgánica del suelo (FAO, 2016).

En la Figura 13, se observa que de acuerdo a los niveles de referencia que se trabajan en laboratorio de suelos, para NH₄⁺, la mayoría de los suelos son de contenido medio y alto (86.76%), un comportamiento similar se observa para el contenido de materia orgánica (74.51%).

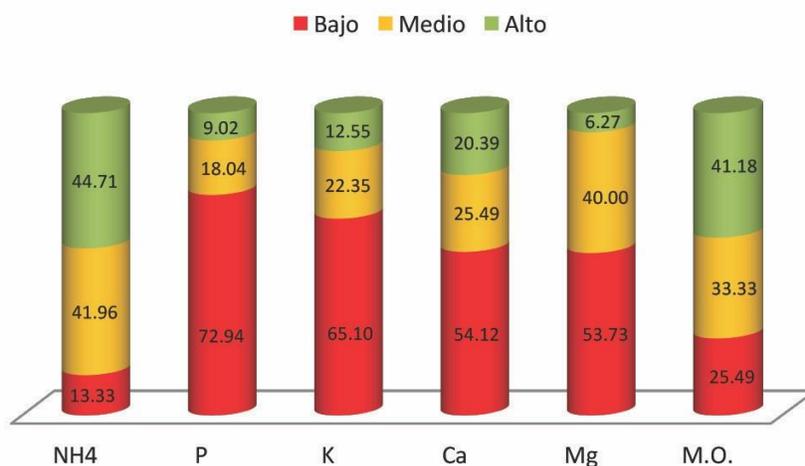


Figura 13. Rango de fertilidad relativa de los principales elementos químicos de los suelos dedicados a cacao, café y pastos en las provincias de Orellana y Sucumbíos.

Para los macroelementos (P, K, Ca, Mg), de manera general se observa que los niveles son bajos en la mayor cantidad de muestras analizadas, entre el 50 y el 75% de suelos según el elemento de referencia. Se registraron también suelos con alto contenido de estos elementos, así el 6.3% de suelos tienen alto magnesio, 9.0% con alto fósforo, 12.5% alto potasio y el 20.4% alto contenido de calcio.

8.3.3. Análisis de la fertilidad de los suelos por cultivo en las provincias estudiadas

Para el análisis de los elementos en estudio, enfocados al tipo de cultivo y a la provincia donde fueron muestreadas las fincas, se estimaron las frecuencias relativas de acuerdo a la interpretación asignada por el contenido de cada uno de los componentes químicos del suelo como se presenta a continuación:

8.3.3.1. pH

El término pH define la relativa condición básica o ácida de una sustancia. La escala de pH oscila de 0 a 14, donde el valor de 7 es neutro, mayor a 7 es básico y menor a 7 son ácidos (IPNI, 1997).

La Figura 14, representa los rangos de pH y su influencia en la disponibilidad de nutrientes para la planta.

En la Figura 15, se presentan los niveles de acidez para cada uno de los cultivos por provincia y se observa que los suelos tanto en Sucumbíos como en Orellana se presentan mayoritariamente en el rango de muy ácidos y ácidos para todos los cultivos analizados. Para el caso de cacao y café se observa que en las dos provincias existen suelos con las condiciones óptimas de acidez (ligeramente y moderadamente ácido), sin embargo en las dos provincias se registraron entre el 30 y 60% de los suelos considerados muy ácidos para todos los

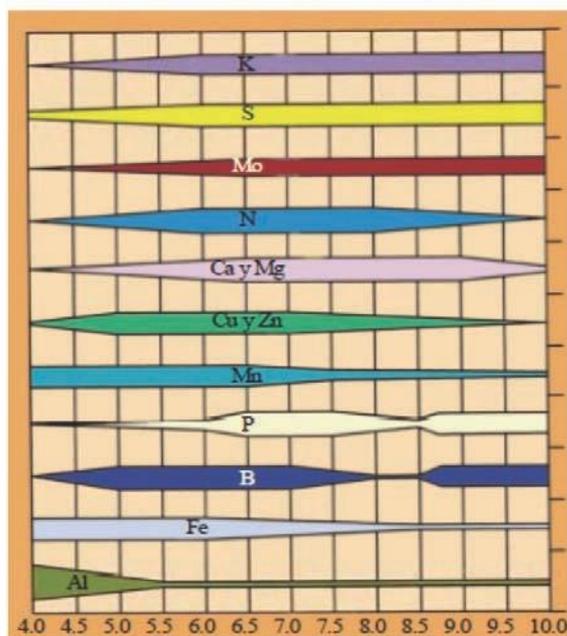


Figura 14. Efecto del pH en la disponibilidad de los nutrientes y otros elementos en el suelo (IPNI, 1997).

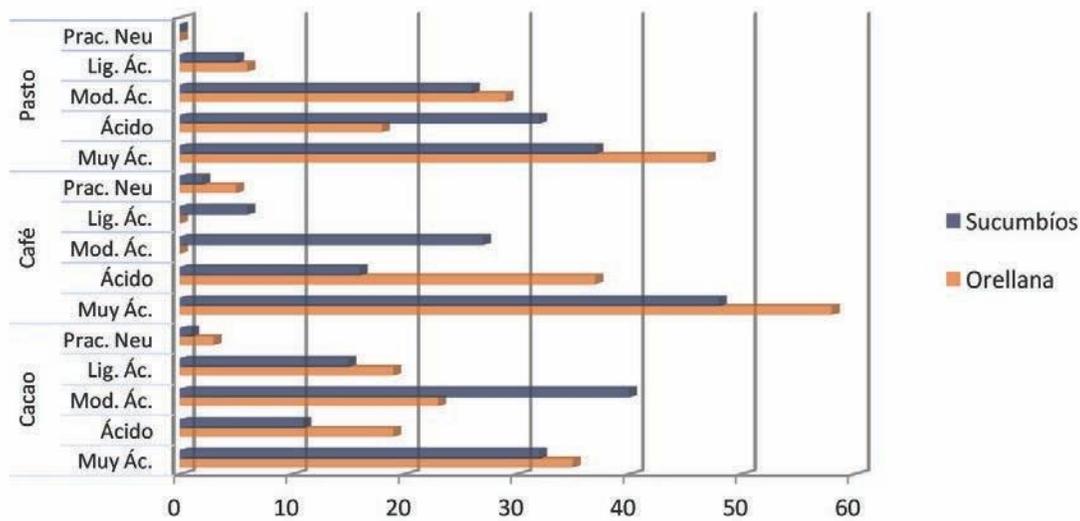


Figura 15. Frecuencia de niveles de acidez por cultivo en cada provincia. Mod. Ác. = moderadamente ácido, Lig. Ác. = ligeramente ácido, Muy Ác. = muy ácido y Prac. Neu.= prácticamente neutro

cultivos, cercano al reporte de Hecht (1982) quien indica que en la región amazónica de Venezuela, Colombia, Ecuador, Perú, Brasil y Bolivia, el 81% de la superficie (392.2 millones ha) tienen valores de pH inferiores a 5.3 en la capa superficial del suelo de 0 a 20 cm.

Considerando que el mayor porcentaje corresponde a suelos ácidos, se requiere plantear estrategias de manejo, pues como lo indica Zapata (2004) la acidez, sumada a la reducida disponibilidad de nutrientes,

son las mayores limitaciones de la baja productividad; ya que si bien es cierto la acidificación es un proceso natural, la agricultura, la polución y otras actividades humanas aceleran este proceso.

8.3.3.2. Nitrógeno en forma de amonio NH_4^+

El nitrógeno es un elemento increíblemente versátil

que existe en forma inorgánica y orgánica, a la vez en muchos y diferentes estados de oxidación (Nora, 2016). El ciclo del nitrógeno al igual que los demás ciclos biogeoquímicos, tiene una trayectoria definida, pero quizá aún más complicada que los demás, dado que tiene que seguir una serie de procesos físicos, químicos y biológicos. Así, el nitrógeno está considerado como el elemento más abundante en la atmósfera, sin embargo,

dada su estabilidad, es muy difícil que reaccione con otros elementos y, por tanto, se tiene un bajo aprovechamiento, razón por la cual, su abundancia pasa a segundo término (CICEANA, 2016).

El nitrógeno al formar parte de cada célula viviente es esencial para el crecimiento de las plantas, las que requieren de grandes cantidades de este elemento para crecer normalmente. En su mayoría lo absorben en forma de amonio (NH_4^+) o nitrato (NO_3^-), según lo indica

el Instituto Internacional de Nutrición Vegetal (IPNI, por sus siglas en inglés) en su manual Internacional de fertilidad de suelos, en donde se ha demostrado que se obtienen rendimientos más altos con la absorción de N como NH_4^+ , mientras que al absorberlo como NO_3^- la reducción dentro de la planta requiere de energía (el NO_3^- es reducido a NH_4^+ que luego se convierte en aminoácido en la planta), proporcionada por los carbohidratos, los cuales podrían usarse para el crecimiento o para la formación de fruto.

De acuerdo a los niveles de referencia establecidos para NH_4^+ , se observa que la mayor parte de las muestras de suelos considerados se presentaron con niveles medio y alto de este nutriente, sin embargo, se observa que

particularmente para el caso de los pastos, en Orellana aproximadamente, el 40% de los suelos presentaron niveles bajos. Lo anterior coincide con los resultados del estudio de la condición de las pasturas en la provincia de Orellana (Montero, 2015), donde se reportaron niveles bajos de nitrógeno en la capa superficial de 0-20 cm, con valores promedio de 13.3 – 15.38 ppm NH_4^+ específicamente para las localidades de Joya de los Sachas en Orellana (Figura 16).

En el caso de los niveles muy bajos de nitrógeno se podría decir que estos suelos han sufrido una sobre explotación con cultivos y la extracción de este elemento ha llegado al límite, el cacao y café son cultivos exigentes que demandan altos contenidos de N; tal es el caso del cultivo de cacao que para producir una tonelada de cacao seco por año extrae aproximadamente 44 kg de N, por tal razón este nutriente debe ser restituido de alguna manera, una de las formas de restituir el N extraído es abrir las mazorcas dentro de la huerta y esparcirlas en la misma, al realizar esta práctica se estará reciclando aproximadamente 2 kg de N, producto de la cosecha de una tonelada (Enríquez, 2010).

8.3.3.3. Macronutrientes P, K, Ca y Mg

El fósforo, no puede ser sustituido por ningún otro nutriente, es esencial para el crecimiento de las plantas y para cumplir con su ciclo normal de producción, está involucrado en procesos como la fotosíntesis, la respiración, el almacenamiento de energía, transferencia de energía, la división y crecimiento celular, desarrollo de raíces, formación de tallos, ramas y floración; en el suelo puede ser particionado en compartimentos que varían en su disponibilidad para las plantas y microorganismos (Picone y Zamuner, 2002; INPOFOS, 1993).

El potasio, es un nutriente principal y esencial para las plantas que necesitan cantidades elevadas de este nutriente siendo semejante al requerimiento de nitrógeno y en muchos cultivos de alto rendimiento como el cacao y café, el contenido del K excede al contenido de N. Éste nutriente es absorbido por la planta en forma iónica (K^+), a diferencia del N y el P, no forma compuestos orgánicos en la planta y actúa en diversos procesos metabólicos tales como fotosíntesis, síntesis de proteínas y carbohidratos; también tiene incidencia en el balance de agua y en el crecimiento meristemático favoreciendo el crecimiento vegetativo, fructificación, maduración y la calidad de los frutos (IPNI, 1997; Conti, 2002).

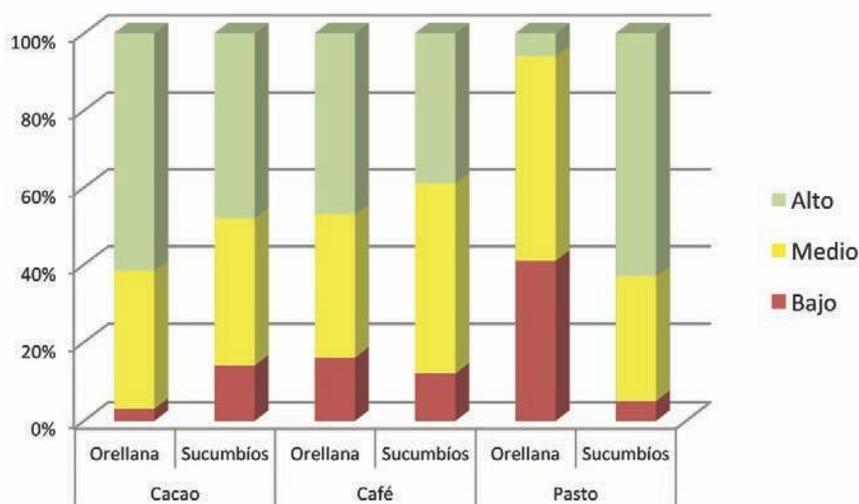


Figura 16. Presencia relativa de NH_4^+ en los suelos de los cultivos de cacao, café y pastos por provincia.

El calcio, es absorbido por las plantas en forma catiónica Ca^{++} , influye indirectamente en el rendimiento al reducir la acidez del suelo (carbonato de calcio), así como la solubilidad y toxicidad del Mn, Cu y Al, además mejora las condiciones de crecimiento de las raíces y estimula la actividad microbiana. Los suelos viejos de los trópicos contienen muy poco Ca y tienen un valor de pH muy bajo, el contenido del Ca en los suelos arenosos es muy bajo, no así en los suelos arcillosos, en general la presencia de calcio en el suelo fluctúa entre 0.1 hasta alrededor de un 25% (Zapata, 2004; IPNI, 1997).

El magnesio, es absorbido por las plantas como catión Mg^{++} , está involucrado activamente en la fotosíntesis, pues forma parte de la molécula de clorofila. Éste elemento se encuentra en la solución del suelo y se absorbe a las superficies de las arcillas y la materia orgánica (IPNI, 1997).

Las equivalencias de los contenidos de macroelementos en las dos provincias por cada cultivo (Cuadro 2) demuestran que entre el 60 y el 80% de los suelos en todos los cultivos presentaron niveles bajos de fósforo y específicamente en Orellana con café. Esto se debe a que el café extrae 8.4 kg de fósforo al producir 1000 kg ha^{-1} (Snoeck 1980), mientras que el cultivo de cacao con rendimientos iguales o superiores a una tonelada de cacao seco por hectárea extrae de la huerta alrededor de 6 kg de fósforo (Cocoa Growers' Bulletin, 1980). En Sucumbíos con pastos no se observaron suelos con alto fósforo lo que se relaciona con que el 98% de los productores ganaderos encuestados por Montero (2015) reconocieron que tienen como práctica cultural realizar tan solo una fertilización al año en sus pastizales y este parámetro puede explicar los resultados obtenidos en este estudio, existiendo una mayor tasa de extracción y una insuficiente reposición de nutrientes durante el ciclo productivo de las pasturas.

Se observó que entre las dos y tres cuartas partes de los reportes estudiados, presentaron bajo contenido de potasio, siendo en los suelos de café que se presentó mayormente esta deficiencia, es así que durante un año de una producción de 1000 kg, una huerta de cacao extrae 86 kg de potasio debido a que es el nutriente

de mayor concentración en los granos (Cocoa Growers' Bulletin, 1980), y el café extrae 48 kg en la producción de 1000 kg/ha (Snoeck, 1980).

Tanto el calcio como el magnesio presentaron valores muy similares en las frecuencias respecto de los niveles de referencia en el contenido de estos elementos en el suelo, de tal manera que un bajo nivel se registró en alrededor del 50% de los análisis considerados en el presente estudio (Cuadro 25) lo que responde a que la disponibilidad de Ca y Mg esta reducida por la acidez del suelo. El Ca es el catión dominante aun en suelos con pH muy ácidos, ocupando el 70% o más de los sitios de intercambio en los coloides del suelo. El Mg, se encuentra en cantidades suficientes en el suelo para ayudar a la planta en su crecimiento vegetativo, sin embargo su deficiencia ocurre con más frecuencia en suelos ácidos característicos de zonas con alta precipitación y en suelos arenosos. Para la producción de una tonelada de almendras de cacao seco fueron extraídos 12.5 y 8.1 kg de Ca y Mg, respectivamente (Amores *et al.* 2009).

8.3.3.4. Materia orgánica

La materia orgánica en el suelo está constituida por residuos de plantas y animales en varios estados de descomposición. Un nivel adecuado de materia orgánica beneficia al suelo de varias formas:

- l Mejora las condiciones físicas del suelo.
- l Incrementa la infiltración del agua.
- l Reduce las pérdidas por erosión.
- l Proporciona nutrientes a las plantas (IPNI, 1997).

En los contenidos de materia orgánica de los suelos por tipo de cultivo en cada provincia (Figura 17) se observa que Orellana presenta mayor cantidad de suelos con nivel bajo de materia orgánica en los tres cultivos. Se observa que el nivel medio para todos los casos está alrededor de la tercera parte en todos los casos, mientras que en Sucumbíos se observa que alrededor del 50% de los suelos en cacao, café y pastos presentan alto contenido de materia orgánica, lo que particularmente en el caso de cacao permite sostener una plantación ya que el contenido de materia orgánica se recomienda que no debe ser menor del 3% en sus primeros 15 cm superiores del perfil del suelo (Bradeau,

Cuadro 25. Frecuencia relativa de los niveles de nutrientes en los suelos de los cultivos de cacao, café y pastos en las provincias de Orellana y Sucumbíos.

		Cacao		Café		Pastos	
		Orellana	Sucumbíos	Orellana	Sucumbíos	Orellana	Sucumbíos
P	Alto	0.19	0.08	0	0.08	0.18	0
	Medio	0.19	0.17	0.21	0.21	0.06	0.16
	Bajo	0.61	0.75	0.79	0.71	0.76	0.84
K	Alto	0.1	0.15	0.05	0.12	0.24	0.05
	Medio	0.32	0.17	0.42	0.2	0.24	0.21
	Bajo	0.58	0.68	0.53	0.68	0.53	0.74
Ca	Alto	0.1	0.25	0.05	0.28	0.12	0.05
	Medio	0.42	0.31	0.11	0.16	0.35	0.21
	Bajo	0.48	0.44	0.84	0.55	0.53	0.74
Mg	Alto	0	0.08	0	0.08	0.06	0.05
	Medio	0.48	0.43	0.47	0.31	0.53	0.37
	Bajo	0.52	0.49	0.53	0.61	0.41	0.58

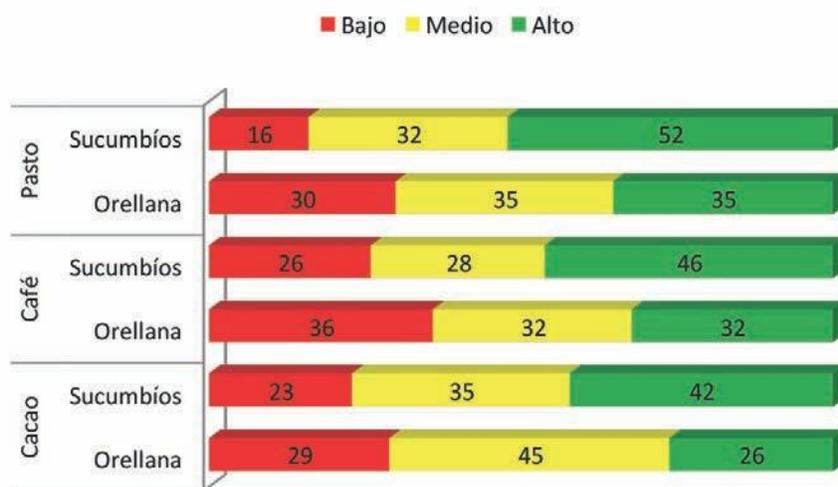


Figura 17. Niveles de materia orgánica en los suelos de las Provincias de Orellana y Sucumbíos respecto de cada cultivo

Cuadro 25. Frecuencia relativa de los niveles de nutrientes en los suelos de los cultivos de cacao, café y pastos en las provincias de Orellana y Sucumbíos.

		Cacao		Café		Pastos	
		Orellana	Sucumbíos	Orellana	Sucumbíos	Orellana	Sucumbíos
P	Alto	0.19	0.08	0	0.08	0.18	0
	Medio	0.19	0.17	0.21	0.21	0.06	0.16
	Bajo	0.61	0.75	0.79	0.71	0.76	0.84
K	Alto	0.1	0.15	0.05	0.12	0.24	0.05
	Medio	0.32	0.17	0.42	0.2	0.24	0.21
	Bajo	0.58	0.68	0.53	0.68	0.53	0.74
Ca	Alto	0.1	0.25	0.05	0.28	0.12	0.05
	Medio	0.42	0.31	0.11	0.16	0.35	0.21
	Bajo	0.48	0.44	0.84	0.55	0.53	0.74
Mg	Alto	0	0.08	0	0.08	0.06	0.05
	Medio	0.48	0.43	0.47	0.31	0.53	0.37
	Bajo	0.52	0.49	0.53	0.61	0.41	0.58

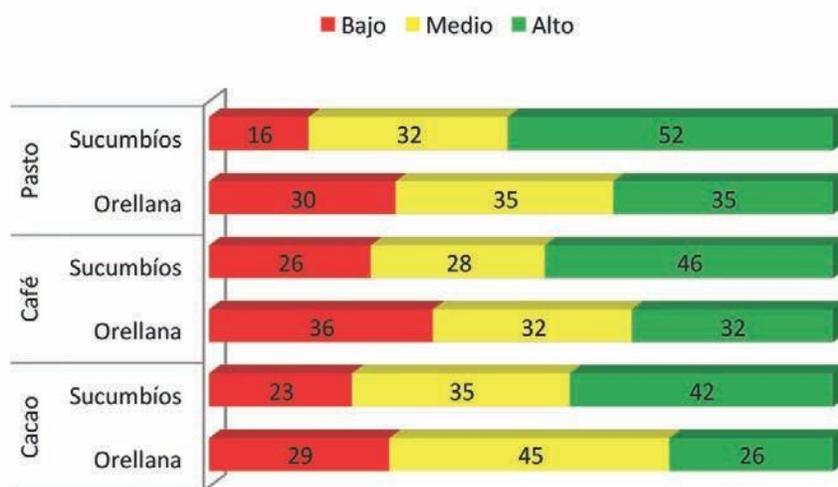


Figura 17. Niveles de materia orgánica en los suelos de las Provincias de Orellana y Sucumbíos respecto de cada cultivo

1970). Comportamiento similar reportó SINAGAP donde el 97.5% del suelo de la Amazonía ecuatoriana se encuentra con un contenido entre el 1 al 4% de materia orgánica, específicamente en la capa superficial de 0 a 20 cm el 53.9% presentaron niveles bajos de MO y el 43.6% para nivel medio de MO (MAGAP, 2016).

8.3.4. Análisis de correlación de los nutrientes en los suelos

Se realizó el análisis de correlación de todas las variables evaluadas (Cuadro 26) y se observó que existe alta correlación positiva entre el pH con Ca, Mg y entre

ellos con valores entre 0.4 y 0.6. Los otros elementos no presentan correlación por lo que sus niveles actúan de manera independiente.

8.3.5. Agrupamiento de los tipos de suelo por cultivo y por provincia

Aplicando herramientas de estadística multivariada por medio del análisis de conglomerados, usando a provincia y cultivos como criterios de clasificación, con el método de encadenamiento promedio y la distancia Euclídea, se formaron tres grupos distintos de los tipos de suelo identificados y se seleccionaron observaciones representantes de cada cultivo por provincia como se presenta en el Cuadro 27.

Es conocido que para cada tipo de suelo y de acuerdo a los resultados obtenidos de laboratorio existe su recomendación específica por el equilibrio que debe darse de los nutrientes sintéticos externos, sin embargo y de manera general en base a los grupos formados, considerando las tablas de recomendación que maneja el INIAP, para el caso de cacao y café los rangos de aplicación de los fertilizantes sintéticos que aportan macronutrientes como es el caso de DAP (Fosfato Diamónico 18-46-00), las dosis oscilarían entre 135 y 270 kg ha⁻¹ para los suelos con alto y bajo contenido de fósforo, respectivamente.

Para nitrógeno, como fuente se recomienda el uso de

Nitrato de Amonio (NO NH₃ en formulación 33-03-00)

en dosis que varían de 350 kg ha⁻¹ en suelos con alto contenido hasta 550 kg ha⁻¹ para suelos con bajo contenido de nitrógeno en forma de NH₄⁺. Mientras que para el caso de potasio en suelos con alto contenido de este nutriente no se recomienda el uso de fertilizantes como fuente de este elemento pero para los otros niveles reportados se recomienda el uso de muriato de potasio (K₂O formulación 00-00-60) en cantidades que van desde 300 a 600 kg ha⁻¹ en suelos con niveles alto y medio de este elemento, respectivamente.

Las recomendaciones en los pastos dependen exclusivamente de la especie que se cultiva y se conoce que en la mayoría de los casos se trabaja con dalis (*Brachiaria decumbens*) y las recomendaciones generales para los

Cuadro 26. Análisis de correlación de macronutrientes reportados de análisis de suelo de las provincias de Orellana y Sucumbíos

	pH	NH ₄ ⁺	P	K	Ca	Mg	MO
pH	1	0	0	0	0	0	0.16
NH ₄ ⁺	-0.38	1	0.19	0.02	0	0	0.03
P	0.37	-0.08	1	0	0	0.02	0.93
K	0.25	-0.14	0.38	1	0	0	0.9
Ca	0.65	-0.22	0.37	0.34	1	0	0.05
Mg	0.44	-0.18	0.14	0.25	0.67	1	0.51
MO	0.09	0.14	0.01	0.01	0.13	0.04	1

Cuadro 27. Resultados de los análisis químicos de suelos representativos de tres grupos formados por provincia y por cultivo

Parroquia	Acidez *		Nutrientes **				
	pH	NH ₄ ⁺	P	K	Ca	Mg	MO
Cacao - Orellana							
LA BELLEZA	5.19	4.73	4.28	0.06	2.5	1.7	2.5
ENOKANQUI	6.09	36.00	42.40	0.30	6.78	0.71	5.7
INES ARANGO	4.44	42.00	22.80	0.10	1.28	0.5	4.9
Cacao - Sucumbíos							
GONZALO PIZARRO	5.80	19.00	47.10	0.20	7.59	1.29	0.8
LIMONCOCHA	5.87	23.75	26.22	0.78	13.09	1.67	4.9
GENERAL FARFAN	6.01	19.00	3.10	0.09	5.26	0.53	5.7
Café - Orellana							
SAN SEBASTIAN	6.56	14.93	6.64	0.25	10.6	1.01	6.4
INES ARANGO	4.6	29.0	2.0	0.94	2.62	0.92	3.4
HUATICOCHA	5.03	29.00	6.40	0.30	1.85	0.69	7.2
Café - Sucumbíos							
LIMONCOCHA	6.5	27.2	16.9	1.96	12.48	2.57	5.2
PACAYACU	5.79	25.64	6.59	0.20	11.42	1.62	7.9
GONZALO PIZARRO	4.64	41.67	27.34	0.11	3.00	0.71	4.90
Pastos - Orellana							
LORETO	5.65	17.00	42.00	3.90	7.48	1.54	3.8
STA. CECILIA	6.36	31.00	26.10	0.61	8.43	1.99	4.5
INES ARANGO	5.45	39.00	5.60	0.24	3.6	1.38	5.3
Pastos - Sucumbíos							
PACAYACU	4.69	39.62	5.21	0.24	12.53	1.74	3.0
PACAYACU	5.75	35.00	7.10	0.14	6.66	5.13	5.3
PACAYACU	4.99	132.00	13.60	0.34	2.56	1.23	10.1

* Nivel de acidez: Verde = Pract. Neutro, Amarillo = Lig. Ácido, Rojo = Muy Ácido

** Unidades: NH₄⁺, P (ppm); K, Ca, Mg (meq/100ml) y M.O. (%)

** Niveles de los nutrientes: Verde = Alto, Amarillo = Medio, Rojo = Bajo

casos representativos son de entre 100 y 250 kg ha⁻¹ de DAP (18-46-00), de 95 a 420 kg ha⁻¹ de nitrato de amonio y de 35 a 130 kg ha⁻¹ de muriato de potasio en los suelos con alto y bajo contenido de cada nutriente, respectivamente.

Para la corrección del pH, las dosis recomendadas tanto para café como para cacao son de 1000 a 2000 kg ha⁻¹ a sabiendas que el encalado es en función del crecimiento de la planta, las dosis pueden variar de 50 a 450 g planta⁻¹ y con cal dolomita una dosis de 225 g planta⁻¹, en el caso de los pastos la dosis recomendada es de 1000 a 1500 t ha⁻¹ con aplicación al voleo.

Una forma más precisa de realizar el cálculo es basarse en los valores de acidez libre (Al+H) y aluminio (Al) que normalmente son cantidades altas, ésta recomendación no se podría generalizar pues es específicamente para el lote, ya que los valores de acidez libre (Al+H) y aluminio (Al) varían de un lote a otro, aun cuando el pH sea el mismo.

8.4. Conclusiones y recomendaciones

En la zona intervenida se observó amplia diversidad de suelos independientemente del uso agrícola o pecuario al que esté dedicado y esto específicamente se corroboró al analizar por componente individual de los que se registraron niveles bajos, es decir deficientes en el contenido de nutrientes a suelos con alto contenido de los diferentes elementos.

Un gran problema conocido que se corroboró con la presente investigación es la acidez que caracteriza a los suelos de la Amazonía lo que incide directamente en la disponibilidad de los nutrientes para los cultivos y requiere un manejo específico para solventar esta característica.

Este estudio de caso permitió identificar que existen suelos en la región aptos para la producción de cacao y café, así como suelos que permiten la disponibilidad de

pastos para la explotación pecuaria pero es necesario que se realicen sus respectivos análisis químicos que determinen la accesibilidad a los nutrientes que requieren las plantas, orientado a un uso y manejo sostenible de este recurso considerado como clave y básico para la producción agrícola lo que beneficiará a los productores de la región.

Entre las estrategias de manejo racional de los suelos, se encuentran el aporte de biomasa, la fijación de nitrógeno por especies leguminosas, la combinación de especies cultivadas para evitar la erosión y sobre explotación, entre otras, todas ellas componentes del establecimiento de sistemas agroforestales que resultan motivantes para fortalecer su implementación como una necesidad en las frágiles condiciones de la región.

8.5. Bibliografía

- Amores, F; Agama, J; Mite, F; Jiménez, J; Loor, G; Quiroz, J. 2009. EET-544 y EET-558: nuevos clones de cacao nacional para la producción bajo riego en la Península de Sta. Elena. Boletín Técnico no. 134. Quevedo, Ecuador, INIAP, Estación Experimental Tropical Pichilingue.
- Bradeau, J. 1970. El Cacao. Hernández, C (Trad.). Barcelona, España, Blume. 283 p.
- Caicedo, C; Sotomayor, D. 2015. (Informe técnico) Proyecto AFAM CATIE-INIAP "Implementación Interinstitucional de la Agroforestería Sostenible en la Amazonía Ecuatoriana: investigación y capacitación aplicada. Orellana, Ecuador, Joya de los Sachas. 13 p.
- CICEANA (Centro de Información y Comunicación Ambiental de Norte América, México). Ciclo del nitrógeno (en línea). Consultado el 29 abr. 2016. Disponible en http://www.divulgacion.ccg.unam.mx/webfm_send/109
- Cocoa, Growers' Bulletin. 1980. Developments in Cocoa nutrition in the 1970's, a Review of Literature. Birmingham, England. p: 11-24.
- Conti, ME. 2002. Dinámica de la liberación y fijación de potasio en el suelo (en línea). Argentina, Facultad de Agronomía, Universidad de Buenos Aires. Consultado el 27 abr. 2016. Disponible en [http://lacs.ipni.net/0/C2645DDD711C34D303257967007D6ED5/\\$FILE/AA%204.pdf](http://lacs.ipni.net/0/C2645DDD711C34D303257967007D6ED5/$FILE/AA%204.pdf)
- Díaz, A; Changoluisa, D. 2012. Manual de procedimientos de análisis físico químico de suelos, aguas y foliares. La Joya de los Sachas - Ecuador, INIAP-EECA. Laboratorio del Departamento de Manejo de Suelos y Aguas. Sin publicar.

- Enríquez, G. 2010. Cacao orgánico, guía para productores ecuatorianos. Quito, Ecuador, INIAP. 407 p. (Manual, no. 54)
- Enríquez, G; Duicela, L; Corral, R. 2014. Guía técnica para la producción y poscosecha del café robusta. Ecuador, COFENAC. 108 p.
- FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura, Italia). Conservación de los recursos naturales para una agricultura sostenible (en línea). Consultado el 27 abr. 2016. Disponible en: http://www.fao.org/ag/ca/training_materials/cd27-spanish/ba/organic_matter.pdf
- Gutiérrez, V. 2003. Definición de áreas para la siembra del Camu camu en el Departamento de Putumayo. CORPOICA. 31 p.
- Hecht, SB. (ed.). 1982. Amazonia: investigación sobre agricultura y uso de tierras (en línea). CIAT. v. 82., p 175. Consultado el 28 abr. 2016. Disponible en https://books.google.es/books?hl=es&lr=&id=D2hRBQAAQBAJ&oi=fnd&pg=PP1&dq=AMAZONIA+Investigaci%C3%B3n+Agricultura+Uso+de+tierra&ots=wChYFWKMa&sig=-3B9-by4_MhsRJZMXiakjPIE#v=onepage&q=AMAZONIA%20Investigaci%C3%B3n%20Agricultura%20Uso%20de%20tierra&f=false
- INPOFOS (Instituto de la Potasa y el Fósforo, Ecuador). 1993. Diagnóstico del estado nutricional de los cultivos. Quito, Ecuador, PUBLICADOR. 55p.
- IPNI (International Plant Nutrition Institute, Argentina). 1997. Manual Internacional de fertilidad de los suelos. Agroeditorial. (en línea). <https://es.scribd.com/doc/242645735/Manual-Internacional-de-Fertilidad-de-Suelos-pdf>
- MAGAP (Ministerio de Agricultura, Ganadería, Acuicultura y Pesca, Ecuador). 2014. Proyecto agenda de transformación productiva amazónica - reconversión agroproductiva sostenible en la amazonia ecuatoriana. Quito, Ecuador. 123 p. Disponible en: <http://www.agricultura.gob.ec/agenda-de-transformacion-productiva-amazonica-reconversion-agroproductiva-sostenible-en-la-amazonia-ecuatoriana/>
- MAGAP (Ministerio de Agricultura, Ganadería, Acuicultura y Pesca, Ecuador); SINAGAP (Sistema de Información Nacional de Agricultura, Ganadería, Acuicultura y Pesca, Ecuador) 2016. Atributos edafológico. (en línea). Consultado el 25 abr. 2016. Disponible en <http://sinagap.agricultura.gob.ec/>
- Montero, O. 2015. Identificación de factores biofísicos y socioeconómicos que inciden sobre la producción de los pastos en el cantón Francisco de Orellana, de la provincia de Orellana. Tesis de Lic. Joya de los Sachas, Ecuador, UAE; INIAP. 50 p.
- Nieto, C; Caicedo C. 2012. Análisis reflexivo sobre el desarrollo agropecuario sostenible en la Amazonía ecuatoriana. INIAP / EECA. Joya de los Sachas, Ecuador. 102 p. (Publicación Miscelánea, no. 405)
- Nora, I. 2016. Ciclo del nitrógeno (en línea). Consultado el 29 abr. 2016. Disponible en <http://www.iib.unsam.edu.ar/php/docencia/licenciatura/biotecnologia/2010/QuimicaBiol/ciclo.pdf>
- Picone, L; Zamuner, E. (2002). Fósforo orgánico y fertilidad fosfórica. In Simposio de Fósforo "Enfoque sistémico de la Fertilización Fosfórica". INPOFOS. Informaciones agronómicas del cono sur, 16, 11-15, Balcarce, Argentina (en línea). Consultado el 29 de abril de 2016. Disponible en [http://www.ipni.net/ppiweb/iaarg.nsf/\\$webindex/067DE38143257A7B03256CB000485093/\\$file/nota3.pdf](http://www.ipni.net/ppiweb/iaarg.nsf/$webindex/067DE38143257A7B03256CB000485093/$file/nota3.pdf)
- Ronen, E. 2007. Microelementos en la agricultura (en línea). Consultado el 28 abr. 2016. Disponible en http://www.lamolina.edu.pe/facultad/ciencias/hidroponia/boletin_38/38-articulo-microelementos.pdf
- Snoeck, J. 1980. Evolution du chimisme du sol dans des essais d'engrais minéraux sur Coffea canephora en Cote, d'Ivoire. Café, Cacao, Thé 24(3):177-188.
- Thompson, L; Troeh, F. 1982. Los suelos y su fertilidad. Barcelona, España. Reverte. 18 p. (En línea). Disponible en: <https://books.google.es/books?id=AegjDhEIVAQC&lpg=PR9&ots=QK9RKClXR&dq=Los%20suelos%20y%20su%20fertilidad.%20&lr&hl=es&pg=PR9#v=onepage&q=Los%20suelos%20y%20su%20fertilidad.&f=false>
- Zapata, R. 2004. La química de la acidez del suelo. Medellín, Colombia, Facultad de Ciencias, Universidad Nacional de Colombia. 126 p.