

# ADICIONALIDAD DE CARBONO ORGÁNICO DEL SUELO EN PASTO CAYMAN® BAJO PASTOREO RACIONAL VOISIN

## NOTA TÉCNICA

Francisco Arguedas Acuña<sup>1</sup>, Moisés Hernández Chaves<sup>1</sup>, Sergio Abarca Monge<sup>1</sup>, Roberto Soto Blanco<sup>1</sup>

## RESUMEN

**Adicionalidad de carbono orgánico del suelo en pasto Cayman® manejado con enfoque Voisin.** En las pasturas de los trópicos muy húmedos predominan las plantas tipo C4. Los métodos para medir adicionalidad de carbono orgánico del suelo (COS), se basan en la profundidad a la que el suelo está siendo afectado en su almacén de carbono (C) por la gestión de la cobertura actual. La sostenibilidad de las especies forrajeras de las pasturas está relacionada con la disponibilidad de nitrógeno (N) y su potencial de retención de C. Entre el 2012 y 2018, se estudiaron las diferencias entre una pastura con Ratana (*Ischaemum indicum*) con manejo tradicional y una pastura de Cayman® Híbrido de *Brachiaria*, en Guápiles. Las variables fueron: Densidad Aparente (DA), concentración y masa del COS y nitrógeno total (NT). Se observó la variación de COS en los primeros 10 cm en ambos sistemas de pasturas. La pastura de Ratana con manejo tradicional presentó menores concentraciones de C y N y una mayor densidad aparente. Se concluyó que la densidad aparente jugó un rol importante en la masa de COS en la pastura de Cayman® con un manejo Voisin, lo que generó la necesidad de corregir el volumen para mantener una masa de suelos constante, estimando la variación en el crecimiento superficial del suelo con respecto al año de inicio.

**Palabras Clave:** Carbono en pasturas tropicales, adicionalidad de carbono en el suelo, nitrógeno total del suelo.

**Keywords:** Carbon in tropical pastures, soil carbon additionality, total soil nitrogen.

---

<sup>1</sup> Instituto Nacional de Innovación y Transferencia en Tecnología Agropecuaria, INTA. Costa Rica.  
[farguedas@inta.go.cr](mailto:farguedas@inta.go.cr), [mhernandez@inta.go.cr](mailto:mhernandez@inta.go.cr), [sabarca@inta.go.cr](mailto:sabarca@inta.go.cr), [rsoto@inta.go.cr](mailto:rsoto@inta.go.cr)

## INTRODUCCIÓN

Los cambios del almacén de carbono del suelo, cuando tienden a incrementarse, se les conoce como adicionalidad. En las ecuaciones de C-Neutralidad esta adicionalidad se resta a las emisiones de Gases de Efecto Invernadero (GEI) que se generan de los procesos productivos (INTECO 2016). Estos se deben de medir en al menos en dos momentos diferentes para cuantificar la variación en términos de masa (peso) a una profundidad dada (IPCC 2006, FAO 2019). La evidencia científica indica que en los suelos tropicales los aportes de carbono y nitrógeno producto de la materia orgánica al suelo por diferentes procesos, antropogénicos y naturales pueden generar variaciones importantes en el almacén de carbono del suelo y la densidad aparente (Guo y Gifford 2002; Mc Sherry y Ritchel, 2013; Hernández et al, 2014). Uno de esos procesos es el pastoreo racional con enfoque Voisin (Hernández-Chaves et al, 2020). Así mismo, desde hace décadas se conoce del potencial de los pastos tropicales para incorporar carbono (C) al suelo (Fisher *et al.* 1994), y las diferencias entre los tipos de suelo y el potencial de los pastos mejorados en las regiones tropicales muy húmedas de Costa Rica en el secuestro de C (Veldkamp 1994; Arguedas et al 2018). Por otra parte, el nitrógeno (N) como elemento esencial en el mantenimiento de las pasturas (Ghannoum y Conroy 1998), juega un rol importante mediante la relación C:N en la capacidad del suelo para retener C (Abarca *et al.* 2018a). Más recientemente, se han publicado trabajos sobre el secuestro de carbono en suelos manejados en parcelas de pastoreo y su impacto en la reducción en el ciclo de vida del carbono de la carne bovina (Paige *et al.* 2018) el potencial de las tierras bajo pastoreo para capturar y retener carbono y su repercusión en el balance de GEI en las fincas (Ramírez-Restrepo *et al.* 2019) y el alcance de regiones de Suramérica para la captura y retención de C de suelos bajo pastoreo (Viglizzo *et al.* 2019). Sobre el potencial de deposición de carbono en el suelo, Malhi *et al.* (1999) indicaron que el 60% del carbono almacenado por los ecosistemas naturales tropicales se encontraba bajo la superficie del suelo. Por otra parte, en Costa Rica, se tiene evidencia del grado de aporte de C por parte de las pasturas, en relación con el contenido preexistente en el suelo (Abarca *et al.* 2018b) este aporte de las pasturas tropicales podría ser debido a que la mayoría de especies de pastos utilizadas en Costa Rica son de tipo C4; con anatomía Kranz y se caracterizan por una alta eficiencia en fijación de C (Ehleringer 1991).

El objetivo de este estudio fue observar la variación de la densidad aparente del suelo, así como las proporciones y la masa de carbono y nitrógeno del suelo bajo una pastura de Cayman® (*Brachiaria* híbrido) con un pastoreo racional Voisin (PRV) en relación con las pasturas tradicionales de pasto Ratana (*Ischaemum indicum*), en la región tropical muy húmeda de Costa Rica.

## MATERIALES Y MÉTODOS

La investigación se realizó en el área de ganadería de la Estación Experimental Los Diamantes (EELD), ubicada en Guápiles, cantón de Pococí, provincia de Limón. La zona de vida de acuerdo con la clasificación de Holdridge (1978) corresponde a Bosque Muy Húmedo Tropical Basal, con una precipitación anual de 4332 mm, y temperatura diaria promedio de 24,6 °C.

Las pasturas se evaluaron en diferentes periodos durante 2389 días (6,5 años). El área de pasto Cayman® tuvo un área de 4,35 ha y se sembró en el año 2012. En el año 2014 se dividió en 21 apartos (parcelas de pastoreo), los cuales tuvieron un periodo de ocupación promedio de 2,4 días de pastoreo y el periodo de rebrote fue de 42 días; asimismo, la carga animal promedio anual fue de 2,4 UA.ha<sup>-1</sup> (UA = 450 kg peso vivo). La pastura de Ratana (*I. indicum*), tuvo un área de 5,02 ha que tenían más de 30 años de establecida, manejada con más de cuatro días de ocupación y periodos de rebrote entre 28 y 35 días; además, la carga animal fue aproximadamente de 1,2 UA.ha<sup>-1</sup>.

En la pastura de Ratana se evaluaron 11 puntos en dos momentos (2012 y 2018), mientras que en Cayman® los puntos evaluados fueron 21, muestreados en siete ocasiones durante los años 2014, 2015, 2016 y 2018. La densidad de muestreo en términos de cantidad de muestras por hectárea fue diferente para cada pastura; más amplia en Ratana (0,56 ha.muestra<sup>-1</sup>) y menor en Cayman® (0,21 ha.muestra<sup>-1</sup>). La cantidad total de muestras por pastura fue de 44 para Ratana y 294 para Cayman®, de donde se tomó en forma pareada el promedio por punto por fecha, para cada pastura en cada variable analizada.

Las variables evaluadas fueron: densidad aparente (DA), las proporciones (%) de C y N; la masa de Carbono Orgánico (COS), Nitrógeno (NT) y la relación Carbono Nitrógeno (C: N) a una profundidad de 10 cm. La estimación de la COS y NT del suelo por hectárea en una lámina de 10 cm suelo se realizó usando la siguiente ecuación:

$$COS / N_t = C_s / N_s * L_s * DA * 10^4$$

Donde:

COS = Carbono Orgánico Suelo (Mg. ha<sup>-1</sup>)

N<sub>t</sub> = Nitrógeno Total (Mg. ha<sup>-1</sup>)

$C_s$  = Concentración de carbono en el suelo (g/g)

$N_s$  = Concentración de Nitrógeno en el suelo (g/g)

$L_s$  = Lámina de suelo (cm)

DA = Densidad Aparente ( $Mg. m^{-3}$ )

Los análisis para determinar el contenido de C, N se realizaron en el laboratorio de suelos del INTA, utilizando la metodología Dumas (Gerhardt, 2015). La DA se determinó mediante cilindros de 50 mm de diámetro por 100 mm de alto, las muestras se secaron a 110°C en horno secador hasta peso constante.

El ajuste a la masa de suelo se realizó de acuerdo con lo que indica FAO (2019), en relación con la densidad aparente, partiendo de una masa compactada de suelo de  $218,4 \pm 6,1$  g en un cilindro de 50 X 100 mm, con una densidad aparente de  $1,1 g.cm^{-3}$ , que fue el valor promedio en el año 2012 para el sitio donde había pasto Ratana y donde luego se sembró Cayman®. Lo anterior con el fin de observar la variación del volumen con respecto a una masa constante. Para la estimación, se mantuvo el área del cilindro constante (50 mm), para observar la variación de la altura (comúnmente llamada profundidad) en función de la compactación o descompactación del suelo en los sucesivos muestreos.

Las pasturas se analizaron mediante una prueba de t Student ( $p < 0,05$ ) y los datos de la pastura de Cayman®, se analizaron por regresión en función del tiempo.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### Concentración de C y N

En la Figura 1 se observan las diferencias entre las pasturas de Ratana y Cayman® para las concentraciones de C y N. En ambos casos, el Cayman® mostró diferencias altamente significativas con respecto al Ratana.

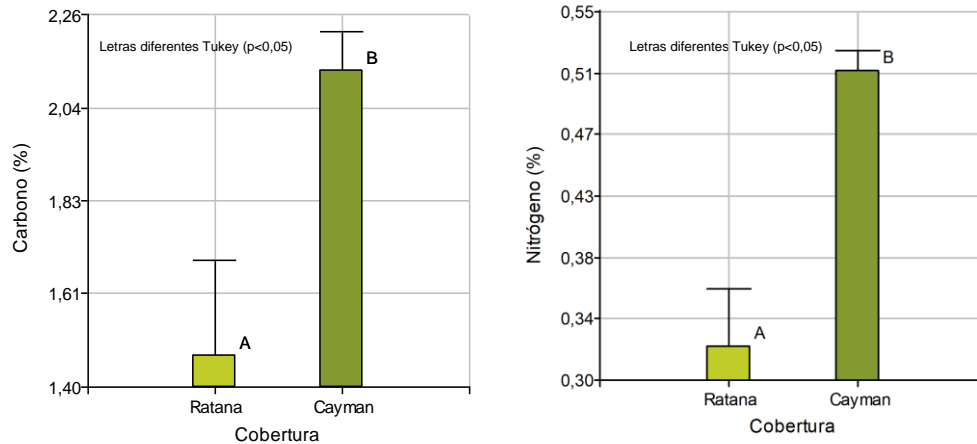


Figura 1. Concentración de C y N (%) en el suelo a 10 cm de profundidad, en dos pasturas. Ratana (*I. indicum*) con un manejo tradicional y Cayman® con un manejo Voisin. Pococí, Costa Rica, 2018.

La pastura de Cayman® luego de 6,5 años de establecida, incrementó fuertemente las concentraciones de C y N, debido posiblemente al efecto combinado del manejo con enfoque Voisin y al tipo de pasto. Concordando con lo indicado por Fisher *et al.* (1994), Paige *et al.* (2018), Abarca *et al.* (2018), de que un manejo ordenado del pastoreo en parcelas, incrementa el C y N. En la relación C: N no se observaron diferencias significativas siendo el promedio  $5,3 \pm 1,8$ .

### Densidad Apparente

La DA, que para efectos de suelos bajo pasturas se puede inferir como una medida del grado de compactación (FAO 2019); la misma fue significativamente menor en la pastura de Cayman® con respecto a las pasturas de Ratana, después de 6,5 años de establecidas (Figura 2).

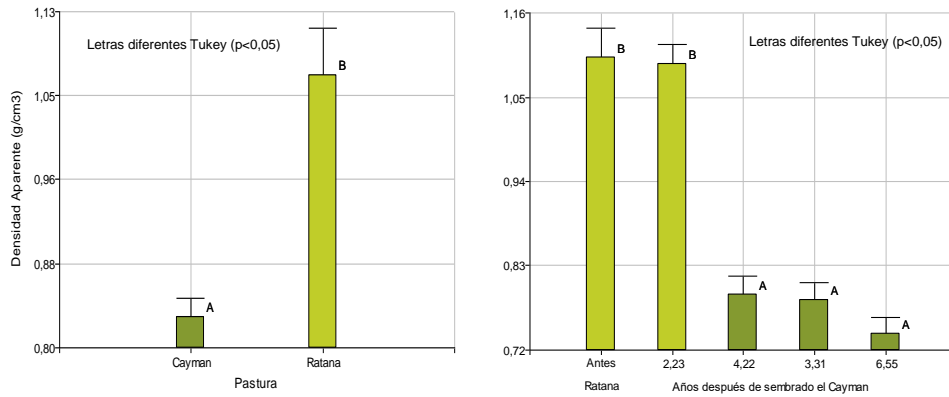


Figura 2. Densidad aparente del suelo a 10 cm de profundidad, en dos pasturas. Ratana (*I. indicum*) con un manejo tradicional y Cayman® con un manejo Voisin. Pococí, Costa Rica, 2018.

La pastura de Cayman® presentó una reducción significativa en la densidad aparente del suelo después de 4 años de establecida (Figura 2). El tipo de pastoreo utilizado pudo haber tenido influencia, ya que durante los dos primeros años el Cayman® tuvo una rotación a tiempo fijo con 30 días de descanso y 4 días de ocupación. Fue hasta en junio del año 2014, que se estableció en dicha pastura el sistema de pastoreo PRV.

### Masa de nitrógeno total (NT)

En relación a la masa de Nitrógeno Total Retenido, la misma se corrigió a una masa constante de suelo; los valores observados para el pasto Cayman® en el manejo PRV, son significativamente más altos a los que presenta el pasto Ratana (Figura 3).

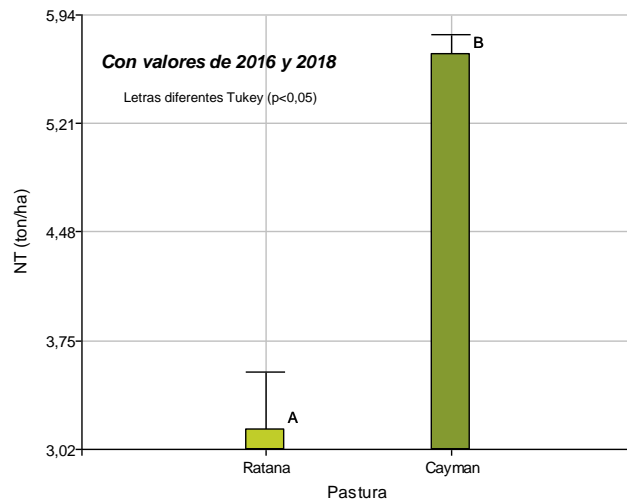


Figura 3. Masa ( $\text{ton}\cdot\text{ha}^{-1} \sim \text{Mg}\cdot\text{ha}^{-1}$ ) de Nitrógeno Total Retenido (NT) en el suelo a 10 cm de profundidad, en dos pasturas. Ratana (*I. indicum*) con un manejo tradicional y Cayman<sup>®</sup> con un manejo Voisin. Pococí, Costa Rica, 2018.

El nitrógeno es fundamental en el sostenimiento de la pastura, su calidad nutritiva y la respuesta animal. En Costa Rica, los contenidos de NT a 20 cm de profundidad en las pasturas sin fertilizar y sin mezclas de leguminosas rastreras, se sitúa en valores del orden de  $5,29 \text{ Mg}\cdot\text{ha}^{-1}$  (Abarca 2018), siendo similar a lo observado en la presente investigación, pero aquí se presentó a la mitad de la profundidad indicada por Abarca (10 cm). Los sistemas naturales de los trópicos húmedos de Costa Rica, son conocidos por su alta precipitación y la misma hace que el N sea un elemento difícil de retener (Weintraub *et al.* (2016); y es a través de la vegetación compuesta por leguminosas, que los niveles de nitrógeno se mantienen en los bosques tropicales (Gei *et al.* 2018).

### Adicionalidad del COS en pasto Cayman<sup>®</sup>

Se observó un incremento cuadrático significativo de la masa corregida de COS en función del tiempo (Figura 4), para la pastura de Cayman<sup>®</sup> con un manejo PRV.

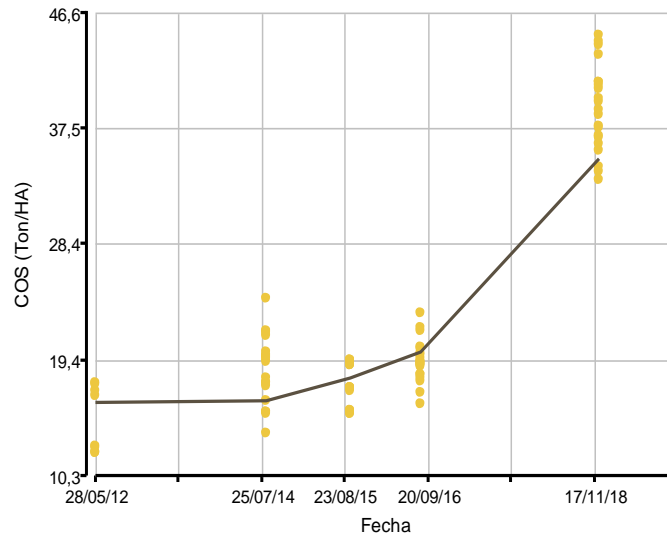


Figura 4. Adicionalidad de COS (ton ha<sup>-1</sup> ~ Mg ha<sup>-1</sup>) del suelo a 10 cm de profundidad, en una pastura de Cayman<sup>®</sup> con un manejo Voisin. Pococí, Costa Rica, 2018.

El proceso de adición del COS en la pastura de Cayman<sup>®</sup> dependió de varios factores como: la producción exuberante de biomasa por parte del tipo de pasto, (Hernández *et al.* 2020), una alta deposición de excretas y más ordenada dentro de la pastura (producto del manejo PRV) y una carga animal de aproximadamente el doble del promedio de la zona. A la vez, el proceso de acúmulo de C, se realizó de forma inversa a la descompactación del suelo; reflejada en la disminución de la densidad aparente (DA) (Figura 5).

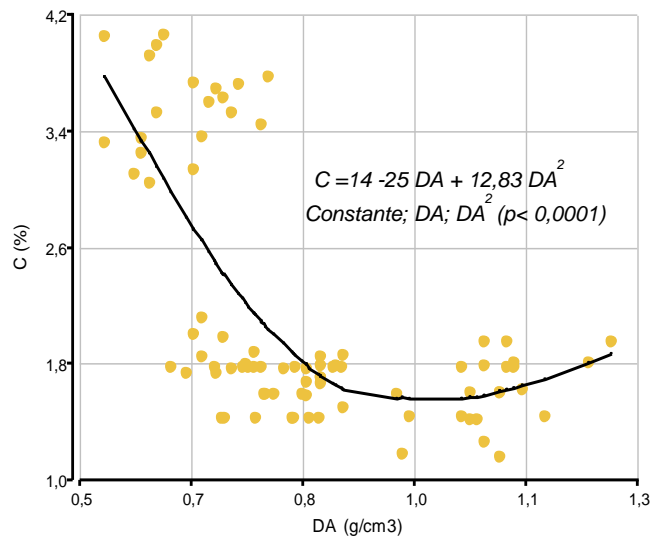




Figura 5. Concentración de C y su relación con la densidad aparente, en una pastura de Cayman® con un manejo Voisin. Pococí, Costa Rica, 2018.

La pastura de Cayman® bajo un Pastoreo Rotacional Voisin (PRV) redujo el nivel de compactación del suelo. Se determinó, que para una misma masa (218 g) en un cilindro de 50 mm de diámetro; la misma pasó de tener 100 mm de altura a lograr alcanzar 170 mm (se produjo un aporte de partículas y separación entre ellas). Esto es importante, porque la reducción en la compactación del suelo por incremento de la cantidad de materia orgánica, puede generar error en las mediciones debido a la variación del volumen del suelo en el sitio muestreado (Figura 6).

### Corrección de la masa de COS por Densidad Aparente en una pastura de Cayman®

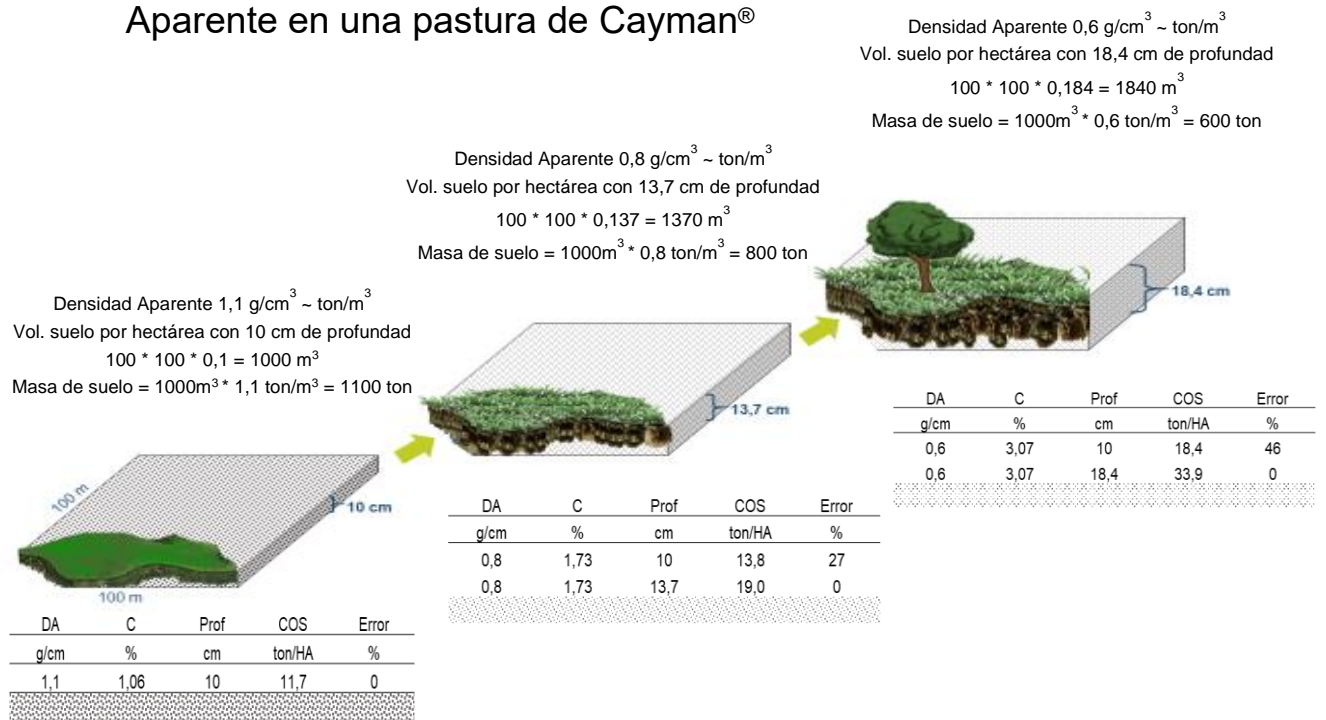


Figura 6. Corrección de la cantidad de C determinado a una masa constante de suelo, en función de la densidad aparente y la profundidad del suelo; al pasar de pasturas de Ratana (*I. indicum*) con un manejo tradicional a pastura de Cayman® con un manejo Voisin. Pococí, Costa Rica, 2018

Es posible que en las áreas de pastoreo con PRV, una porción de las emisiones de GEI puedan estar siendo compensadas por el COS (Abarca 2016). No obstante, la variación debida a factores como el tipo de suelo, la profundidad de muestreo, la topografía de las fincas, las especies de pastos utilizadas en el pastoreo, el tipo de

suplementación del ganado, la fertilización que reciben y el clima de la región; podrían generar variaciones importantes en las cantidades de COS determinadas en un momento dado.

En conclusión, la posible elevación de la superficie del suelo, en sistemas que depositan importantes cantidades de materia orgánica a través del tiempo y que presentan menores valores de densidad aparente; requieren la corrección de su masa. Se recomienda, por lo tanto, tomar en cuenta las variaciones en los valores de la densidad aparente de los suelos, para los cálculos en la determinación de la adicionalidad de carbono al suelo.

### LITERATURA CITADA

Abarca Monge, MS. 2016. Emisión de gases de efecto invernadero y absorción de carbono en fincas ganaderas (en línea). Alcances Tecnológicos 11(1):71-73 Consultado 28 feb. 2019. Disponible en [http://revista.inta.go.cr/index.php/alcances\\_tecnologicos/article/view/30/18](http://revista.inta.go.cr/index.php/alcances_tecnologicos/article/view/30/18)

Abarca Monge, S; Arguedas Acuña, F; Soto Blanco R. 2018. Carbono orgánico del suelo y variación del nitrógeno en fincas ganaderas de cría (en línea). Avances Tecnológicos 12(2):05-13. Consultado 03 mar. 2019. Disponible en [http://revista.inta.go.cr/index.php/alcances\\_tecnologicos/article/view/86/70](http://revista.inta.go.cr/index.php/alcances_tecnologicos/article/view/86/70)

Abarca Monge, S; Soto Blanco R; Arguedas Acuña, F. 2018. Carbono orgánico, nitrógeno y densidad aparente en suelos de fincas con ganadería bovina de cría (en línea). Avances Tecnológicos 12(2):25-29. Consultado 03 mar. 2019. Disponible en [http://revista.inta.go.cr/index.php/alcances\\_tecnologicos/article/view/88/72](http://revista.inta.go.cr/index.php/alcances_tecnologicos/article/view/88/72)

FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura). 2019. Measuring and modelling soil carbon stocks and stock changes in livestock production systems: Guidelines for assessment (Version 1). Livestock Environmental Assessment and Performance (LEAP) Partnership (en línea). Rome, Italia. 170 p. Consultado 06 mar. 2019. Disponible en <http://www.fao.org/3/ca2934en/CA2934EN.pdf>

Fisher M; Rao, I; Ayarza, C; Lascano, C; Sanz, J; Thomas, R; Vera, R. 1994. Carbon storage by introduced deep-rooted grasses in the South American savannas (en línea). Nature 31:236-238. Consultado 03 mar. 2019. Disponible en <https://www.nature.com/articles/371236a0>

Gei, M; Rozendaal, D; Poorter, L; Bongers, F; Sprent, J; Garner, M; Aide, M; Andrade, J; Balvanera, P; Becknell, J; Brancalion, P; Cabral, P; Gomes, R; Chazdon, R; Cole, R; Dalla, G; Jong, B; Denslow, J; Dent, D, DeWalt, S;

- Dupuy, J; Durán, S; do Espírito Santo, M; Wilson G, Ferreira, Y; Finegan, B; Granda, BV; Hall, J; Hernández Stefanoni, J; Junqueira, A; Kennard, D; Lebrija Trejos, E; Letcher, S; Lohbeck, M; Marín-Spiotta, E; Martínez Ramos, M; Meave, J; Menge, D; Mora, F; Muñoz, R; Muscarella, R; Ochoa Gaona, S; Orihuela Belmonte, E, Ostertag, R; Peña Claros, M; Pérez García, E; Piotto, D; Reich, P; Reyes García, C; Rodríguez Velázquez, R; Romero Pérez, E; Sanaphre Villanueva, L; Sanchez Azofeifa, A; Schwartz, N; Almeida, S; Almeida Cortez, J; Silver, W; Souza; V; Sullivan, B; Swenson, N; Uriarte, M; van Breugel, M; van der Wal, H; Magalhães, M; Vester, H; Guimarães, I; Zimmerman, J; Powers, J. 2018. Legume abundance along successional and rainfall gradients in Neotropical forests (en línea). *Nature Ecology & Evolution* 2:1104-1111. Consultado 08 abr. 2019. Disponible en <https://www.nature.com/articles/s41559-018-0559-6>
- Gerhardt, C. 2015. Análisis de Nitrógeno: el método de Jean Dumas. Compendio C. Gerhardt. Analytical Systems GMBM&CO. KG. Alemania.
- Guo, L.; Gifford, R. 2002. Soil Carbon stocks and land use change: a meta-analysis. *Global Change Biology* 8(4): 345-360. Consultado 20 oct 2020. Diponible en. <https://doi.org/10.1046/j.1354-1013.2002.00486.x>
- Hernández-Chaves, M.; Abarca-Monge, S.; Soto-Blanco, R. 2020. Efecto del clima en animales pastoreando Cayman® en el trópico húmedo de Costa Rica. *Avances Tecnológicos*. Consultado 20 oct 2020. Disponible en: <https://doi.org/10.35486/at.v0i0.177>
- Hernández, M.; Abarca, S.; Soto, R. 2014. Evaluación de pasto *Brachiaria* híbrido cv Cayman®, en pastoreo en el trópico muy húmedo de Costa Rica. *Revista Universidad Técnica Nacional* 16 (70):48-54.
- Holdridge L. 1978. *Ecología basada en zonas de vida*. San José, Costa Rica, IICA. 216 p.
- INTECO (Instituto de Normas Técnicas de Costa Rica). 2016. Norma para demostrar la Carbono Neutralidad. Requisitos. INTE B5:2016.
- IPCC (Grupo Intergubernamental De Expertos Sobre El Cambio Climático), 2006. *Pastizales* (en línea). *In* Directrices para los inventarios nacionales de gases efecto invernadero. Volumen 4 (Agricultura, Silvicultura y Otros Usos de la Tierra) Capítulo 6. Ciudad, País. Páginas. Consultado 03 mar. 2019. Disponible en [http://www.ipccnggip.iges.or.jp/public/2006gl/spanish/pdf/4\\_Volume4/V4\\_06\\_Ch6\\_Grassland.pdf](http://www.ipccnggip.iges.or.jp/public/2006gl/spanish/pdf/4_Volume4/V4_06_Ch6_Grassland.pdf)
- Malhi, Y; Baldocchi, D; Jarvis, P. 1999. The carbon balance of tropical, temperate and boreal forests. *Plant, Cell and Environment* 22:715–740

- McSherry, E; Ritchie, M. 2013. Effects of grazing on grassland soil carbon: a global review. *Global Change Biology* 19(5):1347-1357. Consultado 20 de oct 2020. Disponible en: [10.1111/gcb.12144](https://doi.org/10.1111/gcb.12144)
- Ramírez Restrepo C; Vera, R; Idupulapati, R. 2019. Dynamics of animal performance, and estimation of carbon footprint of two breeding herds grazing native Neotropical savannas in eastern Colombia. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 281:35–46.
- Veldkamp, E. 1994. Organic carbon turnover in three tropical soil under pasture after deforestation. In soil organic carbon dynamics in pastures established after deforestation in the humid tropic of Costa Rica. Thesis Ph. D. Ciudad, País, Wageningen University. 117 p.
- Viglizzo, E; Ricard, M; Taboada, M; Vázquez Amábile, G. 2019. Reassessing the role of grazing lands in carbon-balance estimations: Meta-analysis and review. *Science of the Total Environment* 661:531–542
- Weintraub, S; Cole, R; Schmitt, C; All, J. 2016. Climatic controls on the isotopic composition and availability of soil nitrogen across mountainous tropical forest. *Ecosphere* 7(8):1-13.