

## Análisis del efecto del rastrojo de *Crotalaria juncea* sobre la calidad de un Andisol en Costa Rica

Dayana Melissa Solórzano Quesada<sup>1</sup>, Paola Brenes Rojas<sup>2</sup>, Wagner Peña<sup>3</sup>

1. Licenciada Ingeniería agronómica, Costa Rica; [dayasq93@hotmail.com](mailto:dayasq93@hotmail.com)

2. Vicerrectoría de Investigación, Universidad Estatal a Distancia de Costa Rica; [paolarjs@gmail.com](mailto:paolarjs@gmail.com)

3. +Catedra de Gestión Sostenible del Suelo. Escuela de Ciencias Exactas y Naturales. UNED, Universidad Estatal a Distancia. Apartado Postal 474-2050. San Pedro, San José, Costa Rica.

**RESUMEN:** La mineralización de los rastrojos de *Crotalaria* es un tema de importancia en función de su impacto sobre la calidad de los suelos. El objetivo de esta investigación fue analizar el efecto del rastrojo de la *Crotalaria juncea* sobre la calidad de un suelo tipo Andisol en Costa Rica; este fue utilizado como abono verde por 30 días, y se analizó su impacto sobre la fertilidad del suelo. El experimento se realizó con un diseño de bloques completos al azar, con 4 bloques de muestreo (0, 10, 20, 30 días) y dos tratamientos (T1= rastrojo incorporado y T2= rastrojo sobre la superficie) con 5 repeticiones; la unidad experimental estuvo compuesta por 10 parcelas de campo. Como resultados se obtuvo el aumento del potasio con 23,68% en T1 y en T2 un 13,16%, el calcio aumentó un 27,72% en T1 y en T2 un 5,94%, el fósforo aumentó de 4 mg/L a 8 mg/L en T1 y 5,33 mg/L en T2. En los análisis foliares se identifica una mayor mineralización en T1 a los 10 días, con un aporte del 24,88% del total de nitrógeno de los rastrojos, en T2 se da la mayor aportación a los 30 días con un 1,18%. El mayor aprovechamiento de carbono se observa en T1 a los 10 días con 22,10% del total de carbono que contenían los rastrojos. Se concluye que los rastrojos de *crotalaria* funcionan como abono verde por su efecto positivo sobre los indicadores de calidad del suelo.

**Palabras clave:** mineralización, nitrógeno, *Crotalaria juncea*, carbono, degradación, fertilidad

### ABSTRACT

**ABSTRACT:** Analysis of the effect of *Crotalaria juncea* stubble on the quality of an Andisol in Costa Rica. *Crotalaria* stubble mineralization is an important issue based on its impact on soil quality. The objective of this research was to analyze the effect of *Crotalaria juncea* stubble on the quality of Andisol-type soil in Costa Rica; this was used as green manure for 30 days, and its impact on soil fertility was analyzed. The experiment was carried out with a randomized complete block design, with 4 sampling blocks (0, 10, 20, 30 days) and two treatments (T1= incorporated stubble and T2= stubble on the surface) with 5 repetitions; the experimental unit consisted of 10 field plots. As results, an increase in potassium was obtained with 23,68% in T1 and 13,16% in T2, calcium increased 27,72% in T1 and 5,94% in T2, phosphorus increased 4 mg / L at 8 mg / L in T1 and 5,33 mg /L in T2. In the foliar analyzes, a greater mineralization is identified in T1 at 10 days, with a contribution of 24,88% of the total nitrogen of the stubble, in T2 the highest contribution is given at 30 days with 1,18%. The highest carbon utilization is observed in T1 at 10 days with 22,10% of the total carbon contained in the stubble. It is concluded that *crotalaria* stubble works as green manure due to its positive effect on soil quality indicators.

## INTRODUCCIÓN

El desgaste de los suelos debido a la intensificación de la actividad agrícola es uno de los mayores problemas a causa del uso inadecuado de la mecanización, los agroquímicos y fertilizantes químicos, viéndose grandes afectaciones como la degradación el Río Jesús María y el Río Barranca que forma parte de San Ramón (CADETI, 2004).

Debido a esta problemática se plantea como alternativas para su restauración el uso de tecnologías ambientales como son los abonos verdes que mediante su mineralización aportan materia orgánica, nutrimentos y favorecen la actividad microbiana (Garro, 2016). La incorporación de materia orgánica como los desechos de poda y rastrojos, contribuyen al equilibrio de las propiedades del suelo y a la reducción del impacto negativo de las prácticas convencionales que conducen a la contaminación e intoxicación por acumulación de sustancias nocivas.

*Crotalaria sp.* es una de las plantas recomendadas como abono verde ya que presenta una alta producción de biomasa (hasta 70 t/ha de materia verde) y aporta entre 300-360 Kg de nitrógeno total por hectárea. Además, es tolerante a la sequía y posee efecto nematicida (Prager *et al.* 2012).

Según estudios realizados por Muraoka *et al.* (2002), gracias a su aporte de materia orgánica ayuda a proteger los suelos de la erosión, aumenta la actividad microbiana y mejora la fertilidad de los suelos destacando su aporte en nitrógeno con una fijación biológica de 204 kg/ha, además esta planta posee buenas condiciones ya que germina y se desarrolla rápidamente, teniendo un hábito de crecimiento denso por lo que presenta una producción de 5,600 a 14,000 kg/ha de biomasa seca. (Brunner *et al.* 2009). Por tales razones, un estudio sobre la mineralización de *Crotalaria juncea* y su efecto sobre las propiedades bioquímicas sería de gran ayuda para determinar los beneficios que se aportarían en la restauración de los suelos, esto mediante el análisis del efecto del rastrojo de la *Crotalaria juncea* sobre la calidad de un Andisol en Costa Rica.

## MATERIALES Y MÉTODOS

La investigación se llevó a cabo en San Ramón de Alajuela sobre un Andisol (10°06'50.28" N, 84°26'24.11" O), las condiciones climáticas generales de la zona son: precipitación 2,8 mm, temperatura 20,9 °C, y humedad relativa 72,7 % (IMN, 2016). Al suelo del área degradada donde hubo cafetal, se le realizó un análisis de materia orgánica, nitrógeno total, acidez intercambiable y un análisis químico completo (pH, CE, acidez, Ca, Mg, K, P, Cu, Fe, Zn, Mn) al inicio y al final de la investigación. El diseño utilizado fue de tipo experimental con enfoque cuantitativo, teniendo como variable independiente el rastrojo de crotalaria, esto con el fin de observar sus efectos sobre la variable dependiente considerada la fertilidad del suelo.

El experimento se realizó por medio de bloques completos al azar, en el cual se utilizaron 4 bloques de muestreo (0, 10, 20, 30 días) y dos tratamientos con 5 repeticiones. Los tratamientos realizados fueron: T1= rastrojo incorporado y T2= rastrojo sin incorporar (sobre la superficie). Los rastrojos de *Crotalaria juncea* fueron utilizados como abono verde, los cuales se incorporaron antes de la floración, en parcelas de 1m<sup>2</sup>, mediante dos tratamientos, el tratamiento 1 consistió en la incorporación del rastrojo en los primeros 25cm del suelo, y el tratamiento 2 en la incorporación de los rastrojos sobre la superficie del suelo.

El rastrojo se muestreó a los 0, 10, 20 y 30 días para su análisis en el laboratorio y se determinó el contenido de carbono y nitrógeno total, con dichos resultados se compararon las propiedades durante la mineralización y el comportamiento de *Crotalaria juncea* a través del tiempo. Para el análisis de los datos se usó el método estadístico "Análisis de Varianza", a un nivel de significancia del 95%, mediante el programa INFOSTAT; con el objetivo de identificar posibles diferencias estadísticas en los análisis que se realizaron, se utilizó la prueba estadística LSD de Fisher para evaluar la separación de medias.

## RESULTADOS

### Estado de degradación y enriquecimiento del suelo mediante la mineralización de los rastrojos de *Crotalaria juncea*

Mediante los análisis químicos de suelo realizados al inicio y al final de la investigación, se determinó la degradación del suelo y su enriquecimiento por medio de la mineralización de los rastrojos de crotalaria, bajos valores de pH (4,2) obtenidos en ambos tratamientos indican la presencia de un suelo ácido. Como es de esperar, la acidez intercambiable es alta, con valores dos veces más que lo recomendado (cuadro 1).

CUADRO 1.

Características químicas del suelo antes y a los 30 días de la aplicación de los rastrojos de *Crotalaria juncea* para ambos tratamientos

Unidad	Variable	Inicial 0 días	T1 30 días	T2 30 días	Ref.
	pH (H <sub>2</sub> O)	4,23 ±0,03a	4,27 ±0,03a	4,27 ±0,03a	5,6-6,5
	Acidez	3,79 ±0,01c	3,27 ±0,01a	3,39 ± 0,01b	0,5-1,5
Cmol(+)/L	K	0,38 ±0,01a	0,47 ± 0,01c	0,43 ±0,01b	0,2-0,6
	Ca	1,01 ±0,05a	1,29 ±0,05b	1,07 ±0,05a	4-20
	Mg	0,47 ±0,04b	0,35±0,04ab	0,34±0,04a	1-5
	P	4 ±0,51a	8 ±0,51b	5,33 ±0,51a	10-20
mg/L	Fe	310 ±1,26c	230 ±1,26a	266 ±1,26b	10-100
	Cu	28,67 ±0,27	a 31,67 ±0,27b	34 ±0,27c	2-20
	Zn	3,50 ±0,04a	4,87 ±0,04c	3,67 ±0,04b	2-10
	Mn	101 ±0,51b	101 ±0,51b	93,67 ±0,51a	5-50

\*T1= Tratamiento rastrojo incorporado, T2= Tratamiento rastrojo sin incorporar  
Ref: Bertsh (1996) citado por Peña (2017).

Medias con una letra común no son significativamente diferentes (P > 0,05)

En el complejo de cambio, destacan los resultados de los cationes en los sitios donde fue incorporado el rastrojo, especialmente potasio y calcio. Igualmente se notó el beneficio del fósforo, pero en cuanto a los elementos menores no fue significativa la diferencia, a pesar de la variabilidad en sus resultados.

En el cuadro 2 se observan las relaciones catiónicas, de la cual la relación Ca+Mg+K se encuentra en desbalance ya que presenta valores bajos, mejorando en T1 con diferencia con respecto al valor inicial. La relación Ca/Mg se encuentra balanceada mejorando su valor posterior a la mineralización con diferencia significativa con respecto al valor inicial, con un valor de referencia inicial de 2,16 cmol(+)/L.

CUADRO 2.

Relaciones catiónicas del complejo de cambio del suelo al inicio y al final del experimento, posterior a la mineralización de los rastrojos de crotalaria (*Crotalaria juncea*) durante 30 días

Unidad	Variable	Valores			Ref. Ref.
		Inicial 0 días	T1 30 días	T2 30 días	
	Ca+Mg+K	1,87 ±0,07a	2,11 ±0,07b	1,83 ±0,07a	10-40
	Ca/Mg	2,16 ±0,028a	3,73 ±0,28b	3,22 ±0,28b	2-5
Cmol(+)/L	Ca/K	2,63 ±0,14a	2,78 ±0,14a	2,52 ±0,14a	5-25
	(Ca+Mg)/K	3,87 ±0,19a	3,53 ±0,19a	3,31 ±0,19a	10-40
	Mg/K	1,23 ±0,08b	0,76 ±0,08a	0,79 ±0,08a	2,5-15
Cmol(+)/L	SA	67,03 ±0,84b	60,75 ±0,84a	64,93 ±0,84b	10-50
	CICE	5,66 ±0,07b	5,38 ±0,07a	5,22 ±0,07a	---

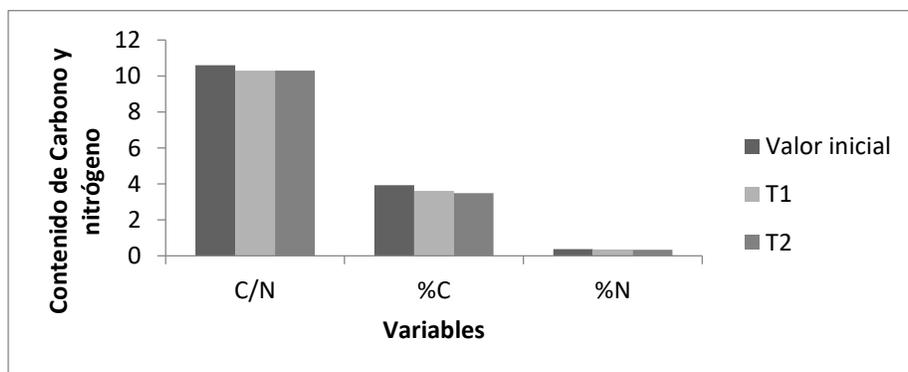
\*T1= Tratamiento rastrojo incorporado, T2= Tratamiento rastrojo sin incorporar  
CICE = capacidad de intercambio catiónico efectiva.

SA: % saturación de acidez.

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $P > 0,05$ )

La relación Ca/K, (Ca+Mg)/K y Mg/K se encuentran desbalanceadas con niveles bajos en ambos tratamientos, la relación Mg/K disminuyó en ambos tratamientos con diferencia significativa con respecto al valor inicial.

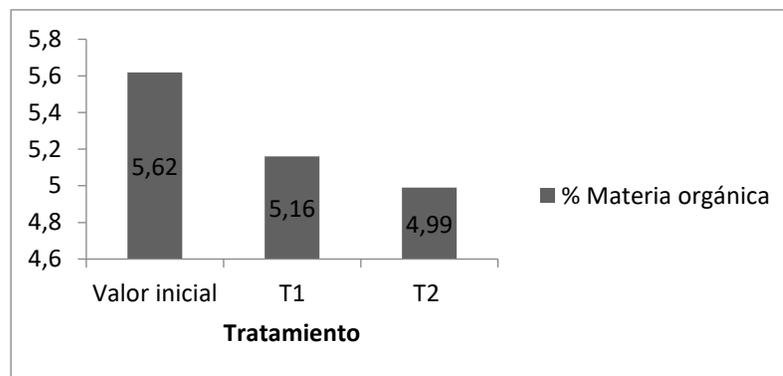
En cuanto a la acidez, es de esperar valores altos si se relaciona con los bajos valores de pH, pero los resultados superaron lo referenciado, Se reportaron valores superiores al 60% de saturación con diferencia significativa entre los tratamientos.



**Fig 1.** Contenido de carbono y nitrógeno en el suelo al inicio y al final del experimento.

\*T1= Tratamiento rastrojo incorporado, T2= Tratamiento rastrojo sin incorporar

En la figura 2 se expresa el porcentaje de materia orgánica en el suelo antes y después de la mineralización de los rastrojos de crotalaria, el cual inicialmente presentaba un valor alto de 5,62% y disminuyó en T1 a 5,16% y en T2 a 4,99%.



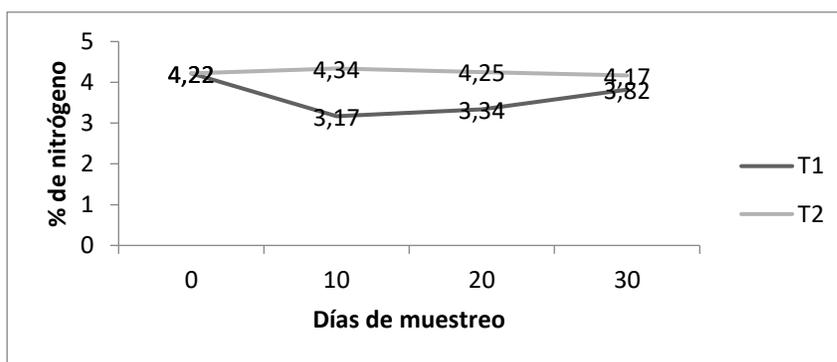
**Fig 2.** Contenido de materia orgánica en el suelo al inicio y al final del experimento, posterior a la mineralización de los rastrojos de crotalaria (*Crotalaria juncea*) durante 30 días

\*T1= Tratamiento rastrojo incorporado, T2= Tratamiento rastrojo sin incorporar

### Aporte de nitrógeno posterior a la mineralización de los rastrojos de *Crotalaria juncea*

Según los análisis foliares por medio del muestreo de los rastrojos de crotalaria a los 10, 20 y 30 días, se determinó la cantidad de nitrógeno y carbono, así como la relación carbono/nitrógeno que fueron incorporados en las parcelas de campo para su mineralización.

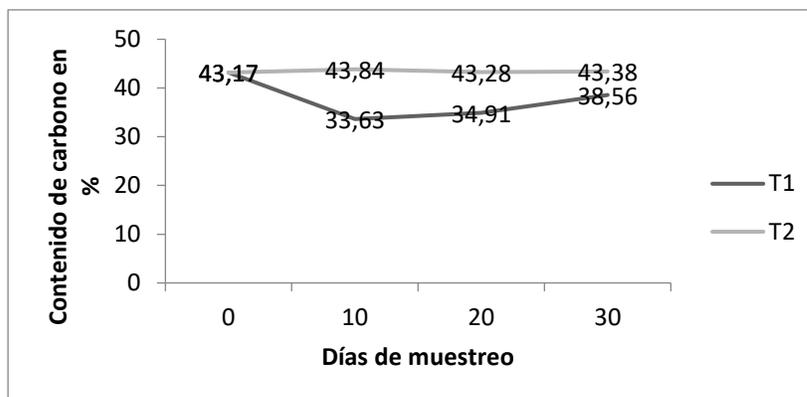
En la figura 3 se muestran el comportamiento del nitrógeno en porcentaje de los rastrojos de crotalaria, el cual presentó valores iniciales de de 4,22%, y disminuyó en ambos tratamientos; en T1 a los 10 días se tuvo un valor de 3,17%, a los 20 días 3,34% y a los 30 días 3,82%, en T2 a los 10 días se presentó un valor de 4,34%, a los 20 días 4,25% y a los 30 días 4,17%. Además, se observa que en el tratamiento 1, en el cual el rastrojo fue incorporado, hubo un mejor aprovechamiento de nitrógeno, con un mayor aporte a los 10 días.



**Fig 3.** Contenido de nitrógeno en porcentaje de las muestras de los rastrojos de *Crotalaria juncea*

\*T1= Tratamiento rastrojo incorporado, T2= Tratamiento rastrojo sin incorporar

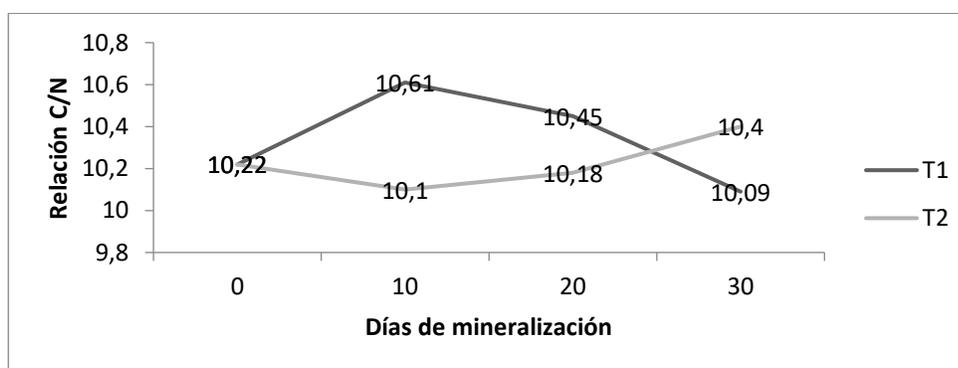
En la figura 4 se muestra el comportamiento en porcentaje de carbono en los rastrojos de crotalaria, en el cual se observa una tendencia a disminuir con respecto al tiempo de mineralización en el tratamiento 1 (rastrojo incorporado). Caso contrario en el tratamiento 2 (rastrojo sin incorporar), en el cual se observó una tendencia en aumento con respecto al tiempo.



**Fig 4.** Contenido de carbono en porcentaje de las muestras de los rastrojos de crotalaria (*Crotalaria juncea*) durante 30 días de mineralización

\*T1= Tratamiento rastrojo incorporado, T2= Tratamiento rastrojo sin incorporar

En la figura 5 se observa el comportamiento de la relación C/N en los rastrojos, en T1 hubo una tendencia a aumento a los 10 días, mostrando posteriormente disminución a los 20 y 30 días. Por su parte en T2 se presentó una disminución a los 10 días y un aumento a los 20 y 30 días.



**Fig 5.** Relación C/N en las muestras de los rastrojos de crotalaria (*Crotalaria juncea*) durante 30 días de mineralización

\*T1= Tratamiento rastrojo incorporado, T2= Tratamiento rastrojo sin incorporar

## DISCUSIÓN

### Estado de degradación y enriquecimiento del suelo mediante la mineralización de los rastrojos de *Crotalaria juncea*

Mediante las características químicas del suelo se logra analizar el estado de degradación que presentaba el mismo, así como su enriquecimiento posterior a la mineralización de los rastrojos de *Crotalaria juncea* por su aporte de nutrientes, materia orgánica y mejoramiento de la actividad microbiana.

El pH se encuentra en niveles muy bajos por lo que se debe aumentar para lograr obtener su valor óptimo y mantener un mejor desarrollo de los cultivos. Como lo indica Meléndez y Molina (2001), estos suelos cafetaleros del Valle Central presentan un pH bajo debido a la pérdida de bases intercambiables por la extracción del cultivo y el uso de fertilizantes nitrogenados.

La acidez intercambiable en el suelo se encontraba en niveles altos y fue disminuyendo posterior a la mineralización en ambos tratamientos. Como bien lo indica Osorio (2004) mediante el aporte de material vegetal a los suelos como abono verde se logra disminuir la acidez por su aporte de bases o bien por el efecto regulador de la materia orgánica limitando los cambios bruscos de pH.

Además, se debe considerar que lo anterior podría estar afectando la materia orgánica y los procesos bioquímicos que de esta se derivan, un indicador de esto es la relación C/N, que al presentar valores muy bajos implica una rápida humificación del sustrato, que es el resultado del comportamiento del carbono y el nitrógeno lábil (Peña 2012; Peña 2014).

Con respecto al fósforo se ve un aumento posterior de la mineralización, siendo este uno de los elementos mayormente incorporados durante la mineralización de la materia orgánica según los estudios (Meléndez y Soto, 2003), además según Fuentes y Gonzáles (2007) la incorporación de nitrógeno favorece la asimilación de este nutriente por un efecto llamado regulador.

Con relación al nitrógeno del suelo posterior a la mineralización de los rastrojos de crotalaria se observan valores altos en ambos tratamientos según las referencias indicadas por Andrades (2001), además se observa una disminución del nitrógeno y el carbono esto debido al aumento de la actividad microbiana, siendo fuente de energía para los organismos generales del suelo (Fuentes y Gonzales, 2007).

El contenido de materia orgánica encontrado en el suelo es muy alto asumiendo como referencia los niveles presentados por Andrades y Martínez (2001) teniendo inicialmente un valor de 5,62% el cual tuvo tendencia a disminuir en ambos tratamientos, esto debido a la actividad de los microorganismos pues es fuente de energía para los mismos (Sales, 2006), manteniendo a su vez el ambiente propicio para una buena actividad microbiana, descomposición de residuos y aprovechamiento del mismo, (Figueroa *et al.* 2012), esto resulta normal en un suelo bajo las condiciones topográficas del sitio en estudio ya que se puede presentar lixiviación, escorrentía y volatilización de los macro y microelementos, así como las características de la materia orgánica, su composición química, la cantidad de biomasa aportada al suelo, el proceso y velocidad de mineralización y humificación, dependiendo de condiciones ecológicas específicas y de las condiciones físico químicas del suelo

#### **Aporte de nitrógeno posterior a la mineralización de los rastrojos de *Crotalaria juncea***

Según los análisis foliares la crotalaria inicialmente tenía un contenido de nitrógeno de 4,22% siendo un valor alto ya que según estudios realizados por Jiménez, Farfán y Morales (2005), encontraron valores de 3,70% de nitrógeno en los rastrojos de *Crotalaria juncea*. El nitrógeno en los rastrojos tuvo una disminución en el tratamiento 1 (rastrojo incorporado) acción esperada debido a su aporte al suelo, aunque no se vio reflejado en el mismo debido a factores como volatilización, retención de nutrientes y actividad microbiana, caso contrario en el tratamiento 2 (rastrojo sin incorporar), Morón (2017), indica que los rastrojos en superficie presentan mayores condiciones adversas de descomposición que aquellos que han sido incorporados ya que al enterrar los rastrojos se mantiene un mejor contacto suelo-rastrojo, mayor humedad, menor fluctuación de la temperatura y una mayor disponibilidad de nitrógeno. La dinámica de mineralización y descomposición de los rastrojos de crotalaria fueron regulados en gran parte por factores bióticos y abióticos provocando una liberación de nutrientes más lenta en T2 comparado con T1.

La mayor mineralización se identificó en T1 a los 10 días, teniendo un aporte de 1,05% del nitrógeno que contenían los rastrojos de crotalaria, siendo esto un 24,88% del total de nitrógeno, incorporado en los

primeros 10 días de descomposición del material vegetal. Por su parte en T2 se da la mayor aportación a los 30 días con un 1,18% del nitrógeno total; Morón (2017) menciona que los rastrojos en superficie favorecen más el desarrollo de hongos que de bacterias por lo que se da una descomposición más lenta e inmovilización del nitrógeno, identificando por ende que la mejor actividad microbiana y aporte de nutrientes se presenta cuando el rastrojo se incorpora, proporcionando el mejor ambiente para su descomposición.

El mayor aprovechamiento de carbono de los rastrojos de crotalaria se identifica en T1 (rastrojo incorporado) a los 10 días, concordando con el mayor aporte de nitrógeno, teniendo un aprovechamiento de carbono del 22,10% del total de carbono que contenían los rastrojos. La relación C/N de los rastrojos de crotalaria se encuentra en rangos adecuados, ya que se indica que con valores menores a 25 se logra tener una buena mineralización, pues un material con relación C/N alta presenta una descomposición más lenta inmovilizando el nitrógeno (Castro *et al.* 2018).

Se concluye que los rastrojos de crotalaria al presentar un contenido de nitrógeno y una relación carbono nitrógeno adecuados, pueden ser utilizados como abono verde para la recuperación de suelos, teniendo una buena mineralización y aporte de nutrientes, mejorando con ello las propiedades químicas, propiciando un mejor ambiente para el desarrollo de los cultivos.

Además, los rastrojos que fueron incorporados presentaron una mejor mineralización que los que no fueron incorporados, debido a su mayor aporte de nutrientes en T1, por lo que se identifica como el mejor ambiente para la descomposición de los mismos.

## AGRADECIMIENTOS

Nuestro sincero agradecimiento a la Universidad Estatal a Distancia (UNED). A mi supervisora la Msc. Paola Brenes Rojas, a mi familia, amigos y compañeros por su apoyo.

**Este artículo es publicado en honor al Dr. Wagner Peña por su asesoría y acompañamiento durante el proceso de elaboración de esta investigación, por su espíritu siempre alegre y dejar un gran legado en el área de la agronomía.**

## REFERENCIAS

- Andrades, M y Martínez, M. (2001). Fertilidad del suelo y parámetros que la definen. España: UNIRIOJA. 34p
- Brunner, B; Martínez, S; Flores, L; Morales, P. (2009). Crotalaria. Lajas, Puerto Rico, Departamento de Cultivos y Ciencias Agroambientales, Estación Experimental de Lajas. 4p
- CADETI (Comisión Asesora sobre Degradación de Tierras). (2004). Programa de Acción Nacional de lucha contra la degradación de tierras. San José, C.R: CADETI. 12P
- Castro, E; Mojica, J; Carulla, J y Lascano, C. (2018). Abonos verdes de leguminosas: integración en sistemas agrícolas y ganaderas del trópico. *Agronomía Mesoamericana* 29(3), 711-729
- Figueroa, A; Álvarez, J; Forero, A; Salamanca, C y Pinzón, L. (2012). Determinación del nitrógeno potencialmente mineralizable y la tasa de mineralización de nitrógeno en materiales orgánicos. *Temas*

agrarios 17(1), 32 – 43

- Fuentes, W y Gonzales, O. (2007). Estimación de la mineralización neta de nitrógeno del suelo en sistemas agroforestales y a pleno sol en el cultivo del café (*coffea arabica* l.), en el pacífico de Nicaragua, departamento de Carazo. Trabajo de diploma. Managua, Nicaragua: UNA. 98p.
- Garro, J. (2016). El suelo y los abonos orgánicos. San José, Costa Rica: INTA. 106p
- Jiménez, A; Farfán, F y Morales, C. (2005). Descomposición y transferencia de nutrientes de *Cajanus cajan*, *Crotalaria juncea* y *Tephrosia candida* como abonos verdes en cafetales. Cenicafé 56(3), 216:236
- Meléndez, G y Molina, E. (2001). Fertilidad de suelos y manejo de la nutrición de cultivos en Costa Rica. San José, Costa Rica. 142p.
- Meléndez, G y Soto, G. (2003). Taller de abonos orgánicos. Costa Rica: CATIE. 155p
- Monsalve, O; Gutiérrez, J y Cardona, W. (2017). Factores que intervienen en el proceso de mineralización de nitrógeno cuando son aplicadas enmiendas orgánicas al suelo. Revista Colombiana de Ciencias Hortícolas 11 (1), 200-209
- Peña, W. (2017). Edafología del trópico. San José, Costa Rica: EUNED.
- Morón, A. (2017). El rol de los rastrojos en la fertilidad del suelo. Uruguay: INIA. 20p.
- Muraoka, T; Ambrosano, E; Zapata, F; Bortoletto, N; Martins, A; Trivelin, P y Scivittaro, W. (2002). Eficiencia de abonos verdes (*Crotalaria* y *Mucuna*) y urea, aplicados solos o juntamente, como fuentes de N para el cultivo de arroz. Terra, 20(1), 17-23
- Osorio, V. (2004). Descomposición y liberación de nitrógeno de material foliar y radicular de siete especies de sombra en un sistema agroforestal con café. Tesis como requisito parcial para optar el grado de: Magíster Scientiae. Costa Rica: CATIE. 89p
- Peña W. (2012). Carbono lábil de la materia orgánica del suelo. Repertorio Científico (UNED) 15(2): 29-32.
- Peña W. (2014). Efecto de la función degradativa de un biofertilizante en el suelo. Revista de Ciencias Agrarias y Agronegocios TELLUS (UDE, Uruguay) 1: 7-17.
- Peña, W. (2017). Edafología del trópico. San José, Costa Rica: EUNED.
- Prager, M; Reyes, O; Sánchez, M; Miller, J y Sánchez, I. (2012). Abonos verdes: tecnología para el manejo agroecológico de los cultivos. Agroecología 7,53-62
- Sadeghian, S. (2016). La acidez del suelo una limitante común para la producción de café. Colombia: Cenicafé. 12p
- Sales, B. (2006). Caracterización de la materia orgánica de suelos representativos de ecosistemas amazónicos del Perú, departamento de Ucayali, e influencia de su uso y manejo en el secuestro del carbono. Perú: US. 162p