

EMISIONES DE CO₂ POR APLICACIÓN DE CAL EN SUELOS ÁCIDOS DE COLOMBIA

Boletín técnico: N° 02 - febrero 2021

Revisó: Carlos Felipe Torres Triana. Coordinador Técnico-Emissiones de gases de efecto invernadero de la Agricultura–AFOLU

Autores: Diana Manrique Luna¹, Carlos Felipe Torres Triana², Luciana Gómez Palencia³, Héctor Moreno Quitian⁴ Alejandro Sánchez Pulido⁵

Grupo Cambio Global – Subdirección de estudios Ambientales-IDEAM

RESUMEN

Se realizó un estudio con el objetivo de estimar las emisiones de CO₂ por el uso de la cal en suelos ácidos de Colombia. Los datos de actividad fueron obtenidos tomando como referencia el criterio de quince agrónomos expertos con mínimo 10 años de experiencia en campo, disponibles, imparciales, con una buena reputación regional y motivación para participar, distribuidos en diferentes regiones del país. Las regiones se seleccionaron verificando su actividad agropecuaria, así como la proporción de suelos ácidos en el territorio. La información se recopiló mediante un árbol de decisiones, solicitando a los expertos la cantidad de cal dolomita (kg.ha.año⁻¹) empleada en los principales cultivos de cada región. El factor de emisión empleado para el cálculo fue 0,13 de CO₂ propuesto por IPCC para cal dolomita. Los hallazgos muestran que la aplicación de cal dolomita en los cultivos responde a la corrección de acidez y la concentración de aluminio (Al) en el suelo, ya que ambas características afectan negativamente la productividad. Una mayor área sembrada requiere un incremento en el uso de cal, aumentando las emisiones de CO₂ consecuentemente. En la región Orinoquia la aplicación de cal ha mostrado una alta dependencia a las fluctuaciones del área sembrada y el rendimiento productivo de los principales cultivos (arroz, maíz y palma de aceite). La mayor intervención gubernamental, investigación y mecanización han permitido un incremento productivo notable. La aplicación de cal dolomita actualmente no es un punto clave para el país por su menor representatividad dentro del inventario GEI. Sin embargo, su contabilización es clave para el país debido a su alta proporción de suelos ácidos; esta información servirá como punto de partida para establecer líneas de acción estratégicas que hagan frente a la reducción de los GEI.

Palabras clave: acidez, agricultura, suelo, factores de emisión, gases de efecto invernadero.

¹ Consultor emisiones asociadas a los suelos gestionados del sector AFOLU. email:dlmanrique@ideam.com

² Coordinador Técnico-Emissiones de gases de efecto invernadero de la Agricultura–AFOLU. email: cftorres@ideam.gov.co

³ Consultor emisiones de metano por gestión de estiércol del sector AFOLU. email: elgomez@ideam.gov.co

⁴ Consultor emisiones de Metano entérico del sector AFOLU. email: hwmoreno@ideam.gov.co

⁵ Consultor emisiones de Carbono categoría no bosque del sector AFOLU. email: lasanchez@ideam.gov.co

ABSTRACT

A study was performed with the objective of estimating CO₂ emissions from the use of lime in acid soils in Colombia. The activity data were obtained with the reference criteria of fifteen expert agronomists distributed in different regions of the country. To be considered into the study, each expert must be available, impartial, with good regional reputation and have a minimum of 10 years of experience in the field. The regions were selected by their agricultural activity, and proportion of acid soils in the territory. The information was compiled through a decision tree, asking the experts for the amount of dolomite lime (kg.ha.year⁻¹) employed in main crops by region. The emission factor used was 0.13 CO₂ for dolomite lime (IPCC). Crops lime application is related to the acidity and aluminum concentration in the soil, since both characteristics negatively affect crop productivity. A larger planted area requires higher amounts of lime application, increasing CO₂ emissions accordingly. In the Orinoquia region, the application of lime shown a high dependence on the planted area and the productive yield of main crops (rice, corn, and oil palm). Increased government intervention, research and mechanization allowed a notable increase in yield. The application of dolomite lime is currently not a key point for the country by its lower representation within the GHG inventory. However, its accounting should be critical by the high proportion of acid soils; this information will serve as a starting point to establish strategic lines of action GHG mitigation.

Keywords: acidity, agriculture, soil, emission factors, greenhouse gases.

INTRODUCCION

El suelo es un recurso natural que dependiendo de la región geográfica y su utilización presenta características diferentes. El pH del suelo es un indicador de las condiciones del suelo pues afecta directamente las propiedades físicas, químicas y biológicas. Un pH adecuado para actividades agrícolas se encuentra entre 6 y 7, incluso con valores cerca de 8 se pueden obtener buenos rendimientos agropecuarios. Valores que sobrepasen este límite indican la presencia de sales solubles, esto implica utilizar cultivos adaptados a estas condiciones. Por otra parte pH muy bajo (ácidos), también resulta en limitantes para el desarrollo de los cultivos que se pueden mejorar con el uso de correctivos agrícolas (Ibañes, 2007).

La limitante más común de los suelos colombianos está relacionada con la acidez, aproximadamente el 80% de los suelos son ácidos, esto equivale a 67 millones de hectáreas que poseen un pH inferior a 5,5 lo cual se relaciona a toxicidad por aluminio, deficiencias de molibdeno y otras condiciones de restricción para las plantas (FAO, 2019). La acidez se determina midiendo la concentración de H⁺ en la solución del suelo y se puede expresar como potencial de hidrógeno (pH). Esta escala cubre un rango que va de 0 a 14 en donde 7 es el valor neutro, mientras que valores menores a 7 son ácidos y valores mayores son básicos (Espinosa & Molina, 1999). La acidez del suelo puede ser ocasionada



por diversos factores como el tipo de material parental, remoción de nutrientes, uso excesivo de fertilizantes nitrogenados, materia orgánica y presencia de aluminio, hierro y manganeso. Principalmente la Orinoquia, la cordillera andina, los valles interandinos de aluviones ácidos y la Amazonia, poseen grandes limitantes para la producción de cultivos y pasturas. Cuando el clima es húmedo y hay exceso de precipitación se lavan las bases que están en el suelo como el calcio (Ca), magnesio (Mg), potasio (K) y sodio (Na), estos elementos se lixivian y los suelos pasan a tener condiciones ácidas (Malagón, 2003).

La Orinoquia posee excesos de Al que pueden estar entre 40-80%. Este es asociado con la reducción en la absorción de fósforo (P) y calcio (Ca), debido a una fuerte tendencia que tiene para reaccionar en suelos minerales con estos elementos. Una disminución en la absorción de P causa reducción en el ritmo metabólico de la raíz y a su vez en los mecanismos de transporte activo de las membranas celulares y absorción de nutrientes como N, Ca, Mg entre otros (Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural. & Corpoica, 2006).

La alternativa más común para corregir la acidez del suelo consiste en el empleo de enmiendas calcáreas. Estos materiales son productos comerciales correctivos de acidez de origen natural o industrial compuesto por carbonatos, óxidos, hidróxidos y silicatos de calcio o magnesio. Los procesos que suceden en el suelo posterior al encalado son complejos de explicar, pero pueden resumirse de la siguiente forma: al encalar un suelo ácido las concentraciones de Ca^{2+} (ion calcio) aumentan en el complejo de intercambio aumentando también la saturación de bases. Los iones de Al^{3+} (ión aluminio) se reemplazan por Ca^{2+} y son neutralizados por grupos OH^- . Posterior a esto el pH del suelo aumenta debido a que la hidrólisis de Al^{3+} disminuye después de la aplicación de cal y hay menos espacios para los protones en el complejo de intercambio. Como resultado se reduce la toxicidad por Al^{3+} en las raíces de las plantas y compensa la deficiencia de Ca^{2+} en el suelo y Mg^{2+} en el caso de aplicar cal dolomita (Helyar et al., 1989). Debido a que el uso de la cal se ha centrado en los beneficios que tiene la cal en el suelo, a nivel mundial son pocos los estudios donde se menciona la dinámica del carbono por efecto del encalado. Según Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), (2006), el agregado de carbonatos a los suelos, en forma de cal (p. ej., piedra caliza cálcica (CaCO_3) o dolomita ($\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$), genera impactos en el medio ambiente que conducen a emisiones de CO_2 , ya que las calces se disuelven y liberan bicarbonato (2HCO_3^-), que finalmente son convertidos en CO_2 y agua (H_2O). Algunos estudios han demostrado que el aumento del pH mediante la aplicación de cal aumenta la producción en los suelos ácidos (Kemmitt et al., 2006; Kirkham et al., 2007), otras investigaciones en Australia y Estados Unidos han corroborado que la adición de cal dolomita a suelos ácidos puede provocar incremento inmediato de las emisiones de CO_2 (Shoghi Kalkhoran et al., 2019; West & McBride, 2005). Dado que Colombia es un país agropecuario donde es común el uso de la cal por las características de sus suelos, es esencial incluir en los inventarios de gases de efecto invernadero (INGEI) la categoría 3C2 la cual describe las emisiones de CO_2 por la aplicación de cal (IPCC, 2006). Esto permitirá conocer el estado en que se encuentra el país en relación con esta categoría y servirá como herramienta para el diseño e implementación de medidas de mitigación en la reducción de este gas.

Con base en las generalidades anteriores este boletín reúne los resultados obtenidos de la estimación de emisiones de CO_2 generadas por aplicación de cal a los suelos en Colombia, en el marco del

proyecto “Desarrollo Sostenible Bajo en Carbono en la Región de la Orinoquia - DSBCO” el cual hace parte de la iniciativa global Paisajes Forestales Sostenibles del Fondo Biocarbono del Banco Mundial.

MATERIALES Y METODOS

La descripción de la metodología para la estimación de emisiones de CO₂ provenientes del uso de la cal, tiene como fundamento el documento: “Emisiones de N₂O de los suelos gestionados y emisiones de CO₂ derivadas de la aplicación de cal y urea”, del Refinamiento de 2019 de las Directrices del IPCC (IPCC, 2019). De acuerdo con lo anterior, el IPCC propone el uso de diferentes métodos o niveles a fin de obtener estimaciones que describan la situación actual del país, así como la disponibilidad de datos con una metodología coherente, transparente y bien documentada (IPCC, 2006a).

Datos de actividad

El IPCC sugiere realizar las estimaciones de CO₂ considerando las estadísticas del uso de la cal para determinar la cantidad que se aplica anualmente a los suelos. Dado que esta información no se encuentra disponible nacionalmente, se procedió a realizar una consulta de expertos para obtener los datos de actividad a nivel subnacional por sectores naturales del país.

Las regiones de Colombia son divisiones territoriales que poseen características heterogéneas en relieve, clima, vegetación y tipos de suelos. Las diferencias regionales se definen por características del relieve, distancia al mar, promedio de lluvias y condiciones del suelo. De acuerdo con estas características, las regiones se dividen en Amazonía, Andina, Caribe, Insular, Orinoquia y Pacífico. En el presente estudio se revisaron las regiones con mayor actividad agropecuaria a partir del IGAC⁶ – mapa de clasificación de las tierras por su oferta ambiental⁷. Posteriormente se verificaron las regiones con una mayor extensión de suelos ácidos, mediante el mapa de clasificación del pH del suelo, proporcionado por el equipo de regionalización ganadera del equipo AFOLU, el cual realizó una interpolación por inverso a la distancia (IDW)⁸, usando información de SISLAC⁹ (FAO) y optimizado en Arcgis 10,5. En base a lo anterior, se seleccionaron las regiones Andina, Orinoquia y Pacífico.

La consulta de expertos se realizó por su importancia mostrada en diversas investigaciones. Según Garcia & Suarez (2013), la experticia de un investigador experimentado puede dar respuestas a información limitada. En concordancia, Escobar & Cuervo (2008) definen la consulta de expertos como “una opinión informada de personas, con trayectoria en el tema, que son reconocidas por otros como expertos cualificados en éste y que pueden dar información, evidencia, juicios y valoraciones”.

⁶ Instituto Geográfico Agustín Codazzi

⁷ <https://geoportal.igac.gov.co/contenido/datos-abiertos-agrologia>

⁸ Inverse Distance Weighted

⁹ Sistema de información de Suelos de Latinoamérica y el Caribe

Cabe mencionar que esta estrategia de evaluación posee ventajas tales como una amplia y pormenorizada información sobre el tema base de la consulta y su calidad de respuestas. Además, la correcta aplicación de una consulta de expertos depende de criterios de selección y del número adecuado de los mismos (Cabero & Llorente, 2013). De acuerdo con IPCC (2006b), a falta de datos es una buena practica basarse en esta técnica para disminuir la cuantificación de la incertidumbre.

De otra parte, el número de personas a consultar depende del nivel de experticia y de la diversidad del conocimiento, sin embargo, la decisión sobre su cantidad adecuada difiere entre autores. Así, mientras Gable y Wolf (1993), Grant y Davis (1997), y Lynn (1986) (citados por Rubio et al., 2003) sugieren un rango de dos hasta veinte expertos. Hyrkäs et al. (2003), mencionan una estimación confiable de la validez de contenido de un instrumento con diez expertos.

En el presente estudio, se generó un árbol de toma de decisiones como instrumento para afinar el error de incertidumbre, dado que Colombia no cuenta con una estadística oficial que nos describa el uso de la cal como un acondicionador del suelo (Figura 1).

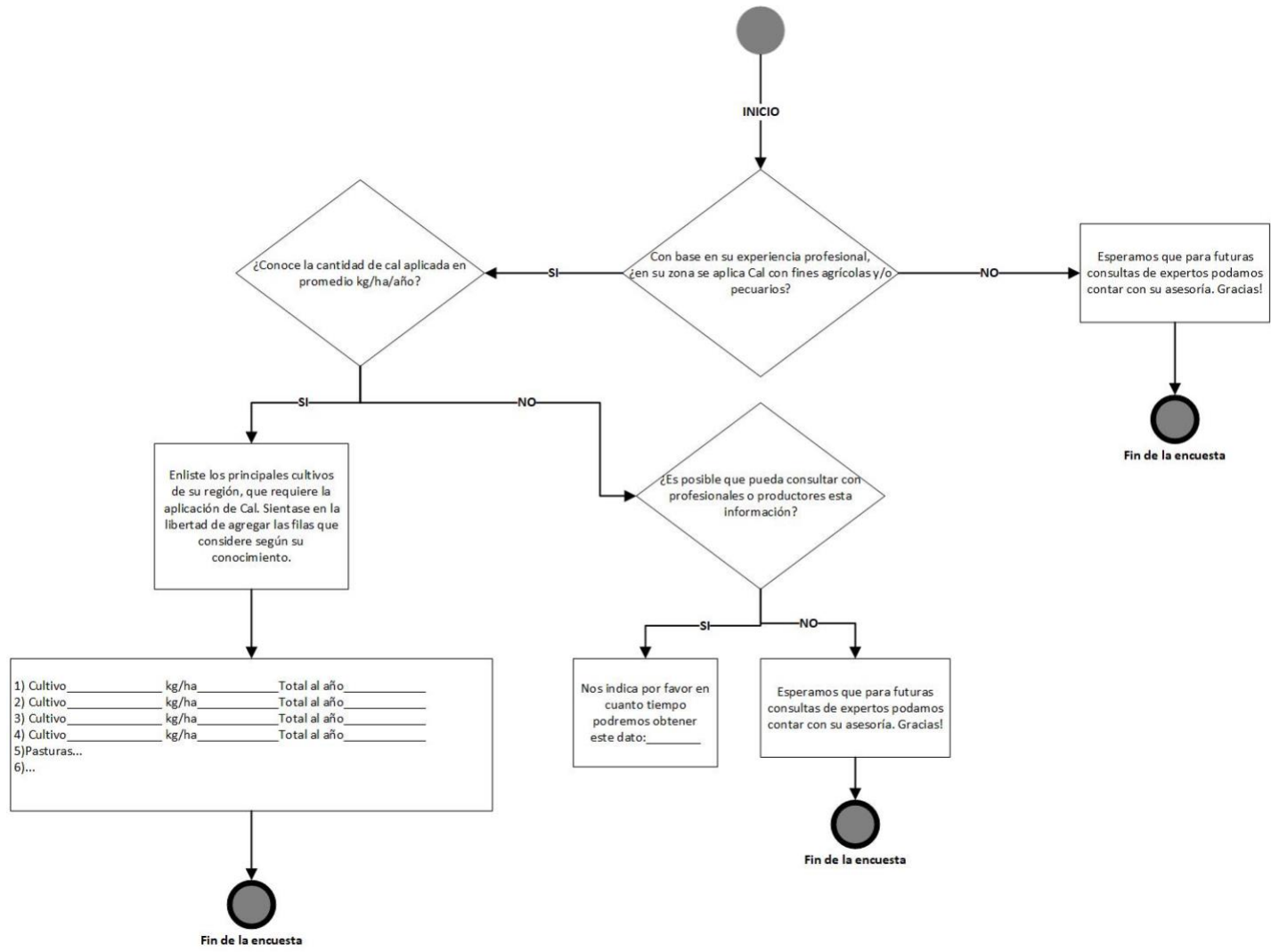


Figura 1. Árbol de decisiones empleado en Consulta de Expertos para generar datos de actividad por el uso de cal dolomita. Fuente: Elaboración propia

Un árbol de decisión es considerado una excelente ayuda para la elección entre varias opciones, ya que contiene una estructura que permite al investigador seleccionar las opciones más adecuadas (Valdivieso et al., 2011). Para la obtención de la información se solicitó la cantidad cal (kg.ha.año⁻¹) empleada en los principales cultivos (Figura 1). Los datos de cada región se obtuvieron considerando el criterio de quince agrónomos expertos distribuidos a nivel nacional. Todos ellos profesionales con mínimo 10 años de experiencia en campo, disponibles, imparciales, con una buena reputación regional y motivación para participar.

Posterior a la recopilación de cada experto, el equipo técnico implementó una aproximación (proxy), mediante diálogo de saberes basado en experiencias de campo, para estimar la proporción de áreas sembradas con cal aplicada, así como su proporción en los cultivos (20% para ambas variables). Finalmente, el cálculo de la cantidad de cal aplicada a nivel departamental se basó en las áreas sembradas de los principales cultivos¹⁰ con sus correspondientes aproximaciones.

Factor de emisión

Los factores de emisión tradicionalmente se han empleado para el desarrollo de inventarios de emisiones nacionales, regionales, estatales y locales, para diseñar estrategias de control de calidad del aire. Son una herramienta para estimar la cantidad de emisiones de un determinado contaminante asociado a una actividad (EPA, 2001; CAR, 2013). En Colombia aún no se realizan investigaciones asociadas al desarrollo de factores de emisión por el uso de la cal, sin embargo, el IPCC ha propuesto factores de emisión como resultado de diferentes investigaciones internacionales.

Ecuación empleada para la estimación

Las emisiones de CO₂ por la aplicación de cal se estimaron mediante la ecuación 11.12 (IPCC, 2006). Esta toma el factor de emisión por defecto y la cantidad de cal dolomita (ton C año⁻¹).

$$CO_2 - C \text{ Emission} = Cal_{Dolomita} * EF$$

Fuente: (IPCC, 2019)

Dónde:

CO₂-C Emisión=emisiones anuales de C por aplicación de cal, toneladas C año⁻¹

Cal Dolomita = Cantidad anual de dolomita (CaMg (CO₃)₂) ton año⁻¹

EF= factor de emisión, tonelada de C (tonelada de piedra caliza o dolomita)⁻¹ (0,13).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Datos de actividad

La utilización de los árboles de decisiones para obtener la información de expertos agrónomos en las diferentes regiones mostró predominancia en los siguientes cultivos:

¹⁰ <https://www.agronet.gov.co/estadistica/paginas/home.aspx?cod=59>

Región Andina: Café, plátano, arroz

Región Orinoquia: palma de aceite, arroz, maíz

Región Pacífico: Caña, café, plátano, papa

Región Orinoquia

En la última década la producción agrícola en la Orinoquia se ha incrementado de manera considerable. Desde 2010, se ha observado un crecimiento de la superficie sembrada con monocultivos de arroz, soya, maíz, palma de aceite y silvicultura con especies exóticas (Eslava Mocha, 2015). Debido a que los suelos de la Orinoquia son ácidos y pobres en materia orgánica, la incorporación de fertilizantes y enmiendas calcáreas ha sido una práctica muy común entre productores para reducir la acidez del suelo y el suministro de Ca y Mg. Por lo tanto, el gran potencial de expansión agrícola de la región favorece mayores áreas disponibles para encalar. La aplicación de cal a los suelos mediante prácticas inadecuadas puede representar una fuente importante de emisiones de CO₂ y contribuye al calentamiento global.

Dada la necesidad de disminuir las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI), producto de las actividades agropecuarias en la Orinoquia, se creó el Fondo Biocarbono “Desarrollo Sostenible Bajo en Carbono en la Región de la Orinoquia - DSBCO”, el cual hace parte de la iniciativa global Paisajes Forestales Sostenibles (ISFL). Este es encabezado por el gobierno nacional en colaboración del Banco Mundial y busca el establecimiento de agricultura inteligente que responda a los desafíos ambientales y climáticos que enfrenta el planeta. Esta estrategia permitirá implementar prácticas sostenibles y tecnológicas para proteger los diferentes ecosistemas y mitigar las consecuencias del cambio climático. En consecuencia, es importante analizar el estado de situación de las emisiones de CO₂ por aplicación de cal en la Orinoquia. Esta información servirá como punto de partida para establecer líneas de acción estratégicas que hagan frente a la reducción de los GEI.

Las dosis de cal dolomita comúnmente empleada en la región Orinoquia se muestran en el Anexo 1. La Palma de aceite muestra un mayor uso de cal dolomita, con una aplicación de 1.500 kg.ha.año⁻¹. Su amplia demanda con este cultivo puede deberse a altos requerimientos nutricionales en suelos cuya reserva de nutrientes es muy limitada (Munévar, 2004), especialmente en fósforo.

El maíz es el segundo cultivo que requiere aplicación de cal. Algunos autores sugieren emplear 2.5 ton.ha.año⁻¹ de cal dolomita en cultivos de maíz híbrido con alto potencial de rendimiento (Bernal et al., 2014).

Finalmente, la inundación en arroz riego promueve un efecto benéfico al no requerir altas cantidades de cal como correctivo. Sin embargo, esta puede aplicarse como fuente de Ca y Mg (Aristizabal et al., 2000). En cultivos de arroz secano en suelos ácidos de sabana de la Orinoquia se recomiendan 650 kg.ha.año⁻¹.

Región Andina

El café y el plátano requirieron la mayor cantidad de cal dolomita (1.000 y 1.200 kg.ha.año⁻¹ respectivamente) (Anexo 2). La mayoría de los suelos en zonas cafeteras tienen carga dependiente del pH. Esto significa que una mayor acidez promueve una menor capacidad de intercambio catiónico efectiva, lo que incrementa la fertilidad y la eficiencia de la fertilización del suelo. Dentro de las



causas de acidez se encuentran el lavado de bases intercambiables por lluvia y reemplazo de cationes por Al^{3+} , descomposición de materia orgánica, oxidación del azufre, nitrificación del amonio (NH_4) y liberación de H^+ (Zapata, 2002). De acuerdo con investigaciones de CENICAFE (2016), plantas de un año mostraron un mayor diámetro del tallo y ramas más largas utilizando 60 gramos de caliza dolomítica por hoyo. El experimento se realizó en el municipio de Andes (Antioquia). En otro estudio se evaluaron diferentes dosis de cal dolomita en cultivos de café y se concluyó que el encalado puede afectar a los suelos en su pH, Ca^{2+} , Mg^{2+} , CIC, Al^{3+} , Fe^{2+} , Mn^{2+} , NO_3^- , saturación de bases y relación de bases intercambiables. El mal uso de la cal puede tener efectos negativos para el suelo y el cultivo como: deficiencia de zinc (Zn), manganeso (Mn), boro (B), fósforo, potasio (K), calcio (Ca) y magnesio (Mg), reduciendo y deteriorando la productividad y la estructura del suelo, disminuyendo la infiltración (CEDICAFE, 2018).

Por otra parte, el cultivo de plátano se adapta a diferentes tipos de suelos, sin embargo, todos no son aptos para su desarrollo, de ahí la importancia de conocer las propiedades físicas químicas y biológicas a través de muestreos y análisis de suelos. El cultivo requiere un pH entre 5.5 y 6.5 no obstante, en Colombia los suelos adquieren rápidamente características ácidas debido al exceso de precipitaciones que lavan y lixivian las bases como cationes de Ca, K y Na, que afectan la producción. Investigaciones de García et al. (2019) en suelos extremadamente ácidos con pH por debajo de 5.5 de municipios productores de plátano en Cundinamarca, hallaron disminución en la absorción de nutrientes esenciales como el K y Mg. Adicionalmente encontraron niveles muy altos de Ca en los suelos, que podría estar asociado a inadecuadas prácticas de encalado. Respecto a dosis empleada Palencia et al. (2006), sugieren que es adecuado aplicar antes de la fertilización 200 gramos de cal dolomita por planta.

Región Pacífico

Los cultivos de café, papa, caña y plátano requieren encalado. De acuerdo con la consulta de expertos en café y papa se emplean 1.200 y 1.000 kg.ha.año⁻¹ respectivamente (Anexo 3). La literatura menciona algunos estudios relacionados a la fertilización de suelos con diferentes sistemas de producción cafetero orgánico y tradicional. En el departamento del Cauca, Calambas (2009), halló un valor promedio de 5.5, es decir suelos medianamente ácidos que incluían porcentajes de saturación de Al mayor al 50%. Estas condiciones posiblemente redujeron la disponibilidad de nutrientes en el suelo para los cafetales. Los resultados del autor sugieren que para mejorar el balance de nutrientes en los cultivos debe realizarse una corrección de pH aplicando cal dolomita a razón de 1.046 kg.ha.año⁻¹.

Nariño es uno de los departamentos que tiene como principal actividad económica el cultivo de la papa. Este producto demanda gran cantidad de agroquímicos después del café y se adapta bien a suelos ácidos con pH entre 5.5 a 6.5 (NUTRIMON, 2007). En esta zona, se han realizado algunas investigaciones para evaluar las características químicas de acuerdo con el uso y manejo del suelo. En suelos donde se tiene monocultivo de papa se ha encontrado un pH de 5.46, este valor puede justificar el empleo de la cal para disminuir la acidez y tener mejores rendimientos (Arteaga et al., 2016). Informes para suelos similares, mencionan algunas recomendaciones relacionadas a la aplicación de enmiendas. En suelos con pH menor a 5 y pobres en Ca y Mg se sugiere aplicar entre 1.000-2.000 kg.ha.año⁻¹ de cal dolomita. Suelos con pH de 5.1 a 5.5 la cal debe aplicarse entre 500 y 1.000 kg.ha.año⁻¹ (Guerrero, 1998). Por último y de manera general AGROSAVIA (2002),



recomienda aplicar en suelos ácidos cal agrícola o dolomita entre 1.000 y 3.000 kg.ha.año⁻¹, dependiendo del análisis de suelo.

La caña de azúcar tolera varios niveles de pH en el suelo, sin embargo, para su correcto desarrollo y producción es adecuado un valor de pH de 6.5, que equivale a un grado de acidez ligero. Valores por debajo de 5.5 considerados como fuertemente ácidos pueden restringir el desarrollo normal del cultivo. En el Valle del Cauca algunas zonas poseen suelos con pH inferior a 5.5, esto justifica la aplicación de cales y otras enmiendas para neutralizar el aluminio (Al) intercambiable. En suelos donde la relación calcio: magnesio es muy amplia se recomienda aplicar cal dolomita en dosis de 1.090 kg.ha.año⁻¹ (Quintero, 1993). Otros informes sugieren aplicar en suelos ácidos por debajo de 5.5, 2.000 kg.ha.año⁻¹ de cal dolomita (Garces E, 2019).

Emisiones Nacionales de CO₂ por encalado para el inventario nacional GEI

Las emisiones nacionales de CO₂ por aplicación de cal dolomita en Colombia se observan en la figura 2. En general las emisiones totales para el país presentan un comportamiento creciente. En la última década, las mayores emisiones se presentaron en el 2016 (47.6 Gg CO₂ año⁻¹), principalmente por las áreas sembradas de palma de aceite en la Orinoquia y café en la región Andina. Estos cultivos son considerados de larga vida útil en el país y se han destacado por su expansión y alta tecnificación. En el caso de la palma, Colombia es el cuarto productor en el mundo y el primero en América, este cultivo se ha catalogado dentro de la economía como uno de los de mayor crecimiento (Fedepalma, 2020). De acuerdo con los resultados, en el año 2016 los departamentos de Meta y Casanare generaron las mayores emisiones por el uso de la cal en palma (8.9 Gg CO₂ año⁻¹), esto es relacionado a una mayor área sembrada. Según cifras de las evaluaciones agropecuarias a nivel nacional la palma pasó de sembrar 322.030 hectáreas en el año 2007 a 654.831 en el 2017, es decir obtuvo un incremento porcentual de 103.3%.

Por otra parte, la actividad cafetera ha representado parte importante de la actividad económica colombiana. En el transcurso de los años el esquema institucional cafetero colombiano ha proporcionado diversos beneficios, dentro de ellos el apoyo a la producción a través de asistencia técnica, extensión y campañas que han hecho posible la rápida tecnificación, mayor producción y menores costos (Cárdenas, 1993; Felipe & Yacué, 2015). Las emisiones de CO₂ año⁻¹ por café en la última década fueron en la región Andina (12.7 Gg CO₂ año⁻¹ año 2017), siendo Huila, Antioquia y Tolima los departamentos que más contribuyeron a la emisión.

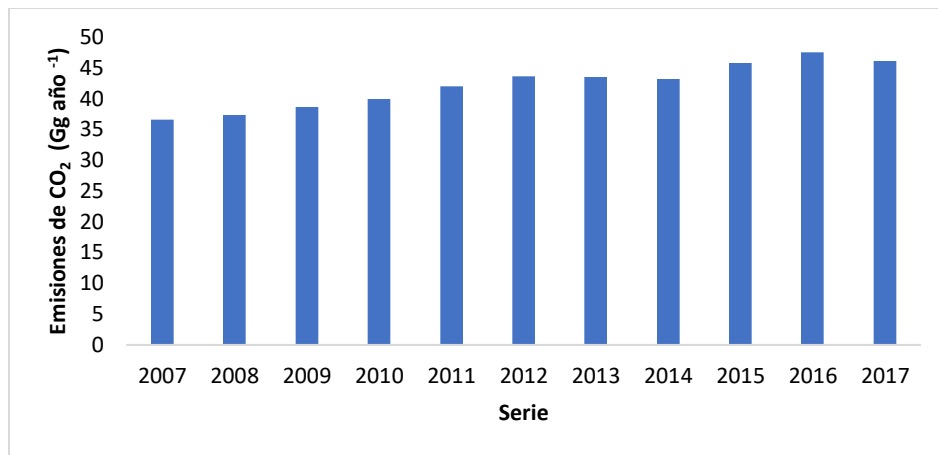


Figura 2. Emisiones de CO₂ por aplicación de cal dolomita en Colombia. Fuente: Elaboración propia

De manera complementaria, otros cultivos muestran importancia regional además del café y la palma de aceite. La participación anual de cada uno de estos puede observarse en la figura 3.

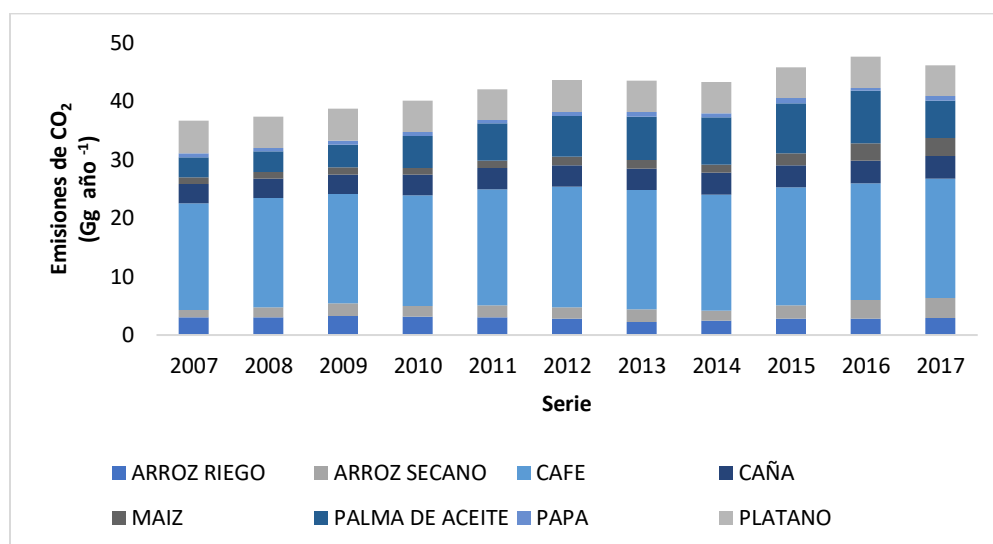


Figura 3. Emisiones de CO₂ por aplicación de cal dolomita en los principales cultivos agrícolas. Fuente: Elaboración propia

Región Orinoquia

En la Región Orinoquia a pesar de que los suelos son ácidos y de baja fertilidad, los productores realizan aplicación de correctivos y adecuaciones para llevar a cabo dicha actividad (FEDEARROZ, 2011). Los departamentos con una mayor emisión de CO₂ por aplicación de cal dolomita en el cultivo de arroz riego han sido Casanare y Meta, con una mayor proporción en el departamento de Casanare en el transcurso de los años (0,50 Gg CO₂ año⁻¹ mayor emisión año 2011). Esto es debido al crecimiento positivo que han tenido las áreas sembradas. De acuerdo al Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural (2010), el periodo comprendido entre 2004 y 2008 las áreas cosechadas a nivel

nacional tuvieron un incremento de 0.76%, la producción 1.76% y el rendimiento 1% de los cuales Casanare tuvo una importante participación.

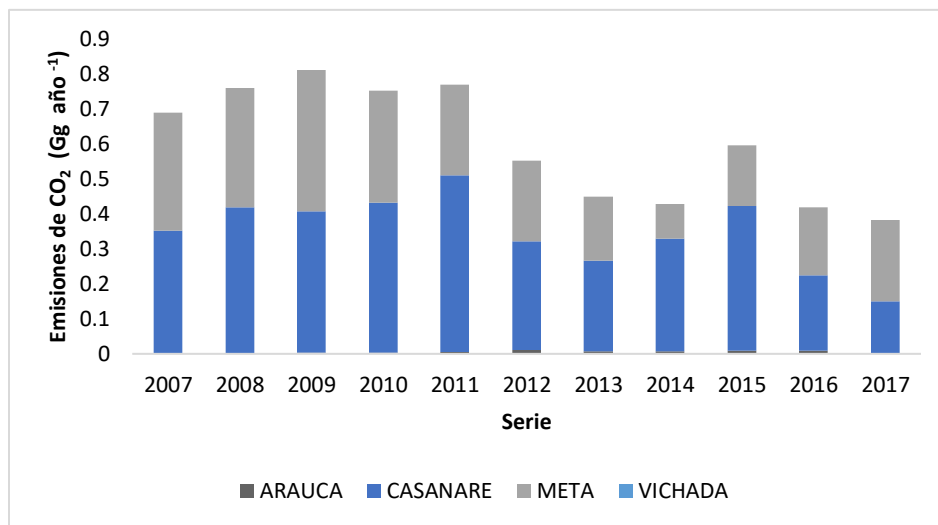


Figura 4. Emisiones de CO₂ por aplicación de cal dolomita en el cultivo de Arroz riego en la Región Orinoquia. Fuente: Elaboración propia

En los años 2015, 2016 y 2017 se mostró nuevamente un crecimiento en las áreas sembradas de arroz (Agronet, 2016), presentándose la Región Orinoquia como uno de los territorios con mayor intervención (Fedearroz, 2016). De acuerdo con el informe estadístico de evaluaciones agropecuarias del Ministerio de Agricultura, la Orinoquia contribuyó con cerca de 200.000 hectáreas en donde la mayor proporción fue de arroz seco mecanizado. Estas se produjeron en su mayoría en Casanare, por consiguiente, cubre las mayores emisiones de CO₂ año⁻¹ que se observan principalmente entre los años 2010 y 2017 (Figura 5).

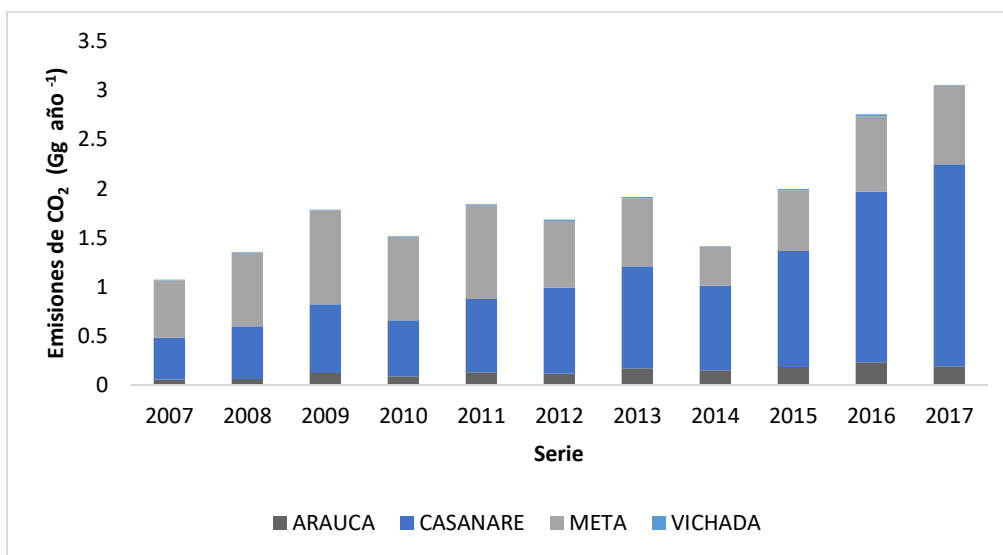


Figura 5. Emisiones de CO₂ por aplicación de cal dolomita en el cultivo de Arroz seco en la Región Orinoquia Fuente: Elaboración propia

La Orinoquia ha sido históricamente una región productora de maíz tradicional y tecnificado en donde sus áreas sembradas han fluctuado en el transcurso de los años por diversas circunstancias asociadas a la poca intervención estatal, costos de producción e importaciones. En los últimos diez años se han mostrado situaciones que han contribuido al aumento en las áreas sembradas y la productividad del maíz en la altillanura colombiana (Meta). Entidades como Agrosavia¹¹, ICA¹², FENALCE¹³ y otras empresas privadas han realizado investigaciones para recomendar el manejo de los suelos ácidos, con alto contenido de aluminio usando diferentes tipos de correctivos dentro de ellos la cal y los fertilizantes (Polania & Mendez, 2014). Con base en lo anterior en la figura 6 se observa cómo ha sido el crecimiento de las emisiones de CO₂ año⁻¹ por encalado en el cultivo de maíz. En los años 2007 hasta 2011 las emisiones tienden a ser constantes entre departamentos, sin embargo, Arauca y Meta poseen una mayor participación debido a una mayor área sembrada de maíz. Adicionalmente en los años 2015, 2016 y 2017 las emisiones tienen un crecimiento importante como resultado del aumento de áreas sembradas en la altillanura colombiana.

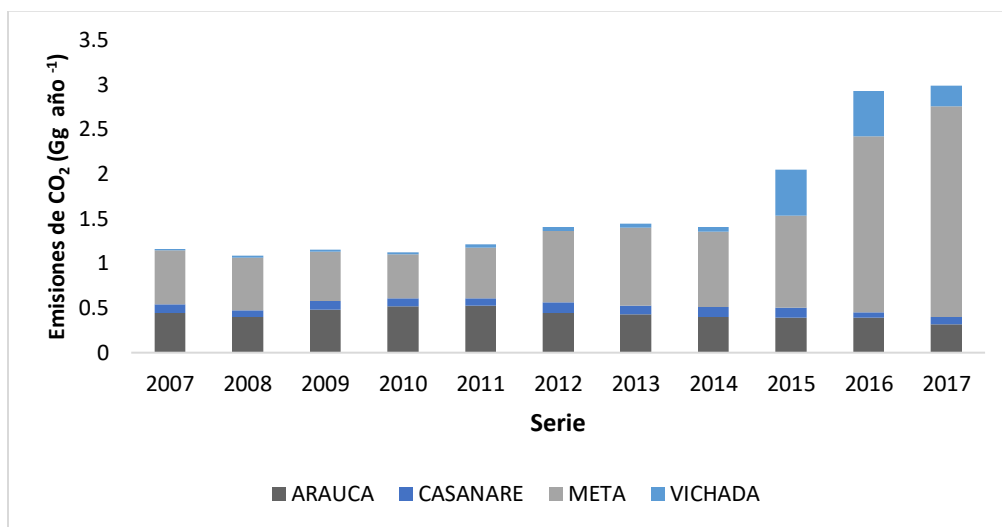


Figura 6. Emisiones de CO₂ por aplicación de cal dolomita en el cultivo de maíz en la Región Orinoquia. Fuente: Elaboración propia

Las emisiones de CO₂ año⁻¹ por aplicación de cal en el cultivo de palma de aceite, muestran un crecimiento significativo a partir del año 2010, predominando siempre los departamentos de Meta y Casanare por poseer una mayor proporción de hectáreas sembradas (Figura 7). En gran parte del área sembrada a nivel nacional estos departamentos poseen una importante participación. En los últimos años, Meta ha tenido un incremento significativo debido a las políticas impulsadas por el gobierno nacional y el auge de la economía de escala en la región. De igual forma el departamento posee

¹¹ Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria

¹² Instituto Colombiano Agropecuario

¹³ Federación Nacional de Cultivadores de Cereales y Leguminosas

amplios recursos para el desarrollo de la palma de aceite, generando grandes ventajas para los productores. En adición en el transcurso de los años se ha estado incrementando la producción sin tener decadencia del cultivo, entidades del sector agropecuario y encargados del sector palmero como FEDEPALMA¹⁴ han trabajado en pro al crecimiento del cultivo a nivel departamental (Castro, 2010).

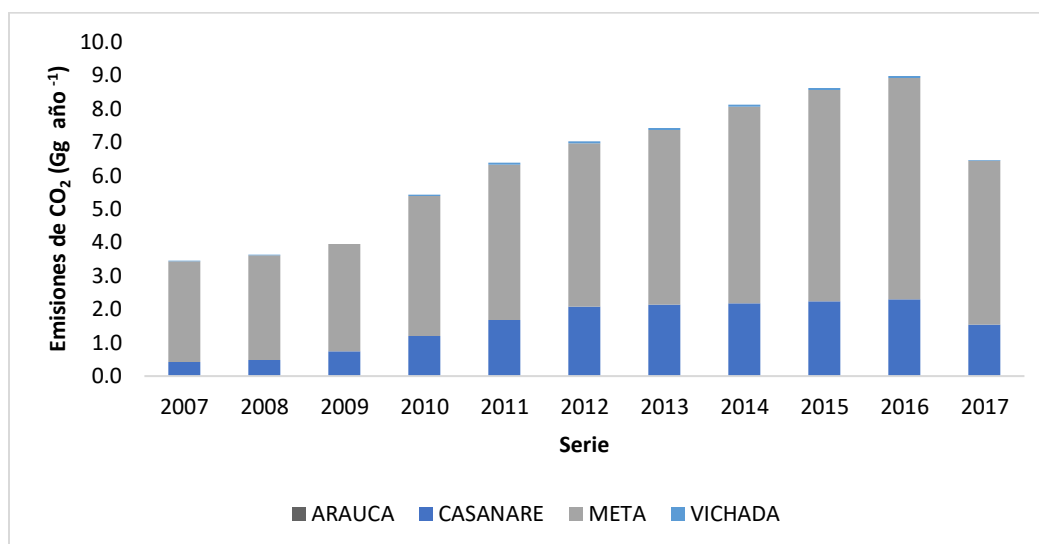


Figura 7. Emisiones de CO₂ por aplicación de cal dolomita en el cultivo de Palma de Aceite en la Región Orinoquía. Fuente: Elaboración propia

CONCLUSIONES

La aplicación de cal en cultivos responde a la corrección de acidez y la concentración de aluminio en el suelo, ya que ambas características afectan negativamente la productividad. Una mayor área sembrada requiere un incremento en el uso de cal, aumentando las emisiones de CO₂ consecuentemente. Finalmente, cada región actúa dependiendo de sus características edafoclimáticas específicas, y exige un manejo particular para cada cultivo de interés.

Las emisiones totales nacionales han tenido un incremento de 9.51 Gg CO₂ (25,9 %), en los últimos diez años. La aplicación de cal dolomita actualmente no es una categoría clave para el país por su menor representatividad dentro del inventario GEI. Sin embargo, su contabilización es importante para el país debido a su alta proporción de suelos ácidos; esto facilitaría proponer estrategias adaptativas para planes futuros.

La aplicación de cal en los principales cultivos de la Orinoquía ha mostrado una alta dependencia a las fluctuaciones del área sembrada y rendimiento productivo de los principales cultivos de la región (arroz, maíz y palma de aceite). La mayor intervención gubernamental, investigación y mecanización han permitido un incremento productivo notable.

¹⁴ Federación Nacional de Cultivadores de Palma de Aceite

El departamento del Meta mostró mayores índices productivos para los tres cultivos, esto está directamente relacionado a un mayor uso de cal por consiguiente mayores emisiones de CO₂, esto puede indicar una adecuada aproximación de las entidades gubernamentales sobre una mayor producción y podría sugerir una mayor intervención en Arauca, Casanare y Vichada. Adicionalmente, la investigación y establecimiento de variedades genéticamente resistentes a suelos ácidos permitirían un menor uso de cal, manteniendo la productividad.

Anteriormente en el inventario nacional de gases de efecto invernadero de Colombia no se había compilado el perfil de emisiones de CO₂ por el uso de la cal por lo tanto, el presente estudio reúne información reportada por primera vez que asegura la completitud de las emisiones del país.

REFERENCIAS

- Agronet. (2016, February). *Con el apoyo del MinAgricultura área sembrada de arroz creció 21% en 2015* . <https://www.agronet.gov.co/Noticias/Paginas/Con-el-apoyo-del-MinAgricultura-área-sembrada-de-arroz-creció-21-en-2015---12-de-Febrero-de-2016.aspx>
- AGROSAVIA. (2002). *Manual de papa para productores*. Regional Uno. https://repository.agrosavia.co/bitstream/handle/20.500.12324/13426/41234_27308.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Aristizabal, J., Baquero, J., & Leal, D. (2000). *Manejo eficiente de variedades mejoradas de arroz en los Llanos Orientales* (p. 52). Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria-CORPOICA.
- Arteaga J., J. C., Navia E., J. F., & Castillo, J. A. (2016). Comportamiento de variables químicas de un suelo sometido a distintos usos, departamento de Nariño, Colombia. *Revista de Ciencias Agrícolas*, 33(2), 62–75. <https://doi.org/10.22267/rcia.163302.53>

- Cabero, J., & Llorente, M. (2013). La aplicación del juicio de experto como técnica de evaluación de las tecnologías de la información (TIC). *Revista de Tecnología de Información y Comunicación En Educació*, 7(2), 11–22. <http://servicio.bc.uc.edu.ve/educacion/eduweb/v7n2/art01.pdf>
- Calambas, R. (2009). *Estudios de las propiedades físicas y químicas del suelo, en sistemas de producción de café orgánico y tradicional en los municipios de Caldon, Morales y Piendamó en el departamento del Cauca*. Universidad Nacional de Colombia.
- CAR. (2013). *Guía metodológica para el cálculo de la huella de carbono*.
- Cárdenas, J. (1993). La Industria del café en Colombia. In *Ensayos sobre Economía Cafetera*. <https://federaciondecafeteros.org/static/files/Cardenas - Industria del cafe en Colombia.pdf>
- Castro, V. (2010). *Palma de aceite en el departamento del Meta* [Universidad de los Llanos]. <http://bibliotecadigital.agronet.gov.co/bitstream/11348/6559/1/093.pdf>
- CEDICAFE. (2018). Enmiendas de Suelo en Café. In *Boletín técnico* (pp. 1–8). <https://www.anacafe.org/uploads/file/5cd916d3b6d7447db8a009ccb36d201d/Boletin-Tecnico-CEDICAFE-2018-04.pdf>
- CENICAFE. (2016, April). *La acidez del suelo una limitante común para la producción de café*. Avances Técnicos Cenicafe- Fondo Nacional Del Café. <https://www.cenicafe.org/es/publications/AVT0466.pdf>
- EPA. (2001). *Basic Information of Air Emissions Factors and Quantification*. Factores de Emisiones Atmosféricas y Cuantificación. <https://www.epa.gov/air-emissions-factors-and-quantification/basic-information-air-emissions-factors-and-quantification>
- Escobar-Pérez, J., & Cuervo-Martínez, Á. (2008). Validez De Contenido Y Juicio De Expertos: Una Aproximación a Su Utilización. *Avances En Medición*.
- Eslava Mocha, P. R. (2015). ¿Carecemos de inteligencia territorial para proponer un modelo productivo responsable en la Orinoquia? *Orinoquia*, 19(1), 10–12. <https://doi.org/10.22579/20112629.310>
- Espinosa, J., & Molina, E. (1999). Acidez y enclado de los suelos. *Accs*, 1, 1–46. [http://www.ipni.net/publication/ia-lahp.nsf/0/35E6134F83790877852580120071C1C7/\\$FILE/Art 3.pdf](http://www.ipni.net/publication/ia-lahp.nsf/0/35E6134F83790877852580120071C1C7/$FILE/Art 3.pdf)
- FAO. (2019). *Suelos Ácidos, Portal de Suelos de la FAO*. Manejo de Suelos Problemáticos, Organización de Las Naciones Unidas Para La Alimentación y La Agricultura. <http://www.fao.org/soils-portal/soil-management/manejo-de-suelos-problematicos/suelos-acidos/es/>
- Fedearroz. (2016). *Informe De Gestión Fondo Nacional Del Arroz. 2016*, 1–52.
- FEDEARROZ. (2011). Dinámica del sector arrocero de los llanos orientales de Colombia. In *Federación Nacional de Arroceros* (1st ed.).
- Fedepalma. (2020). *La palma de aceite en Colombia*. La Palma de Aceite En Colombia. <https://web.fedepalma.org/la-palma-de-aceite-en-colombia-departamentos>
- Felipe, C., & Yacué, O. (2015). El acompañamiento institucional en el desarrollo del sector cafetero colombiano. *Finance and Economic Policy*, 7(1), 169–191.



- GARCÉS EDER. (2019). *Guía para labores del cultivo de caña de azúcar en la empresa Garces Eder S.A.S.* Guía Para Labores Del Cultivo de Caña de Azúcar En La Empresa Garces Eder S.A.S. http://www.cenicana.org/pdf/no_clasificacion/6096.pdf
- García, S., Bautista, L., & Bolaños, M. (2019). Diagnóstico de la fertilidad de los suelos de cuatro municipios de Cundinamarca (Colombia) para la producción de plátano. *Revista U.D.C.A Actualidad & Divulgación Científica*, 22(1), 1–10. <https://doi.org/10.31910/rudca.v22.n1.2019.1192>
- García Valdes, M., & Suarez Marin, M. (2013). El método Delphi para la consulta a expertos en la investigación científica. *Revista Cubana de Salud Pública*.
- Guerrero, R. (1998). Fertilización de cultivos en clima frío. In Monomeros Colombi Venezolanos S.A. (E.M.A) (Ed.), *Monomeros Colombo Venezolanos, S.A (E.M.A)* (Segunda ed). <http://www.monomeros.com/descargas/dpmanualfrio.pdf>
- Helyar, K. R., Porter, W. M., & others. (1989). Soil acidification, its measurement and the processes involved. *Soil Acidity and Plant Growth*, 61102.
- Hyrkäs, K., Appelqvist-Schmidlechner, K., & Oksa, L. (2003). Validating an instrument for clinical supervision using an expert panel. *International Journal of Nursing Studies*. [https://doi.org/10.1016/S0020-7489\(03\)00036-1](https://doi.org/10.1016/S0020-7489(03)00036-1)
- Ibañez, J. (2007, April 2). *pH del Suelo*. Un Universo Invisible Bajo Nuestros Pies. <http://www.madrimasd.org/blogs/universo/2007/04/02/62776/comment-page-3>
- Intergovernmental Panel on Climate Change. (2006). Chapter 11 N₂O Emissions From Managed Soils, and Co₂ Emissions From. *Agriculture*.
- IPCC. (2006a). *Capítulo 2: Métodos para la recopilación de datos. Directrices del IPCC de 2006 para los inventarios nacionales de gases de efecto invernadero*.
- IPCC. (2006b). Capítulo 6. La cuantificación de las incertidumbres en la práctica. In *Orientación del IPCC sobre las buenas prácticas y la gestión de la incertidumbre en los inventarios nacionales de gases de efecto invernadero* (p. 35). https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/gp/spanish/6_Uncertainty_ES.pdf
- IPCC. (2019). Chapter 11: N₂O emissions from managed soils, and CO₂ emissions from lime and urea application. In *2019 Refinement to the 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories*.
- Kemmitt, S. J., Wright, D., Goulding, K. W. T., & Jones, D. L. (2006). pH regulation of carbon and nitrogen dynamics in two agricultural soils. *Soil Biology and Biochemistry*. <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2005.08.006>
- Kirkham, J. M., Rowe, B. A., & Doyle, R. B. (2007). Persistent improvements in the structure and hydraulic conductivity of a Ferrosol due to liming. *Australian Journal of Soil Research*. <https://doi.org/10.1071/SR06169>
- Malagón, D. (2003). Ensayo Sobre Tipología De Suelos Colombianos - Énfasis En Génesis Y Aspectos Ambientales. *Rev. Acad. Colomb. Cienc.*, 27(104), 319–341.
- Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural., & Corpoica. (2006). *Soya (glycine Max) Alternativa Para Los Sistemas de Producción de la Orinoquia Colombiana*. Corpoica.

<https://books.google.com.co/books?id=Iqx3S3KhcRgC>

- Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural. (2010). *Arroz*. Boletín de Análisis Por Producto.
- Munévar, F. (2004). Criterios agroecológicos útiles en la selección de tierras para nuevas siembras de palma de aceite en Colombia. *Palmas*.
- NUTRIMON. (2007). *Ensayo comercial de fertilización de la papa en suelos sulfatados ácidos de Boyacá*. <http://monomeros.com/descargas/dpinformativo5.pdf>
- Palencia, G., Gómez, R., & Martín, J. (2006). *Manejo sostenible del cultivo del plátano*. Corporacion Colombiana de Investigaciones Agropecuarias. www.produmedios.com
- Polania, F., & Mendez, D. (2014). Importancia del cultivo de Maíz. In *Aspectos técnicos de la producción de Maíz en Colombia* (pp. 1–222).
- Quintero, R. (1993). *Interpretación del análisis de suelo y recomendaciones de fertilizantes para la caña de azúcar*. Centro de Investigaciones de La Caña de Azúcar de Colombia.
- Rubio, D. M. G., Berg-Weger, M., Tebb, S. S., Lee, E. S., & Rauch, S. (2003). Objectifying content validity: Conducting a content validity study in social work research. *Social Work Research*. <https://doi.org/10.1093/swr/27.2.94>
- Shoghi Kalkhoran, S., Pannell, D. J., Thamo, T., White, B., & Polyakov, M. (2019). Soil acidity, lime application, nitrogen fertility, and greenhouse gas emissions: Optimizing their joint economic management. *Agricultural Systems*. <https://doi.org/10.1016/j.agsy.2019.102684>
- Valdivieso, C., Valdivieso, R., & Valdivieso, O. (2011). *Determinación del tamaño muestral mediante el uso de árboles de decisiones* (Vol. 11).
- West, T. O., & McBride, A. C. (2005). The contribution of agricultural lime to carbon dioxide emissions in the United States: Dissolution, transport, and net emissions. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, *108*(2), 145–154. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2005.01.002>
- Zapata, R. (2002). *La química de la acidez del suelo*. 207. <https://repositorio.unal.edu.co/handle/unal/3280>

ANEXOS

Anexo 1. Dosis recomendadas para corregir acidez en suelos de la región Orinoquia

Región	Cultivos agrícolas	Cal dolomita (Indicador) kg.ha.año ⁻¹
--------	--------------------	--

Orinoquia	Palma de aceite	1.500
	Arroz	650
	Maíz	1.233

Fuente: Elaboración propia

Anexo 2. Dosis recomendadas para corregir acidez en suelos de la región Andina

Región	Cultivos agrícolas	Cal dolomita (Indicador) kg.ha.año ⁻¹
Andina	Café	1.000
	Plátano	1.200
	Arroz	700

Fuente: Elaboración propia

Anexo 3. Dosis recomendadas para corregir acidez en suelos de la región Pacífico

Región	Cultivos agrícolas	Cal dolomita (Indicador) kg.ha.año ⁻¹
Pacífico	Caña	875
	Café	2.000
	Plátano	90
	Papa	1.000

Fuente: Elaboración propia