

# Retención de carbono en un suelo dedicado al cultivo de piña (*Ananas comosus* (L.) bajo un manejo convencional y de mínima labranza

## Carbon sequestration in a soil dedicated to the cultivation of pineapple (*Ananas comosus* (L.) under conventional management and minimum tillage

Ronald Fonseca-Vargas<sup>1</sup>, Parménides Furcal-Beriguete<sup>2</sup>,  
Roel Campos-Rodríguez<sup>3</sup>, Edwin Esquivel-Segura<sup>4</sup>

Fecha de recepción: 31 de enero de 2019  
Fecha de aceptación: 17 de abril de 2019

Fonseca-Vargas, R; Furcal-Beriguete, P; Campos-Rodríguez, R; Esquivel-Segura, E. Retención de carbono en un suelo dedicado al cultivo de piña (*Ananas comosus* (L.) bajo un manejo convencional y de mínima labranza. *Tecnología en Marcha*. Vol. 32-4. Octubre-Diciembre 2019. Pág 116-132.

 <https://doi.org/10.18845/tm.v32i4.4797>

- 1 Estudiante Maestría en Gestión de Recursos Naturales y Tecnologías de Producción. Instituto Tecnológico de Costa Rica. Costa Rica. Correo electrónico: rfonsecaxr@gmail.com.
- 2 Maestría en suelos. Escuela de Agronomía. Instituto Tecnológico de Costa Rica. Costa Rica. Correo electrónico: pafurcal@tec.ac.cr.  
 <https://orcid.org/0000-0001-8695-4523>
- 3 Doctor en Ciencias Naturales para el Desarrollo, profesor-investigador de la Escuela de Agronegocios. Coordinador del Área Académica Agroforestal Tecnológico de Costa Rica. Costa Rica. Correo electrónico: rocampos@tec.ac.cr.  
 <https://orcid.org/0000-0003-4460-2313>
- 4 Doctor en Ciencias forestales. Escuela de Ingeniería Forestal, Instituto Tecnológico de Costa Rica. Costa Rica. Correo electrónico: eesquivel@tec.ac.cr.  
 <https://orcid.org/0000-0001-9553-060X>



## Palabras clave

Carbono orgánico; conservación de suelos; materia seca; tratamiento; cultivo de piña; labranza en suelo.

## Resumen

La piña, *Ananas comosus* (L.), es un cultivo de importancia en Costa Rica con un área de siembra de aproximadamente 38 000 ha. El objetivo del estudio fue evaluar el contenido de carbono orgánico y la biomasa de la planta de piña en la etapa de crecimiento en un suelo bajo los sistemas de labranza convencional y labranza mínima. El experimento se estableció en una finca localizada a 10° 89'N y 84° 65'O con una altitud que va desde 60 a 92 msnm y un relieve con pendiente de 5% al 15%. En la producción convencional la preparación del suelo conlleva la liberación de carbono hacia la atmósfera y la pérdida de materia orgánica. Lo anterior, en parte, ha motivado que su cultivo sea considerado uno de los más degradantes de suelo a nivel nacional. Mediante la aplicación de un tratamiento de labranza mínima y uno convencional se logró apreciar luego de tres años, que existen algunas variaciones en los niveles nutricionales de suelo y de la planta, mientras que, en relación con las variables productivas, en la etapa evaluada no fue posible determinar efectos atribuibles a la diferencia entre tratamientos. Tampoco se lograron evidenciar diferencias en el nivel de carbono de suelo y la relación C: N. Se concluye que el carbono de suelo puede llegar a variar, pero que es necesario profundizar más en la investigación para demostrar que la labranza mínima en piña puede traer beneficios en el almacenamiento de carbono orgánico. Se recomienda continuar con las mediciones de las variables analizadas, las cuales permitan observar lo reportado en otros cultivos.

## Keywords

Organic carbon; soil conservation; dry matter; treatment; pineapple cultivation; tillage in soil.

## Abstract

The pineapple, *Ananas comosus* (L.), is an important crop in Costa Rica with a planting area of approximately 38,000 ha. The objective of the study was evaluate the organic carbon content and biomass of the pineapple plant in the growing stage in a soil under conventional tillage and minimum tillage systems. The experiment was established on a farm located at 10°89'N and 84°65'W, with an altitude from 60 to 92 m above sea level and a slope of 5 % to 15 %. In conventional production, soil preparation leads to the release of carbon into the atmosphere and the loss of organic matter. Somehow, those issues have caused its cultivation to be considered one of the most degrading of the soil, nationwide. Through the application of a minimum tillage treatment and a conventional one, it was possible to appreciate that there are some variations in the nutritional levels of the plant and the soil, while in relation to the productive variables in the evaluated stage it was not possible to determine effects attributable to the difference between treatments. Neither was it possible to show differences in the soil carbon level and the C: N ratio. It is concluded that soil carbon may vary but it is necessary continue with the researcher to demonstrate that minimum pineapple tillage can bring benefits in the storage of organic carbon. It is recommended to continue with the measurements of the analyzed variables, which allow observing what is reported in other related investigations in crops.

## Introducción

El carbono (C) es la unidad principal de la vida en el planeta tierra y su ciclo es fundamental para el desarrollo de todos los organismos. Este se acumula en compartimientos llamados depósitos y circula activamente entre ellos [1].

El carbono en el suelo se encuentra en forma orgánica e inorgánica. La forma orgánica representa la mayor reserva en interacción con la atmósfera y se estima en cerca de 1.500 pg de C a 1 m de profundidad y cerca de 2.456 pg a 2 m de profundidad [2].

El carbono orgánico presente en los suelos naturales representa un balance dinámico entre la absorción de material vegetal muerto y la pérdida por mineralización. En condiciones aeróbicas del suelo, gran parte del carbono que ingresa al mismo es lábil y solo una pequeña fracción (1 %) del que ingresa ( $55 \text{ pg año}^{-1}$ ) se acumula en la fracción húmica estable ( $0,4 \text{ pg año}^{-1}$ ) [1].

El carbono orgánico del suelo (COS) es un componente importante del ciclo global del carbono, ocupando 69,8 % del C orgánico de la biosfera [1]. Por tanto, el suelo puede actuar como fuente o reservorio de carbono, dependiendo de su uso y manejo [3] y [4]. Sin embargo, la pérdida histórica de los suelos agrícolas fue de 50 Pg de carbono en el último medio siglo, lo cual representa un tercio de la pérdida total del suelo y la vegetación [1].

Realmente, en condiciones naturales, el carbono se incorpora al suelo a través del aporte continuo de material orgánico, principalmente de origen vegetal. En suelos cultivados el mayor aporte de carbono ocurre con los residuos de cosecha. Por otro lado, el carbono del suelo se puede perder en forma gaseosa ( $\text{CO}_2$ ,  $\text{CH}_4$ ) por difusión directa hacia la atmósfera. El aire del suelo tiene una composición similar a la de la atmósfera, pero difiere en la concentración de los gases. El aire del suelo tiene una mayor concentración de  $\text{CO}_2$  respecto al aire atmosférico. Los gases entran o salen del suelo por flujo de masa y por difusión. En este caso, el flujo de masa se produce debido a variaciones en la temperatura y en la presión entre las distintas capas del suelo y entre éste y la atmósfera [5]. Así que, la perturbación del suelo por labranza es una de las mayores causas de la disminución del contenido de la materia orgánica del suelo (MOS) [6] y la disminución del tamaño y estabilidad de los agregados del suelo cuando los ecosistemas nativos son convertidos a la agricultura [7] perdiéndose por ende el carbono orgánico del suelo.

La materia orgánica del suelo es un indicador clave de la calidad del mismo, tanto en sus funciones agrícolas (por ejemplo, la producción y economía) como en sus funciones ambientales (entre ellas la captura de carbono y la calidad del aire). También es el principal determinante de su actividad biológica. Así mismo, la materia orgánica y la actividad biológica que ésta genera tienen gran influencia sobre las propiedades químicas y físicas de los suelos y por ende la producción de los cultivos [8]. Uno de estos cultivos es la piña, cuya extensión en Costa Rica es de unas 38 000 ha aproximadamente. Se cultiva en 16 cantones, de los cuales la Zona Norte representa el 56 % del área cultivada, el Atlántico con el 25 % y el Pacífico el 19 %. Todo distribuido entre unos 258 productores de piña en todo el país [9].

Este cultivo básicamente se realiza de forma convencional y se basa en la labranza del suelo como la operación principal. Para una preparación de terreno completa se requieren hasta siete pasadas de implementos, entre ellos subsolador, arado, rastra, "rotoking", entre otros. Este proceso resulta en el largo plazo, en una reducción de la materia orgánica del suelo. Por tanto, la mayoría de los suelos se degradan bajo una agricultura arable intensiva y prolongada [1].

El uso de la labranza convencional y el monocultivo, generalmente, incrementan la productividad en el corto plazo, ya que, temporalmente, mejoran las condiciones físicas del suelo (relación suelo-agua-aire) necesarias para el óptimo desarrollo de las plantas. Sin embargo, se reconoce que estas prácticas incrementan la pérdida de la materia orgánica como resultado de la mezcla e inversión del suelo, así como de los residuos de cosecha [10].

Por otra parte, se encuentra la agricultura de conservación, misma que está recibiendo atención global como alternativa al uso de los sistemas de labranza convencional y como un medio de secuestro de carbono orgánico del suelo [11]. Más importante aún, las prácticas que secuestran carbono orgánico del suelo contribuyen a la calidad ambiental y al desarrollo de un sistema agrícola sostenible.

La agricultura de conservación es un concepto para el manejo de agro-ecosistemas para una productividad mejorada y sostenible, mayor rentabilidad económica y seguridad alimentaria. Conserva y refuerza al mismo tiempo, los recursos naturales y el medio ambiente, mediante la aplicación de tres principios: una perturbación mínima del suelo, una cobertura permanente del suelo y la rotación de cultivos [12].

## Metodología

### Localización

Esta investigación se llevó a cabo en el poblado de El Corozo, distrito de El Amparo, cantón de Los Chiles, perteneciente a la provincia de Alajuela, Costa Rica. La finca donde se estableció el experimento se encuentra ubicada a 10° 89' Latitud Norte y 84° 65' Longitud Oeste, con una altitud que va desde 60 a 92 msnm., en la Zona de Vida de Bosque Húmedo Tropical [13]. El relieve es semi ondulado con pendientes moderadas del 5 % al 15 %.

### Generalidades

Dicha zona se caracteriza por tener suelos pertenecientes al sub grupo Typic plinthaquults del orden de los Ultisoles (Mapa de suelos de Costa Rica). Los cuales son poco profundos, compactados, arcillosos, por lo general con poco contenido de materia orgánica menor al 1 % [14].

La temperatura mínima promedio es de 23 °C, y la máxima promedio es de 32 °C. Tiene una temperatura promedio general de 27,5 °C, con un periodo seco bien definido. Este inicia en enero y termina en abril. La precipitación media anual en la zona es de 1 511 mm distribuida en dos épocas de mayor precipitación (junio, julio y octubre).

### Diseño Experimental

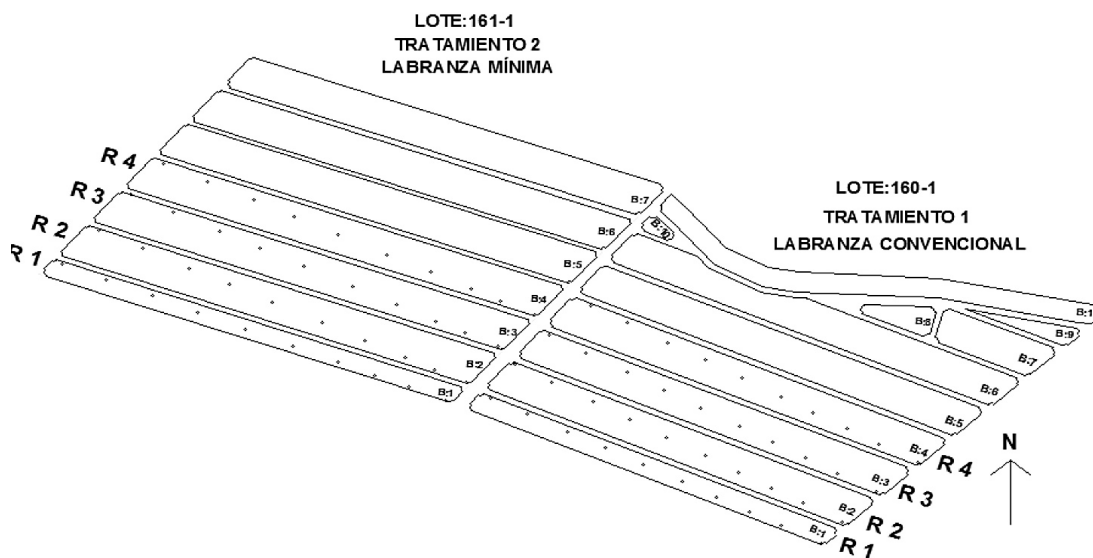
Se seleccionaron dos lotes colindantes entre sí, separados por un camino secundario, donde se implementaron los tratamientos, uno con manejo de labranza convencional y otro de labranza mínima. En todos los casos se sembró a una misma densidad de plantación (65 000 plantas por hectárea). En cada tratamiento se midieron 4 repeticiones conformadas por secciones como se puede ver en la figura 1.

Ambos lotes fueron sembrados con piña del material genético Híbrido MD-2 en el mes de abril del año 2016, como un nuevo ciclo de plantación. Sin embargo, el de mínima labranza fue labrado por última vez en febrero del 2013 y el de uso convencional en febrero 2016.

El tratamiento de mínima labranza, consistió en dejar el suelo fuera de las labores de preparación, dándole descanso al mismo. Se realizó una aplicación de herbicida quemante después de realizadas la primera y segunda cosecha de fruta y cinco semanas después una chapea a la base de las plantas desecadas "ñongas", en ese caso todo el material vegetal queda como rastrojo en la capa superior del suelo, realizando a su vez, un control mecánico de las malezas y de erosión de suelos.

En el caso de labranza convencional, se realizaron labores agrícolas de uso común para la des compactación y el afinado de las partículas de suelo, el cual se compone de dos pases

de trituración, dos pases de rastra, un pase de subsolador, un pase de arado rotativo y la formación de las camas con el “rotoking”, para posteriormente realizar la formación de drenes secundarios y terciarios y de gavetas y ceniceros recolectores de sedimento. El cuadro 1 muestra la distribución de áreas por tratamiento.



**Figura 1.** Croquis de distribución de los puntos de muestreo en campo.

**Cuadro 1.** Distribución de las áreas por tratamiento.

Labranza	Lote	Tratamiento	Repetición	Área (ha)
Convencional	160	1	1	0,35
		1	2	0,68
		1	3	0,67
		1	4	0,65
Mínima	161	2	1	0,33
		2	2	0,65
		2	3	0,65
		2	4	0,65

### Descripción de muestreos

En cada punto de muestreo se consideraron los horizontes A y B para obtener las muestras de suelo y realizar el análisis de fertilidad, carbono orgánico y materia orgánica. Adicionalmente se midieron las siguientes variables: peso fresco de las plantas y cantidad de materia seca, evaluado a los cuatro meses de edad del cultivo.

## Muestreo de suelos

Para cada tratamiento se hizo una evaluación por cada repetición, a los cuatro meses de edad de la plantación. La evaluación fue conformada por 10 sub muestras que se obtuvieron a lo largo del bloque, de las cuales al final del cuarteo del suelo se obtuvo una sola muestra por repetición. Las muestras tomadas en cada unidad de muestreo ( $n=10$ ) se unieron por profundidad A y B para formar muestras compuestas por repetición.

## Muestreos foliares y de plantas

El procedimiento consistió en tomar la hoja más larga de la planta de piña a los cuatro meses de edad, previamente se seleccionaron 10 plantas al azar por repetición a lo largo del bloque, para conformar una muestra foliar. Estas mismas 10 plantas se pesaron antes de extraer la muestra foliar, para realizar los cálculos de peso de planta, previamente se retiraron las raíces y se registró el peso fresco total de cada tratamiento.

## Muestreo de Materia Seca

Para la determinación de la materia seca, en el momento que se realizaba el muestreo de peso fresco de planta se tomaron las 10 plantas muestreadas y se le cortó una sección de las puntas de las hojas y otra sección del tallo de la planta. Estos 10 pesos parciales de plantas se registraron en uno solo, se procedió con el secado en una estufa de aire forzado a 55 °C hasta obtener peso constante y luego se registró el peso seco. Este valor se relacionó con el peso fresco total de la planta entera que se obtuvo de las 10 plantas en cada repetición.

## Análisis de los datos

Para el análisis se hizo comparaciones de medias entre tratamientos mediante una prueba T con el software Infostat versión 2013.

## Resultados y discusión

### Comportamiento de la fertilidad del suelo

En el cuadro 2 se muestra los resultados de los análisis de suelo, se destaca que la mayoría de variables evaluadas en el Horizonte A son mayores en el Tratamiento de mínima Labranza (T2), a excepción del calcio y el hierro. Todos los elementos, así como el pH y la acidez del suelo, se encuentran cercanos a los niveles críticos propuestos por [28]. No se presentaron diferencias significativas entre las variables, exceptuando el manganeso.

Por otro lado, en el caso del Horizonte B (cuadro 3) existieron diferencias significativas para algunas variables como la acidez, la saturación de acidez y el calcio, a favor del T1, y del zinc, cobre, hierro y manganeso, a favor del T2. En este caso, se justifica, ya que estos dos últimos elementos están relacionados con suelos de mayor acidez, como es el caso del T2, así como que se incrementan en suelos saturados y menos drenados. Quizás esto se debe a que el suelo con labranza convencional fue subsolado, lo que permite mayor evacuación del agua en el horizonte B.

### Contenido nutricional foliar

Partiendo del uso de una tabla de rangos óptimos adaptada en la finca para el cultivo de piña, se puede observar en el cuadro 4 que, para ambos tratamientos, el nivel de la concentración de elementos en la planta está dentro del rango adecuado para la plantación o por encima de

él. A excepción del zinc que, en dos de las cuatro repeticiones para el T1 y una repetición en el T2, aparece levemente por debajo del nivel óptimo con 19 mg/L de 20 mg/L como límite inferior.

Para el nitrógeno, fósforo y potasio la concentración de elementos en la hoja es mayor en el T2, y se da el mismo comportamiento con el hierro y el manganeso. No obstante, en el caso del calcio, magnesio y zinc sucede lo contrario, donde se obtuvo la mayor concentración de estos elementos a nivel foliar en el T1. Por último, el cobre resultó igual para ambos tratamientos.

Desde el punto de vista nutricional existe una tendencia de un mejor nivel para las plantas del tratamiento de mínima labranza en comparación con la convencional.

**Cuadro 2.** Resultados de los análisis nutricionales a nivel de suelo para el Horizonte A.

ANÁLISIS QUÍMICO DE SUELOS														
Horizonte A		pH (H <sub>2</sub> O)	cmol(+)/L					%		mg/L				
			Acidez	Ca	Mg	K	CICE	SA	P	Zn	Cu	Fe	Mn	
Valor nivel crítico		5,5	0,5	4	1	0,2	5	10	10	3	1	10	5	
Labranza	Repetición													
Convencional (T1)	R1 A	5,00	0,42	2,78	0,73	0,36	4,29	10	3	3,6	10	170	39	
	R2 A	4,80	0,66	2,83	0,75	0,25	4,49	15	2	3,7	10	171	52	
	R3 A	4,70	0,67	2,78	0,70	0,24	4,39	15	3	3,9	8	176	51	
	R4 A	4,80	0,46	3,10	0,94	0,34	4,84	10	3	4,8	9	150	51	
	Desv est.	0,109	0,113	0,133	0,094	0,053	0,207	2,500	0,433	0,474	0,829	9,934	5,356	
	Promedio	4,8 <sup>a</sup>	0,55 <sup>a</sup>	2,87 <sup>a</sup>	0,78 <sup>a</sup>	0,30 <sup>a</sup>	4,50 <sup>a</sup>	12,3 <sup>a</sup>	2,8 <sup>a</sup>	4,0 <sup>a</sup>	9,3 <sup>a</sup>	166,8 <sup>a</sup>	48,3 <sup>a</sup>	
Mínima (T2)	R1 A	4,90	0,44	2,95	1,00	0,25	4,64	9,5	3,0	4,2	11	166	63	
	R2 A	4,90	0,54	2,62	0,86	0,41	4,43	12,2	3,0	4,1	10	154	71	
	R3 A	4,80	0,46	2,48	0,86	0,29	4,09	11,2	3,0	3,2	9	132	85	
	R4 A	4,80	0,46	2,96	1,05	0,44	4,91	9,4	3,0	4,7	9	138	93	
	Desv est.	0,050	0,038	0,208	0,084	0,079	0,300	1,180	0,000	0,541	0,829	13,370	11,705	
	Promedio	4,8 <sup>a</sup>	0,48 <sup>a</sup>	2,75 <sup>a</sup>	0,94 <sup>a</sup>	0,35 <sup>a</sup>	4,52 <sup>a</sup>	10,6 <sup>a</sup>	3,0 <sup>a</sup>	4,1 <sup>a</sup>	9,8 <sup>a</sup>	147,5 <sup>a</sup>	78,0 <sup>b</sup>	

Las letras iguales indican que no hay diferencia significativa.

Simbología: CICE, capacidad de intercambio catiónico efectivo, SA, saturación de aluminio, Desv Est., desviación estándar.



**Cuadro 3.** Resultados de los análisis nutricionales a nivel de suelo para el Horizonte B.

ANÁLISIS QUÍMICO DE SUELOS													
Horizonte B		pH (H <sub>2</sub> O)	cmol(+)/L					%	mg/L				
			Acidez	Ca	Mg	K	CICE		SA	P	Zn	Cu	Fe
Valor nivel crítico		5,5	0,5	4	1	0,2	5	10	10	3	1	10	5
Labranza	Repetición												
Convencional (T1)	R1 B	5,0	0,11	3,24	0,94	0,23	4,52	2	3	2,0	8	84	15
	R2 B	4,9	0,18	3,18	0,92	0,24	4,52	4	3	2,2	8	103	28
	R3 B	4,9	0,15	3,29	0,91	0,18	4,53	3	2	1,8	6	59	25
	R4 B	4,9	0,20	3,62	1,00	0,29	5,11	4	2	2,5	8	85	36
	Desv est.	0,043	0,034	0,170	0,035	0,039	0,254	0,829	0,500	0,259	0,866	15,658	7,517
	Promedio	4,9 <sup>a</sup>	0,16 <sup>a</sup>	3,33 <sup>a</sup>	0,94 <sup>a</sup>	0,24 <sup>a</sup>	4,67 <sup>a</sup>	3,4 <sup>a</sup>	2,50 <sup>a</sup>	2,1 <sup>b</sup>	7,5 <sup>b</sup>	82,8 <sup>b</sup>	26,0 <sup>b</sup>
Mínima (T2)	R1 B	4,8	0,39	3,14	0,99	0,16	4,68	8	3	3,2	11	164	67
	R2 B	4,8	0,27	3,12	0,86	0,16	4,41	6	2	3,3	10	112	55
	R3 B	4,9	0,23	2,75	0,82	0,21	4,01	6	2	2,6	9	113	67
	R4 B	4,6	0,43	2,47	0,74	0,20	3,84	11	2	3,5	10	106	84
	Desv est.	0,109	0,082	0,278	0,090	0,023	0,330	2,046	0,433	0,335	0,707	23,392	10,329
	Promedio	4,8 <sup>a</sup>	0,33 <sup>b</sup>	2,87 <sup>b</sup>	0,85 <sup>a</sup>	0,18 <sup>a</sup>	4,24 <sup>a</sup>	7,8 <sup>b</sup>	2,25 <sup>a</sup>	3,2 <sup>a</sup>	10,0 <sup>a</sup>	123,8 <sup>a</sup>	68,3 <sup>a</sup>

Las letras iguales indican que no hay diferencia significativa.

Simbología: CICE, capacidad de intercambio catiónico efectivo, SA, saturación de aluminio, Desv Est., desviación estándar.

Diferentes estudios han indicado que cuando la relación C:N en el suelo es mayor de 30, existe inmovilización de nitrógeno por los microorganismos del suelo, cuando esta fluctúa entre 20 a 30, no existe pérdida o ganancia. Sin embargo, cuando ésta, es menor de 20 existe una mineralización de los componentes orgánicos y el nitrógeno puede ser utilizado por las plantas [15]. En este caso la relación C:N menor es en el Horizonte A con un valor de 8,45 para el T2, el cual, a pesar de no tener diferencia estadística con el T1, si marca esa tendencia que se menciona en la literatura y que se ve reflejada en el contenido de nitrógeno a nivel foliar.

Sin embargo, se cree que a pesar de que el suelo se conserva y no se remueve, el aporte de la materia orgánica por el procedimiento que se hace en la mínima labranza se asimila más lentamente por el suelo, y por ende se disminuye la facilidad de poner esos minerales a disposición para el siguiente ciclo de cultivo. Así lo confirma [16], cuando menciona que los residuos de cultivos aplicados en la superficie, se descomponen más lentamente que aquellos incorporados por la labranza, ya que tienen menor contacto con los microorganismos y el agua del suelo.



**Cuadro 4.** Contenido nutricional a nivel foliar en plantas de piña (*Ananas comosus*).

Labranza	Repetición	%					mg/L			
		N Total	P	K	Ca	Mg	Fe	Cu	Zn	Mn
Convencional (T1)	1	1,88	0,2	5,71	0,37	0,24	125	16	19	296
	2	1,72	0,18	4,68	0,34	0,22	152	14	24	274
	3	1,75	0,21	5,08	0,39	0,24	150	13	19	283
	4	1,87	0,19	5,01	0,42	0,27	133	16	26	354
	Promedio	1,81 <sup>a</sup>	0,20 <sup>b</sup>	5,12 <sup>b</sup>	0,38 <sup>a</sup>	0,24 <sup>a</sup>	140,0 <sup>a</sup>	14,8 <sup>a</sup>	22,0 <sup>a</sup>	301,8 <sup>a</sup>
Mínima (T2)	1	1,83	0,23	6	0,35	0,23	186	13	20	284
	2	1,98	0,23	6,19	0,35	0,21	106	14	19	301
	3	1,83	0,25	5,67	0,34	0,23	153	15	23	391
	4	1,98	0,24	6,45	0,32	0,21	148	17	21	367
	Promedio	1,91 <sup>a</sup>	0,24 <sup>a</sup>	6,08 <sup>a</sup>	0,34 <sup>a</sup>	0,22 <sup>a</sup>	148,3 <sup>a</sup>	14,8 <sup>a</sup>	20,8 <sup>a</sup>	335,8 <sup>a</sup>
	Bajo	<1,4	<0,15	<2,6	<0,3	<0,2	<75	-	<20	-
Rangos	Óptimo	1,4 - 1,7	0,15 - 0,25	2,6 - 3,6	0,3 - 0,38	0,2 - 0,28	75 - 175		20 - 30	
	Alto	>1,7	>0,25	>3,6	>0,38	>0,28	>175	-	>30	-

Las letras iguales indican que no hay diferencia significativa.

### Contenido de materia seca

El cuadro 5 presenta los valores del peso seco de las plantas para cada tratamiento. El tratamiento T2 obtuvo un promedio de 208,1 gramos de materia seca por planta, contra 190,4 gramos de materia seca del T1; el cual significa una diferencia por un margen de 17,7 gramos por planta. Este resultado no representa un valor estadístico que permita definir diferencias entre tratamientos a la edad evaluada, sin embargo, podría aumentar esta diferencia en el tiempo o provocar alguna diferencia en la fruta cosechada.

**Cuadro 5.** Promedio de materia seca por planta de piña.

Labranza	Repetición	Peso seco de la planta (gr)	Promedio MS (gr)
Convencional (T1)	1	207	190,4 <sup>a</sup>
	2	173,6	
	3	214,7	
	4	166,2	
Mínima (T2)	1	207,8	208,1 <sup>a</sup>
	2	250,7	
	3	194,8	
	4	179	

Las letras iguales indican que no hay diferencia significativa.

Tomando en cuenta los valores del cuadro 5 y la densidad de las plantas (65 000 plantas por hectárea) se obtiene que en el caso del T1 hay una producción de 12,38 tn ha<sup>-1</sup> de materia seca; mientras que en el T2 se da una producción de 13,52 tn ha<sup>-1</sup> de la misma. La diferencia no es significativa estadísticamente.

**Cuadro 6.** Toneladas de materia seca por hectárea y tratamiento.

Labranza	Repetición	Peso seco (g/planta)	Materia seca (tn/ha)	Promedio MS/TM/ha
Convencional (T1)	1	206,99	13,45	12,38 <sup>a</sup>
	2	173,6	11,28	
	3	214,74	13,96	
	4	166,24	10,81	
Mínima (T2)	1	207,85	13,51	13,52 <sup>a</sup>
	2	250,7	16,3	
	3	194,75	12,66	
	4	178,99	11,63	

Las letras iguales indican que no hay diferencia significativa.

El porcentaje de materia seca permite ver cuánta agua tiene la planta y cuánto corresponde a la parte sólida. Dicho dato debe ser bien interpretado, ya que la planta con mayor cantidad de materia seca no va a ser mayor necesariamente a la hora de verlo en términos relativos, sino que, por lo general, las plantas más grandes por ser más suculentas van a tener más agua en su sistema. El caso contrario se da cuando la planta es más pequeña, ya que el agua en su sistema es menor. Esto se debe al estrés al que ha sido sometida la semilla en el proceso de siembra, y la casi nula presencia de raíz en los primeros 15 días de trasplante, lo cual le impide absorber agua del suelo, por ende, su porcentaje de materia seca probablemente aumentará. Esto puede ser atribuido a lo descrito por [17], ya que mencionan que las plantas en las primeras semanas carecen de raíces adventicias y presentan escasez de raíces primarias, lo que dificulta la absorción de agua para la planta y, por tanto, este órgano carece de agua, de ahí que se obtenga una mayor concentración en la cantidad de materia seca.

Los resultados de porcentaje de materia seca permiten destacar que no hay diferencia estadística, como se muestra en el cuadro 7.

### Peso de la planta

El peso inicial de la planta al momento de la siembra fue de 0,38 kg, en labranza convencional se obtuvo un promedio de 1,81 kg por planta y para la labranza mínima un 2,04 kg por planta (cuadro 8), sin que se evidenciaran diferencias significativas. Por tanto, no hay efecto del tratamiento sobre el peso de la planta.

Adicionalmente se consideró analizar la variable ganancia de peso, con un promedio de 1,44 kg para la labranza convencional y para la mínima labranza un promedio de 1,67 kg sin que se evidenciaran diferencias estadísticamente significativas.

**Cuadro 7.** Porcentaje de materia seca por planta.

Labranza	Repetición	Peso verde de la planta (g)	Peso seco de la planta (g)	Materia Seca (%)	Promedio Materia Seca (%)
Convencional (T1)	1	1 902,3	207	10,88	10,53 <sup>a</sup>
	2	1 509,1	173,6	11,5	
	3	2 090,9	214,7	10,27	
	4	1 756,8	166,2	9,46	
Mínima (T2)	1	1 965,9	207,8	10,57	10,17 <sup>a</sup>
	2	2 354,5	250,7	10,65	
	3	2 004,5	194,8	9,72	
	4	1 838,6	179	9,73	

Las letras iguales indican que no hay diferencia significativa.

**Cuadro 8.** Peso de la planta de piña y ganancia de peso a los cuatro meses de edad.

Labranza	Repetición	Peso por planta (kg)	Peso promedio por planta (kg)	Ganancia peso por planta (kg)	Promedio ganancia peso (kg)
Convencional (T1)	1	1,9	1,81 <sup>a</sup>	1,53	1,44 <sup>a</sup>
	2	1,51		1,13	
	3	2,09		1,72	
	4	1,76		1,38	
Mínima (T2)	1	1,97	2,04 <sup>a</sup>	1,59	1,67 <sup>a</sup>
	2	2,35		1,98	
	3	2		1,63	
	4	1,84		1,46	

Las letras iguales indican que no hay diferencia significativa.

Se puede decir que la tendencia, a pesar de no existir diferencia estadística, se da hacia una mejor ganancia de peso y, por ende, hacia un mejor peso por planta en la siembra en suelos de mínima labranza.

### Carbono orgánico y materia orgánica

La captura de carbono y el aumento de la materia orgánica del suelo van a tener un impacto directo sobre la calidad y la fertilidad de los suelos [1]. Sin embargo, [18] indican que un aumento de la concentración de CO<sub>2</sub> en la atmósfera induce un incremento de la biomasa o de la red primaria de producción, con un papel muy importante sobre la fotosíntesis y el crecimiento de las plantas.

Por tanto, se sustenta la tendencia obtenida sobre la ganancia de peso de la planta, en relación al carbono obtenido actualmente en ambos tratamientos, permitiendo predecir, que a futuro es un factor importante a considerar en el aumento de la producción, si se parte del hecho que con el paso del tiempo puede el suelo capturar más carbono proveniente del crecimiento que presenta el cultivo.

## Comportamiento del contenido de carbono orgánico y relación C/N

El grado de labranza no influyó sobre los contenidos de materia orgánica, carbono orgánico, ni el nitrógeno almacenado. Solo se notó una disponibilidad menor en el Horizonte A para el tratamiento de mínima labranza. Dichos valores no permitieron definir una diferencia significativa a favor de la labranza convencional. Como lo mencionan los autores [3], [4], los sistemas de labranza cero o labranza reducida, a largo plazo, aumentan el contenido de materia orgánica del suelo de la capa superficial, como resultado de la interacción de varios factores, tales como (un mayor retorno de residuos, menos mezcla y disturbio del suelo, mayor contenido de humedad del suelo, menor temperatura de la superficie del suelo, proliferación del crecimiento de las raíces y de la actividad biológica y menores riesgos de erosión del suelo).

Las variables reflejadas en el cuadro 9, en el horizonte A, mostraron un comportamiento completamente distinto a las variables analizadas en el cuadro 10, lo que se puede deber a la disponibilidad de la materia orgánica que hay en el suelo procedente de la plantación que se eliminó del ciclo anterior. Lo normal sería que se viera reflejado en el resultado del T2; sin embargo, existe la posibilidad de que, a pesar de que el proceso de descomposición se da, su incorporación al suelo es más lenta que el proceso de trituración e incorporación del material vegetal que se le realiza al suelo en una preparación convencional. Lo anterior porque lo que se hace es minimizar al máximo las partículas de material para facilitar la incorporación y descomposición en el suelo. Es decir, lo probable es que el aporte efectivo al suelo del material dejado en las mínimas labranzas se vea, pero a mayor plazo.

Para el caso del T2, por ser mínima labranza, el material vegetal es más grande y, por consiguiente, el proceso de descomposición y mineralización es más lento, por lo que pasa a formar parte del suelo como materia orgánica y, a su vez, a aumentar la disponibilidad de nitrógeno y contenido de carbono del suelo. Según [4], los depósitos de carbono en el suelo y su dinámica se encuentran estrechamente relacionados con la fauna edáfica, la cual es considerada un factor de gran influencia en las propiedades físicas y biológicas del suelo, especialmente en lo relacionado con la estructura, porosidad, aireación, infiltración, drenaje, ciclaje de nutrientes y flujo de materia orgánica.

Es por esto, que la posible razón por la cual no se encontrara más carbono orgánico en la labranza mínima respecto a la convencional, puede deberse a que tanto la labranza convencional como la labranza mínima, fueron manejadas igual durante más de dos años, ya que era el periodo durante el cual se desarrolló el cultivo en su primera y segunda cosecha. Sin embargo, posteriormente, la labranza convencional se preparó próximo a la siembra, lo que le confiere un periodo de descanso previo a la siembra similar al de labranza mínima. Sin embargo, [19] menciona que, para que ocurra un verdadero impacto en el cambio climático los sumideros deben ser permanentes. Si la tierra bajo agricultura de conservación es labrada, todas las ganancias de carbono y de materia orgánica del suelo se pierden, por tanto, a pesar de no haber mucha diferencia en tiempo, si hay una ruptura total del proceso de descanso del suelo en el momento de la preparación del mismo en la labranza convencional.

Es posible que este tipo de suelo, para la zona de influencia, el tipo de cultivo y el manejo anterior que se le ha dado, necesite un periodo más extenso de tiempo para poder determinar diferencias significativas respecto a las variables de fertilidad y de composición del suelo.

De acuerdo al resultado obtenido, cabe mencionar lo propuesto por [20] cuando sugirieron que las tasas de secuestro de carbono en el suelo, con el cambio a prácticas de labranza cero, podían tener una respuesta lenta. También, indican que se puede alcanzar una tasa máxima

de secuestro en cinco o diez años y, entonces declinar a casi cero en 15 a 20 años. Esto concuerda con una revisión de [3] basada en resultados de [21] que muestra que puede haber poco o ningún incremento en el carbono orgánico del suelo en los primeros dos a cinco años después del cambio en las prácticas de manejo, pero seguido por un gran incremento en los siguientes cinco o diez años.

Esta situación se relaciona con la cantidad de materia orgánica que, a pesar de no ser más alta en comparación con el T1 (cuadro 9), presenta niveles relativamente altos para el tipo de suelo, cuando lo normal es un rango entre el 1 % y 2 %, por tanto, siempre hay beneficio.

**Cuadro 9.** Relación entre la materia orgánica, el carbono, nitrógeno y la interacción de ambos.

ANÁLISIS QUÍMICO DE SUELOS						
Horizonte A		CE (mS/cm)	% C	% N	Relación C/N	% MO
Labranza	Repetición					
Convencional (T1)	R1 A	0,1	2,01	0,24	8,4	2,9
	R2 A	0,1	1,95	0,23	8,5	2,8
	R3 A	0,2	2,56	0,24	10,7	3,7
	R4 A	0,2	1,88	0,19	9,9	2,7
	Promedio	0,15 <sup>a</sup>	2,10 <sup>a</sup>	0,23 <sup>a</sup>	9,38 <sup>a</sup>	3,00 <sup>a</sup>
Mínima (T2)	R1 A	0,1	1,75	0,21	8,3	2,5
	R2 A	0,1	1,88	0,22	8,5	2,7
	R3 A	0,1	1,71	0,2	8,6	2,4
	R4 A	0,2	1,84	0,22	8,4	2,6
	Promedio	0,13 <sup>a</sup>	1,80 <sup>a</sup>	0,21 <sup>a</sup>	8,45 <sup>a</sup>	2,57 <sup>a</sup>

Las letras iguales indican que no hay diferencia significativa.

CE: Conductividad eléctrica MO: Materia orgánica

En el caso del horizonte B, los valores que se obtuvieron sobre las cantidades de carbono, nitrógeno y el porcentaje de materia orgánica, presentan un efecto contrario a los resultados obtenidos para el horizonte A. En el caso del T2, son mayores en el estrato más profundo (Horizonte B) y no en la superficie del suelo, como se muestra en el cuadro 10. Se podría justificar dicho resultado, ya que la perturbación ocurrida por la labranza, acorta el proceso de estructuración de un macro agregado, disminuyendo la formación de nuevos micro agregados y la captura de carbono dentro de ellos [7].

Estos resultados a su vez, a pesar de no haber diferencia significativa en todas las variables, a excepción del porcentaje de nitrógeno, demuestran que, con el pasar del tiempo, el comportamiento del suelo tiende a mejorar en cantidad de carbono, nitrógeno y materia orgánica en la labranza mínima en el horizonte B, por lo que a mayor profundidad del suelo y comparado con la labranza convencional en la cual fue removido el mismo, se determina que esa mejoría de suelo se da de las capas superficiales a las más profundas, al menos en estas variables medidas. Así lo confirma [22], en Australia y [23] en Etiopía, donde encontraron que

el carbono incrementó desde la superficie hacia las partes más profundas del suelo, lo que es consecuente con mayores pérdidas respiratorias de carbono isotópicamente ligero, durante la descomposición de las capas superficiales del suelo, resultando en un enriquecimiento del carbono más antiguo a mayor profundidad.

**Cuadro 10.** Relación entre la materia orgánica, el carbono, nitrógeno y la interacción de ambos en el horizonte B.

ANÁLISIS QUÍMICO DE SUELOS						
Horizonte B		CE	% C	% N	Relación C/N	% MO
Labranza	Tratamiento	(mS/cm)				
Convencional (T1)	R1 B	0,20	1,34	0,17	7,90	1,90
	R2 B	0,20	1,39	0,19	7,30	2,00
	R3 B	0,20	1,23	0,17	7,20	1,80
	R4 B	0,20	1,88	0,19	9,90	2,70
	Promedio	0,20 <sup>a</sup>	1,46 <sup>a</sup>	0,18 <sup>b</sup>	8,08 <sup>a</sup>	2,09 <sup>a</sup>
Mínima (T2)	R1 B	0,20	1,74	0,21	8,30	2,50
	R2 B	0,10	1,57	0,19	8,30	2,20
	R3 B	0,10	1,74	0,20	8,70	2,50
	R4 B	0,10	1,59	0,20	8,00	2,30
	Promedio	0,13 <sup>a</sup>	1,66 <sup>a</sup>	0,20 <sup>a</sup>	8,33 <sup>a</sup>	2,37 <sup>a</sup>

Las letras iguales indican que no hay diferencia significativa.

CE: Conductividad eléctrica MO: Materia orgánica

Según [24], el incremento en los valores de carbono y nitrógeno, van en función de la profundidad del suelo y se atribuye también a la acumulación de biomasa microbiana (hongos saprofitos, micorrizas arbusculares y ectomicorrizas). De igual manera, la naturaleza dinámica de la relación carbono y nitrógeno puede requerir nitrógeno orgánico adicional para incrementar el secuestro de carbono en profundidad. Como lo encontraron [25], determinando que la mayor parte de la ganancia de nitrógeno ocurre a profundidades por debajo del nivel de paso del arado, lo que sugiere que la mayor parte del carbono acumulado en el suelo se derivaba de los residuos de las raíces; lo cual concuerda con la tendencia del carbono en el Horizonte B para el T2.

Otro punto relevante de rescatar es la disminución en los costos económicos de la labranza mínima, dada la menor cantidad de labores, además de la conservación del recurso suelo.

Como lo mencionan, [3], la labranza mínima además del secuestro de carbono con la consecuente remoción del CO<sub>2</sub> de la atmósfera presenta otros beneficios; entre los que se puede mencionar, la reducción en el consumo de combustibles, disminución de la erosión, fortalecimiento en la fertilidad del suelo y su capacidad de retención de agua. Además, indican que, el potencial de secuestro de carbono orgánico del suelo por la conversión a la agricultura de conservación varía de 0,1 a 0,5 t/ha/año para las regiones templadas húmedas y de 0,05 a 0,2 t/ha/año para las regiones semiáridas y tropicales.

Lo anterior respalda lo mencionado por [26] afirmando que dicha actividad se convierte en una consideración importante para el manejo futuro de créditos de carbono. Además, los mercados se están extendiendo globalmente y los mecanismos de desarrollo limpio del protocolo de Kyoto

ofrecen una oportunidad económica atractiva para la subsistencia de agricultores de países en vía de desarrollo, quienes podrían obtener recursos económicos por medio de la venta de carbono secuestrado en sus agroecosistemas a países industrializados [27], al evidenciar que la disminución de emisiones de gases de efecto invernadero a partir del almacenamiento de carbono, además de ser un servicio ecosistémico, se convierte en una alternativa económica, que se puede potenciar a través de las evaluaciones del carbono orgánico del suelo en paisajes rurales neo tropicales. Así también, los beneficios adicionales relacionados incluirán el mejoramiento de las propiedades químicas, la biodisponibilidad de elementos (mayor fertilidad) y la resiliencia contra la degradación física, especialmente de la erosión. Por lo tanto, el secuestro de carbono contribuirá a restaurar la calidad de los suelos degradados [1].

## Conclusiones

La presencia de mayor acumulación de materia seca, el comportamiento nutricional de las plantas y del suelo en el horizonte A con el tratamiento de mínima labranza, en comparación con el tratamiento de labranza convencional, y aún sin haber resultado estadísticamente diferentes, evidencia un aporte al suelo con la mínima labranza y una economía para el productor en el manejo del cultivo, especialmente por la mecanización.

En cuanto a variables productivas como el peso de la planta, ganancia de peso, materia seca por planta y el porcentaje de materia seca, no hay diferencias estadísticamente significativas entre los tratamientos o tipos de labranza evaluados, sin embargo, hay una tendencia, en su mayoría, en la mejora de las variables en el tratamiento de mínima labranza en comparación con la convencional.

Al comparar la cantidad de carbono orgánico que hay en los horizontes A y B del suelo, para ambos tratamientos, no se encontró diferencia estadística alguna que permitiera darle un valor agregado a la labor de mínima labranza en relación a la labranza convencional. Sin embargo, hay una tendencia en la que, a través del tiempo, el contenido de carbono orgánico en la labranza mínima puede superar al carbono acumulado en la labranza convencional.

No se muestran diferencias significativas para la relación C/N a nivel de suelo que permitan determinar el efecto entre los dos sistemas de labranzas y la profundidad. No obstante, la relación C:N menor, resultante en el horizonte A para el T2, pese a no tener diferencia estadística con el T1, si marca una tendencia favorable en dicha relación que se ve reflejada en el contenido de nitrógeno a nivel foliar.

En el lote donde se aplicó labranza mínima no hubo mayor diferencia en la presencia de plagas en comparación con el lote donde se aplicó labranza convencional, además los cambios en el carbono de suelo producto de una labranza mínima no son apreciables con un solo ciclo de aplicar esta técnica.

Dada la naturaleza del cultivo con labranza mínima, la implementación de un estudio a largo plazo, de al menos cinco años, debería evidenciar diferencias significativas en la capacidad de captura y retención del carbono entre ésta y la labranza convencional.



## Referencias

- [1] Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO), "Captura de carbono en los suelos para un mejor manejo de la tierra", no. 96, Roma, 2002.
- [2] S. Brown, J. Sathaye, M. Cannel, and P. Kauppi, "Mitigation of carbon emissions to the atmosphere by forest management", *Commonwealth Forestry Review*, vol. 75, no. 1, pp. 80-91, 1996.
- [3] R. Lal, "Global carbon pools and fluxes and the impact of agricultural intensification and judicious land use. In Preservation of Land Degradation, Enhancement of Carbon Sequestration and Conservation of Biodiversity through Land Use Change and Sustainable Land Management with a Focus on Latin America and the Caribbean". *World Soil Resources Report*, 86, Rome: FAO, 1999.
- [4] R. Lal, "Los suelos y el cambio climático", in *Protección del suelo y el desarrollo sostenible*, Serie: Medio Ambiente N° 6, A. Callaba, I. Iribarren and P. Fernández, Ed. Madrid: Instituto Geológico y Minero de España, 2005, pp. 163-177.
- [5] R. Healy, R. Striegl, T. Russell, G. Hutchinson and G. Livingston, "Numerical Evaluation of Static-Chamber Measurements of Soil—Atmosphere Gas Exchange: Identification of Physical Processes", *Soil Science Society of America Journal*, vol. 60, no. 3, pp. 740-747, 1996.
- [6] J. Six, S. Ogle, F. Breidt, R. Conant, A. Mosiers and K. Paustian, "The potential to mitigate global warming with no-tillage management is only realized when practiced in the long term", *Global Change Biology*, no. 10, pp. 155-160, 2004.
- [7] J. Six, E. Elliott and K. Paustian, "Soil macroaggregate turnover and microaggregate formation: a mechanism for C sequestration under no-tillage agriculture", *Soil Biol. Biochem*, no. 32, pp. 2099-2103, 2000.
- [8] M. Robert, *Le sol: Interface dans l'environnement, ressource pour le développement*. Paris: Masson, 1996.
- [9] Cámara Nacional de Productores y Expostadores de Piña, CANAPEP. San José, Costa Rica, 2019. Disponible en <https://canapep.com/historia/>
- [10] Food and Agriculture Organization, "Sustainable agriculture production: For international agricultural research", Rep. of the Technical Advisory Com. Consultative Group on International Agricultural Research (CGIAR), Washington, DC, 1989.
- [11] R. Follett, "Soil management concepts and carbon sequestration in cropland soils", *Soil and Tillage Research*, vol. 61, no. 1-2, pp. 77-92, 2001.
- [12] Food and Agriculture Organization of the United Nations, "Conservation Agriculture", Roma, 2017. Disponible en: <http://www.fao.org/publications/card/en/c/981ab2a0-f3c6-4de3-a058-f0df6658e69f/>
- [13] I. Holdridge, "Ecología basada en zonas de vida" 1ª. ed. San José, Costa Rica: IICA, 1967.
- [14] R. Mata, "Mapa digital de suelos de Costa Rica". Centro de Investigaciones Agronómicas. Universidad de Costa Rica, 2009.
- [15] L. Tislade y W. Nelson, "Soil fertility and fertilizers" New York: Macmillan, 1993.
- [16] D.A. Angers, M.R. Carter, E.G. Gregorich, M.A. Bolinder, R.G. Donald, R.P. Voroney, C.F. Drury, B.C. Liang, R.R. Simard and R.P. Beyaert, "Agriculture Management Effects on Soil Carbon Sequestration in Eastern Canada", In: Beran M.A. (eds) *Carbon Sequestration in the Biosphere*. NATO ASI Series (Series I: Global Environmental Change), vol 33. Springer-Verlag Berlin Heidelberg, Quebec, 1995.
- [17] E. Malézieux, F. Côte y P. Bartholomew, "Crop environment, plant growth and physiology. Chapter 5. In The Pineapple, Botany, Production and Uses" 69–107, 2003.
- [18] Gregory, P.J., Simmonds, L.P., Warren, C.P. 1998. Interactions between plant nutrients, water and carbon dioxide as factors limiting crop yields. *Philosophical transactions of the Royal Society of London, Series B*, 352: 987-996.
- [19] Pearce D W., Cline W R., Achanta A N., Fankhauser S., Pachauri R K., Tol R S J., and Vellinga P. 1996. *The social costs of climate change: greenhouse damage and benefits of controls*. In: *Climate change (1995): Economic and Social Dimensions of Climate Change*. Bruce et al (eds). Cambridge University Press, Cambridge.
- [20] T. West and W. Post, "Soil organic carbon sequestration rates by tillage and crop rotation: a global data analysis", *Soil Science Society of America Journal*, no. 66, pp. 1930-1946, 2002.
- [21] A. Franzluebbers and M. Arshad, "Soil Organic Matter Pools during Early Adoption of Conservation Tillage in Northwestern Canada", *Soil Science Society of America Journal*, vol. 60, no. 5, pp. 1422-1427, 1996.
- [22] E. Krull, J. Skjemstad and J. Baldock, Grains Research & Development Corporation, "Functions of Soil Organic Matter and the Effect on Soil Properties", No CSO 00029, 2004.



- [23] Michelsen, A., Anderson, M., Kjoller, A., Gashew, M., 2004. Carbon stock, soil respiration and microbial biomass in fire- phone tropical glassland, woodland and forest ecosystems. *Soil Biology and Biochemistry* 36, 1707-1717.
- [24] Etcheverria, P., Huygens, D., Godoy, R., Borie, F. and Boeckx, P. 2009. Arbuscular mycorrhizal fungi contribute to 13C and 15N enrichment of soil organic matter in forest soils. *Soil Biology and Biochemistry* 41, 858-861.
- [25] Sisti, C.P.J., dos Santos, H.P., Kohhann, R., Alves, B.J.R., Urquiaga, S. and Boddey, R.M. (2004) Changing carbón and nitrogen stocks in soil under 13 years of conventional or zero tillage in southern Brazil. *Soil and Tilage Research* 76, 39-58.
- [26] Feldpausch, T.R., Rondón, M.A., Fernandes, E.C.M., Riha, S.J., Wandelli, E. 2004. Carbon and nutrient accumulation in secondary forests regenerating from degraded pastures in Central Amazônia, Brazil. *Ecological Applications* 14, 164-176.
- [27] Nair, P.K.R., Nair, V.D., Kumar, B.M., Haile S.G., 2009. Soil carbon sequestration in tropical agroforestry systems: a feasibility appraisal. *Environmental Science and Policy*. En Prensa
- [28] Méndez, J., y Bertsch, F. (2012). Guía para la interpretación de la fertilidad de los suelos de Costa Rica. Asociación Costarricense de la Ciencia del Suelo (ACCS). 118 p.