DINÁMICA DE NUTRIENTES EN SIEMBRA DIRECTA

José Espinosa[1]

INTRODUCCIÓN

La disponibilidad de tierras destinadas a la producción de alimentos decrece rápidamente en las regiones tropicales. La posibilidad de ampliación de la frontera Agrícola en América Latina está principalmente concentrada en la sabanas tropicales ubicadas en el Cerrado Brasileño y los Llanos Orientales de Colombia y Venezuela. Los suelos de estas áreas son en su mayoría altamente meteorizados, con una mineralogía dominada principalmente por caolinita y óxidos de hierro y aluminio. En consecuencia son suelos de baja fertilidad por su baja capacidad de intercambio catiónico y alta acidez. Estos factores, asociados con la alta susceptibilidad a erosión y la drástica mineralización de la metería orgánica, hacen que estos suelos sean muy vulnerables y se degraden rápidamente. En estas condiciones, es imperativo modificar los sistemas de producción vigentes buscando sistemas sustentables que logren altos rendimientos y que preserven el recurso. La Siembra Directa (SD) es una alternativa con muchas posibilidades para el uso sustentable e intenso de los suelos tropicales de sabana. La SD es un tipo de agricultura en la cual se logra un cultivo sembrando la semilla sin remover el suelo y que acumula y mantienen en la superficie los residuos de los cultivos anteriores.

Las condiciones ambientales pueden alterar dramáticamente la cantidad de nutrientes que la planta puede obtener del suelo. El ambiente mo-

1 Director Oficina para América Latina. Instituto de la Potasa y el Fósforo (INPOFOS), Oficina para América Latina. Castilla 17-17-980. Quito- Ecuador.

difica la capacidad del suelo de suplir nutrientes mediante cambios en la actividad microbiana, la efectividad de difusión de nutrientes y la tasa a la cual proceden las reacciones químicas. Estos factores modifican la habilidad de la planta para obtener nutrientes al alterar la tasa de crecimiento de las raíces, la arquitectura del sistema radicular, la relación raíz parte aérea, la actividad específica y morfología de las raíces y la demanda de nutrientes de la planta (Fixen, 1992).

La labranza modifica las condiciones físicas y biológicas del suelos y estas nuevas condiciones pueden afectar las necesidades nutricionales del cultivo y el manejo óptimo de nutrientes. A medida que se reduce la labranza se incrementa la cobertura de la superficie del suelo con residuos del cultivo lo cual reduce las pérdidas por evaporación e incrementa el contenido de humedad en el suelo. En siembra Directa (SD), la acumulación de residuos en la superficie, combinada con el gradual desarrollo de macroporos y el mejoramiento en la agregación del suelo, reduce la escorrentía superficial e incrementa la tasa de infiltración. La capa de residuos sirve también como un aislante del suelo permitiendo que la temperatura cambie menos de lo que sucede con la labranza convencional (LC). De esta forma la temperatura del suelo sube más lentamente a medida que se incrementa la temperatura del aire y se reduce lentamente cuando la temperatura del aire se enfría. En general, la reducción en labranza produce un suelo más húmedo y más frío durante el ciclo de crecimiento (Fixen, 1992).

La reducción en labranza es el medio más efectivo para controlar erosión. Esto es particularmente importante en zonas de sabana y de ladera que son muy susceptibles a pérdidas de suelo por erosión. El control de erosión permite un mejoramiento a largo plazo de la calidad del suelo y una reducción en la pérdida de nutrientes al ambiente.

EFECTO DE LA SIEMBRA DIRECTA EN LA DINÁMICA DE NITRÓGENO (N)

La combinación de los efectos discutidos anteriormente, junto con la reducción en movimiento de suelo y la consecuente reducción en exposición del residuo al ataque microbiano, permite que se incrementen los nive-

les de materia orgánica (MO) en el suelo, en la zona localizada inmediatamente abajo de la superficie.

Cuanto mayor sea la producción de residuos más rápidamente se incrementa el contenido de MO. La actividad microbiana se incrementa en la capa superficial del suelo debido al incremento en energía y nutrientes en la MO acumulada (Rice and Smith, 1983).

Aun cuando la MO que empieza a acumularse con siembra directa (SD) contiene N, es necesario aplicar cantidades adicionales de este nutriente para mantener la producción. Esta cantidad adicional depende del cultivo y del tiempo que el suelo se encuentre bajo SD y es menor cuando se usan leguminosas en la rotación. Además, esta cantidad debe decrecer con el tiempo a medida que el sistema logra un nivel de equilibrio en el contenido de MO.

Los cambios producidos en la capa superficial del suelo con la adopción de SD tienen importantes implicaciones en el manejo del cultivo y la nutrición con nitrógeno (N). La eficiencia de N aplicado como fertilizante en SD es menor que en labranza de conservación (LC), especialmente cuando se aplican niveles bajos del nutriente. En estas condiciones, los principales procesos que inducen pérdidas de N son inmovilización, lixiviación, denitrificación y volatilización o una combinación de algunos o todos estos factores (Wells, 1984; Misnger et al., 1985).

La inmovilización de N es un proceso significativo en SD. Mediante este proceso el N aplicado a la superficie del suelo es utilizado por los microorganismos quienes lo incorporan en su estructura, inmovilizándolo de esta forma en la fracción orgánica. Existe una íntima relación entre la inmovilización y la mineralización del N ya que éstos son procesos continuos y opuestos básicos en la función de la biomasa heterótrofa. El proceso de inmovilización es un pre requisito indispensable de la mineralización (Bartholomew, 1965).

Cuando no se añade N al suelo, el suplemento de N para las plantas está gobernado por la diferencia entre la cantidad de N inmovilizado y la

cantidad de N mineralizado y este proceso no es más que la continua transferencia de N inorgánico a compuestos orgánicos y el retorno simultáneo de N inmovilizado a N inorgánico, como producto final de crecimiento y muerte de la biomasa (Janson and Peterson, 1982). La acumulación de MO en la superficie de los suelos con SD cambia significativamente esta relación y en esta condiciones existe una diferencia a favor del N inmovilizado que hace que los cultivos demuestren deficiencia de N. A pesar de que la pobalción microbiana es mayor en los 5-7 cm superficiales de los suelos bajo SD, el proceso de mineralización se reduce, en parte debido a que en SD existe un ambiente bioquímico menos oxidativo que en labranza de conservación (LC) y en parte a que los residuos de cultivo parcialmente descompuestos que se acumulan en la superficie del suelo presentan una menor área superficial para la acción microbiana (Doran, 1980 ; Wells, 1984).

El hecho final es que el N inmovilizado no se pierde del suelo y tanto la MO como el N orgánico son más altos en SD que en LC, a cualquier dosis de aplicación de N. Esto indica que la SD desarrolla una mayor acumulación de N orgánico y que el N aplicado no se pierde de la zona radicular sino que cambia a otras formas que eventualmente serán disponibles para el cultivo (Wells, 1984).

Por otro lado, en SD son también importantes los procesos que sacan N de la zona radicular. El efecto de las prácticas de labranza en la distribución, tasa y época de la nitrificación y la denitrificación son complejos y quizá esta es la razón por la cual los resultados de investigación de estos procesos en SD reportados en la literatura son contrapuestos (Espinosa, 1986). En general, se puede esperar que en SD exista un potencial mayor para perder NO_3 por denitrificación en comparación con LC. Los residuos que se acumulan en la superficie reducen la evaporación y permiten una mayor humedad en el suelo y esto puede conducir a condiciones ideales para la denitrificación. Se considera que el agua es el factor más importante en la regulación del tamaño y actividad de la población microbiana (Rice and Smith, 1982).

Es generalmente aceptado que la nitrificación es más lenta en condiciones de SD que en LC. La acidificación de la superficie del suelo puede

inhibir la actividad de las bacterias envueltas en el proceso de nitrificación. Además, el contenido de NH_4^+, que es el substrato para los organismos nitrificadores, estaría regulado por la mineralización más lenta de la MO (Blevis et al., 1983 ; Rice, 1983). Sin embargo, se ha demostrado que el proceso de nitrificación es mayor en la capa de suelo de 0 a 5 cm de profundidad en SD comparado con LC. Esto se debe a que en los 5 cm superficiales de suelo existe una mayor disponibilidad de NH_4^+, ya que la descomposición de los residuos se lleva a cabo en la superficie dejando en esta zona más N mineralizado que puede ser sujeto a oxidación microbiana. Se considera entonces que las óptimas condiciones desarrolladas por SD en esta fina capa superficial de suelo, muy rica en MO, pueden promover una mayor nitrificación que un volumen más grande de suelo bajo LC (Groffman, 1985).

Las pérdidas de N por lixiviación pueden ser también importantes en SD. El NO_3, producto de la nitrificación del N nativo y del N aplicado con los fertilizantes, puede moverse a través del perfil y quedar fuera del alcance del sistema radicular. El potencial de pérdida de NO_3^- en SD es mayor si se considera que este tipo de labranza mejora la distribución de poros a través del perfil, incrementando la cantidad de macroporos, obteniéndose además una mayor continuidad en el espacio poroso drenable (Orozco, 1991). Sin embargo, investigación conducida en Mollisoles de Kentucky, E.U demostró que la recuperación por el cultivo del maíz del N aplicado como fertilizante fue de 36 a 45% menor en SD en comparación con LC (Kitur, 1982 ; Espinosa y Grove, 1985). Esta menor recuperación del N por el maíz bajo SD se atribuyó principalmente a la inmovilización, debido a que se determinó que un alto porcentaje del N aplicado se acumuló en la capa de 0 a 5 cm de suelo superficial, después de 3 años de fertilización con N. Esto sugería que la lixiviación y la denitrificación tenían menor importancia para el cultivo del maíz en SD en este tipo de suelo.

- **Manejo de Nitrógeno (N) en siembra directa**

Como sé ha discutido anteriormente, el particular ambiente que la SD genera en el suelo incrementa el riesgo de pérdida de N de la zona radicular. El cambio en las propiedades del suelo así como el cambio en la

tasa y distribución de los procesos imicrobianos producidos por la SD influyen definitivamente en las prácticas de fertilización nitrogenada.

Las prácticas de manejo que busquen mejorar la absorción y que eleven la eficiencia del N aplicado necesitan minimizar el contacto del fertilizante nitrogenado con procesos que produzcan pérdidas de este elemento. En otras palabras, es necesario diseñar prácticas que maximicen la habilidad de la planta para competir con procesos como inmovilización, denitrificación, lixiviación y volatilización que facilitan la pérdida en SD (Meisinger et al., 1985 ; Fixen, 1992).

Una de las formas de evitar las pérdidas de N inherentes a la SD consiste en colocar el fertilizante en tal forma que se minimice el contacto con la capa de residuos que se acumula en la superficie y con la capa de MO orgánica activa que se acumula en los primeros centímetros subsuperficiales del suelo. Numerosos estudios han demostrado que las aplicaciones subsuperficiales de N por debajo de la capa de residuos son superiores a las aplicaciones superficiales. Las aplicaciones de N en banda subsuperficial son superiores a las aplicaciones superficiales en banda y al voleo, en un mismo suelo (Mollisol) y en años diferentes (Espinosa, 1986). La aplicación en la subsuperficie elimina el potencial de pérdidas por volatilización y reduce el potencial de pérdidas por inmovilización y denitrificación.

Las pérdidas del N como NH_3 como resultado de las aplicaciones de urea al voleo son conocidas (Terman, 1979). Generalmente, se aplica úrea al voleo en cultivos bajo SD y las pérdidas de NH_3 por volatilización pueden ser significativas (Hargrove and Gascho, 1986). La aplicación de úrea en una banda subsuperficial puede mejorar la eficiencia del N aplicado al enviar la volatilización y reducir el riesgo de inmovilización (Wells, 1984). Un método relativamente nuevo de aplicación subsuperficial de N es la inyección localizada. Este método utiliza una rueda con agujas para localizar el fertilizante líquido en pequeñas áreas (bolsas) en el suelo a 10 cm de profundidad, y a 20 cm una de otra (Beaton, 1992 ; Fixen, 1992 ; Fixen 1994). Las ventajas de esta forma de aplicación incluye un mínimo movimiento de los residuos superficiales y la localización del fertilizante cerca de las plan-

tas sin daño a las raíces. Los datos de investigación presentados en la Tabla 1 ilustran los efectos de esta forma de localizción de N en SD.

En general, el riesgo de pérdidas de N por denitrificación y lixiviación en SD puede ser mayor al inicio del ciclo de crecimiento de los cultivos debido a la mayor probabilidad de lluvias y aun mayor contenido de humedad en el suelo. En la mayoría de los casos las siembras se realizan al inicio de la época de lluvia. A medida que el ciclo avanza el suelo se seca y el riesgo se reduce. El retrasar la aplicación de N podría maximizar la eficiencia del fertilizante al evitar posibles pérdidas y al entregar a las plantas N disponible en una etapa del desarrollo donde existe un activo sistema radicular que puede aprovechar mejor los nutrientes (Olson y Kurtz, 1982).

Tabla 1. Efecto de diferentes formas de localización de Nitrógeno (N) en el rendimiento de maíz en siembra directa (SD).

Método de aplicación	Minnesota :1987	Illinois :1989
	t/ha	
Testigo	4.7*	2.3
Voleo	—	5.9 (urea)
Banda subsuperficial	11.1	—
Inyección	11.6	7.0

Fuente: Adaptado de Fixen, 1992

* Solución urea-nitrato de amonio excepto donde se indica

· Condiciones de Suelos Tropicales

La mayoría de la investigación en manejo de nutrientes en SD se ha conducido en suelos de la zona temperada de Norte América, en suelos dominados por arcillas de tipo 2:1, pero en diferentes condiciones de pluviosidad. Existe una variedad de suelos en las zonas de sabana y de ladera de América Latina. Se pueden encontrar pequeñas áreas de Mollisoles y Vertisoles, que son suelos dominados por arcillas de tipo 2:1. Sin embar-

go, la mayoría de estos suelos son ultisoles y oxisoles, dominados por arcillas de tipo 2:1. Sin embargo, la mayoría de estos suelos son ultisoles y oxisoles, denominados por arcillas de carga variable como caolinita y óxidos de Fe y Al, y Andisoles dominados por alofana, imogolita y complejos humus-aluminio, que son también minerales de carga variable.

Ante la ausencia de datos de investigación en este tipo de suelos, se podría considerar que en general los principios básicos del comportamiento de N en SD serían los mismos una vez que se ha establecido y equilibrado el sistema. Sin embargo las condiciones particulares de los Ultisoles, Oxisoles y Andisoles deben tomarse en cuenta. Los Ultisoles y Oxisoles característicos de climas tropicales tienen dificultad para acumular residuos en la superficie debido a la rápida tasa de descomposición de los materiales orgánicos (Pla, 1994). En estas condiciones, toma más tiempo el acumular y equilibrar una capa adecuada de residuos en la superficie del suelo cuando se inicia el uso de SD. Es importante, en estas condiciones, la aplicación balanceada de fertilizantes y enmiendas que permitan la producción de abundante biomasa que se acumula en el suelo como residuo protector y que al mismo tiempo imparte al suelo todas las características particulares de la SD : Aun cuando no existe mucha información en la literatura, se conoce que la SD es un hecho en los Ultisoles y Oxisoles de Minas Gerais al sur de Brasil. En los Cerrados Brasileños, que tienen suelos de la misma clasificación taxonómica, pero con apenas 7 meses de pluviosidad, se ha logrado también establecer SD (Landers, 1994). Los Andisoles, por otro lado, se encuentran generalmente ubicados a mayor altitud y en general la tasa de descomposición de los residuos orgánicos es menor. Además, las características intrínsecas de estos suelos permiten equilibrar la MO en el suelo más rápidamente. En estas condiciones parecería más fácil el iniciar SD en Andisoles. Nuevamente, los datos en la literatura al respecto son muy escasos.

Los datos de SD en Ultisoles y Oxisoles indican también una liberación paulatina del N producto de la mineralización de los materiales orgánicos una vez que se ha equilibrado el sistema. Esto permite una mayor eficiencia de la utilización de este nutriente (Landers, 1994). Es obvio, que en estas circunstancias se desarrollen también condiciones adecuadas para

inmovilización de N en la activa capa orgánica, como se ha documentado en SD en zonas temperadas. Las necesarias aplicaciones de fertilizante nitrogenado deberán, en lo posible, evitar pérdidas por volatilización e inmovilización, localizando el fertilizante en tal forma que se evadan los procesos que motivan estas pérdidas.

Los Ultisoles y Oxisoles se caracterizan por tener estructura microagregada estable a través del perfil. Esto promueve propiedades físicas favorables caracterizadas por una buena porosidad, aireación, infiltración y drenaje (Sánchez y Navas, 1992; Landers, 1994). Estas condiciones pueden facilitar la pérdida de N por lixiviación en SD, conociendo que este es también un proceso importante en LC. En estos suelos, parece razonable entonces el evaluar la magnitud de estas pérdidas de N y estudiar prácticas de manejo que las minimicen. Los Andisoles, por otro lado, son suelos que por naturaleza tiende a retener abundante agua, situación que llevaría a pensar que bajo condiciones de SD se podría promover el proceso de denitrificación. Es claro que son necesarios datos de investigación que soporten o desvirtúen esta aseveración.

EFECTO DE LA SIEMBRA DIRECTA EN LA DINAMICA DEL FOSFORO Y EL POTASIO

El principal efecto de la eliminación de la labranza, en la dinámica de nutrientes inmóviles en el suelo como el fósforo (P) y el Potasio (K), es la estratificación de estos nutrientes en el perfil (Tablas 2 y 3). Esto puede traer como consecuencia una baja disponibilidad posicional de los nutrientes concentrados cerca de superficie. Esto es particularmente importante en zonas de menor precipitación, donde la superficie se encuentra frecuentemente seca (Fixen, 1992, Mallarino y Murrel, 1998). Varios estudios conducidos en áreas relativamente húmedas de Norte América han demostrado que las raíces también se estratifican con la reducción en labranza (Tabla 4). Este arreglo del sistema radicular es deseable cuando las raíces se concentran en la misma región donde se concentran el P y K. Cuando las raíces y los nutrientes se encuentran posicionalmete fuera de esta zona producen problemas de absorción que limitan la nutrición de los cultivos. Este es un problema común en las áreas de limitada precipitación bajo SD. En este

caso, las raíces profundizan en el perfil en búsqueda de agua y quedan posicionalmente fuera de los estratos de acumulación de nutrientes.

La práctica de elevar la fertilidad del suelo a niveles óptimos, antes de adoptar la práctica de SD, evita muchos de estos problemas potenciales y permite mayor flexibilidad en los años futuros. Los datos obtenidos en Minnesota, presentados en la Tabla 5, ilustran las ventajas de esta forma de manejo. Se observa claramente que los rendimientos en general son mucho más altos en el suelo con fertilidad alta, pero además se observa que en este caso no existió diferencia entre los métodos de aplicación de P y K, permitiendo de esta forma una mayor flexibilidad en el manejo de estos nutrientes.

Tabla 2. Efecto de la labranza en la distribución de P y K en el perfil

Nutriente	Profundidad	Labranza convencional	Siembra directa*
	cm	ppm	
Fósforo (P)	0-5	28	69
	5-10	29	43
	10-15	32	22
	15-23	35	17
	23-30	22	12
		cmol (+) /kg	
Potasio (K)	0-5	0.35	0.77
	5-10	0.32	0.45
	10-15	0.35	0.27
	15-23	0.33	0.24
	23-30	0.35	0.26

Fuente: Adaptado de voss, 1984

* Después de 8 años de siembra directa

Tabla 3. Efecto de la labranza en la distribución de la materia, CIC, K, Ca y Mg en suelos de la Finca Chequén, Chile

Profundidad Cm	Mat. Orgánica %	CIC	K	Ca	Mg
			cmo/Kg		
			Labranza convencional, 5 años trigo		
0.5	1.42	11	0.49	4.75	2.02
5-10	1.24	11	0.47	5.50	2.14
10-20	1.00	11	0.45	4.88	2.02
			Pastos, > 15 años		
0-5	4.56				
5-10	1.92	16	0.56	9.13	2.59
10-20	1.14	10	0.52	9.50	2.06
		10	0.56	4.88	1.93
			Siembra directa, 7 años trigo-maíz		
0-5	5.32	18	0.83	12.00	2.43
5-10	2.84	13	0.61	7.00	1.67
10-20	2.24	13	0.47	7.00	2.06

Fuente : Adaptado de Crovetto, 1996.

Tabla 4. Efecto de la labranza en la densidad de raíces

Profundidad	Labranza convencional	Siembra directa
cm	Peso de raíces (mg/muestra)	
0-7.5	250	625
7.5-15	325	250
15-22.5	170	160
22.5-30	75	75

Fuente : Adaptado de Voss, 1984.

Tabla 5. Efecto de la fertilidad, localizada de P y K y labranza reducida en el rendimiento de maíz (Minnesota)

Localización de P y K	Fertilidad baja	Fertilidad alta
	t/ha	
Testigo	5.0	9.6
Voleo*	6.2	9.8
Banda superficial	6.9	9.4
Banda subsuperficial	7.2	9.7

Fuente : Adaptado de Rehm et al., 1986
* 50 y 100 kg/ha de P2O5 y K2O, respectivamente

En las áreas húmedas de Norte América se han encontrado pocos problemas con P que se relacionen con SD. En ciertos casos incluso parece que el P mejora su disponibilidad cuando se reduce la labranza. Estos suelos tienen contenidos medios a altos de P y aparentemente, el efecto benéfico de la SD en la población de micorrizas permite que el P sea usado en forma más eficiente (Fixen, 1992; Fixen, 1994).

Uno de los problemas nutricionales más comunes en suelos en los cuales se ha establecido SD por varios años, en el área maicera de los E.U., es la marcada presencia de deficiencia de K (Tabla 6). En estos casos se han encontrado respuestas a la aplicación de K, contrario a lo que se podría esperar basándose en el contenido de K en el suelo, que indicaría casi ninguna respuesta a la aplicación de este nutriente (Tabla 7). Se considera que la mineralogía de estos suelos o el material parental podrían tener influencia en este comportamiento, pero hasta el momento no existen datos de investigación concluyentes (Fixen 1992). Además, se ha observado que ciertos híbridos son más sensitivos que otros a las deficiencias inducidas

por el tipo de labranza (Tabla 7). Estudios preliminares indican que los híbridos sensitivos tienden a producir menos raíces por unidad de parte aérea, en comparación con los híbridos tolerantes (Allan, 1990; 1992).

Tabla 6. Efecto de la labranza en el contenido foliar de Potasio (K) en maíz

Labranza	South Dakota, 1985	Minnesota, 1987	Minnesota, 1988
	K en la hoja opuesta a la mazorca (%)		
Labranza convencional	1.91	1.90	2.05
Siembra directa	1.64	0.98	1.06
K suelo (cmol (+)/kg	0.64	0.29	0.27

Fuente : Adaptado de Rehm y Fixen, 1990

Tabla 7. Respuesta a la aplicación de Potasio (K) en suelos con Siembra Directa (SD) establecida por varios años (Minnesota)

Dosis de K_2O	Híbrido 3902	Híbrido 3737	Híbrido 3732
Kg/ha	t/ha		
0	9.1	10.45	9.0
45	9.6	11.0	10.0
90	9.6	11.0	10.4

Fuente : Adaptado de Rehm, 1990
K en el suelo= 0.37 cmosl(+) kg

- **Comportamiento de P y K en Siembra Directa en suelos tropicales**

Una vez establecida la SD en Ulstisoles y Oxisoles se observa claramente los efectos de la estratificación de P y K. Datos de análisis de suelos, en fincas en SD por 9 cultivos (4 años), en el Cerrado Brasileño indican una acumulación de K y P en la capa de 0-5 cm, con contenidos de 0.51 cmol (+)/kg de suelo y 32 de ppm de P y K, respectivamente (Landrs, 1994). Esta condición podría causar baja disponibilidad posicional, particularmente en zonas secas como el Cerrado, Brasil. Aparentemente, no existen datos en la literatura que ilustren las tendencia del comportamiento de P y K en SD en Ultisoles y Oxisoles que soportan una prolongada época seca cada año, como los Cerrados Brasileños y las Sabanas de Colombia y Venezuela.

El iniciar SD en suelos infértiles como los Ultisoles y Oxisoles exige, más que en ningún otro tipo de suelos, mejorar las condiciones de fertilidad a niveles óptimos. Esto se logra con la corrección profunda del suelo con cal, yeso, P, K y micronutrientes (Landers, 1994).

Una vez establecida la SD en el campo, se produce acidez superficial por el uso de fertilizantes nitrogenados. La corrección de este problema se logra aplicando cal, pero a diferencia del encalado en LC, la experiencia del Cerrado demuestra que aplicaciones superficiales de cal son efectivas para corregir la acidez. La dosis máxima de cal usada ha sido 2t/ha, cada 2 años (Landers, 1994). Es conocido, en LC, que se debe incorporar la cal completamente en la capa arable para obtener un buen control de acidez, debido a que la cal reacciona en sitio y se mueve muy poco hacia abajo en el perfil (Espinosa, 1994). Las condiciones creadas por SD permiten una mejor efectividad de la cal aplicada a la superficie. En SD, las zonas de actividad radicular es superficial y la cal puede penetrar en esta zona mejorando las condiciones de acidez, particularmente si se toma en cuenta que el movimiento de agua es menos restringido en SD.

La utilización de yeso en SD permite mejorar las condiciones del suelo en la subsuperficie, en zonas donde no puede llegar la cal. El movimiento del yeso a través del perfil permite que éste llegue a cierta profundidad

donde puede ser fuente de calcio (Ca) y de sulfato (SO_4^{-2}). El SO_4^{-2} puede actuar como nutriente, pero fundamentalmente es una especie iónica que tiene gran afinidad por cationes, principalmente aluminio (Al). Este proceso permite mover a zonas más profundas el Al como SO_4Al^+, eliminando la toxicidad de este metal (Raij, 1992). Esta práctica se usa con éxito en suelos bajo SD en el cerrado Brasileño (Landers, 1994).

Como se ha mencionado anteriormente, existe muy poca información publicada en manejo de nutrientes en labranza reducida o SD en suelos tropicales de ladera. La reducción de labranza en estas condiciones puede tomar muchas facetas desde el punto de vista estrictamente técnico, pero hay que tomar en cuenta que factores de tipo socio-económico juegan también un papel preponderante en la decisión de reducir la labranza y utilizar fertilizantes. El principal agente de degradación en este tipo de suelos es la erosión y toda medida pendiente a controlar este factor de degradación del suelo debe ser implementada. Por supuesto, labranza reducida y SD tienen un gran potencial para controlar erosión y elevar la fertilidad del suelo.

Experimentos conducidos en Ultisoles de ladera en Colombia han demostrado la eficiencia de diferentes formas de labranza y de la utilización de nutrientes en la producción de yuca (Tabla 8 y Figura 1). La yuca es alimento básico para la población en áreas tropicales y un alto porcentaje de la producción de este cultivo en Colombia se conduce en suelos con pendientes superiores al 15% (Cadavid, 1995).

La dinámica de nutrientes asociada a la reducción de labranza en suelos de ladera es la misma que la descrita anteriormente en este artículo para otros suelos. En suelos de ladera, el desarrollo de prácticas agronómicas imaginativas, que eleven la producción y mantengan el recurso puede lograrse trabajando inteligentemente alrededor de la interrelación labranza-nutrientes.

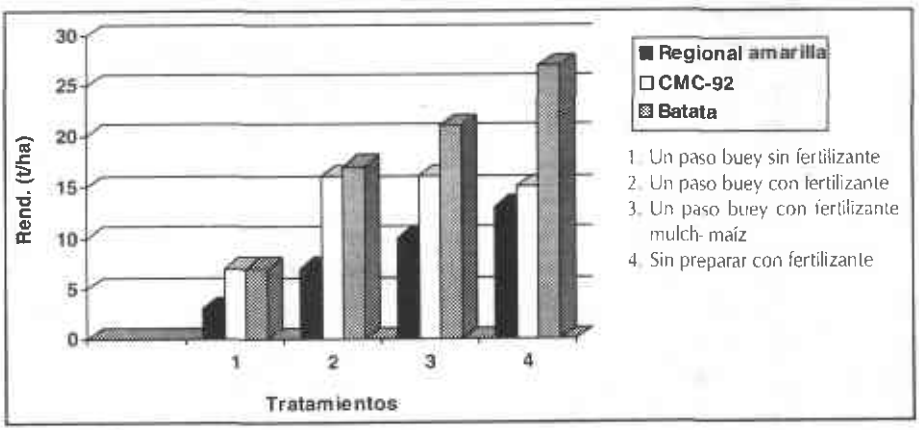
Tabla 8. Efecto de la cobertura y la fertilización en el rendimiento de yuca en Ultisoles (Colombia)

Sistema de cultivo	Con fertilización*		Sin fertilización	
	CM 507-37	MCol 1684	CM 507-37	MCol 1684
	Raíces frescas (t/ha)			
Yuca monocultivo	18	10.5	7.2	5.8
Yuca + much malezas	19	13.6	11	9.1
Yuca + *Zornia latifolia*	15.3	8.3	6.9	5.6
Yuca + Kudzu	12.2	4.9	8.5	3.2
Yuca + *Centrocema acutifolium*	14.2	6.8	6.7	2.0
Yuca + *Macroptilium glacila*	11.5	6.2	8.3	2.3
Yuca + *Desmodium ovalifolium*	10.7	5.7	4.1	2.0
Yuca + *Arachis pintoi*	12.5	8.1	5.2	2.3

Fuente : Adaptado de Cadavi, 1995

* 50, 100 y 100 kg/ha de N, P_2O_5 y K_2O, respectivamente

Figura 1. Efecto de varias alternativas de manejo en el rendimiento de yuca en suelos de ladera de Colombia



Fuente: (Adaptado de Cadavid, 1995).

BIBLIOGRAFIA

ALLAN, D. 1990. Rooting response to low K by Pioneer con hybrids 3732 and 3737. PP/FAR Annual report. Potash and Phosphate Institute, Atlanta, G.A.

BEATON, J. 1992. Avances y tendencias en las técnicas de fertilización con énfasis en los fertilizantes líquidos PALMAVEN-INPOFOS. Valencia, Venezuela.

BARTHOLOMEW, W. V. 1965. Mineralization and immobilization of nitrogen in the descomposition of plant and animal residues. P. 285-306. In W.V. Bartholomew and. E.E. Frank (eds) Soil Nitrogen. American Society of Agronomy. Madison, WI.

BLEVINS, R.L., G.W. THOMAS, M.S. SMITH, W.W. FRYRE, AND P.L. CORNELIUS. 1983. Changes in soil properties after 10 years of no-tilled and convetionally tilled corn. Soil and Tillage Res. 3 : 135-146.

CADAVID, L. 1995. Manejo productivo de duelos de ladera cultivados con yuca (Manihot esculenta Crantz). Memorias del seminario de manejo eficiente de la fertilidad del suelo. Sociedad Colombiana de la Ciencia del Suelo, Regional Valle del Cauca. Cali. Colombia.

CROVETTO, 1996. Stubble over the soil. American Society of Agronomy. Madison Wi.

DORAN, J.W. 1980. Soil microbial and biochemical chages associated with reduced tillage. Soil Sci. Soc. Am. J. 44 :765-771.

ESPINOSA, J. 1994. Acidez y encalado de los suelos. In : Silva F. (de) Fertilidad de suelos : Diagnóstico y control. Sociedad Colombiana de la Ciencia del Suelo. Bogotá. Colombia.

_____. and **J. CROVE.** 1985. Soil nitrogen recovery by no-till corn using nitrogen balance and isotope methods. Proceeding of the Southern region no-till conference. Griffin. Georgia.

_____. 1986. Placement and timing of nitrogen fertilizer for no-tillage corn (*Zea may* L.) PhD. Dissertation. University of kentucky, lexington, Kentucky.

FIXEN, P. 1992. Nutient tillage relationships. Memorias del seminario de fertilización balanceada. ADIFAL. Guadalajara México.

_____. 1994. Modern placement and tillage practices. Proceedings of the 44 th annual meeting fertilizer industry round table. Lake Buena Vista. Florida.

GROFFMAN, P. M. 1985. Nitrification and denitrification in conventional and no-till soils. Soil Sci. Soc. Am. J. 49 :329-334.

HARGROVE, W. L. and J. GASCHO. 1986. Taing aim on improved uptake. Solutions. May-june. p. 18-22.

JANSSON, S. L., and J. PERSSON. 1982. Mineralization and immobilization of soil nitrogen. p. 229-252 In. F. J. Stevenson (de) nitrogen in agricultural soils. Agron. Series No. 22 American Society of Agronomy, Madison WI.

KITUR, B. K. 1982. Fate of nitrogen in no-tillage and conventional tilage corn systems using labeled NH4N03. M. S. Thesis. University of Kentucky Lexington. KY.

LANDERS, J. 1994. Adubacao e correcao do solo sob plantio directo. Fascículo de Experiencias de Plantio Directo no Cerado. Associacao de Platio Directo no Cerrado. Gioania, Brasil.

MALLARINO, A. and T. MURREL. 1998. No-till corn yield responses to band aplication of potassium. Better Crops 82(1) : 4-4.

MEINSINGER, J.J. V. A. BANDEL, G. STANFORD, and J.O. LEGG. 1985. Nitrogen utilization of corn under minimal tillage and moldboard plow tillage. I four years results using labeled N fertilizer on an atlantic coastal plain soil. Agron. J. 77 :602-611.

OLSON, R. A., and L T. KURTZ. 1982. Crop nitrogen requeriments, utilization and fertilization. p. 567-604. In F.J. Stevens (de) Nitrogen in agricultural soils. *American Society of Agronomy.* Madison, WI.

OROZCO, O. 1991. Caraterización física y dinámica del agua bajo tres sistemas de labranza en un Andisol de la antigua serie Tibaitatá. Tesis de Magister Scientiae. Universidad Nacional de Colombia. Bogotá. Colombia.

PLA, I. 1994. La materia orgánica y la degradación y erosión de suelos en el trópico. Memorias del VII congreso Colombiano de la Ciencia del Suelo. Bucaramanga, Colombia.

RAIJ, B. VON. 1992. Reaciones de gesso em solos acidos. Memorias del II Seminario sobre o Uso do Gesso na Agricultura. Instituto Brasileiro do Fosfato.

REHM, G.W. 1990. Banded potassium for ridge-till planting systems. In : Proc. Of the 2'0 th North Central Extension Industry *Soil Fertilty Conf. Potash and Phosphate Institute,* Manhata, KS.

_____. and **P.E. FIXEN.** 1990. Potassium deficiency in corn a common ridge till problem. Better Crops with Plant Foos 74 (3) :6-9.

_____., **S.D. EVANS, W.W. NELSON, and G.W. RANDALL.** 1986. Evaluation of the relationship between tillage and placement of P and K in a corn soybean rotation. In : A report of Field Research, Misc. Pub. 3 (revised) Agric. Exper Stat, Univ. Of Minnesota.

RICE, C.W. 1983. Microbial nitrogen tranformation in no-till soils. PhD. Disertation. Univ. Of Kentucky. Lexington, KY.

_____. and **M. W. SMITH.** 1983. Nitrification of fertilizer and mineralized ammonium in no-till and plowed. *Soild Sci. Soc. Am. J.* 47.1125-1129.

SÁNCHEZ, L. y J. NAVAS, 1992. Uso de las rocas fosfóricas en la Orinoquia Colombiana. ICA. Bogotá, Colombia.

VOSS, R. 1984. Fertilizer placement and tillage. CE-2081x. Cooperative Extension Service. Iowa State University.

WELLS. K. L. 1984. Nitrogen management in the no-till system. P. 535-560. In R. D. Hauck (de) Nitrogen in crop production. American Society of Agronomy. Madison, WI.