



## CARBONO ORGÁNICO DEL SUELO (COS) EN PASTURAS

Por: Sergio Abarca Monge.

De acuerdo con [FAO 2019](#) el suelo constituye el más grande almacén de carbono (C) de los ecosistemas terrestres; almacenando cerca de 277 millones de toneladas en los primeros 30 cm de profundidad. El estimado en C orgánico e inorgánico en el primer metro de profundidad puede llegar a más de 2.2 billones de toneladas. El potencial de pasar C (ocioso y calentando el planeta) de la atmósfera al suelo (secuestro) de las áreas de pastoreo con especies y composiciones botánicas semejantes a las nuestras podría estar entre 0,48 a 1,93 millones de toneladas por año de acuerdo con [Lal \(2018\)](#).

Se conoce que el pastoreo, cuando se gestiona adecuadamente, ofrece un potencial significativo para el secuestro de COS ([USADA, 2001](#)). Este carbono compensa las emisiones de gases con efecto invernadero de los procesos productivos en los inventarios de gases con efecto invernadero ([IPCC, 2019](#)). Incluso se ha observado que el cambio de cultivos a ganadería en pastoreo con buen manejo, incrementa los contenidos de COS en la mayoría de los casos ([Guo y Gifford 2002](#)). Sin embargo, ese potencial se había excluido de las evaluaciones del ciclo de vida del sector ganadero hasta hace unos años.

Por otra parte, desde el punto de vista ecológico, en los ecosistemas americanos, parece que existe una relación entre la precipitación de una región y la cantidad de COS almacenada en los suelos. Alguna evidencia sugiere que conforme aumenta la lluvia en el ecosistema aumenta el carbono en el suelo.

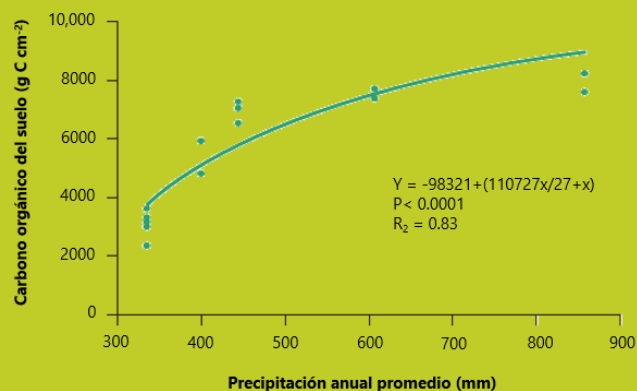


Figura 1. Lluvia y COS en una escala de paisaje. Almacén de COS a 30 cm de profundidad a través de una gradiente precipitación media anual en las Grandes Planicies de Norte América. FAO 2019.

En este mismo sentido, en el continente americano se ha observado, que conforme los ecosistemas naturales se acercan al paralelo ecuatorial se incrementa la precipitación, la temperatura, la radiación solar y la retención de carbono en su biomasa vegetal, con respecto al suelo ([Malhi et al 1999](#)). Donde la tasa de recambio del C en estos ecosistemas es alta.

Investigaciones recientes ([Terrer et al 2021](#)) apuntan a que con el cambio climático, el fenómeno conocido como "efecto fertilizante del incremento del CO<sub>2</sub>" ocioso en la atmósfera, tenderá a reducir los contenidos de COS de los ecosistemas naturales, pero no así de las pasturas.

Para las pasturas y sistemas silvopastoriles de la región Mesoamericana, es necesario observar el rol del nitrógeno (N) y la relación C:N con respecto a la productividad de las áreas pastoreadas y la deposición del COS. De acuerdo con ([Gei et al 2018](#)) una alta proporción de los bosques tropicales de América están compuestos por leguminosas, lo que hace suponer que la forma natural de retención (almacén) del N en estos complejos sistemas biológicos ocurre en la biomasa más que en propiamente en suelo, a través de sus intensas interacciones biológicas, propia de estos

ecosistemas. Lo anterior concuerda con lo observado por [Weintraub et al. \(2016\)](#) quien reportó una baja discriminación de  $^{15}\text{N}$  en los bosques lluviosos del sur de Costa Rica, suponiendo un alto reciclaje y reforzando la teoría de que la retención de N en el trópico ocurre en la biomasa.

Estudios sobre el COS y N en el primer metro de suelo realizados por [Abarca et al \(2018\)](#) en Costa Rica en once fincas de cría con zonas de vida tropical de semi-húmeda muy húmeda (1800 a 3500 mm anuales) a menos de 1000 msnm en dos órdenes de suelos (Utisoles e Inceptisoles)

comparando el bosque natural con pasturas cuando iniciaban el sistema de pastoreo racional Voisin, sin fertilización; indicaron que solamente en los primeros 20 cm de profundidad los contenidos de N del bosque fueron significativamente mayores a los de la pastura. En un estudio similar, en pasturas de fincas de leche especializada con más de 70 años continuos de pastoreo rotacional (considerado como pastoreo racional) se observaron niveles altos de N y relaciones C:N bajas, que posiblemente promovieron en el tiempo incrementos constantes de COS en la pastura.

Cuadro 1. Comparación de tres ecosistemas naturales americanos ([Malhi et al 1999](#)).

| Localización                                     | Boreal                                 | Templado   | Tropical                         |
|--|--|--|----------------------------------|
| Coordenadas                                      | 53°59' N, 105°7' W                     | 35°57' N, 84°17' W                                     | 2°35' S, 50°06' W                |
| Ciudad cercana                                   | Prince Albert, Canadá                  | Oak Ridge, USA   | Manaus, Brazil                   |
| Tipo de bosque                                   | Coníferas siempre verdes               | H. ancha caducifolia invierno                          | Hoja perenne                     |
| Principales especies                             | Picea mariana (Black spruce)           | Quercus alba, Quercus pinus,<br><200 especies/hectárea | >200<br>Esp./hectárea            |
| <b>Retención de carbono</b>                      |  |  |                                  |
| En veget. (t Ha <sup>-1</sup> )                  | 64                                     | 57   | 121                              |
| En suelo (t Ha <sup>-1</sup> )                   | 343                                    | 96   | 123                              |
| <b>Propiedades del bosque</b>                    |  |  |                                  |
| Max. índice de área foliar                       | 3,3                                    | 4,9  | 5,6                              |
| Altura de copa (m)                               | 9                                      | 26   | 30                               |
| Área basal (m <sup>2</sup> ha <sup>-1</sup> )    | 31,5                                   | 20,1   | 30,0                             |
| Biomasa sobre el suelo<br>(Mg ha <sup>-1</sup> ) | 50-60                                  | 155-170  | 330-370                          |
| <b>Clima</b>                                     |  |  |                                  |
| Temperatura prom.<br>Verano (°C)                 | 17                                     | 23   | 27 (E. Seca)                     |
| Temperatura prom.<br>Invierno (°C)               | -20                                    | 5  | 24 (E Húmeda)                    |
| Precipitación (mm/año)                           | 400                                    | 1400   | 2200                             |
| Días de crecimiento en el<br>año                 | 100                                    | 180  | 365                              |
| Periodo de captura de<br>CO <sub>2</sub>         | Mitad abril a principios de<br>octubre | Mitad abril a mitad de<br>octubre                      | Todo el año                      |
| Época seca                                       | Sin periodo seco                       | Mitad junio a finales agosto                           | Mitad junio a<br>finales octubre |

Cuadro 2. Macizo volcánico, cobertura vegetal y variación de la concentración de carbono orgánico del suelo (COS), Nitrógeno total (NT) y relación C:N.

| Macizo          | COS(%)            | NT (%)            | Rel. C:N           |
|-----------------|-------------------|-------------------|--------------------|
| Irazú-Turrialba | 7,39 <sup>a</sup> | 0,53 <sup>a</sup> | 13,94 <sup>a</sup> |
| Poas            | 5,49 <sup>b</sup> | 0,46 <sup>a</sup> | 13,35 <sup>a</sup> |
| EE              | 0,56              | 0,05              | 0,73               |
| Cobertura       |                   |                   |                    |
| Pasto           | 6,87 <sup>a</sup> | 0,53 <sup>a</sup> | 12,95 <sup>a</sup> |
| Bosque          | 6,64 <sup>a</sup> | 0,46 <sup>a</sup> | 13,04 <sup>a</sup> |
| EE              | 0,59              | 0,05              | 0,72               |

Medias con una letra común en la misma columna para macizo, cobertura y orden no son significativamente diferentes ( $p > 0,05$ ).

Fuente: INTA/FITTACORI/DOS PINOS/CNPL. 2019. Estudio de la distribución del carbono orgánico del suelo (COS) en bosques y pasturas en fincas dedicadas a la producción de leche especializada.

En pasturas de baja productividad [Velkamp \(1993\)](#), en la zona tropical muy húmeda de Costa Rica (>3400 mm), observó que la acelerada pérdida de COS en las pasturas de *Axonopus compressus* (especie típica de pasturas con pastoreo continuo en regiones húmedas) después de la tala del bosque se debió a la rápida descomposición de la hojarasca, raíces y residuos de ramas remanentes. En esta misma línea, los productores encuestados sobre este tema por INTA-CORFOGA en 2013 percibían la erosión hídrica como un problema para retener materia orgánica. Más recientemente, [Rojas et al \(2022\)](#) también en Costa Rica, a una altitud 600 msnm y 2400 mm promedio anual en un suelo artificial sin COS inicialmente (Anthrosoil) reportó acumulaciones semejantes en pasturas arbolada y parcelas de regeneración natural después de 20 años en los primeros 20 cm de profundidad, con una menor densidad aparente en las pasturas. [Guo y Gifford \(2002\)](#) han asociado las precipitaciones bajas (<1000 mm)

y muy altas (>3000 mm) como la principal variable de pérdidas de carbono en suelo con pasturas, mientras que lluvias entre 2000 a 3000 mm se vinculan a fuertes incrementos de COS en pasturas (Figura 2).

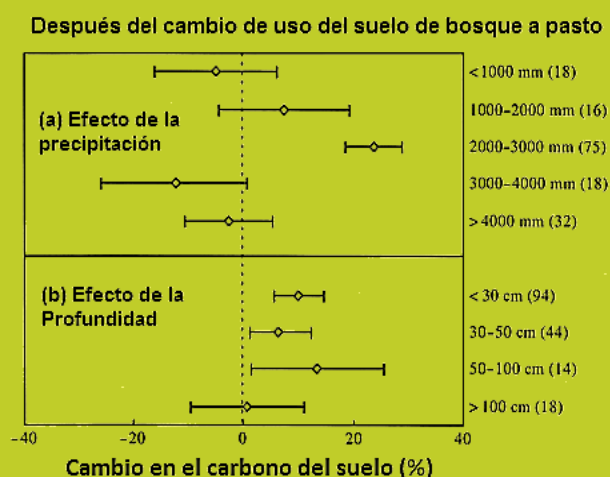


Figura 2. Efecto de la precipitación anual y la profundidad del suelo después del cambio de uso del suelo de bosque a pasto. ([Guo y Gifford 2002](#))

Existen pocos estudios bajo las condiciones particulares de la ganadería costarricense, sobre el potencial de almacenamiento de COS por efecto de variables como: tipo de suelo, especies que componen las pasturas, sistema de manejo del pastoreo racional y la contribución de enmiendas orgánicas al suelo como purines, compost y otros abonos orgánicos.

El origen y tipo de suelo tiene influencia en el potencial de almacenamiento de carbono; un caso es el observado en fincas lecheras, donde las situadas en suelos del orden Inceptisol presentaron un contenido menor de carbono. Sin embargo, se debe tener en cuenta que las fincas en Inceptisoles estuvieron situadas a una altitud menor de 1000 msnm y con mayor temperatura y humedad relativa.

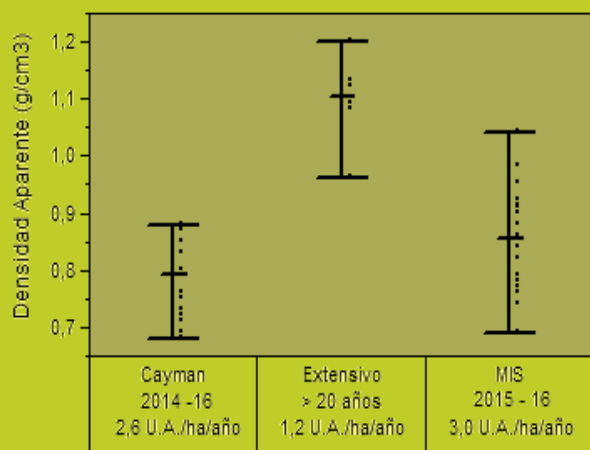


Figura 3. Densidad aparente (10 cm prof) con manejo Voisin en Cayman y MIS comparados con manejo extensivo, con dos pastos predominantes Híbrido de Brachiarias en Cayman y Ratana *Ischaemum indicum* en MIS y Extensivo.

MIS: Manejo Integrado de Sistemas (J. Morales).

Fuente: INTA 2016. Informes Estación Experimental Los Diamantes, Guápiles. (M. Hernández).

En relación con las especies de pasto, en Guápiles; [Velkamp \(1993\)](#) observó diferencias entre *Axonopus compressus* y *Brachairia dictyoneura* en la cantidad de raíces y tiempo de residencia del COS radical a diferentes profundidades; donde la especie mejorada presentó un mejor comportamiento.

Cuadro 3. Orden del suelo y variación de la concentración de carbono orgánico del suelo (COS), Nitrógeno total (NT) y relación C:N en fincas de lechería especializada a pastoreo.

| Orden de suelo | COS(%)            | NT (%)            | Rel. C:N           |
|----------------|-------------------|-------------------|--------------------|
| Andosol        | 7,68 <sup>a</sup> | 0,56 <sup>a</sup> | 14,77 <sup>a</sup> |
| Inceptisol     | 4,90 <sup>b</sup> | 0,40 <sup>b</sup> | 11,68 <sup>b</sup> |
| EE             | 0,56              | 0,05              | 0,70               |

Medias con una letra común en la misma columna para macizo, cobertura y orden no son significativamente diferentes ( $p > 0,05$ ).

Fuente: INTA/FITTACORI/DOS PINOS/CNPL. 2019. Estudio de la distribución del carbono orgánico del suelo (COS) en bosques y pasturas en fincas dedicadas a la producción de leche especializada.

En una combinación de pastoreo racional Voisin con pasturas mejoradas, [Arguedas 2021](#) también en Guápiles observó un rápido

incremento de carbono y nitrógeno en los suelos con una reducción de la densidad aparente.

Cuadro 4. Cantidad de raíces de dos especies de pasto del trópico muy húmedo de Costa Rica.

| Profundidad<br>cm | <i>Axonopus compressus</i> |       | <i>Brachairia dictyoneura</i> |       |
|-------------------|----------------------------|-------|-------------------------------|-------|
|                   | Tubos                      | Campo | Tubos                         | Campo |
|                   | g/m <sup>2</sup>           |       |                               |       |
| 0-5               | 378                        | 387   | 1321                          | 1387  |
| 5-10              | 94                         | 94    | 197                           | 290   |
| 10-15             | 97                         | 97    | 98                            | 203   |
| 15-20             | 53                         | 53    | 75                            | 137   |
| 20-30             | 60                         | 60    | 138                           | 218   |
| 30-40             | 51                         | 51    | 132                           | 199   |
| 40-50             | 60                         | 6     | 142                           | 112   |
| > 50              | 4                          | 4     | 164                           | 144   |

Fuente: [Velkamp \(1993\)](#). Sembradas en tubos y en campo

Más recientemente, datos preliminares del MRV de la NAMA ganadería para la actividad de leche especializada en fincas con al menos dos muestreos consecutivos muestra un incremento de la masa de COS en tres años.

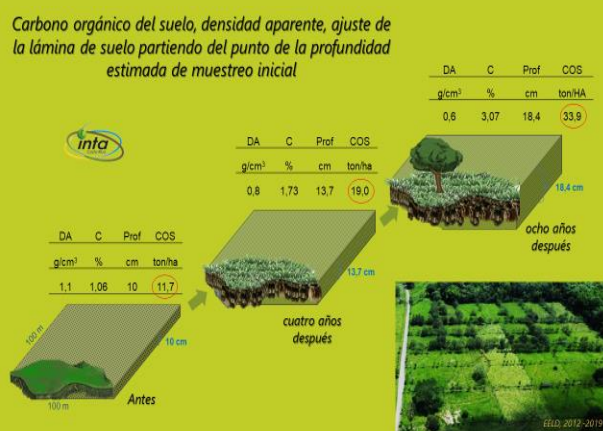


Figura 4. Evolución del carbono orgánico en una pastura de Cayman con pastoreo Voisin. [Arguedas 2021](#)

Las pasturas con sistemas de pastoreo racionales, independientemente sus enfoques: Voisin, rotacional, holístico, regenerativo, en franjas; conjunto con otras prácticas, como el uso de especies mejoradas de pastos perennes tipo C4; la suplementación de los animales, excretas que quedan y/o son devueltas a la

pastura, con eventual fertilización y enmiendas al suelo, cercas vivas y árboles en pasturas, generan importantes ingresos de COS y N, entre otros nutrientes al almacén del suelo que mantiene un suelo saludable. Qué, aunque en un ambiente lluvioso, cálido, con altas interacciones biológicas, genera excedentes de carbono cuando se aplican bien las anteriores prácticas.

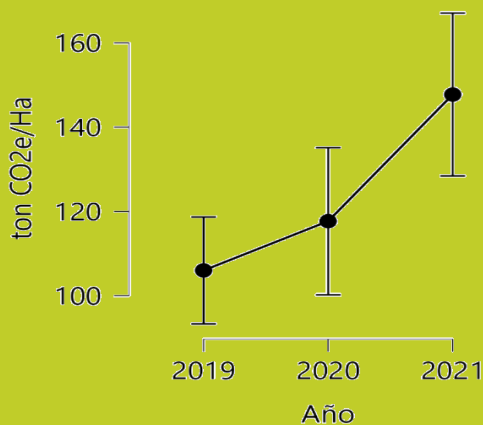


Figura 5. Variación interanual de COS en 36 fincas Lecheras especializadas bajo el MRV del NAMA Ganadería. Fuente MAG, 2022.

### Cambios en las fincas de ganadería bovina de Costa Rica



Figura 6. Animales adaptados en pasturas arboladas

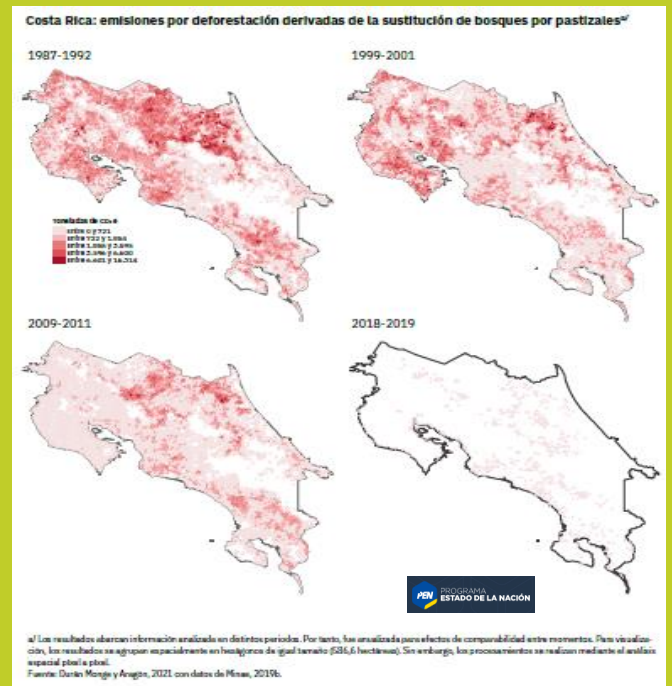


Figura 7. Sin de uso del suelo de ecosistemas de bosque tropical a pasturas.



Figura 8. Re-carbonizando los suelos bajo pasturas