

MODELIZACIÓN DE LA DISPONIBILIDAD DE NITRÓGENO EN TRES SUELOS CONTRASTANTES DE LOS ALTOS ANDES VENEZOLANOS

Ana Felicien^{1,y2} y Lina Sarmiento²

1 Universidad de Los Andes Postgrado en Ecología Tropical, Apdo. postal 5101 Facultad de Ciencias, la Hechicera Mérida. felicien@ula.ve. 2 Instituto de Ciencias Ambientales y Ecológicas ICAE. Universidad de Los Andes. Apdo. postal 5101 Facultad de Ciencias, La Hechicera lsarmien@ula.ve

RESUMEN

En los Andes la producción de papa utiliza grandes cantidades de nitrógeno (N), mineral y orgánico, con grandes pérdidas, y baja eficiencia. Este trabajo evalúa con el modelo SINCRO, la dinámica de algunos procesos determinantes de esta disponibilidad. Este modelo se mejoró, calibró y validó con datos de una incubación de laboratorio con un suelo de páramo (SP), uno agrícola (SA) y uno degradado (SD), con siete combinaciones de fertilización mineral, orgánica. Se encontró que el tipo de suelo afecta la dinámica de descomposición del humus y de la pargana. El FM acelera la descomposición del humus, homogeniza este proceso entre suelos, y tiene un efecto sobre la descomposición de P, indicando una posible limitación por N de la descomposición. El gallinazo, con mayor disponibilidad de N, se descompone de modo similar entre suelos. La modelización permite integrar el análisis para diseñar estrategias de manejo eficiente de estos sistemas.

Palabras claves: modelización, Andes, nitrógeno, suelos, fertilización.

INTRODUCCIÓN

En los altos Andes venezolanos (3000-3500 m), se practica una agricultura papera intensiva que emplea grandes cantidades de nitrógeno, a través de la fertilización mineral y orgánica, utilizando aproximadamente (250 kgNha^{-1}), entre 10 y $30 \text{ Mg ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$ de estiércol de gallina (gallinazo) y 30 y $90 \text{ Mg ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$ de pargana principalmente, con eficiencias de uso del nitrógeno muy bajas; entre 16 y 25% del N total absorbido por el cultivo, y pérdidas muy altas; entre 30 y 49% del N suministrado (Machado, 2005), siendo el cultivo de papa en Venezuela uno de los que utiliza dosis más altas de fertilización (Casanova et al., 1995). Esto hace necesario conocer los mecanismos que regulan la disponibilidad de este nutriente y explorar estrategias que permitan optimizar su uso, aumentando la eficiencia de los agroecosistemas andinos. Para ello se propone utilizar la modelización como herramienta integradora de análisis y simulación de la disponibilidad de nitrógeno en el suelo, a través del mejoramiento, calibración y validación del modelo SINCRO de disponibilidad de nitrógeno.

Este trabajo tuvo como objetivo describir algunos procesos reguladores de la disponibilidad de nitrógeno en el suelo (respiración edáfica y dinámica de nitrógeno mineral), bajo diferentes formas de fertilización (mineral, orgánica y la combinación de ambas), utilizando el modelo SINCRO. Además se evaluó la descripción de estos procesos en tres suelos andinos contrastantes: un suelo de páramo con descansos largos SP, uno agrícola bajo manejo intensivo SA y uno degradado por el cultivo de trigo SD; cuyas principales diferencias son: la cantidad de MOS (mayor en SP y menor en SD) y el pH (mayor en SA y menor en SP).

MATERIALES Y MÉTODOS

Se utilizaron los resultados de respiración edáfica y dinámica del nitrógeno mineral, obtenidos en una incubación corta de laboratorio (79 días) bajo condiciones controladas de humedad y temperatura (80% CC y 28°C) con los tres suelos SP, SA y SD, y siete tratamientos con fertilizante mineral (FM) y las enmiendas utilizadas localmente: gallinazo (G) y pargana (P): 1) Control sin fertilización, 2) FM, 3) G, 4) P, 5) G+FM, 6) P+FM, 7) P+G+FM, asumiendo que no ocurrieron pérdidas.

Se llevó a cabo el mejoramiento, calibración y validación utilizando los datos de la incubación; y se realizó un análisis estadístico de la bondad del ajuste de los resultados, utilizando como indicador el porcentaje de la raíz del error cuadrático medio %RMSE, que tiene un rango de apreciación utilizados: Excelentes (E) con valores hasta 10 %, Buenos (B) con valores entre 10 y 20%, Regulares (R) entre 20 y 30%, Malos (M) con valores superiores a 30% (Rinaldi et al, 2007).

Se utilizó como base: el modelo SINCRO de disponibilidad de nitrógeno en el suelo (Sarmiento, sin publicar), realizado en VENSIM 5.6 (The Ventana Simulation environment). Este es un modelo de primer orden que describe la mineralización del carbono y del nitrógeno, acoplando ambos ciclos a través de las relaciones C/N de los compartimientos, las cuales se mantienen fijas.

SINCRO describe los procesos a nivel de microcosmos, y tiene: cuatro compartimientos para carbono (C): del gallinazo (C-GA), de la pargana (C-PA), de la biomasa microbiana (C-BM) y del humus (C-HU); cinco compartimientos para nitrógeno (N): del gallinazo (N-GA), de la pargana (N-PA), de la biomasa microbiana (N-BM), mineral (NM) y del humus (N-HU); tres flujos de entrada por fertilización (FE-GA, FE-PA y FE-NM), y como salida sólo tiene la respiración de la BM para C. Por estar calibrado y validado para condiciones de incubación, se asume que no hay pérdidas de N. Los flujos de transferencia son para C: descomposición de C-GA, C-PA, C-HU, mortalidad de BM; para N: descomposición de: N-GA, N-PA, N-HU, mortalidad de la BM, mineralización del humus y los flujos de mineralización e inmovilización entre la BM y el NM. Todos los procesos ocurren a una tasa determinada y fija, que es igual para C y para N.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Se obtuvo que la versión original del modelo sobreestimaba la predicción del nitrógeno en el suelo, con los tratamientos C, G y P. Las principales modificaciones realizadas fueron: 1) cambio de la dinámica de primer a segundo orden, ya que esta dinámica permite describir mejor la naturaleza heterogénea de los compartimientos del humus y las enmiendas y 2) eliminación el flujo de mineralización del humus, desacoplando los ciclos de C y N, ya que este flujo hacía proporcional la mineralización de ambos elementos e impedía realizar una buena calibración del nitrógeno. En la figura 1 se presenta el resultado de la calibración de las tasas de descomposición de la materia orgánica del suelo (MOS), se observó que las tasas son diferentes entre suelos, calibrándose una para cada suelo, y se obtuvo también que el FM aumenta y homogeniza las tasas entre suelos. En la tabla 1 se observa que el valor del %RMSE es más bajo en los tres suelos para los datos de C, y el mejor ajuste se presentó para el C en SP control y el mayor valor de %RMSE fue para N en SA+FM. En la figura 2 se observa el resultado de la calibración de las tasas de descomposición de las enmiendas. Fue necesario calibrar tasas diferentes para P y para P+FM, ya que la dinámica de

descomposición de la combinación de esta enmienda con FM no se ajustó a los parámetros calibrados para la pargana. El gallinazo utiliza la misma tasa en los tres suelos. Fue mejor el ajuste para el C que para N y el menor %RMSE fue para la descripción de C en SP+P, el mayor %RMSE fue para la descripción de N en SD+P.

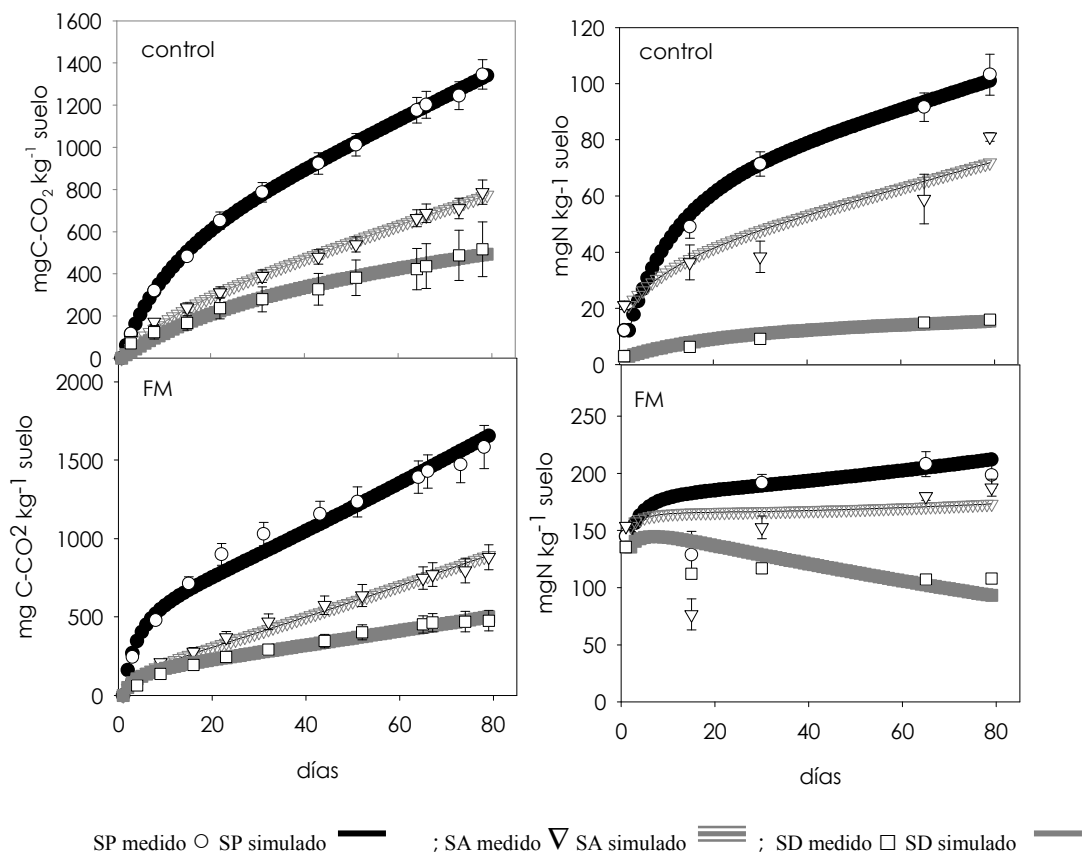


Figura 1. Ajuste de los datos experimentales al modelo SINCRO 2, para respiración acumulada ($\text{mgC-CO}_2 \text{ kg}^{-1} \text{ suelo}$) y nitrógeno mineral ($\text{mgN kg}^{-1} \text{ suelo}$), en el control y en el tratamiento con fertilizante mineral FM, en suelo páramo SP, suelo agrícola SA y suelo degradado SD.

Tabla 1. Porcentaje de la raíz del error cuadrático medio (%RMSE) del ajuste de los datos experimentales al modelo SINCRO 2.

Tratamiento	SP				SA				SD			
	C		N		C		N		C		N	
Control	1,66	E	3,92	E	4,23	E	15,45	B	6,48	E	12,61	B
Fm	6,17	E	15,90	B	6,40	E	30,64	M	5,73	E	14,89	B

Se señalan los rangos de apreciación utilizados: Excelentes (E) con valores hasta 10 %, Buenos (B) con valores entre 10 y 20%, Regulares (R) entre 20 y 30%, Malos (M) con valores superiores a 30%. CO_2 corresponde al ajuste a los datos de respiración acumulada y Nmin corresponde al ajuste a los datos de nitrógeno mineral.

Todo esto indica que parece existir una limitación de nitrógeno para la descomposición, en este sentido Henriksen y Breland (1999), obtuvieron de un experimento de incubación con paja de trigo, que a mayor disponibilidad de nitrógeno aumentó la

mineralización de carbono; y Recous et al. (1995), sostienen que el nitrógeno mineral no tiene un efecto determinante en la descomposición de residuos ricos en nitrógeno, como el gallinazo, pero si en materiales de calidad más baja como la pargana.

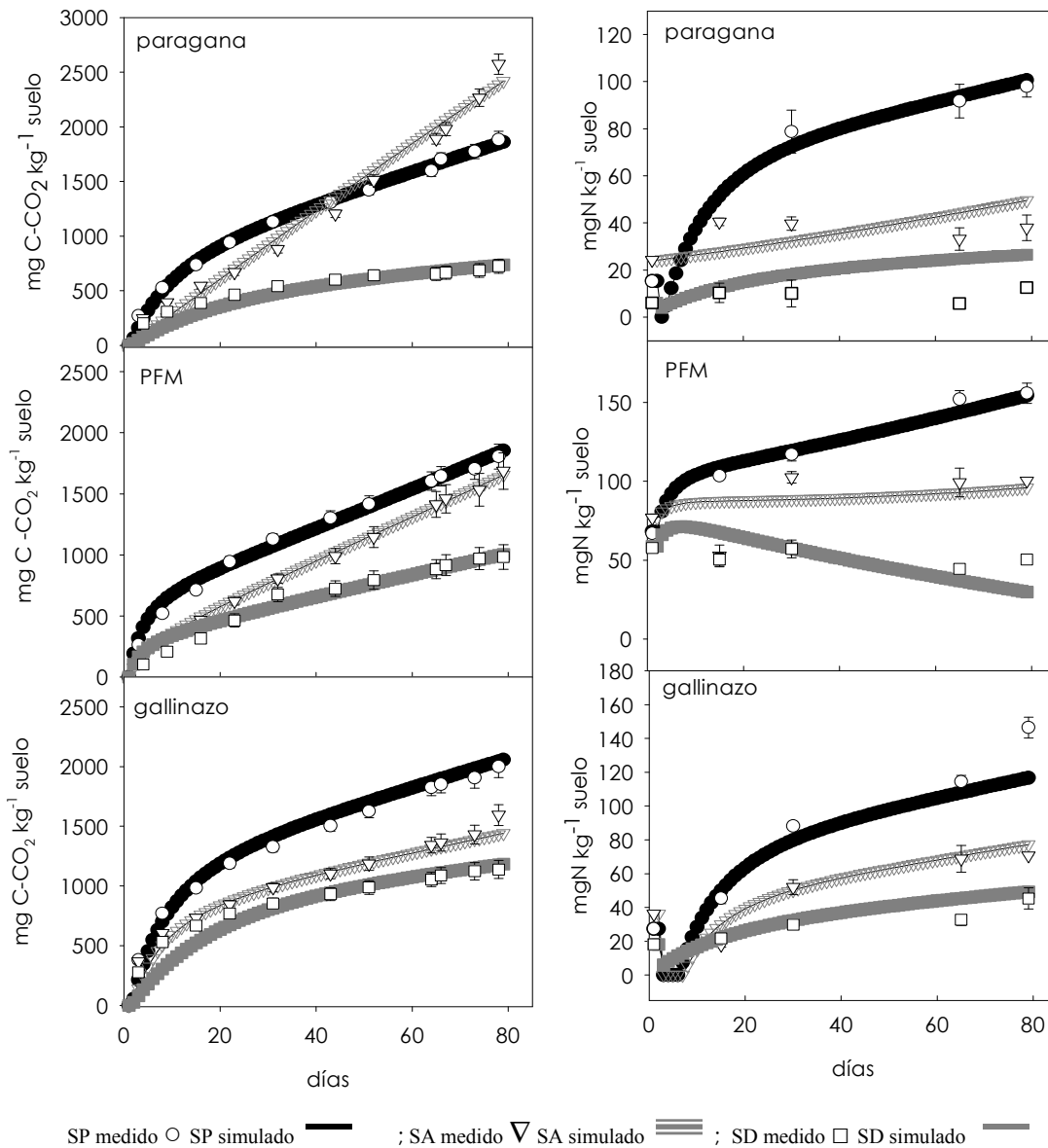


Figura 2. Ajuste de los datos experimentales al modelo SINCRO 2, para respiración acumulada ($\text{mgC-CO}_2 \text{ kg}^{-1} \text{ suelo}$) y nitrógeno mineral ($\text{mgN kg}^{-1} \text{ suelo}$), en los tratamientos con pargana, con gallinazo y el combinado con pargana y fertilizante mineral PFM, en suelo páramo SP, suelo agrícola SA y suelo degradado SD.

Tabla 2. Porcentaje de la raíz del cuadrado medio del error (%RMSE) del ajuste de los datos experimentales al modelo SINCRO 2.

Tratamiento	SP				SA				SD			
	C		N		C		N		C		N	
P	4,06	E	5,23	E	9,21	E	30,85	M	12,96	B	139,79	M
PFM	4,08	E	4,44	E	3,05	E	22,10	R	9,04	E	26,79	R
G	5,81	E	18,98	B	8,72	E	14,29	B	12,50	B	22,94	R

Se señalan los rangos de apreciación utilizados: Excelentes E con valores hasta 10 %, Buenos B con valores entre 10 y 20%, Regulares R entre 20 y 30%, Malos M con valores superiores a 30%. C es el valor calculado para los datos de respiración edáfica y N es el valor calculado para los datos de nitrógeno mineral. Suelo páramo SP, suelo agrícola SA y suelo degradado SD.

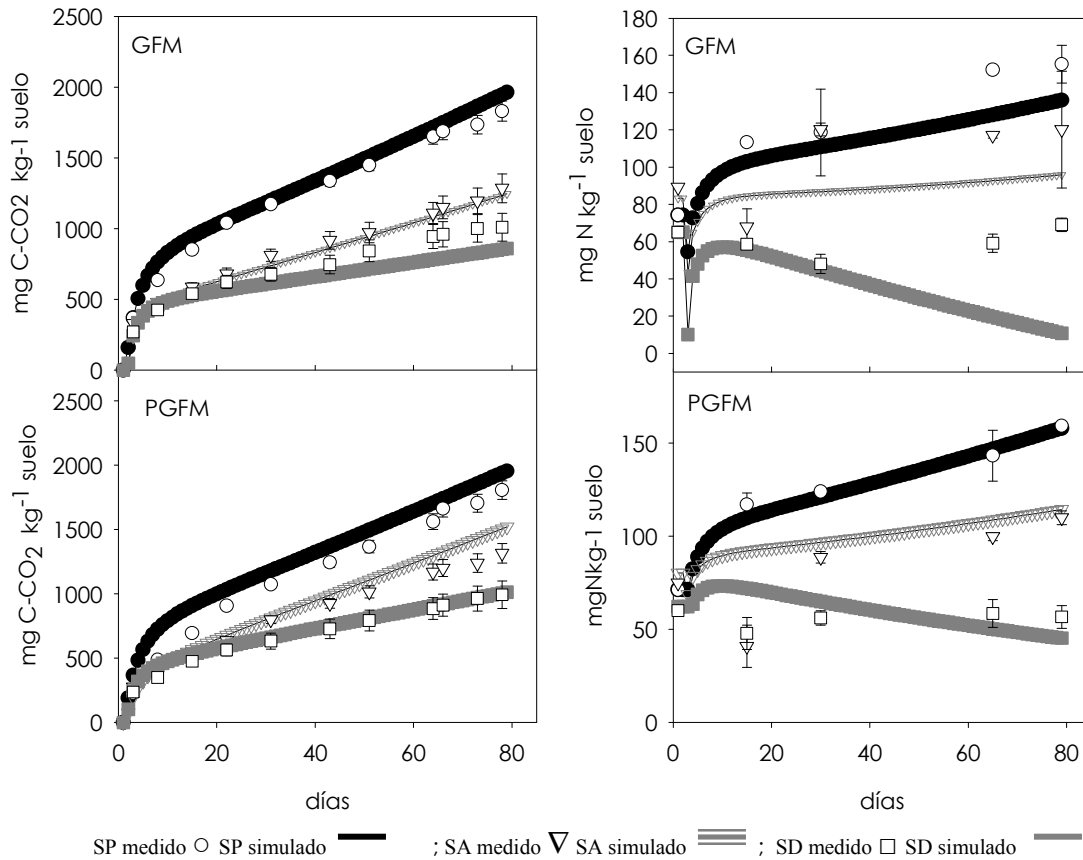


Figura 3. Validación del modelo SINCRO 2, para respiración acumulada ($\text{mgC-CO}_2 \text{ kg}^{-1} \text{ suelo}$) y nitrógeno mineral ($\text{mgN kg}^{-1} \text{ suelo}$), en los tratamientos gallinazo con fertilizante mineral GFM y pargana, gallinazo y fertilizante mineral PGFM en: suelo páramo SP, suelo agrícola SA y suelo degradado SD.

Tabla 3. Porcentaje de la raíz del cuadrado medio del error (%RMSE) del ajuste de los datos experimentales al modelo SINCRO 2.

Tratamiento	SP				SA				SD			
	C		N		C		N		C		N	
GFM	6,33	E	13,69	B	3,60	E	24,86	R	15,11	B	58,86	M
PGFM	12,76	B	3,54	E	12,37	B	31,98	M	5,43	E	26,35	R

Se señalan los rangos de apreciación utilizados: Excelentes E con valores hasta 10 %, Buenos B con valores entre 10 y 20%, Regulares R entre 20 y 30%, Malos M con valores superiores a 30%. C es el valor calculado para los datos de respiración edáfica y N es el valor calculado para los datos de nitrógeno mineral. Suelo páramo SP, suelo agrícola SA y suelo degradado SD.

Se realizó la validación con los tratamientos G+FM y P+G+FM, utilizando las tasas calibradas con el tratamiento FM para la descomposición de la MOS, las calibradas con el tratamiento G y con el P+FM para la descomposición de las enmiendas. Se obtuvo de

nuevo un mejor ajuste para C, y en general los valores más bajos de %RMSE fueron para SP y los más altos para SD.

CONCLUSIONES

El modelo puede describir satisfactoriamente los procesos analizados, simulando una dinámica de segundo orden. Con respecto a las enmiendas, la pargana tiene una dinámica de descomposición diferenciada entre suelos y el gallinazo una dinámica similar en los tres suelos. Los resultados parecen indicar una posible limitación de los procesos por disponibilidad de nitrógeno, según lo obtenido tanto para la descomposición de la MOS (tratamientos control vs FM) como para la pargana (tratamiento P vs P+FM). La aplicación de la modelización permitió concluir la necesidad de incluir estos aspectos dentro del modelo para mejorar la descripción del N, con miras a la utilización futura de los modelos de simulación para el diseño mejores prácticas agrícolas en sistemas intensivos.

BIBLIOGRAFÍA

Casanova, E.F., Gotilla, R., Pereira, P., Comerma, J. y Aguilar, C. 1995. Necesidades y perspectivas agronómicas de fertilizantes y enmiendas en Venezuela. *Venesuelos* 1(1): 17-23.

Henriksen, T.M y Breland, T.A.1999. Nitrogen availability effects on carbon mineralization, fungal and bacterial growth, and enzyme activities during decomposition of wheat straw in soil. *Soil Biol. Biochem.* Vol. 31 pp.1121-1134, 1999.

Machado, D. 2005. Un enfoque agroecosistémico para el manejo eficiente del suministro de nitrógeno en el cultivo de papa en los andes venezolanos. Tesis Doctoral, Postgrado en Ecología Tropical, Instituto de Ciencias Ambientales y Ecológicas, Universidad de los Andes. Mérida.233p.

Recous, S.; Robin,D.; Darwis, D. y Mary B. (1995) Soil inorganic N availability: effect on maize residue decomposition. *Soil Biol. Biochem.* Vol. 27, No. 12, pp. 1529-1538, 1995.

Rinaldi, M.; Ventrella, D. y Gagliano, C. 2007. Comparison of nitrogen and irrigation strategies in tomato using CROPGRO model. A case study from Southern Italy. *Agricultural water management* 87: 91–105.