VI.2.- Evolución del manganeso.

El papel del manganeso en el poder buffer del suelo y en la capacidad de neutralización de los ácidos es aún mas complejo y menos conocido que el del Aluminio. La literatura sobre el tema es muy reducida y casi ningún análisis rutinario de suelo contempla el análisis de este elemento.

Sin embargo incluir este elemento en el análisis del proceso de acidificación tiene un especial interés en el caso del suelo de Barinas que tiene la característica de presentar numerosas concreciones mangánicas en la parte inferior del perfil. Estas concreciones han sido interpretadas como restos de antiguas fases hidromórficas por los pedólogos que clasificaron los suelos de la serie Barinas (Hétier et al 1992), pero pueden también resultar de un proceso actual de lixiviación relacionado con la progresiva pérdida de la Capacidad de Neutralización de los Ácidos de este suelo.

www.bdigital.ula.ve

Hipótesis de trabajo.

El manganeso tiene un papel en la variación de la CNA como consumidor de protones. Por lo tanto su aparición en el complejo de intercambio se traduce por una disminución de la CNA. Sus intercambios entre la solución del suelo y el complejo de intercambio reflejan cambios del estado redox del medio que podrían relacionarse con la nitrificación.

VI.2.1- Manganeso soluble.

En las Figuras VI.4a y VI.4b se muestran de manera comparativa las variaciones del manganeso en solución para los diferentes tratamientos del suelo bajo cultivo de maíz y pasto respectivamente.

Atribución - No Comercial - Compartir Igual 3.0 Venezuela (CC BY - NC - SA 3.0 VE)

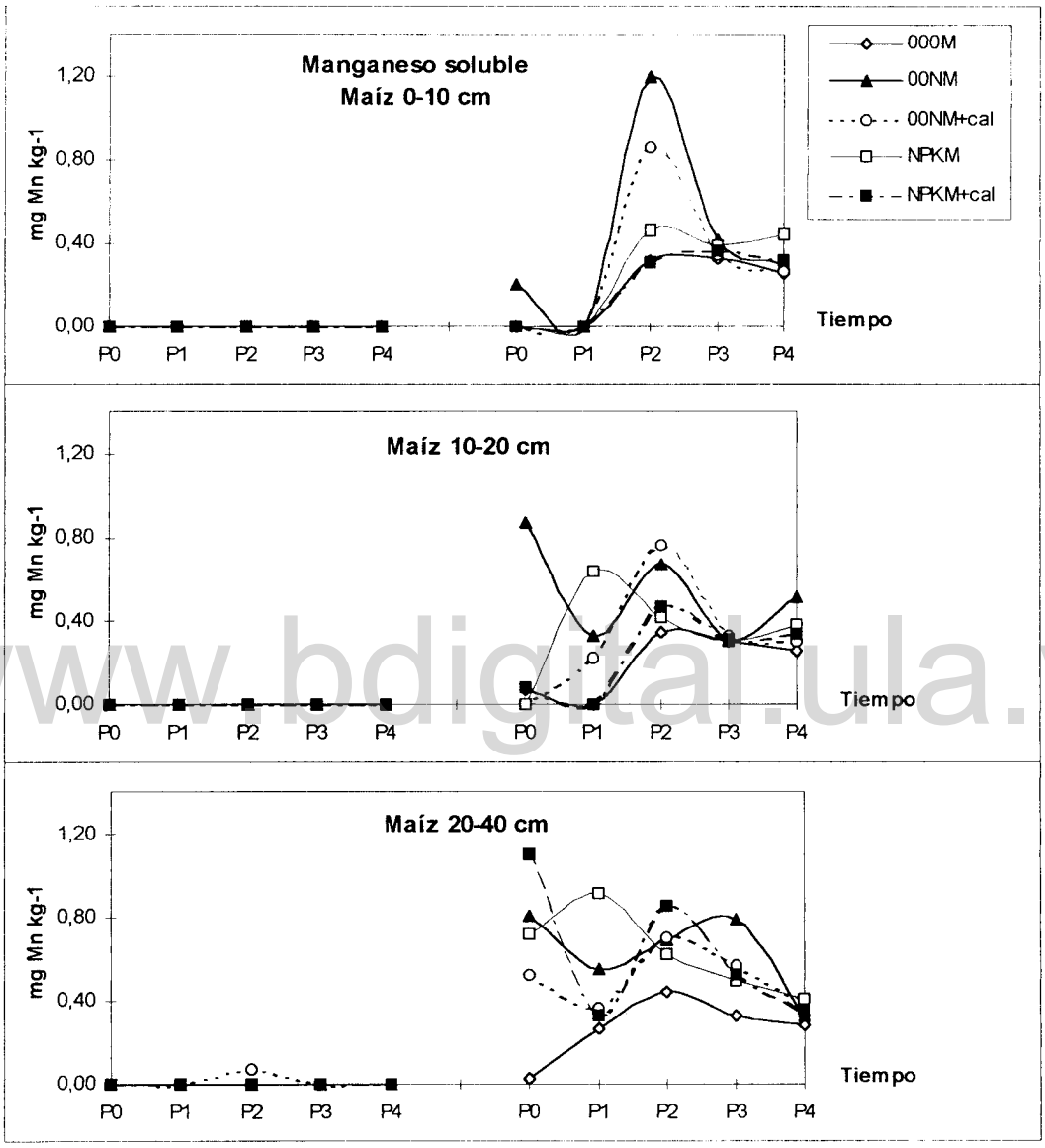


Figura VI.4a.- Variaciones del manganeso soluble, para el caso del suelo bajo cultivo de maíz.

www.bdigital.ula.ve

Atribución - No Comercial - Compartir Igual 3.0 Venezuela (CC BY - NC - SA 3.0 VE)

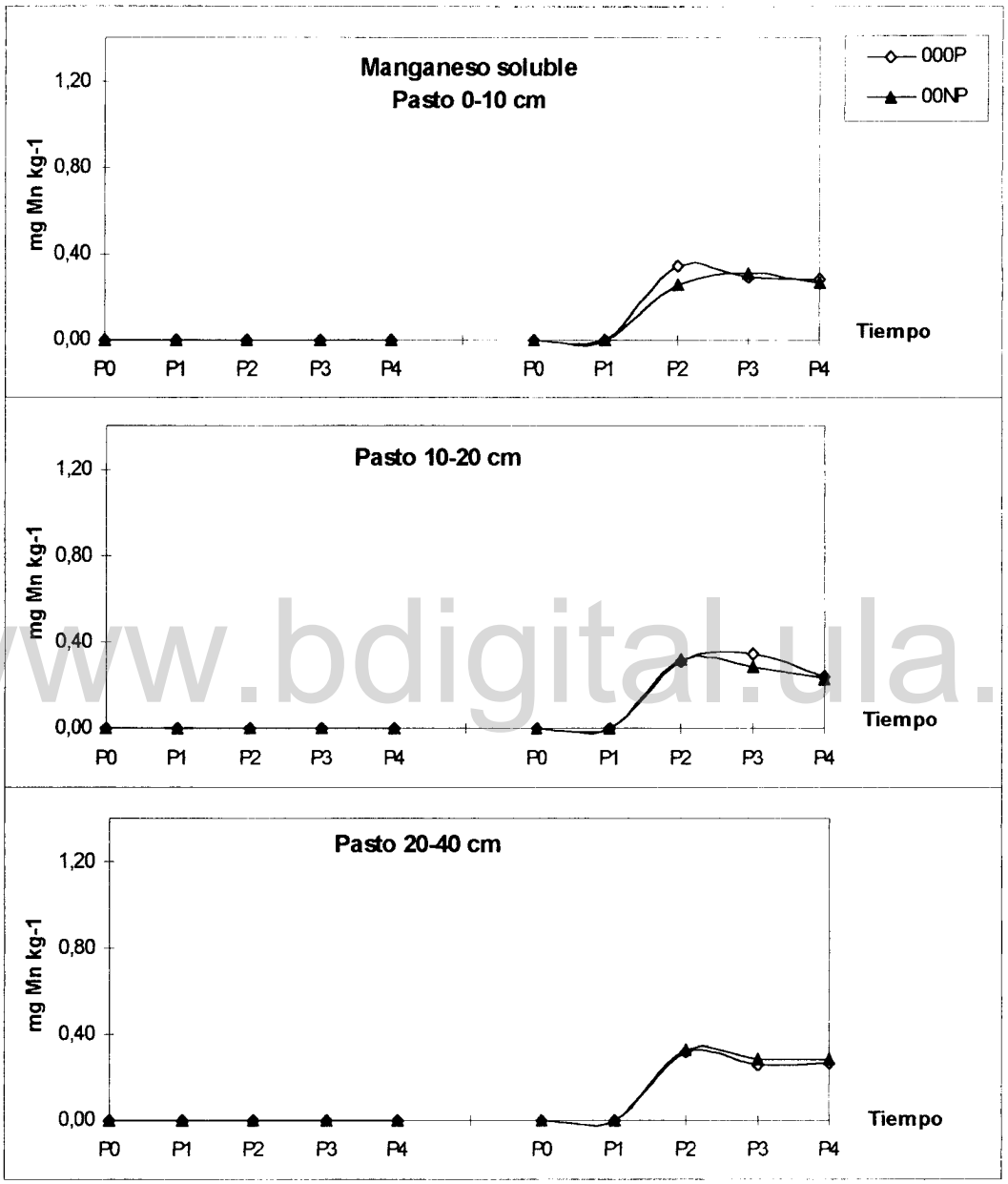


Figura VI.4b.- Variaciones del manganeso soluble, para el caso del suelo bajo cultivo de pasto.

www.bdigital.ula.ve

Atribución - No Comercial - Compartir Igual 3.0 Venezuela (CC BY - NC - SA 3.0 VE)

Estos datos están sujetos a una desviación estándar y un coeficiente de variación de 0,07 $\mu g\ g_{ss}^{-1}$ y 21 % para la capa superficial, 0,14 $\mu g\ g_{ss}^{-1}$ y 34 % para la capa entre los 10 y 20 cm y de 0,14 $\mu g\ g_{ss}^{-1}$ y 33 % para la capa profunda respectivamente.

En ambas figuras se nota claramente el hecho de que el manganeso está ausente de la solución de suelo durante el primer ciclo de cultivo, tanto en el suelo bajo cultivo de maíz como de pasto. Sin embargo, hace su aparición durante el segundo período en concentraciones que van desde unos pocos cientos de ppb hasta 1 ppm.

La evolución de este manganeso soluble durante el segundo ciclo depende del tratamiento y de la capa analizada sin embargo, a nivel superficial se observa un patrón común con un máximo de concentración bastante significativo al punto dos de muestreo el cual es mucho más relevante en el caso de los tratamientos 00NM y 00NM+cal.

www.bdigital.ula.ve

A nivel de la capa intermedia se presenta el mismo máximo de concentración el cual también es más importante en los tratamientos antes mencionados sin embargo, hay incrementos importantes de la concentración durante el período intercultivo en los casos de los tratamientos 00NM NPK y NPK + cal pero solamente en las capas profundas donde el fenómeno de nitrificación es menor a la vez por falta de amonio y de oxígeno.

Este patrón común en el comportamiento del manganeso soluble indica que el mismo no depende de manera directa de la fertilización sino que más bien es producto de su propia variabilidad temporal y que la fertilización influye sólo sobre las cantidades movilizadas más no en su aparición o desaparición de la solución del suelo.

Atribución - No Comercial - Compartir Igual 3.0 Venezuela (CC BY - NC - SA 3.0 VE)

V.2.2.- Manganeso intercambiable.

En las Figuras VI.5a y VI.5b se muestran de manera comparativa las variaciones del manganeso intercambiable para los diferentes tratamientos del suelo bajo cultivo de maíz y pasto respectivamente.

Estos datos están sujetos a una desviación estándar y un coeficiente de variación de 1,73 $\mu g\ g_{ss}^{-1}$ y 21 % para la capa superficial, 2,01 $\mu g\ g_{ss}^{-1}$ y 24 % para la capa entre los 10 y 20 cm y de 1,20 $\mu g\ g_{ss}^{-1}$ y 23 % para la capa profunda respectivamente. Los cálculos de kmol ha^{-1} se hicieron en base a una valencia 2

Para el caso del suelo bajo cultivo de maíz, los resultados indican primero que todo que las cantidades de manganeso intercambiable son prácticamente un orden de magnitud más pequeñas que en el caso del aluminio intercambiable. En segundo lugar, estas cantidades se incrementan con la profundidad, pero sólo en el caso del suelo bajo cultivo de maíz.

www.bdigital.ula.ve

Durante el primer ciclo de cultivo, en general no se observan cambios apreciables en la dinámica del manganeso intercambiable en los 20 primeros cm, salvo en el caso de los tratamientos encalados, donde se nota una disminución drástica en la cantidad de manganeso superficial, debido justamente a la aplicación de la cal.

Se nota un incremento en la cantidad de manganeso durante el período intercultivo y la dinámica del mismo durante el segundo ciclo difiere de lo observado durante el primer ciclo, lo que muestra que la evolución del manganeso puede estar influenciada por otros factores diferentes a la fertilización , como es el régimen de lluvias.

Atribución - No Comercial - Compartir Igual 3.0 Venezuela (CC BY - NC - SA 3.0 VE)

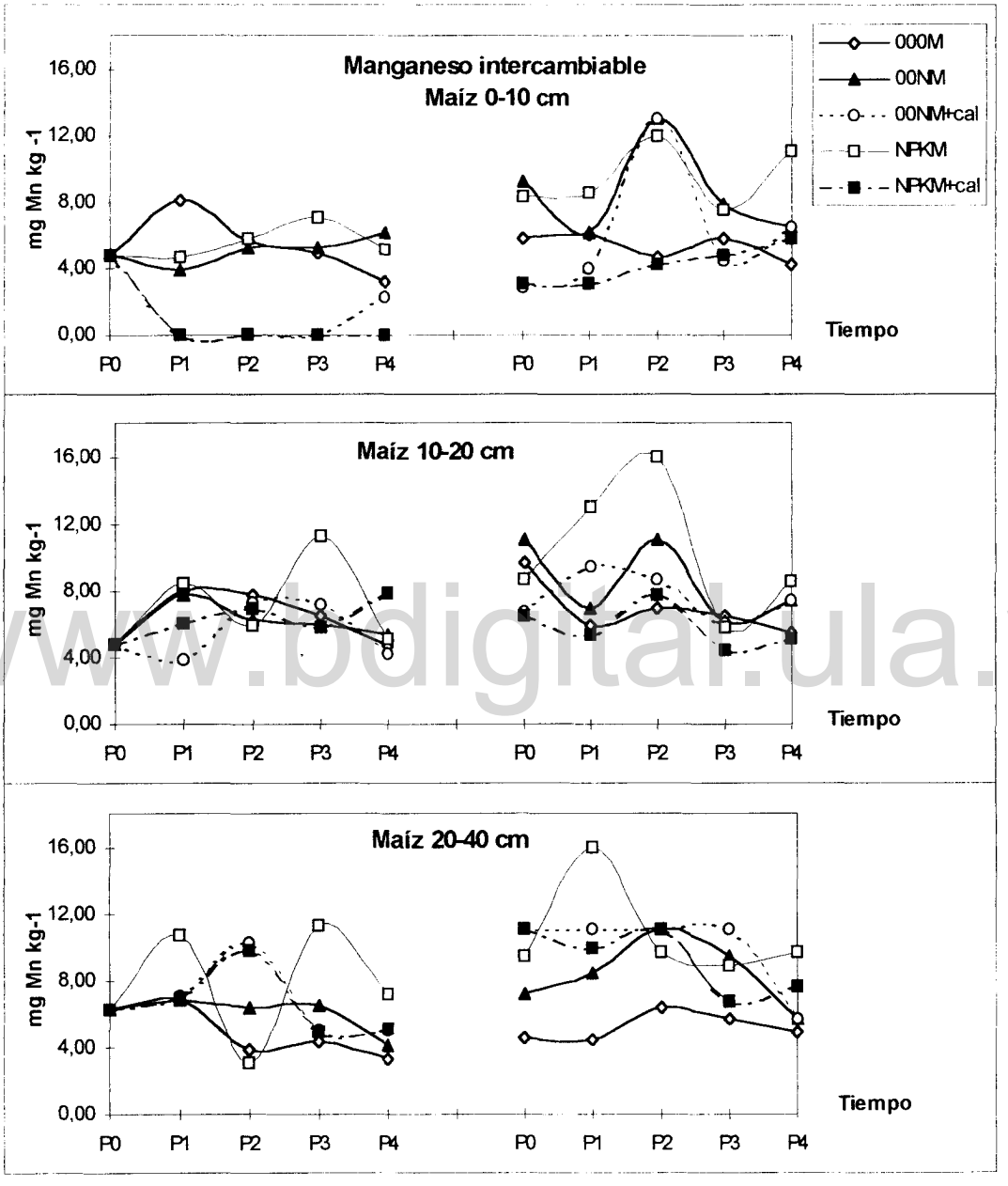


Figura VI.5a.- Variaciones del manganeso intercambiable, para el caso del suelo bajo cultivo de maíz.

www.bdigital.ula.ve

Atribución - No Comercial - Compartir Igual 3.0 Venezuela (CC BY - NC - SA 3.0 VE)

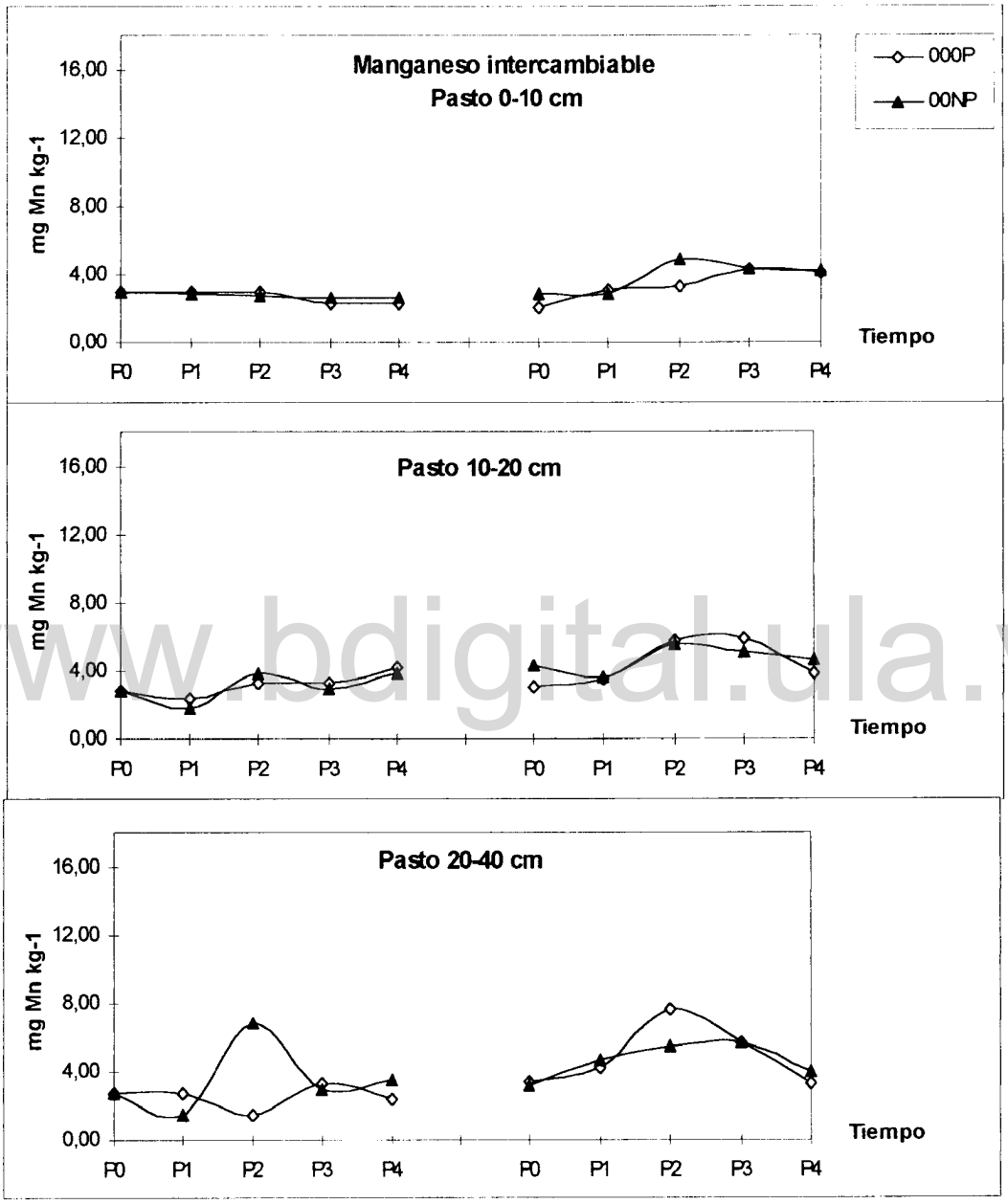


Figura VI.5b- Variaciones del manganeso intercambiable, para el caso del suelo bajo cultivo de pasto.

www.bdigital.ula.ve

Atribución - No Comercial - Compartir Igual 3.0 Venezuela (CC BY - NC - SA 3.0 VE)

Ciertamente, en general a nivel de las diferentes capas hay una mayor movilización de manganeso durante este segundo ciclo, lo que podría estar asociado a la aparición repentina del manganeso soluble durante el segundo ciclo. De esta manera, se puede pensar que las grandes lluvias del inicio del segundo ciclo crearon condiciones favorables para la reducción del manganeso.

Por otro lado, en el caso de los tratamientos 00NM, 00NM+cal y NKPM, a nivel de superficie, se observa un incremento importante en la cantidad de manganeso al punto 2 de muestreo. Esto coincide al mismo momento con máximos de manganeso soluble, aluminio intercambiable y una disminución sensible del $p\mathbf{H}_{agua}$. Estos eventos que se presentan al mismo momento pueden estar perfectamente relacionados y que la disminución del $p\mathbf{H}_{agua}$ observada en estos tratamientos pudo haber sido ocasionada por estos incrementos en las cantidades de aluminio y manganeso.

www.bdigital.ula.ve

En la Tabla VI.5 se muestra el balance en $kmol_c\ ha^{-1}$ para algunos puntos de muestreo a lo largo de los dos ciclos de cultivo de maíz y para las tres profundidades, en relación al estado inicial del experimento. De la variabilidad de campo se deduce que una diferencia con el estado inicial es significativa cuando es igual o mayor que 0,07, 0,11 y 0,05 $kmol_c$ para las capas entre 0-10, 10-20 y 20-40 cm de profundidad respectivamente.

Los balances al final del segundo ciclo muestran que la fertilización con urea ha producido incrementos discretos en las cantidades de manganeso intercambiables, a nivel de los 20 primeros cm, mientras que su aplicación con superfosfato muestra balances positivos inclusive hasta los 40 cm de profundidad.

Atribución - No Comercial - Compartir Igual 3.0 Venezuela (CC BY - NC - SA 3.0 VE)

Igualmente, en la Tabla VI.6 se muestran los balances para el caso del suelo bajo cultivo de pasto. En este caso se observa que los cambios más significativos en relación al estado inicial se observan por debajo de los 10 primeros cm de profundidad, especialmente durante el segundo ciclo, lo que podría estar ligado también a la aparición repentina del manganeso soluble.

Tabla VI.5.- Balance del manganeso intercambiable, en $kmol_c\ ha^{-1}$, en relación al estado inicial del experimento, para el caso del suelo bajo cultivo de maíz.

		$kmol_c\ ha^{-1}$					
Tratamiento	**Capa (cm)**	**P1** Ciclo I	**P4** Ciclo I	**P0** Ciclo II	**P1** Ciclo II	**P2** Ciclo II	**P4** Ciclo II
000M	0-10	**+0.16**	-0.07	**+0.05**	**+0.06**	0.00	-0.03
	10-20	**+0.16**	-0.01	**+0.23**	**+0.06**	**+0.10**	**+0.04**
	20-40	**+0.03**	-0.38	-0.08	-0.09	**+0.01**	-0.06
00NM	0-10	-0.04	**+0.07**	**+0.21**	**+0.06**	**+0.39**	**+0.08**
	10-20	**+0.14**	**+0.03**	**+0.30**	**+0.11**	**+0.30**	**+0.13**
	20-40	**+0.03**	-0.10	**+0.05**	**+0.10**	**+0.23**	-0.02
00NM+cal	0-10	-0.23	-0.12	-0.09	-0.04	**+0.39**	**+0.08**
	10-20	-0.04	-0.03	**+0.09**	**+0.22**	**+0.19**	**+0.13**
	20-40	**+0.04**	-0.06	**+0.23**	**+0.23**	**+0.23**	-0.02
NPKM	0-10	0.00	**+0.02**	**+0.17**	**+0.18**	**+0.34**	**+0.30**
	10-20	**+0.18**	**+0.02**	**+0.20**	**+0.39**	**+0.53**	**+0.18**
	20-40	**+0.21**	**+0.05**	**+0.16**	**+0.46**	**+0.17**	**+0.17**
NPKM+cal	0-10	-0.23	-0.26	-0.08	-0.08	-0.03	**+0.05**
	10-20	**+0.06**	**+0.15**	**+0.08**	**+0.03**	**+0.14**	**+0.02**
	20-40	**+0.04**	-0.05	**+0.23**	**+0.18**	**+0.23**	**+0.07**

En las Figuras VI.6a y VI.6b se muestra de manera comparativa la variación relativa del manganeso intercambiable en relación a la evolución del tratamiento Testigo, para el suelo bajo cultivo de maíz y pasto respectivamente.

www.bdigital.ula.ve

Atribución - No Comercial - Compartir Igual 3.0 Venezuela (CC BY - NC - SA 3.0 VE)

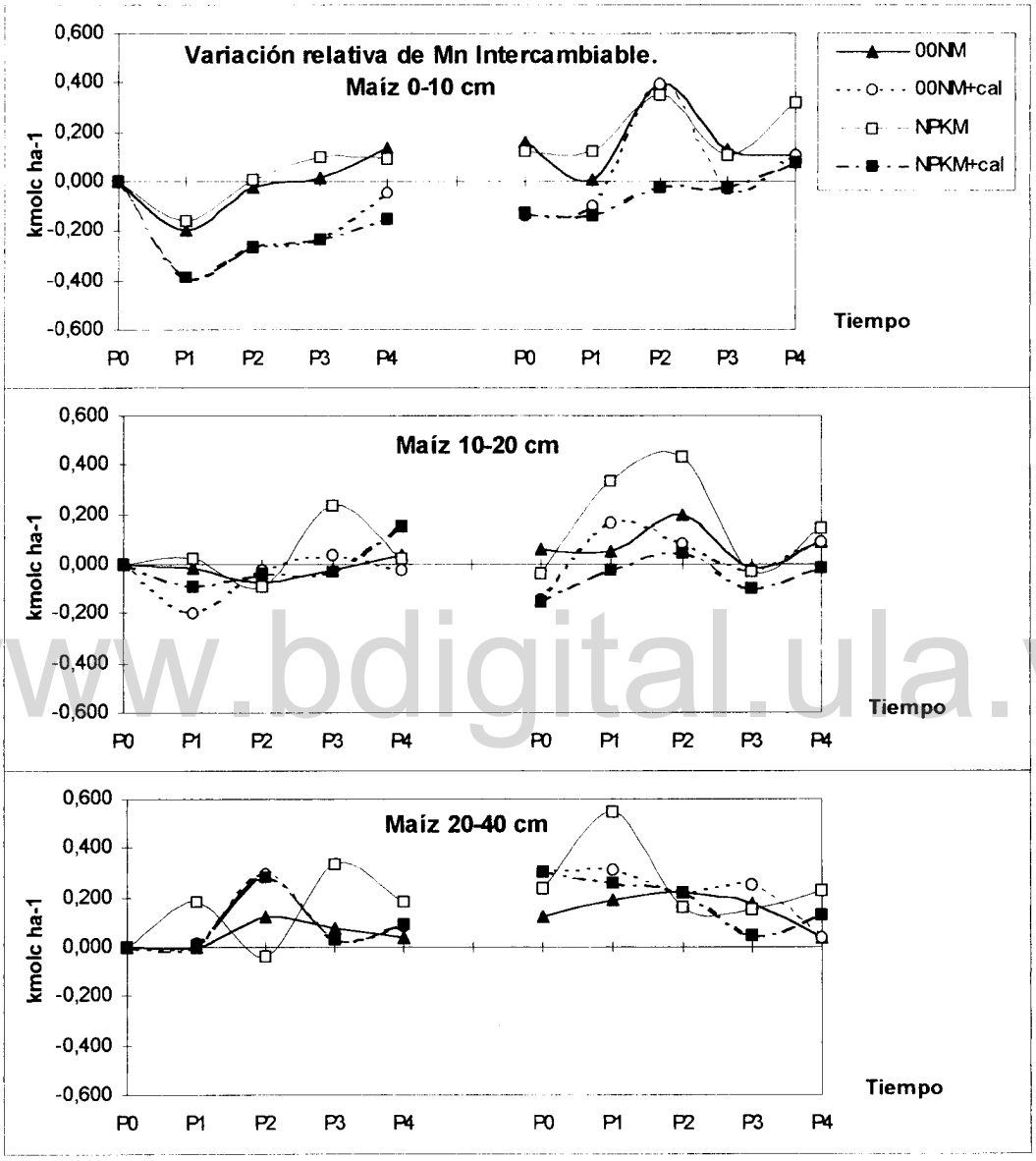


Figura VI.6a.- Variación relativa de manganeso intercambiable, para el caso del suelo bajo cultivo de maíz.

www.bdigital.ula.ve

Atribución - No Comercial - Compartir Igual 3.0 Venezuela (CC BY - NC - SA 3.0 VE)

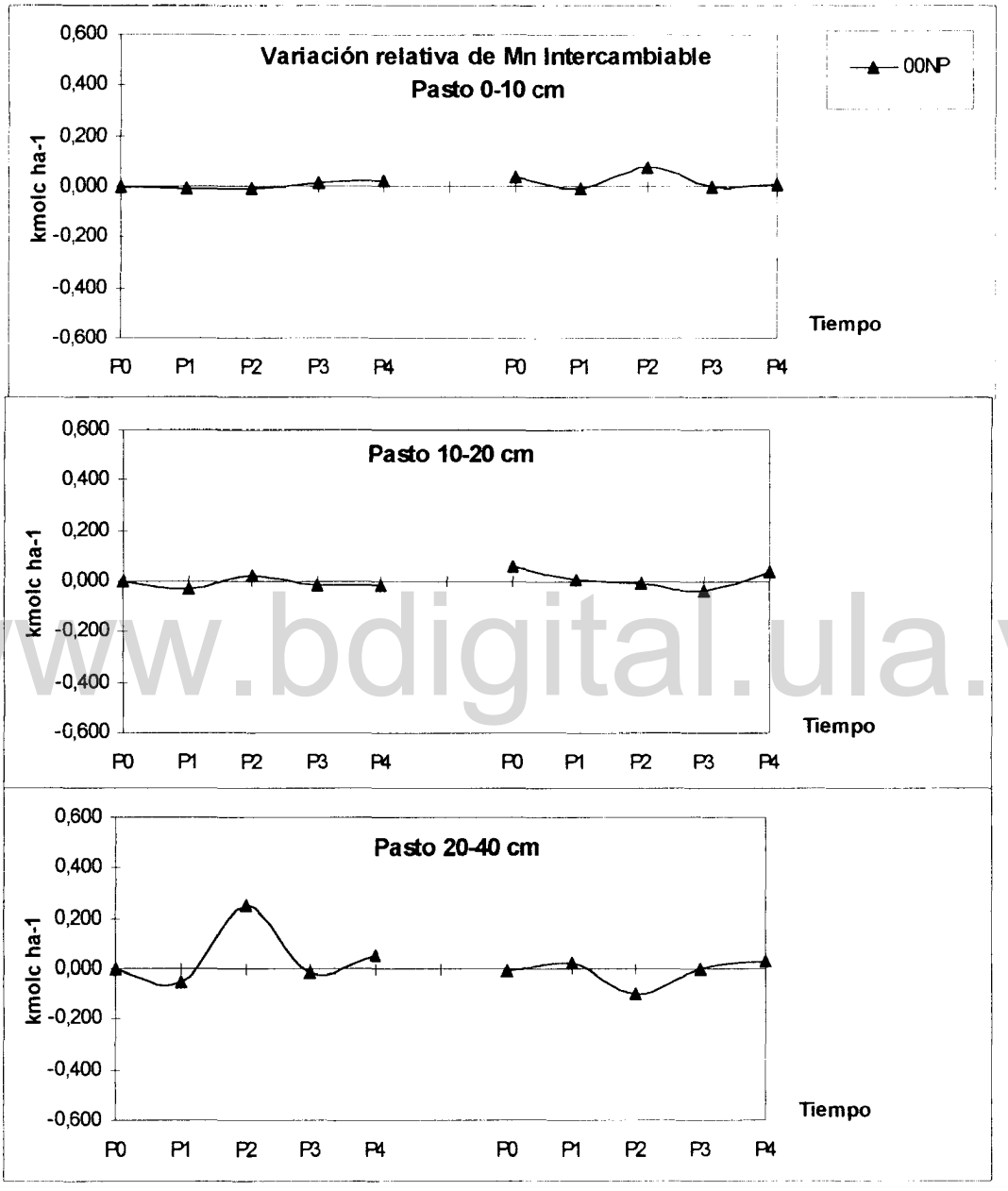


Figura VI.6b.- Variación relativa de manganeso intercambiable, para el caso del suelo bajo cultivo de pasto.

www.bdigital.ula.ve

Atribución - No Comercial - Compartir Igual 3.0 Venezuela (CC BY - NC - SA 3.0 VE)

Tabla VI.6.- Balance del manganeso intercambiable, en $kmol_c\ ha^{-1}$, en relación al estado inicial del experimento, para el caso del suelo bajo cultivo de pasto.

		$kmol_c\ ha^{-1}$					
Tratamiento	**Capa (cm)**	**P1** Ciclo I	**P4** Ciclo I	**P0** Ciclo II	**P1** Ciclo II	**P2** Ciclo II	**P4** Ciclo II
000P	0-10	0.00	-0.04	-0.04	**+0.01**	**+0.01**	**+0.05**
	10-20	-0.02	**+0.06**	**+0.01**	**+0.03**	**+0.14**	**+0.05**
	20-40	0.00	-0.01	**+0.03**	**+0.07**	**+0.23**	**+0.03**
00NP	0-10	0.00	-0.02	0.00	0.00	**+0.09**	**+0.06**
	10-20	**-0.05**	**+0.05**	**+0.07**	**+0.03**	**+0.13**	**+0.09**
	20-40	-0.06	**+0.04**	**+0.02**	**+0.09**	**+0.13**	**+0.06**

El Tratamiento Testigo bajo maíz presenta pocas variaciones en la evolución del manganeso intercambiable a lo largo de ambos períodos, no sólo a nivel superficial sino también a nivel de las capas inferiores. Esto permite una mejor comparación con el resto de los tratamientos, permitiendo visualizar de una manera más inmediata las diferencias con el tratamiento control.

www.bdigital.ula.ve

En general las diferencias con el Testigo se hacen más positivas cuando pasamos de un ciclo al otro, pero también se hacen más positivas en la medida que bajamos en profundidad.

En las Tablas VI.7 y VI.8 se muestran las diferencias relativas con el tratamiento Testigo para el caso de los tratamientos bajo maíz y pasto respectivamente.

Las diferencias en el caso del suelo bajo cultivo de pasto no son significativas, mientras que en el caso del suelo bajo cultivo de maíz, estas diferencias se hacen más notorias al final de cada período.

Recordamos que el superfosfato, fue aplicado sólo el primer ciclo de siembra por considerar que era cantidad suficiente para la nutrición de las plantas hasta el segundo cultivo. De manera que la ausencia del superfosfato a

Atribución - No Comercial - Compartir Igual 3.0 Venezuela (CC BY - NC - SA 3.0 VE)

permitido una mayor movilización del manganeso en las capas inferiores durante el segundo período de siembra.

En el caso de los tratamientos encalados, las diferencias con el tratamiento Testigo son en general mayores en profundidad debido pues al efecto de la aplicación de la cal durante el primer período sin embargo, al final del segundo ciclo, las diferencias relativas observadas en los tratamientos 00NM y 00NM+cal son en gran medida similares, lo que muestra que no hay un efecto residual de la cal al segundo ciclo, tal como se ha constatado en el caso del tratamiento NPKM+cal.

Tabla VI.7.- Balances Relativos del manganeso intercambiable, en $kmol_c\ ha^{-1}$, en relación al tratamiento Testigo para el caso del suelo bajo cultivo de maíz.

www.bdigital.ula.ve

		$kmol_c\ ha^{-1}$					
Tratamiento	**Capa (cm)**	**P1** Ciclo I	**P4** Ciclo I	**P0** Ciclo II	**P1** Ciclo II	**P2** Ciclo II	**P4** Ciclo II
00NM	0-10	-0.20	**+0.14**	**+0.16**	0.00	**+0.39**	**+0.11**
	10-20	-0.01	**+0.04**	**+0.06**	**+0.05**	**+0.20**	**+0.09**
	20-40	0.00	**+0.04**	**+0.12**	**+0.19**	**+0.22**	**+0.04**
00NM+cal	0-10	-0.39	-0.05	-0.14	-0.10	**+0.39**	**+0.11**
	10-20	-0.20	-0.02	-0.14	**+0.17**	**+0.09**	**+0.09**
	20-40	**+0.01**	**+0.08**	**+0.30**	**+0.31**	**+0.22**	**+0.04**
NPKM	0-10	-0.16	**+0.09**	**+0.12**	**+0.12**	**+0.35**	**+0.32**
	10-20	**+0.02**	**+0.02**	-0.04	**+0.34**	**+0.43**	**+0.15**
	20-40	**+0.19**	**+0.19**	**+0.23**	**+0.55**	**+0.16**	**+0.23**
NPKM+cal	0-10	-0.39	-0.15	-0.13	-0.14	-0.023	**+0.08**
	10-20	-0.09	**+0.15**	-0.15	-0.02	**+0.04**	-0.02
	20-40	**+0.01**	**+0.09**	**+0.30**	**+0.26**	**+0.22**	**+0.13**

Atribución - No Comercial - Compartir Igual 3.0 Venezuela (CC BY - NC - SA 3.0 VE)

Tabla VI.8.- Balances Relativos del manganeso intercambiable, en $kmol_c\ ha^{-1}$, en relación al tratamiento Testigo, para el caso del suelo bajo cultivo de pasto.

		$kmol_c\ ha^{-1}$					
Tratamiento	**Capa (cm)**	**P1** Ciclo I	**P4** Ciclo I	**P0** Ciclo II	**P1** Ciclo II	**P2** Ciclo II	**P4** Ciclo II
00NP	0-10	0.00	**+0.02**	**+0.04**	-0.01	**+0.08**	**+0.01**
	10-20	-0.03	-0.02	**+0.06**	0.00	-0.01	**+0.04**
	20-40	-0.06	**+0.06**	-0.01	**+0.02**	-0.10	**+0.03**

VI.4.- Conclusiones.

El comportamiento del Al depende de interacciones variadas que pueden provocar su aparición o desaparición de la solución de suelo y del complejo de intercambio catiónico. Su comportamiento en la capa superficial demuestra la solubilización por los nitratos (comparación 000 00N en Maíz y pasto) y la insolubilización debida al calcio y el fósforo (comparación cal y NPK).

Los niveles de aluminio soluble se incrementa de un ciclo al otro, especialmente en las capas superficiales sin embargo, este incremento no llega a niveles tóxicos ni tampoco depende exclusivamente de la fertilización, tal como lo muestra el tratamiento Testigo. Esto indica que este aluminio se debe movilizar bajo la forma de compuestos organometálicos que no están relacionados con el aspecto tóxico.

Los resultados obtenidos muestran que las cantidades de aluminio intercambiable son del orden de la mitad de la capacidad de intercambio. Por lo tanto el papel de este elemento en las variaciones de la CNA es fundamental y no puede ser descartado. Pero, las cantidades de aluminio extraídas con el KCl ***M***, son lo suficientemente grandes como para superar los niveles tóxicos,

www.bdigital.ula.ve

Atribución - No Comercial - Compartir Igual 3.0 Venezuela (CC BY - NC - SA 3.0 VE)

especialmente por debajo de los 10 cm de profundidad sin embargo, las plantas no presentan síntomas apreciables de toxicidad. Por otro lado, su comportamiento en las capas profundas demuestra la capacidad del KCl ***M*** de disolver los bajos polímeros de aluminio así como complejos organo metálicos pseudo solubles cuya evaluación cuantitativa requiere la valoración del carbono en los extractos de agua y de KCl ***M***.

Esto explica el porqué las plantas no presentan síntomas de toxicidad alumínica, a pesar de los valores tan altos del aluminio en el extracto, por lo que este aluminio llamado intercambiable no es más que una mezcla de compuestos de aluminio, donde el Al^{+3} es sólo una pequeña porción. Por lo tanto, el uso del KCl ***M*** como reactivo de extracción requiere de una evaluación más rigurosa del extracto, a pesar de la ultrafiltración utilizada que debería eliminar totalmente bajos polímeros y complejos organo minerales.. Esto ayudaría a definir como influye el estado del aluminio sobre la variación de la CNA.

www.bdigital.ula.ve

Así, los resultados de aluminio intercambiable determinados por ICP pueden estar sujetos a un error sistemático por exceso que puede estar en el orden del 20 % en el caso de suelos orgánicos (Barlet et al, 1987). En el caso de los suelos pobres en materia orgánica como en el caso de los suelos del Barinas este error es mucho menor ya que el extracto de KCl es menos rico en complejos órgano minerales de aluminio.

En el caso del manganeso soluble, sería difícil el tratar de explicar el porque de la ausencia de este en la solución durante el primer año ni tampoco es el objetivo de este trabajo el estudiar este fenómeno en particular. Si embargo, parece evidente que este evento está relacionado con su variabilidad

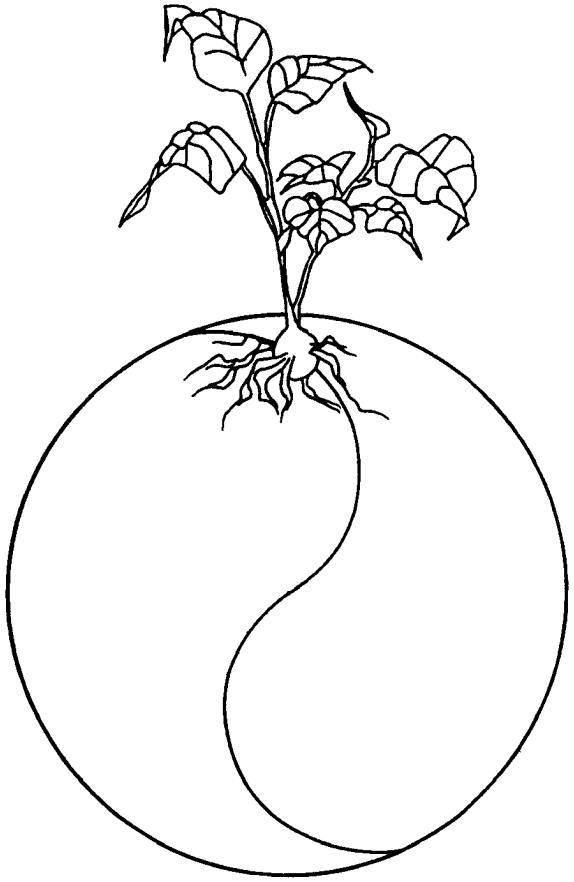
Atribución - No Comercial - Compartir Igual 3.0 Venezuela (CC BY - NC - SA 3.0 VE)

en el terreno y en el tiempo, el cual puede ser afectado en mayor o menor grado por el tipo de tratamiento.

Por otro lado, las variaciones y cantidades de manganeso intercambiable no son lo suficientemente grandes como para contribuir de manera significativa a la evaluación cuantitativa de las variaciones de la CNA. La sensibilidad del elemento a la competencia para los aniones orgánicos acomplejadores y las condiciones redox deben ser valorizadas para que este elemento pueda ser utilizado como un indicador cualitativo de las condiciones fisico-quimicas de la solución del suelo.

www.bdigital.ula.ve

Atribución - No Comercial - Compartir Igual 3.0 Venezuela (CC BY - NC - SA 3.0 VE)



www.bdigital.ula.ve

CAPÍTULO VII

CALCIO, MAGNESIO Y POTASIO

Atribución - No Comercial - Compartir Igual 3.0 Venezuela (CC BY - NC - SA 3.0 VE)

www.bdigital.ula.ve

Atribución - No Comercial - Compartir Igual 3.0 Venezuela (CC BY - NC - SA 3.0 VE)

VII.1.- Evolución del calcio.

Hipótesis de trabajo:

El calcio pasa de la posición intercambiable a la solución del suelo para ser absorbido por la planta o lixiviado hacia el subsuelo. En el complejo de intercambio el está sustituido por protones y aluminio lo que corresponde a una disminución de la CNA y estos procesos son acelerados por la fertilización con urea.

VII.1.1.- Calcio soluble.

La influencia de los diferentes tratamientos sobre el comportamiento del calcio soluble se muestra en la Figura VII.1a y 1b para el caso del suelo bajo cultivo de maíz y pasto respectivamente. Estos datos están sujetos a una desviación estándar y un coeficiente de variación de 2,33 $\mu g\ g_{ss}^{-1}$ y 56 % para la capa superficial, 2,33 $\mu g\ g_{ss}^{-1}$ y 55 % para la capa intermedia y de 3,13 $\mu g\ g_{ss}^{-1}$ y 58 % para la capa profunda respectivamente.

www.bdigital.ula.ve

Durante el primer ciclo, el calcio se solubiliza por acción de la mineralización de la urea, pero su solubilización se ve muy afectada por la presencia de los iones fosfatos con los cuales puede formar compuestos de poca solubilidad.

Los tratamientos encalados presentan dos fase de disolución del calcio, siendo la última más importante. Sin embargo, este incremento del calcio soluble involucra más que todo a la capa superficial, lo que muestra nuevamente que la acción del encalado no tiene ningún efecto apreciable por debajo de los 10 primeros cm de profundidad

Atribución - No Comercial - Compartir Igual 3.0 Venezuela (CC BY - NC - SA 3.0 VE)

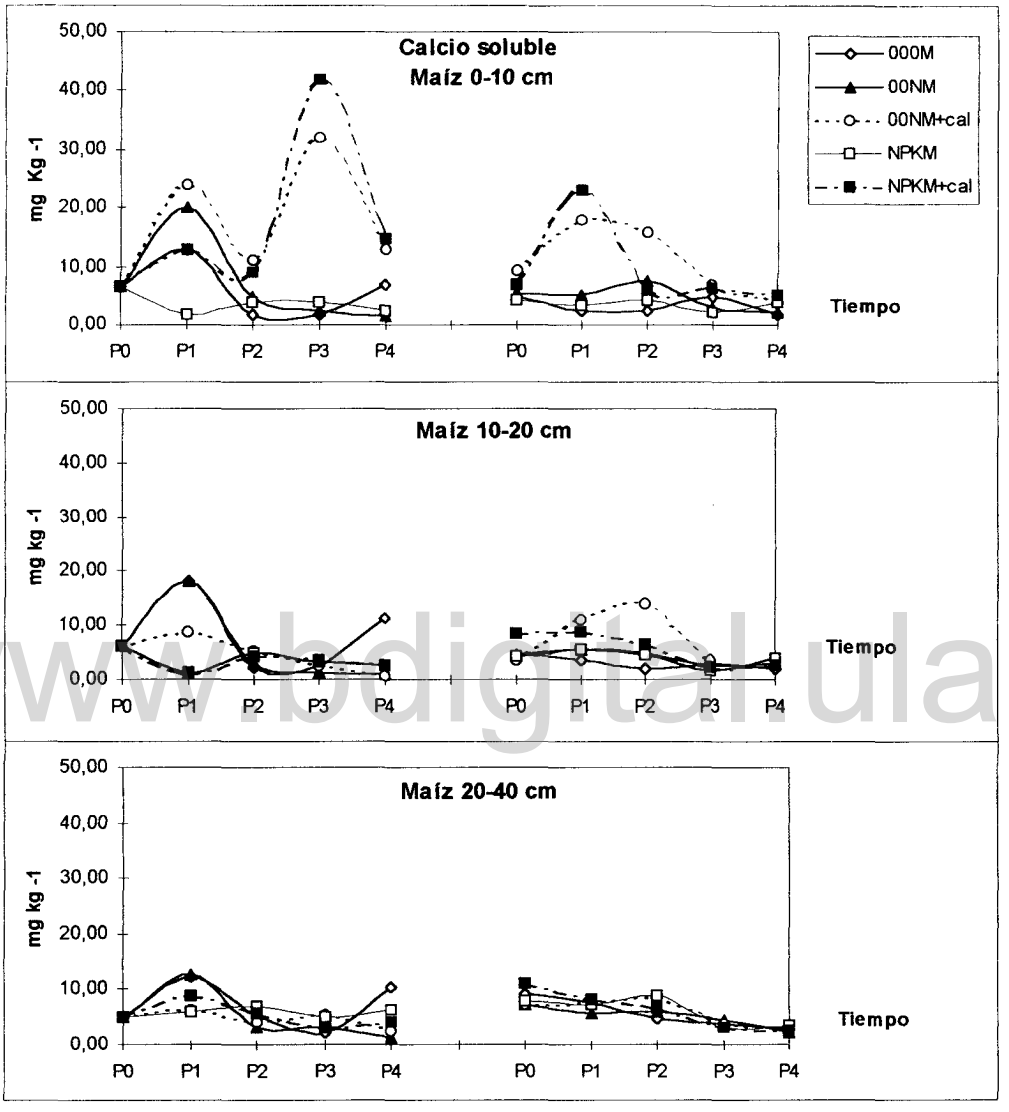


Figura VII.1a.- Variación del calcio soluble, para el caso del suelo bajo cultivo de maíz.

www.bdigital.ula.ve

Atribución - No Comercial - Compartir Igual 3.0 Venezuela (CC BY - NC - SA 3.0 VE)

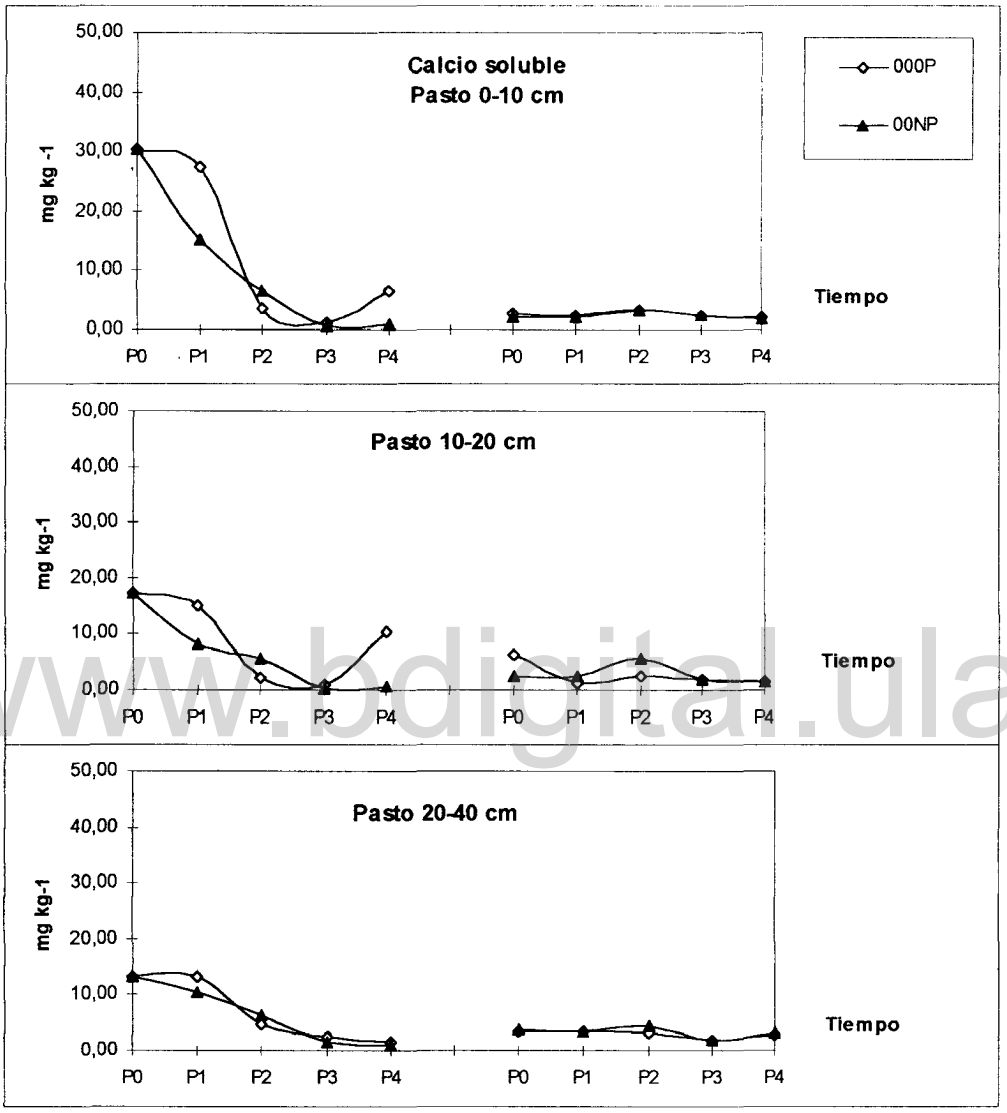


Figura VII.1b.- Variación del calcio soluble, para el caso del suelo bajo cultivo de pasto.

www.bdigital.ula.ve

Atribución - No Comercial - Compartir Igual 3.0 Venezuela (CC BY - NC - SA 3.0 VE)

Este hecho ya había sido evidenciado anteriormente a través de las mediciones de pH y aluminio y confirmando lo reportado por la literatura (Reeve y Summer 1972; Black y Cameron 1984). La consecuencia práctica de esto radica principalmente en que la corrección de la acidez en profundidad no es un problema fácil de resolver y requiere una mayor inversión de recursos.

Por otro lado, los mecanismos de reacción de los materiales de encalamiento con el suelo son complejos y para la mayoría de estos materiales estas reacciones tienen que ver con la neutralización de los iones H^+ en la solución del suelo por los iones OH^- producidos por el material encalador. Tal como mencionamos anteriormente, la gama de materiales de encalado utilizados en la agricultura va desde materiales puramente calcíticos hasta materiales puramente dolomíticos.

La velocidad de disolución y por ende la efectividad del encalado, es afectada por el contenido de Magnesio (Barber, 1984). Los materiales dolomíticos reaccionan por lo general más lentamente con los suelos ácidos y para aumentar esta velocidad de reacción hay que disminuir el tamaño del grano del material. El material utilizado en los presentes experimentos es una cal dolomítica que puede contener hasta un 11 % de magnesio con un tamaño de grano relativamente grande lo cual hace que la disolución del calcio sea lenta.

Al segundo ciclo, la fertilización con urea una nueva solubilización del calcio que probablemente quedó sin disolver de la cal aplicada durante el primer año. En el caso de los tratamientos no encalados muestran pérdidas del calcio soluble desde el primer año, donde se observa una lixiviación apreciable hacia las capas más profundas, especialmente en el caso del tratamiento 00NM, lo que está relacionado directamente con la acidificación al igual que la

www.bdigital.ula.ve

Atribución - No Comercial - Compartir Igual 3.0 Venezuela (CC BY - NC - SA 3.0 VE)

lixiviación de los nitratos. Durante el segundo ciclo de cultivo, resalta el hecho de que la capa intermedia, el tratamiento 00NM+cal presenta un aumento gradual del calcio soluble hasta la primera mitad del ciclo y esto puede ser debido a una percolación del calcio remanente en la superficie.

En la Tabla VII.1 se presentan los balances del calcio soluble en $kmol_c$ ha^{-1} en relación al estado inicial del experimento, para el caso del suelo bajo cultivo de maíz.

Tabla VII.1.- Balance del calcio soluble en relación al estado inicial del experimento, para el caso del suelo bajo cultivo de maíz.

		$kmol_c$ ha^{-1}					
Tratamiento	**Capa (cm)**	**P1** Ciclo I	**P4** Ciclo I	**P0** Ciclo II	**P1** Ciclo II	**P2** Ciclo II	**P4** Ciclo II
000M	0-10	+0.40	+0.03	**-0.12**	**-0.27**	**-0.27**	**-0.31**
	10-20	+0.78	+0.34	**-0.12**	**-0.17**	**-0.26**	**-0.29**
	20-40	+0.48	+0.34	+0.27	+0.17	0.00	**-0.13**
00NM	0-10	+0.87	**-0.34**	**-0.08**	**-0.09**	+0.05	**-0.29**
	10-20	+0.77	**-0.37**	**-0.09**	**-0.09**	**-0.09**	**-0.21**
	20-40	+0.49	**-0.25**	+0.14	+0.04	+0.07	**-0.18**
00NM+cal	0-10	+1.14	+0.42	+0.18	+0.75	+0.62	**-0.14**
	10-20	+0.17	**-0.35**	**-0.17**	+0.31	+0.51	**-0.22**
	20-40	+0.08	**-0.17**	+0.14	+0.17	+0.22	**-0.10**
NPKM	0-10	**-0.31**	**-0.27**	**-0.16**	**-0.21**	**-0.14**	**-0.18**
	10-20	**-0.31**	**-0.23**	**-0.13**	**-0.04**	**-0.10**	**-0.16**
	20-40	+0.07	+0.09	+0.18	+0.14	+0.26	**-0.10**
NPKM+cal	0-10	+0.40	+0.53	+0.01	+1.07	**-0.04**	**-0.09**
	10-20	**-0.35**	**-0.23**	+0.14	+0.17	+0.01	**-0.23**
	20-40	+0.26	+0.05	+0.39	+0.20	+0.09	**-0.16**

Según el estudio de variabilidad, una diferencia comienza a ser significativa cuando es igual o mayor que 0,16 $kmol_c$ ha^{-1} para el caso de las

www.bdigital.ula.ve

Atribución - No Comercial - Compartir Igual 3.0 Venezuela (CC BY - NC - SA 3.0 VE)

dos primeras capas analizadas e igual o mayor que 0,20 $kmol_c\ ha^{-1}$ para el caso de la capa profunda.

Los tratamientos no encalados presentan pérdidas importantes del calcio soluble a nivel de las tres capas, mientras que en el caso del tratamiento Testigo las pérdidas se observan sólo al final del segundo ciclo. Estos resultados sugieren que el calcio soluble se ha perdido más fácilmente en presencia de la urea. Por otro lado, aunque se haga un aporte externo de calcio por medio de un encalado, este tiene efecto sólo superficial, perdiéndose el calcio soluble de la capa intermedia. En general, los balances a nivel de la capa inferior son positivos, lo que podría indicar que este calcio es lixiviado hacia las capas más profundas.

En la Figura VII.2 se muestra la Variación Relativa del Calcio soluble frente al tratamiento Testigo, para el caso del suelo bajo cultivo de maíz. Igualmente en Tabla VII.2 se muestra el balance en $kmol_c\ ha^{-1}$ en relación al tratamiento Testigo. Para este caso sigue siendo válida la variabilidad aplicada al caso anterior.

www.bdigital.ula.ve

Estos resultados muestran que de manera general, las mayores diferencias con el tratamiento Testigo se dan durante el primer ciclo de cultivo. En el caso de los tratamientos no encalados, es decir 00NM y NPKM, al final del primer ciclo de cultivo, el nivel de calcio soluble es significativamente menor que en el caso del Testigo, a todos los niveles de profundidad, mientras que los tratamientos encalados muestran el incremento de calcio sólo en superficie

Al final del segundo ciclo los diferentes tratamientos convergen hacia un nivel de calcio soluble común con el tratamiento Testigo, el cual es significativamente más bajo que el nivel inicial.

Atribución - No Comercial - Compartir Igual 3.0 Venezuela (CC BY - NC - SA 3.0 VE)

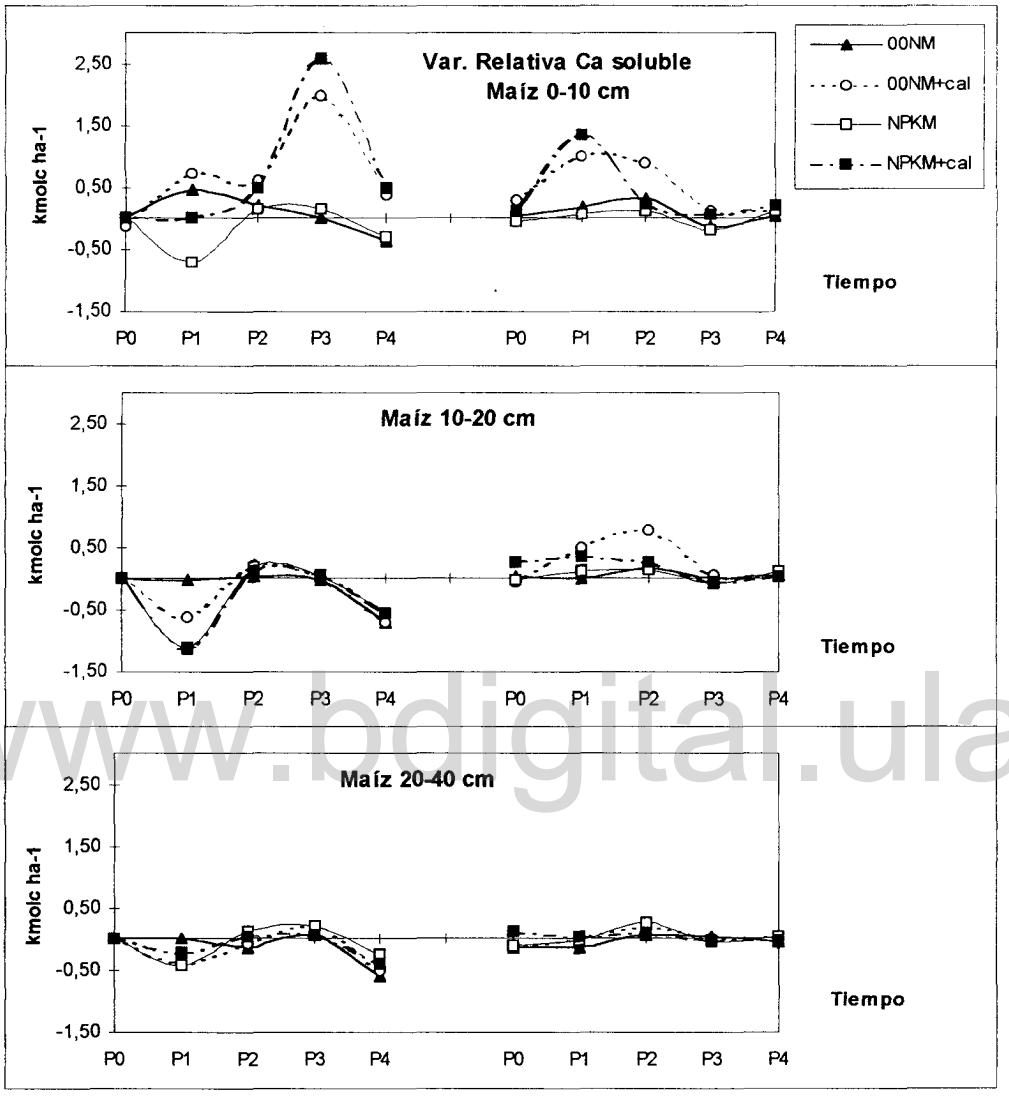


Figura VII.2.- Variación relativa del calcio soluble, para el caso del suelo bajo cultivo de maíz.

www.bdigital.ula.ve

Atribución - No Comercial - Compartir Igual 3.0 Venezuela (CC BY - NC - SA 3.0 VE)

Tabla VII.2.- Balance Relativo del calcio soluble en relación al tratamiento Testigo, para el caso del suelo bajo cultivo de maíz.

				kmol$_c$ ha^{-1}			
Tratamiento	**Capa (cm)**	**P1** Ciclo I	**P4** Ciclo I	**P0** Ciclo II	**P1** Ciclo II	**P2** Ciclo II	**P4** Ciclo II
00NM	0-10	+0.47	**-0.36**	+0.04	+0.18	+0.33	+0.03
	10-20	**-0.01**	**-0.69**	+0.03	+0.01	+0.17	+0.08
	20-40	+0.01	**-0.59**	**-0.13**	**-0.13**	+0.07	**-0.05**
00NM+cal	0-10	+0.73	+0.38	+0.29	+1.01	+0.12	+0.16
	10-20	**-0.62**	**-0.69**	**-0.05**	+0.48	+0.07	+0.07
	20-40	**-0.40**	**-0.51**	**-0.13**	0.00	0.00	+0.03
NPKM	0-10	**-0.72**	**-0.30**	**-0.04**	+0.07	+0.13	+0.13
	10-20	**-1.09**	**-0.57**	**-0.01**	+0.13	+0.16	+0.13
	20-40	**-0.42**	**-0.25**	**-0.09**	**-0.03**	+0.26	+0.03
NPKM+cal	0-10	0.00	+0.51	+0.13	+1.34	+0.23	+0.22
	10-20	**-1.13**	**-0.57**	+0.26	+0.34	+0.27	+0.05
	20-40	**-0.24**	**-0.39**	+0.12	+0.03	+0.09	**-0.03**

www.bdigital.ula.ve

En el caso del suelo bajo cultivo de Pasto, en general, el contenido de calcio soluble al comienzo del primer ciclo de cultivo es mucho mayor que en el caso del suelo bajo cultivo de maíz, especialmente en la superficie, pero las pérdidas del mismo a lo largo del ciclo también son mayores, especialmente en el tratamiento fertilizado, lo que podría indicar que el pasto es mucho más consumidor de calcio que el maíz .

Por otro lado, la cantidad de calcio encontrada al comienzo del ciclo disminuye a medida que bajamos en el perfil del suelo, lo que indica que el calcio soluble está más concentrado en superficie. Igualmente, los valores de *p*H también disminuyen a medida que bajamos en profundidad.

Durante el segundo ciclo de cultivo, la concentración de calcio soluble en superficie, al comienzo del período es, en promedio, de un 8 % en relación

Atribución - No Comercial - Compartir Igual 3.0 Venezuela (CC BY - NC - SA 3.0 VE)

al comienzo del primer ciclo para ambos tratamientos y se mantiene a ese nivel hasta el fin del ciclo.

Por otro lado, a lo largo de todo el ciclo no se observan variaciones del calcio soluble en ninguno de los tratamientos sino que por el contrario, la concentración permanece constante a todos los niveles de profundidad analizados. A lo largo de todo el período, no se observa diferencia significativa entre el comportamiento del calcio soluble para ambos tratamientos, por lo que se podría sospechar que la fertilización no afectó de manera significativa a ninguno de los diferentes horizontes estudiados durante este ciclo.

Esto puede ser evidenciado también a través de las mediciones del $p\mathbf{H}_{agua}$ las cuales muestran por un lado que las variaciones de este parámetro a lo largo del ciclo son similares a las tres profundidades estudiadas y por otro lado que en ninguna de las capas en cuestión se observa una diferencia significativa entre el tratamiento fertilizado y el tratamiento Testigo.

www.bdigital.ula.ve

En la Tabla VII.3 se presentan los balances del calcio soluble en $kmol_c\ ha^{-1}$ en relación al estado inicial del experimento, para el caso del suelo bajo cultivo de pasto. Según el estudio de variabilidad, una diferencia comienza a ser significativa cuando es igual o mayor que 0,16 kmol para el caso de las dos primeras capas analizadas e igual o mayor que 0,20 kmol para el caso de la capa profunda.

En el caso del suelo bajo cultivo de pasto, los resultados muestran que el calcio soluble se pierde más rápido, especialmente en superficie en presencia de urea. Por otro lado, las pérdidas disminuyen a medida que descendemos en el perfil del suelo al igual que la velocidad con que desaparece el calcio también es menor en profundidad. Estos resultados pueden indicar que la desaparición del calcio está más relacionada con el consumo del pasto.

Atribución - No Comercial - Compartir Igual 3.0 Venezuela (CC BY - NC - SA 3.0 VE)

Tabla VII.3.- Balance del calcio soluble en relación al estado inicial del experimento, para el caso del suelo bajo cultivo de pasto.

		$kmol_c\ ha^{-1}$					
Tratamiento	**Capa (cm)**	**P1** Ciclo I	**P4** Ciclo I	**P0** Ciclo II	**P1** Ciclo II	**P2** Ciclo II	**P4** Ciclo II
000P	0-10	**-0.18**	**-1.53**	**-1.75**	**-1.79**	**-1.74**	**-1.82**
	10-20	**-0.13**	**-0.47**	**-0.73**	**-1.04**	**-0.96**	**-1.03**
	20-40	0.00	**-0.77**	**-0.64**	**-0.64**	**-0.66**	**-0.66**
00NP	0-10	**-0.98**	**-1.90**	**-1.82**	**-1.83**	**-1.74**	**-1.85**
	10-20	**-0.60**	**-1.09**	**-0.98**	**-0.96**	**-0.77**	**-1.03**
	20-40	**-0.20**	**-0.82**	**-0.62**	**-0.65**	**-0.59**	**-0.65**

En la Figura VII.3 se muestra la Variación Relativa del Calcio soluble frente al tratamiento Testigo, para el caso del suelo bajo cultivo de Pasto. Igualmente en Tabla VII.4 se muestra el balance en $kmol_c\ ha^{-1}$ en relación al tratamiento Testigo.

www.bdigital.ula.ve

Tabla VI.4.- Balance Relativo del calcio soluble en relación al tratamiento Testigo, para el caso del suelo bajo cultivo de pasto.

		$kmol_c\ ha^{-1}$					
Tratamiento	**Capa (cm)**	**P1** Ciclo I	**P4** Ciclo I	**P0** Ciclo II	**P1** Ciclo II	**P2** Ciclo II	**P4** Ciclo II
00NP	0-10	**-0.79**	**-0.36**	**-0.04**	**-0.03**	0.00	**-0.03**
	10-20	**-0.47**	**-0.62**	**-0.25**	+0.08	+0.20	**-0.14**
	20-40	**-0.20**	**-0.05**	+0.01	**-0.01**	+0.08	0.00

La figura muestra que las diferencias más importantes con el Testigo se ven sólo durante el primer ciclo de cultivo y sólo a nivel de las dos primeras capas, mientras que a nivel de la capa profunda, las diferencias con el testigo no son significativas. Contrariamente, durante el segundo ciclo no se observan diferencias con el Testigo en ninguna de las capas descritas.

Atribución - No Comercial - Compartir Igual 3.0 Venezuela (CC BY - NC - SA 3.0 VE)

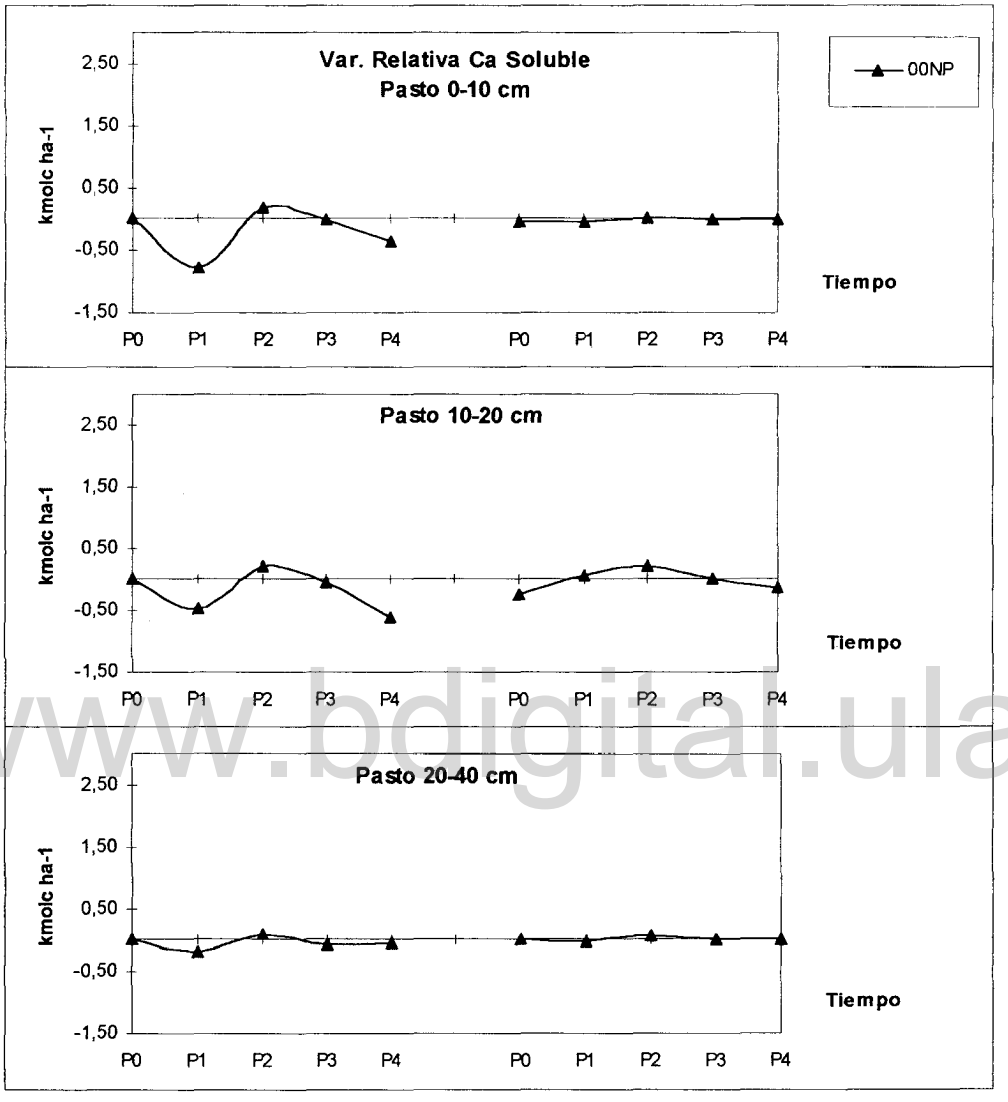


Figura VII.3.- Variación relativa del calcio soluble, para el caso del suelo bajo cultivo de pasto.

www.bdigital.ula.ve

Atribución - No Comercial - Compartir Igual 3.0 Venezuela (CC BY - NC - SA 3.0 VE)

Esto puede indicar que el aporte inicial del fertilizante durante el primer ciclo causó un desequilibrio en la dinámica del calcio soluble, pero el mismo logró reponerse de alguna manera durante el segundo ciclo en parte por efecto del tipo de cultivo sobre el suelo.

VI.1.2.- Calcio intercambiable.

Siendo el calcio (al igual que el magnesio) uno de los elementos más relacionados con la capacidad que tiene el suelo de neutralizar la tendencia a la acidificación, es lógico decir que un incremento de calcio intercambiable mejora la CNA del suelo, mientras que las pérdidas de calcio la hacen disminuir.

La influencia de los diferentes tratamientos sobre el comportamiento del calcio intercambiable se muestra en la Figura VII.4a y 4b para el caso del suelo bajo cultivo de maíz y pasto respectivamente. Estos datos están sujetos a una desviación estándar y un coeficiente de variación de 28,22 $\mu g\ g_{ss}^{-1}$ y 26 % para la capa superficial, 30.14 $\mu g\ g_{ss}^{-1}$ y 34 % para la capa intermedia y de 56.75 $\mu g\ g_{ss}^{-1}$ y 41 % para la capa profunda respectivamente.

En primer lugar resalta el hecho que la aplicación de cal se refleja principalmente en superficie y se nota igualmente un efecto residual al segundo ciclo. Por otro lado, la velocidad con que el calcio pasa a posiciones de intercambio varía de un tratamiento al otro, siendo al principio más lenta en el caso del NPKM. Sin embargo, el suplemento de calcio aportado por el superfosfato garantiza valores del ***p*H** más altos al final del primer ciclo. La cantidad máxima observada en el caso del tratamiento NPKM+cal es

www.bdigital.ula.ve

Atribución - No Comercial - Compartir Igual 3.0 Venezuela (CC BY - NC - SA 3.0 VE)

aproximadamente un 27 % mayor que en el caso del tratamiento 00NM+cal y esto mismo ocurre en el caso del calcio soluble.

A pesar de este incremento brusco del calcio intercambiable durante los tres primeros meses de cultivo, después del punto tres hay una disminución rápida del mismo en ambos tratamientos y al final del ciclo la cantidad de calcio intercambiable para el caso del tratamiento 00NM+cal disminuyó prácticamente en un 50 % con respecto al máximo reportado al punto tres de muestreo, mientras que en el caso del tratamiento NPKM+cal esta disminución llega al 35 %.

Estos resultados indican que al menos durante este primer ciclo de cultivo existe una relación entre el comportamiento del calcio soluble y el calcio intercambiable en los tratamientos encalados, y estos cambios se reflejan en las variaciones tanto del $p\mathbf{H}_{agua}$ como del $p\mathbf{H}_{KCl}$.

www.bdigital.ula.ve

En el caso de los tratamientos no encalados, es decir 00NM y NPKM, la cantidad de calcio movilizada es por su puesto mucho menor que en el caso de los tratamientos encalados sin embargo, observamos un comportamiento similar en ambos tratamientos a lo largo de ambos ciclos de cultivo. La diferencia radica en que la cantidad de calcio intercambiable en el tratamiento 00NM es en promedio un 25 % más baja que en el NPKM a lo largo de los dos períodos.

Es importante resaltar el hecho de que durante el primer ciclo, el tratamiento Testigo presenta un incremento creciente del calcio intercambiable, especialmente a nivel de la capa profunda, aunque estas últimas pueden estar afectadas principalmente por la variabilidad natural. Sin embargo, a nivel de los 20 primeros cm, este incremento debe estar afectado más que todo por factores externos como fertilizaciones anteriores.

Atribución - No Comercial - Compartir Igual 3.0 Venezuela (CC BY - NC - SA 3.0 VE)

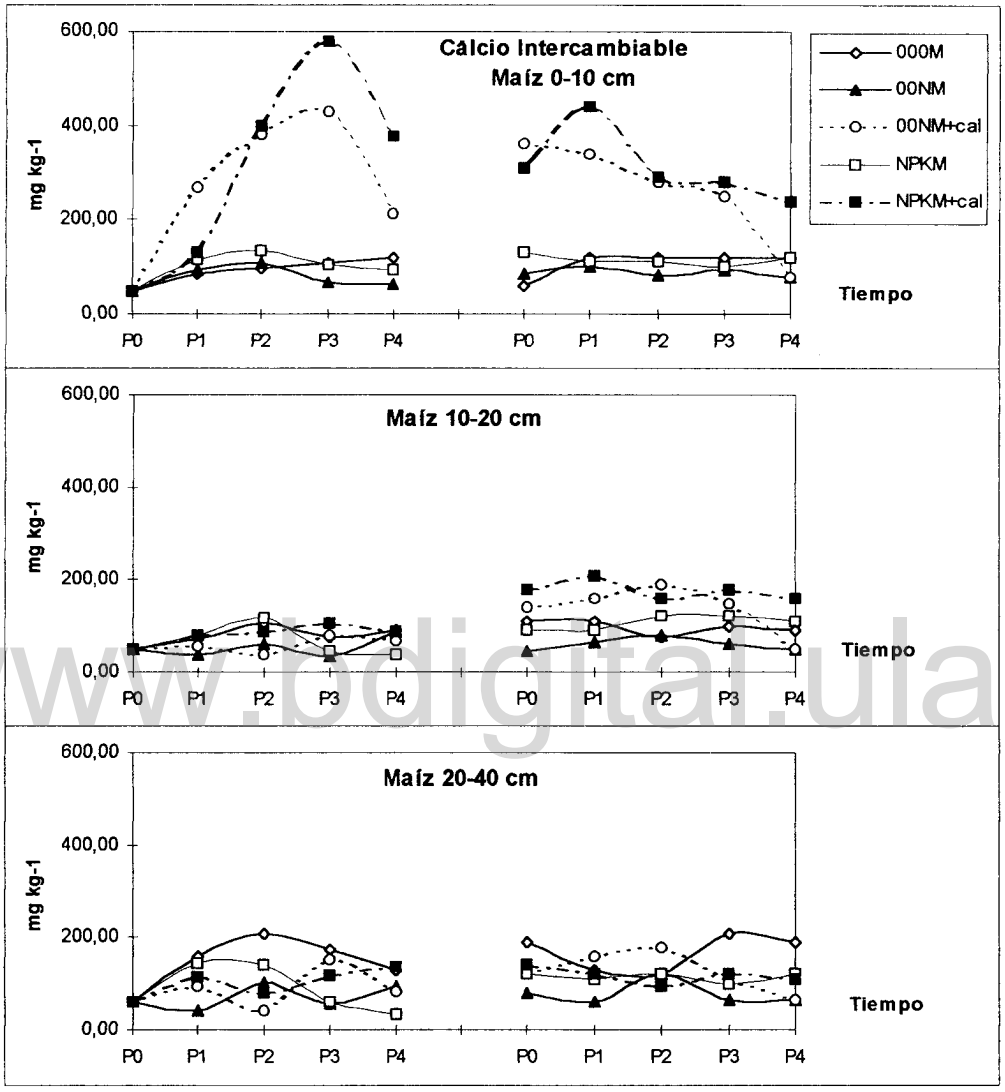


Figura VII.4a.- Variación del calcio intercambiable, para el caso del suelo bajo cultivo de maíz.

www.bdigital.ula.ve

Atribución - No Comercial - Compartir Igual 3.0 Venezuela (CC BY - NC - SA 3.0 VE)

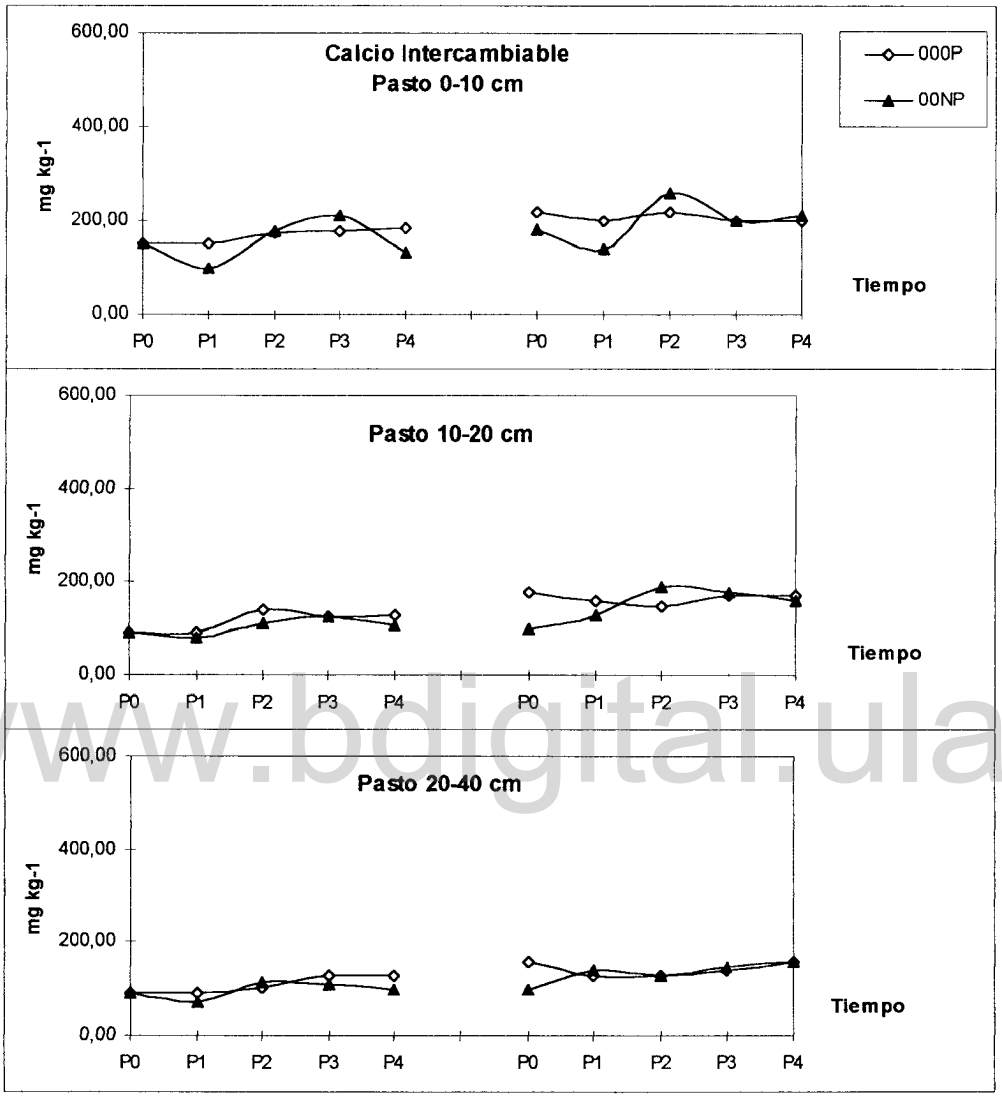


Figura VII.4b.- Variación del calcio intercambiable, para el caso del suelo bajo cultivo de pasto.

www.bdigital.ula.ve

Atribución - No Comercial - Compartir Igual 3.0 Venezuela (CC BY - NC - SA 3.0 VE)

A nivel de la capa intermedia, durante el segundo ciclo de cultivo, la cantidad de calcio intercambiable es en promedio dos veces mayor en los tratamientos encalados, que en el resto de los tratamientos, lo que indica que el calcio residual del encalado ha logrado bajar hasta los 20 cm, producto de las primeras lluvias al comienzo del segundo ciclo.

Para el caso del Tratamiento 00NM, la cantidad de calcio intercambiable registrada a comienzos del segundo ciclo es la menor de todos los tratamientos y es casi cuatro veces menor que en el caso del tratamiento NPKM+cal para el mismo momento, lo que quiere decir que la cantidad de calcio intercambiable ha disminuido prácticamente en un 50 % durante el periodo intercultivo a diferencia de la superficie donde la cantidad de calcio aumenta en un poco más de un 30 % durante el período intercultivo.

En la Tabla VII.5 se presentan los balances del calcio intercambiable en $kmol_c\ ha^{-1}$ en relación al estado inicial del experimento, para el caso del suelo bajo cultivo de maíz. Según el estudio de variabilidad, una diferencia comienza a ser significativa cuando es igual o mayor que 1.90 kmol para el caso de las dos primeras capas analizadas e igual o mayor que 3.60 kmol para el caso de la capa profunda.

www.bdigital.ula.ve

Los resultados muestran como a lo largo de los dos ciclo de cultivo la cantidad de calcio se incrementa de manera significativa en el caso del tratamiento Testigo, a nivel de todas la capas analizadas, mientras que en el caso del tratamiento 00NM este incremento es mucho menor.

La pregunta obligada es que si el tratamiento Testigo no se fertilizó, de donde viene este calcio ?. Este resultado muestra que este calcio residual puede provenir de las fertilizaciones anteriores y continúa disolviéndose, pasando a posiciones de intercambio.

Atribución - No Comercial - Compartir Igual 3.0 Venezuela (CC BY - NC - SA 3.0 VE)

Tabla VII.5.- Balance del calcio intercambiable en relación al estado inicial del experimento, para el caso del suelo bajo cultivo de maíz.

				kmol$_c$ ha^{-1}			
Tratamiento	**Capa (cm)**	**P1** Ciclo I	**P4** Ciclo I	**P0** Ciclo II	**P1** Ciclo II	**P2** Ciclo II	**P4** Ciclo II
000M	0-10	+2.44	+4.65	+0.83	+4.67	+4.67	+4.67
	10-20	+1.43	+2.86	+4.82	+4.02	+1.87	+2.91
	20-40	+6.32	+4.45	+8.29	+4.39	+3.74	+8.29
00NM	0-10	+2.91	+1.07	+2.39	+3.37	+2.20	+2.00
	10-20	**-0.60**	+2.49	**-0.08**	+1.03	+2.00	+0.18
	20-40	**-2.26**	+1.08	**-0.01**	**-1.25**	+2.72	**-0.99**
00NM+cal	0-10	+14.38	+10.56	+20.27	+18.97	+15.07	+2.00
	10-20	+0.52	+1.18	+5.97	+7.27	+9.22	+0.18
	20-40	+2.20	+1.44	+3.74	+6.34	+7.64	+0.04
NPKM	0-10	+4.46	+2.86	+5.30	+4.00	+4.00	+4.65
	10-20	+2.00	**-0.61**	+2.70	+2.90	+4.65	+4.00
	20-40	+5.29	**-1.89**	+3.73	+3.08	+3.73	+3.73
NPKM+cal	0-10	+5.43	+21.23	+17.00	+25.45	+15.70	+12.45
	10-20	+2.12	+2.42	+8.55	+10.50	+7.25	+7.25
	20-40	+3.28	+4.77	+5.03	+3.73	+2.17	+3.09

www.bdigital.ula.ve

Para el caso del tratamiento NPKM se observa un incremento similar al Testigo sólo durante el segundo ciclo de cultivo. Esto significa que la capacidad de neutralización se ha visto de alguna manera afectada en la presencia de urea y que la evaluación del estatus básico del suelo puede ser la clave en la cuantificación del fenómeno de acidificación.

En la Figura VII.5 se muestra la Variación Relativa al tratamiento Testigo del Calcio intercambiable, para el suelo bajo cultivo de maíz y en Tabla VII.6 se muestra el balance relativo respectivo, en kmol$_c$ ha^{-1}. Para este caso sigue siendo válida la variabilidad aplicada al caso anterior.

Atribución - No Comercial - Compartir Igual 3.0 Venezuela (CC BY - NC - SA 3.0 VE)

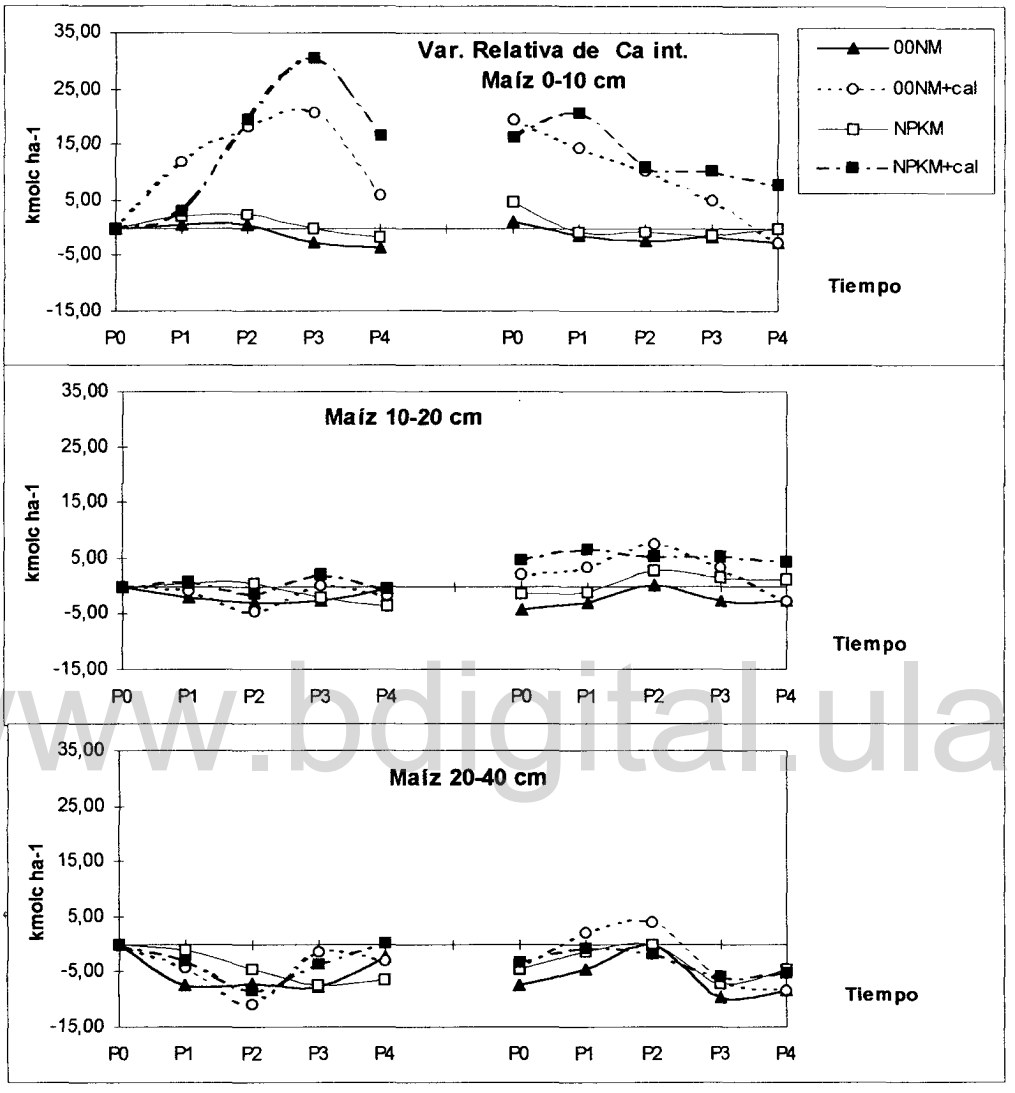


Figura VII.5.- Variación relativa del calcio intercambiable, para el caso del suelo bajo cultivo de maíz.

www.bdigital.ula.ve

Atribución - No Comercial - Compartir Igual 3.0 Venezuela (CC BY - NC - SA 3.0 VE)

Como vimos anteriormente, el calcio intercambiable presenta un comportamiento bastante homogéneo a lo largo de todo el experimento, lo que facilita la comparación con el resto de los tratamientos. Así, el efecto de la fertilización uréica resalta a través de esta comparación, especialmente durante el segundo ciclo donde los balances muestran niveles de calcio significativamente más bajos que en el caso del Testigo a lo largo del perfil del suelo.

Tabla VII.6.- Balance Relativo del calcio intercambiable en relación al tratamiento Testigo, para el caso del suelo bajo cultivo de maíz.

		$kmol_c\ ha^{-1}$					
Tratamiento	**Capa (cm)**	**P1** Ciclo I	**P4** Ciclo I	**P0** Ciclo II	**P1** Ciclo II	**P2** Ciclo II	**P4** Ciclo II
00NM	0-10	+0.47	**-3.59**	+1.15	**-1.30**	**-2.47**	**-2.67**
	10-20	**-2.03**	**-0.38**	**-4.10**	**-2.99**	+0.13	**-2.73**
	20-40	**-7.55**	**-2.34**	**-7.28**	**-4.62**	0.00	**-8.23**
00NM+cal	0-10	+11.93	+5.90	+19.44	+14.30	+10.40	**-2.67**
	10-20	**-0.91**	**-1.68**	+1.95	+3.25	+7.35	**-2.73**
	20-40	**-4.12**	**-3.00**	**-4.55**	+1.95	+3.90	**-8.26**
NPKM	0-10	+2.03	**-1.78**	+4.49	**-0.65**	**-0.65**	0.00
	10-20	+0.59	**-3.46**	**-1.30**	**-1.11**	+2.80	+1.11
	20-40	**-1.01**	**-6.31**	**-4.55**	**-1.30**	0.00	**-4.55**
NPKM+cal	0-10	+3.00	+16.59	+16.19	+20.80	+11.05	+7.80
	10-20	+0.70	**-0.43**	+4.55	+6.50	+5.40	+4.36
	20-40	**-3.03**	+0.34	-3.25	-0.65	-1.56	**-5.20**

En el caso de los tratamientos encalados, en general los balances en superficie son positivos, especialmente en el caso del tratamiento NPKM+cal sin embargo, los balances relativos se hacen más negativos con la profundidad. En el caso particular del tratamiento 00NM+cal, al final del segundo ciclo

www.bdigital.ula.ve

Atribución - No Comercial - Compartir Igual 3.0 Venezuela (CC BY - NC - SA 3.0 VE)

vemos las condiciones del calcio frente al Testigo se asemeja al estado presentado por el tratamiento 00NM, lo que indica que al pasar los efectos de la cal, capacidad de neutralización del suelo se puede deteriorar rápidamente. Este hecho es puesto en evidencia también a través de los balances en relación al estado inicial del experimento.

En el caso del suelo bajo cultivo de pasto, las cantidades iniciales de calcio cambiable son tres veces más grandes que en el caso del suelo bajo cultivo de maíz. También los valores del $p\mathbf{H}_{KCl}$ son superiores en más de una unidad. Por otro lado, las variaciones más significativas en la evolución del calcio sobre el complejo absorbente se observan más que todo a nivel superficial.

El comportamiento del calcio cambiable es mucho más estable y homogéneo en el caso el tratamiento Testigo, lo que indica que ha habido una alteración en el comportamiento del calcio intercambiable a nivel de la capa superficial del suelo, debido a la presencia del fertilizante. Esto puede apreciarse por el hecho que a medida que bajamos en el perfil del suelo, las diferencias entre los tratamientos desaparece.

Como vimos anteriormente, los valores del $p\mathbf{H}_{KCl}$ para ambos tratamientos durante este mismo período no sufren variaciones importantes sino que por el contrario estos tienden a permanecer más o menos constantes a lo largo de todo el ciclo. De igual forma, sucede algo similar con los valores del $p\mathbf{H}_{agua}$. Este hecho puede concordar con la evolución del calcio cambiable en el tratamiento Testigo, la cual como vimos es bastante constante durante todo el período sin embargo, no sucede lo mismo en el caso del tratamiento de pasto fertilizado. Igualmente ya explicamos anteriormente la inconcordancia del los

www.bdigital.ula.ve

Atribución - No Comercial - Compartir Igual 3.0 Venezuela (CC BY - NC - SA 3.0 VE)

valores del pH_{KCl} y el calcio cambiable durante el primer ciclo. Esta situación puede ser originada por un desequilibrio en los procesos del calcio en el suelo, la cual a su vez a sido provocada por la fertilización nitrogenada sin embargo, es evidente la necesidad de un tercer ciclo de mediciones con el objeto de recolectar más datos de campo que permitan una mejor interpretación de los hechos que hemos constatado.

A nivel de la capa intermedia, al comienzo del primer ciclo, la cantidad de calcio cambiable por kg de suelo para ambos tratamientos es un 40 % más baja que en el caso de la superficie e igualmente, a lo largo de todo el cultivo el nivel de concentración de este calcio es entre 20 y 30 % más bajo.

En la Tabla VII.7 se presentan los balances del calcio intercambiable en $kmol_c\ ha^{-1}$ en relación al estado inicial del experimento, para algunos puntos de muestreo a lo largo de los dos ciclos de cultivo y a las tres profundidades analizadas, para el caso del suelo bajo cultivo de pasto.

www.bdigital.ula.ve

Tabla VII.7.- Balance del calcio intercambiable en relación al estado inicial del experimento, para el caso del suelo bajo cultivo de pasto.

		$kmol_c\ ha^{-1}$					
Tratamiento	**Capa (cm)**	**P1** Ciclo I	**P4** Ciclo I	**P0** Ciclo II	**P1** Ciclo II	**P2** Ciclo II	**P4** Ciclo II
000P	0-10	0.00	+2.20	+4.50	+3.20	+4.50	+3.19
	10-20	0.00	+2.39	+5.72	+4.42	+3.77	+5.07
	20-40	0.00	+2.57	+4.60	+2.65	+2.65	+4.60
00NP	0-10	**-3.43**	**-1.24**	+1.90	**-0.70**	+7.10	+3.85
	10-20	**-0.78**	+0.96	+0.52	+2.47	+6.37	+4.42
	20-40	**-1.05**	+0.56	+0.70	+3.30	+2.65	+4.34

Los balances indican que el calcio intercambiable se incrementa de manera significativa en el caso del tratamiento Testigo ambos ciclos de cultivo,

Atribución - No Comercial - Compartir Igual 3.0 Venezuela (CC BY - NC - SA 3.0 VE)

mientras que el tratamiento fertilizado muestra un incremento similar sólo al final del segundo ciclo. Un resultado similar fue constatado en el caso del suelo bajo cultivo de maíz, donde hay un incremento mayor del calcio intercambiable en el caso del tratamiento Testigo.

Estos resultados indican pues que el suelo tiende a incrementar sus niveles de calcio intercambiable sin embargo, en presencia de urea este incremento se ve seriamente afectado.

En la Figura VII.6 se muestra la Variación Relativa del Calcio intercambiable frente al tratamiento Testigo, para el caso del suelo bajo cultivo de Pasto. Igualmente en Tabla VII.8 se muestra el balance respectivo, en $kmol_c$ ha^{-1} .

Tabla VII.8.- Balance Relativo del calcio intercambiable en relación al tratamiento Testigo, para el caso del suelo bajo cultivo de pasto.

www.bdigital.ula.ve

		$kmol_c$ ha^{-1}					
Tratamiento	**Capa**	**P1**	**P4**	**P0**	**P1**	**P2**	**P4**
	(cm)	Ciclo I	Ciclo I	Ciclo II	Ciclo II	Ciclo II	Ciclo II
00NP	0-10	**-3.43**	**-3.43**	**-2.60**	**-3.90**	+2.60	+0.65
	10-20	**-0.78**	**-1.43**	**-5.20**	**-1.95**	+2.60	**-0.65**
	20-40	**-1.05**	**-2.02**	**-3.90**	+0.65	0.00	0.00

En general, los niveles de calcio intercambiable, en el caso del tratamiento fertilizado son inferiores al tratamiento Testigo, durante todo el primer ciclo, el período intercultivo y comienzos del segundo ciclo, especialmente en superficie.

Los tratamientos no encalados bajo cultivo de maíz también presentan balances relativos negativos, pero más marcados, especialmente a nivel de la capa superficial.

Atribución - No Comercial - Compartir Igual 3.0 Venezuela (CC BY - NC - SA 3.0 VE)

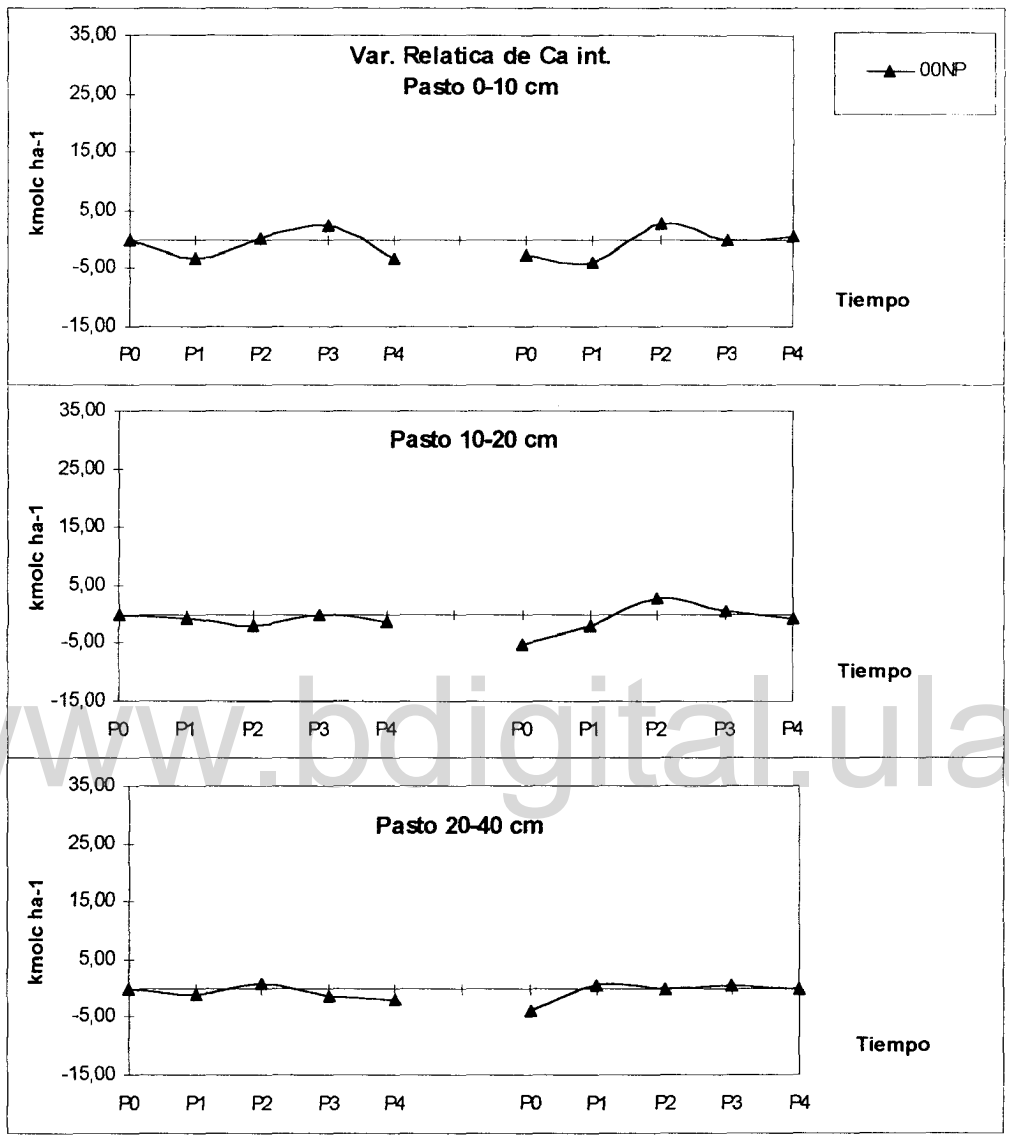


Figura VII.6.- Variación relativa del calcio intercambiable, para el caso del suelo bajo cultivo de pasto.

www.bdigital.ula.ve

Atribución - No Comercial - Compartir Igual 3.0 Venezuela (CC BY - NC - SA 3.0 VE)

Por otro lado, la recuperación del calcio intercambiable al final del segundo ciclo también se pone en evidencia en la comparación con el tratamiento Testigo ya que las diferencias entre los dos tratamientos dejan de ser significativas para ese momento.

VII.1.3.- Relación entre el calcio soluble e intercambiable.

Tal como hemos visto anteriormente, el calcio juega un papel importante en la capacidad que tiene el suelo para neutralizar los aportes ácidos. Por lo tanto es interesante ver la posibilidad de utilizar la relación que existe entre el calcio soluble y el calcio intercambiable para el seguimiento del proceso de lavado del calcio y por ende a la acidificación producida por la urea.

En las Figura VII.7a y VII.7b se muestra de manera comparativa la variación del índice para el caso del suelo bajo cultivo de maíz y pasto respectivamente, a las tres profundidades descritas.

www.bdigital.ula.ve

Vemos que, en el caso del suelo bajo cultivo de maíz, la relación indica que la solución del suelo es más rica en calcio a medida que descendemos en el perfil del suelo, especialmente en el caso del tratamiento 00NM, lo que indica que el calcio soluble se ha perdido por una lixiviación y la urea a favorecido este proceso. Durante el segundo ciclo, los resultados muestran que se ha restablecido un equilibrio entre las dos formas del calcio.

En el caso del suelo bajo cultivo de pasto, el valor de la relación al inicio del experimento es más alto que para el caso del suelo bajo cultivo de maíz sin embargo, hay un comportamiento similar en ambos tratamientos. El valor de la relación disminuye rápidamente a nivel de las tres profundidades analizadas, lo que indica que el pasto no es lixiviado sino consumido por el pasto.

Atribución - No Comercial - Compartir Igual 3.0 Venezuela (CC BY - NC - SA 3.0 VE)

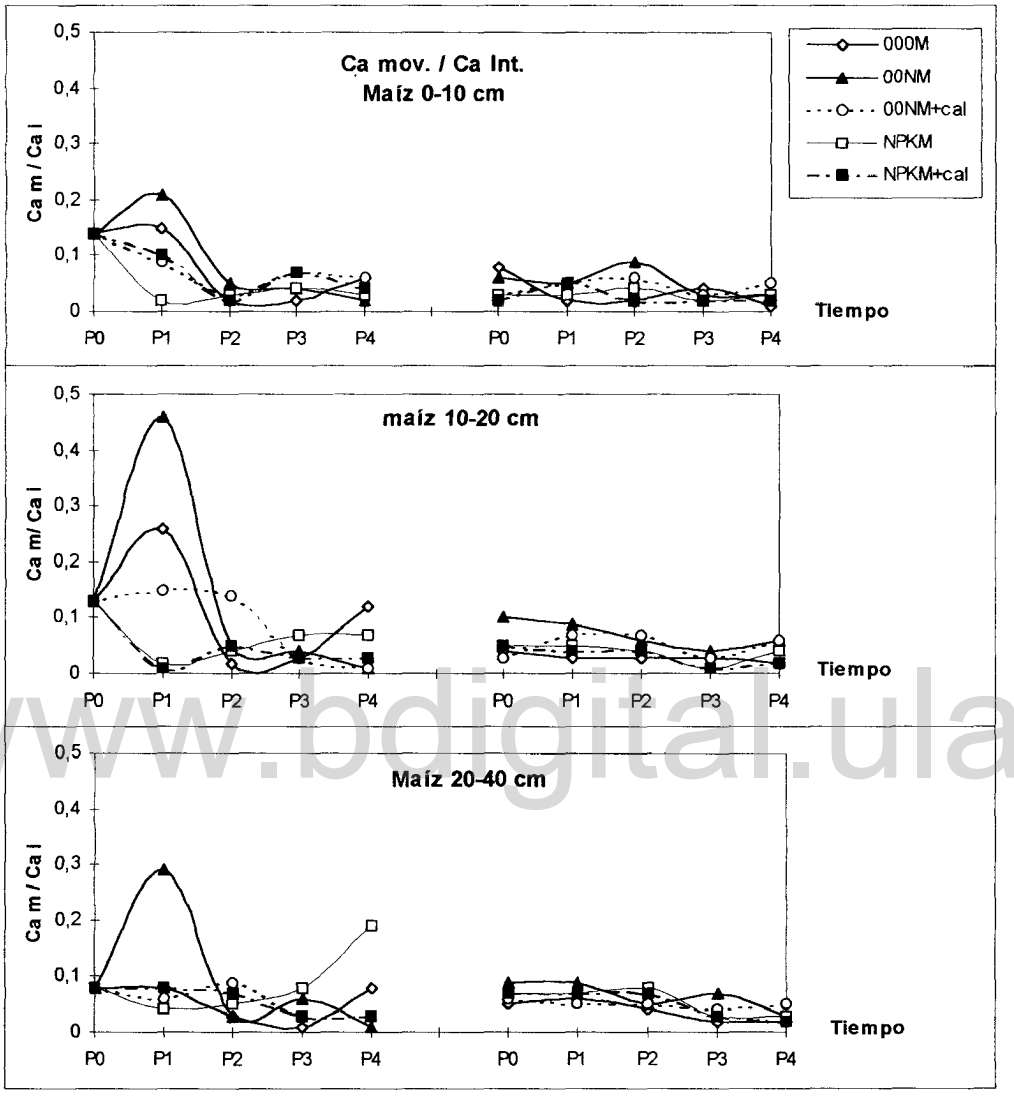


Figura VII.7a.- Relación entre el calcio soluble e intercambiable, para el caso del suelo bajo cultivo de maíz.

www.bdigital.ula.ve

Atribución - No Comercial - Compartir Igual 3.0 Venezuela (CC BY - NC - SA 3.0 VE)

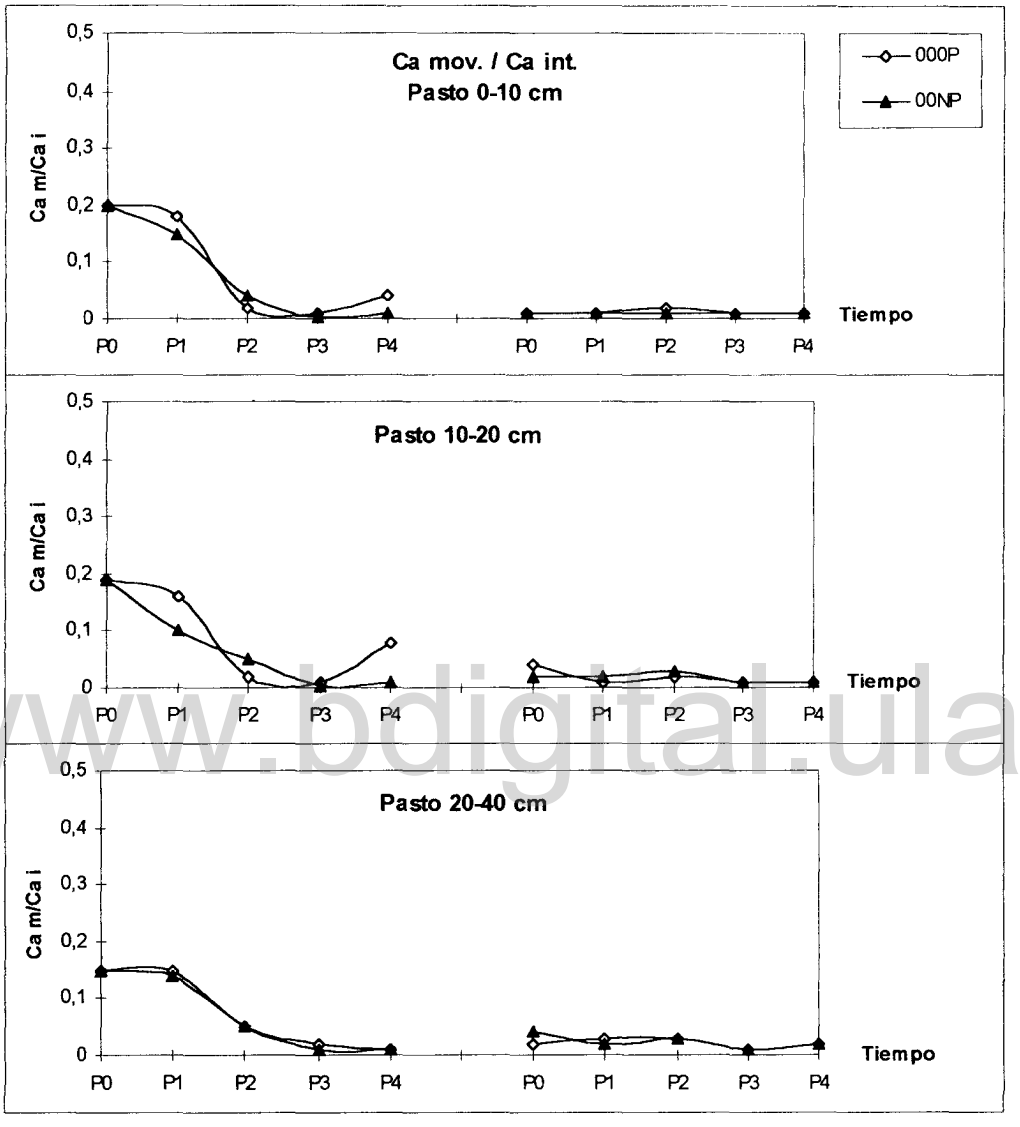


Figura VII.7b.- Relación entre el calcio soluble e intercambiable, para el caso del suelo bajo cultivo de pasto.

www.bdigital.ula.ve

Atribución - No Comercial - Compartir Igual 3.0 Venezuela (CC BY - NC - SA 3.0 VE)

Al igual que en el caso del suelo bajo cultivo de maíz, durante el segundo ciclo, se ha restablecido un equilibrio entre las dos formas de calcio, por lo que los cambios más importantes en los valores de la relación se han producido durante el primer ciclo, pero la respuesta del índice a la primera fertilización varía según el tratamiento. Así, la fertilización con urea favorece la solubilización del calcio, mientras que la fertilización con superfosfato la inhibe de manera sensible.

VI.1.4.- Relación entre calcio y aluminio intercambiables.

Debido a la relación que debe existir entre el calcio y el aluminio en fase intercambiable, también es interesante ver la posibilidad de utilizar la relación que existe entre estos elementos como índice para el seguimiento y cuantificación del proceso de acidificación producido por la urea.

www.bdigital.ula.ve

En las Figura VII.8a y VII.8b se muestra de manera comparativa la variación del índice para el caso del suelo bajo cultivo de maíz y pasto respectivamente.

En el caso del suelo bajo cultivo de maíz, vemos que de manera general el índice es más alto en el caso del tratamiento 00NM, pero sus variaciones en las capas inferiores son más difíciles de interpretar. A nivel de la capa superficial, la relación responde a la primera fertilización ya que al máximo de mineralización hay un incremento en la cantidad de calcio y una disminución en la cantidad de aluminio, por lo que el valor de la relación disminuye, pero la fertilización con urea favorece el crecimiento del índice debido justamente a un incremento sostenido en la cantidad de aluminio y la disminución de la cantidad de calcio, durante el resto del período.

Atribución - No Comercial - Compartir Igual 3.0 Venezuela (CC BY - NC - SA 3.0 VE)

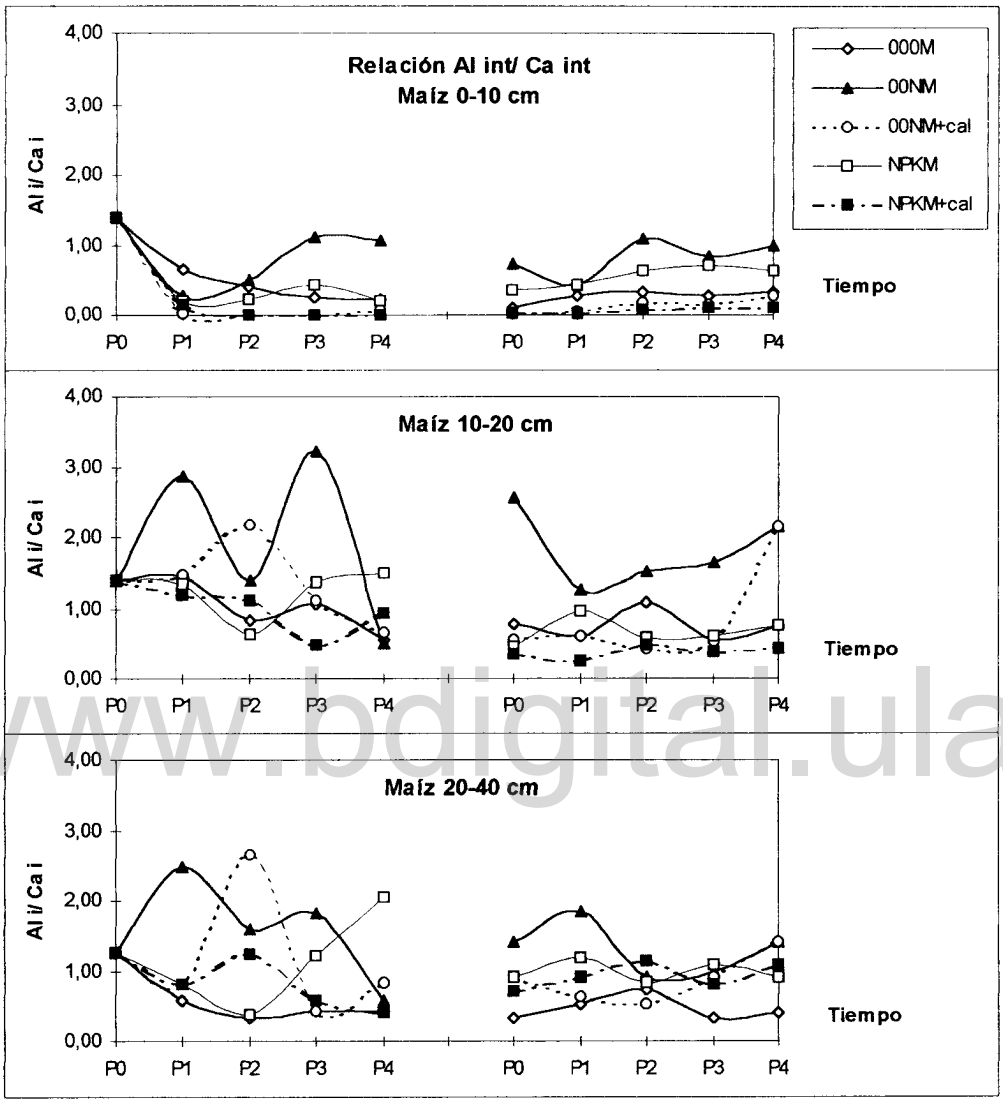


Figura VII.8a.- Variación de la relación entre el aluminio y el calcio intercambiables, para el caso del suelo bajo cultivo de maíz.

www.bdigital.ula.ve

Atribución - No Comercial - Compartir Igual 3.0 Venezuela (CC BY - NC - SA 3.0 VE)

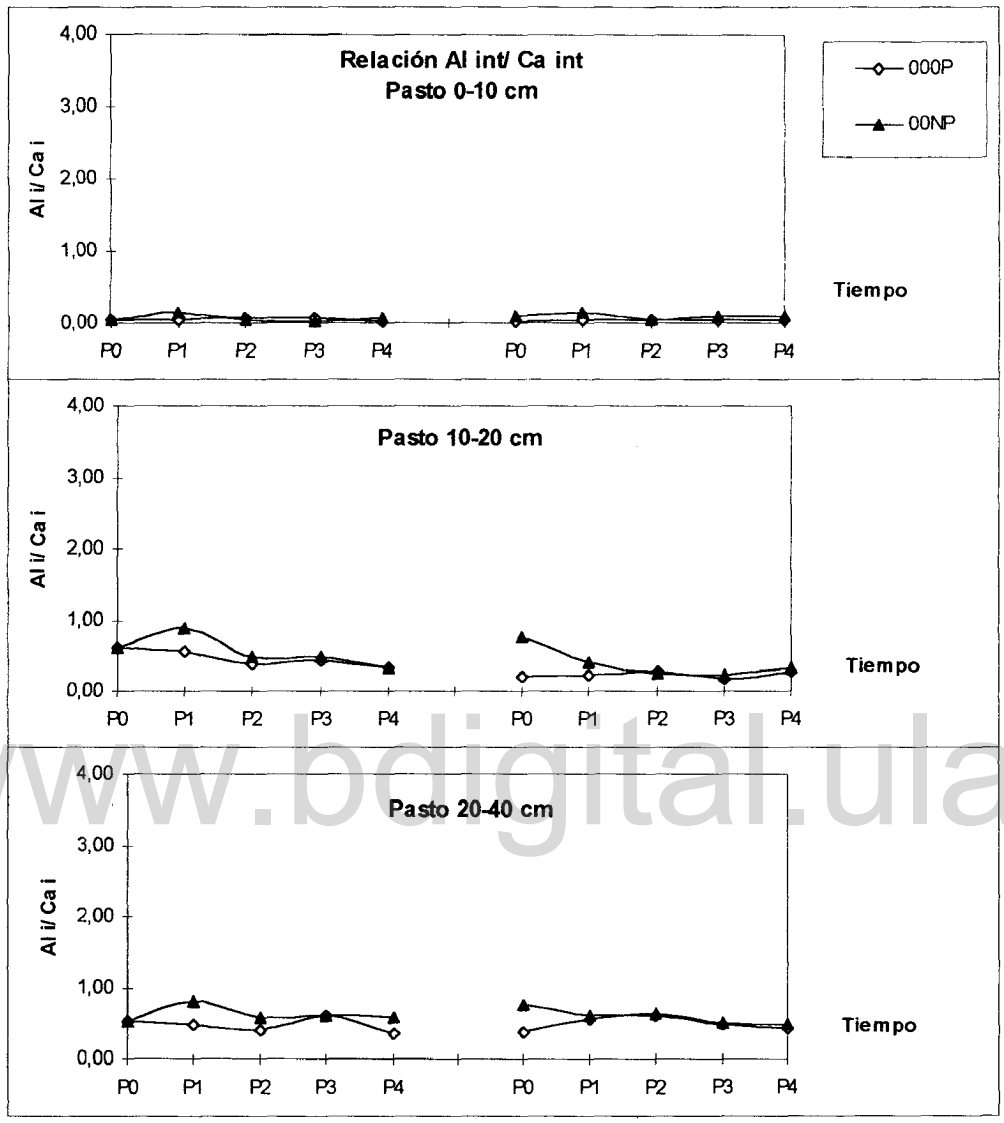


Figura VII.8b.- Variación de la relación entre el aluminio y el calcio intercambiables, para el caso del suelo bajo cultivo de pasto.

www.bdigital.ula.ve

Atribución - No Comercial - Compartir Igual 3.0 Venezuela (CC BY - NC - SA 3.0 VE)

Por otro lado, de manera general, a lo largo de ambos ciclos hay una disminución de los valores del índice en superficie sin embargo, esta disminución es menos acentuada en el caso del tratamiento 00NM. En efecto, vemos que el valor del índice al final de cada período es mayor para la fertilización con urea, lo que indica un mayor impacto sobre la capacidad de neutralización del suelo. El efecto de la fertilización con urea se ve igualmente en el caso del tratamiento NPKM, donde al segundo ciclo sólo se aplicó la urea y esto hizo que haya una pequeña recuperación sostenida del índice a lo largo del ciclo, pero de menor magnitud que en el caso del tratamiento 00NM.

A diferencia de estos tratamientos, los valores del índice correspondientes a los tratamientos encalados disminuyen drásticamente durante el primer ciclo debido a la aplicación de la cal y se mantienen inclusive por debajo de los valores correspondientes al testigo durante el segundo ciclo. Los valores más bajos del índice los presenta el tratamiento NPKM+cal, al menos en las dos primeras capas y el mismo presenta una gran estabilidad durante el segundo período. Todo esto indica que la aplicación de la urea conjuntamente con el superfosfato y la cal a logrado bajar los niveles de aluminio por debajo de la toxicidad a mayor profundidad y durante mucho mas tiempo que el resto de los tratamientos.

A nivel de las capas inferiores, vemos que en el caso del tratamiento 00NM, al final del experimento, los valores del índice han sufrido un incremento en relación al estado inicial, especialmente en la capa intermedia Lo que puede indicar un incremento en los niveles de acidez en profundidad y como habíamos mencionado anteriormente, la corrección de la acidez en profundidad es un problema difícil de resolver.

www.bdigital.ula.ve

Atribución - No Comercial - Compartir Igual 3.0 Venezuela (CC BY - NC - SA 3.0 VE)

En el caso del suelo bajo cultivo de pasto, el índice es bastante constante a lo largo de los dos ciclos de cultivo. De manera general, los valores del índice para ambos tratamientos son similares y tienden a ser más altos a medida que descendemos en el perfil del suelo, mientras que en superficie estos valores son un orden de magnitud menor que en el caso del suelo bajo cultivo de maíz. Esto es así debido a que los niveles de calcio intercambiable son mayores en el caso del suelo bajo pasto, pero sólo en superficie.

Estos resultados muestran que el índice responde a la fertilización nitrogenada pero más que todo a nivel superficial y que esta respuesta depende del tipo de fertilización utilizada. En las capas inferiores, las variaciones del índice no dependen únicamente de la fertilización nitrogenada, por lo tanto no pueden servir a una evaluación del proceso de la acidificación en las mismas.

www.bdigital.ula.ve

VI.1.5.- Conclusión.

El calcio pasa de la posición intercambiable a la solución del suelo para ser absorbido por la planta. Esta primera hipótesis esta comprobada por las variaciones del Ca soluble que bajo pasto no está lixiviado sino solamente absorbido por el pasto cuyo crecimiento esta activado por el aporte de nitrógeno.

El calcio es lixiviado hacia el subsuelo cuando la planta no lo puede absorber lo que es el caso del maíz recién sembrado. Esta lixiviación esta activada por el aporte de urea y frenada por la presencia del anión fosfato.

El calcio no esta cuantitativamente sustituido por el aluminio lo que se traduciría por una disminución continua del índice Ca/Al. La constancia del

Atribución - No Comercial - Compartir Igual 3.0 Venezuela (CC BY - NC - SA 3.0 VE)

índice demuestra que el KCl disuelve los carbonatos y los hidróxidos y no intercambia solamente elementos en estado iónico.

Las cantidades de Ca en juego son mucho mas grandes que las de nitrógeno introducido por la urea y más aún que los nitratos. Por lo tanto es probable que la movilización del calcio se realice más como bicarbonato que como nitratos ya que los otros aniones no pueden equilibrar tales cantidades de calcio.

www.bdigital.ula.ve

Atribución - No Comercial - Compartir Igual 3.0 Venezuela (CC BY - NC - SA 3.0 VE)

VII.2.- Evolución del magnesio.

Hipótesis de trabajo.

Para el caso del magnesio las hipótesis de trabajo planteadas son las mismas que para el calcio con la salvedad que el magnesio es menos soluble.

VII.2.1.- Magnesio soluble.

La influencia de los diferentes tratamientos sobre el comportamiento del magnesio soluble, se muestra en las Figuras VII.9a y 9b para el caso del suelo bajo cultivo de maíz y de pasto respectivamente. Estos datos están sujetos a una desviación estándar y un coeficiente de variación de 0,68 $\mu g\ g_{ss}^{-1}$ y 75 % para la capa superficial, 0,64 $\mu g\ g_{ss}^{-1}$ y 71 % para la capa intermedia y de 0,39 $\mu g\ g_{ss}^{-1}$ y 39 % para la capa profunda respectivamente

www.bdigital.ula.ve

En el caso del suelo bajo cultivo de maíz, una de las características más resaltantes del magnesio soluble es que presenta, a nivel de superficie, un comportamiento muy parecido al del calcio soluble sin embargo, sus niveles de concentración pueden ser hasta 20 veces mas bajos que en el caso de este último.

En este sentido, la mineralización de la urea favorece la solubilización del magnesio, tal como se observa en la primera mitad del segundo ciclo, donde una cantidad apreciable de magnesio residual del encalado es solubilizado. Por otro lado, la presencia de iones fosfato la impide y este magnesio no solubilizado es lavado hacia las capas más profundas, lo que también está relacionado con el proceso de acidificación.

Atribución - No Comercial - Compartir Igual 3.0 Venezuela (CC BY - NC - SA 3.0 VE)

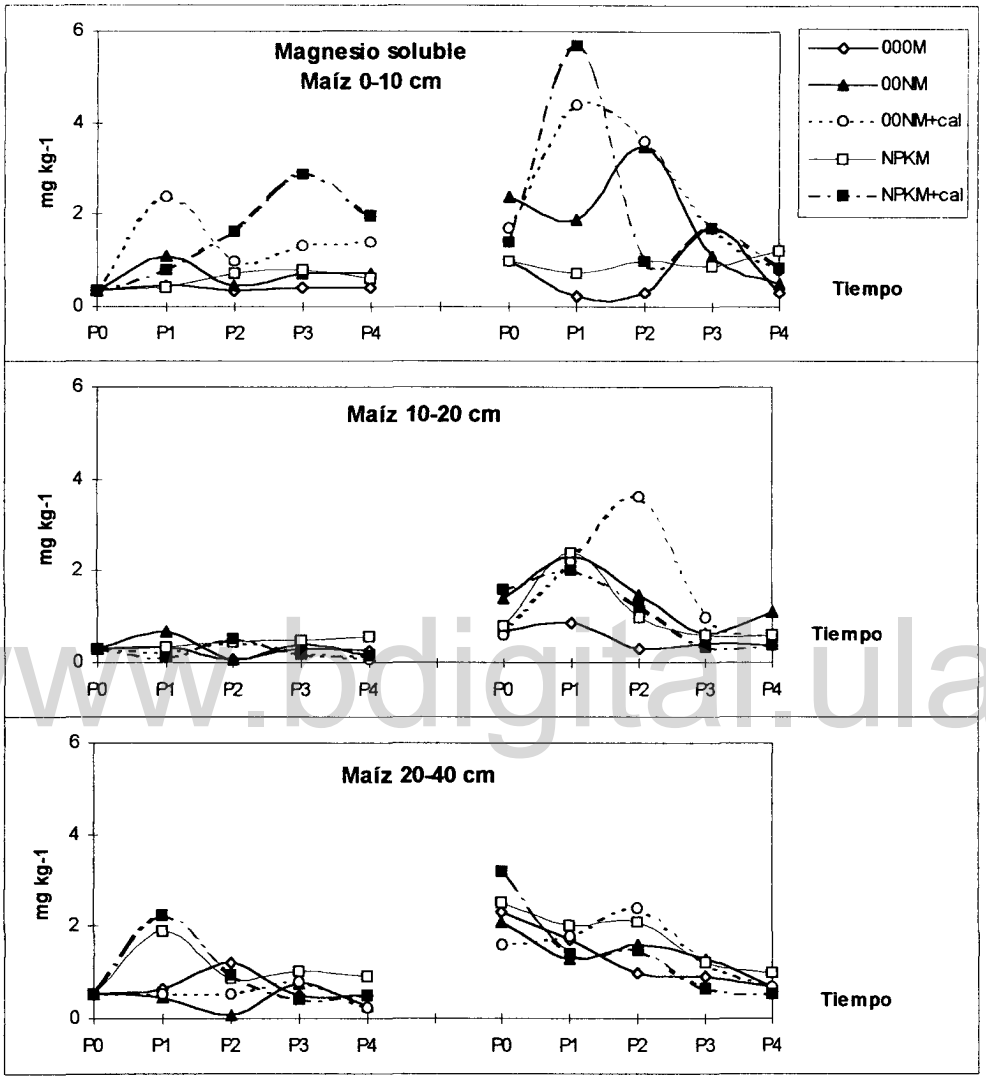


Figura VII.9a.- Variación del magnesio soluble, para el caso del suelo bajo cultivo de maíz.

www.bdigital.ula.ve

Atribución - No Comercial - Compartir Igual 3.0 Venezuela (CC BY - NC - SA 3.0 VE)

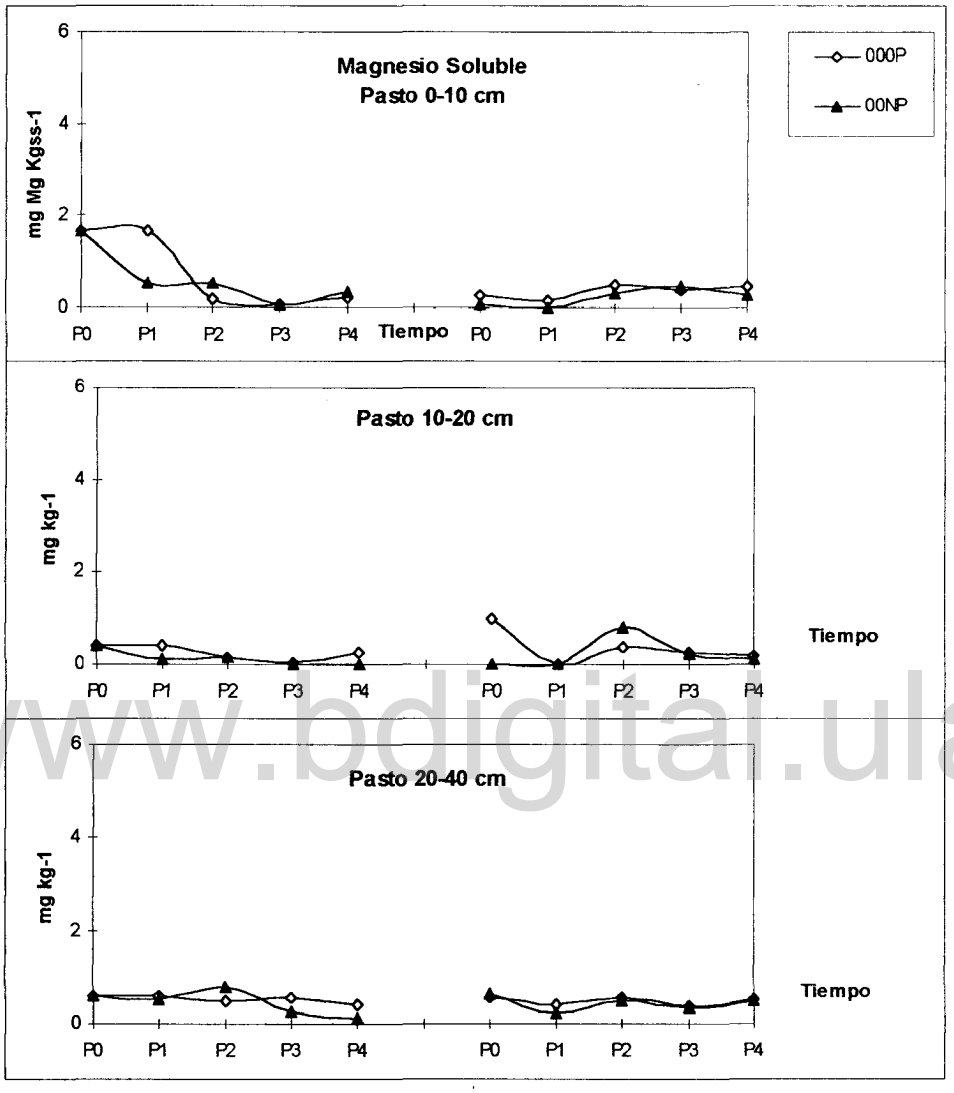


Figura VII.9b.- Variación del magnesio soluble, para el caso del suelo bajo cultivo de pasto.

www.bdigital.ula.ve

Atribución - No Comercial - Compartir Igual 3.0 Venezuela (CC BY - NC - SA 3.0 VE)

En el caso de los tratamientos encalados, tal como explicábamos anteriormente, la cal aportada al suelo es del tipo dolomítica que puede contener hasta un 11 % de magnesio, por tal motivo, las cantidades de magnesio soluble movilizadas son mayores en estos tratamientos sin embargo, el encalado no tiene un efecto apreciable sobre los niveles del magnesio soluble por debajo de los 10 cm.

A nivel de la capa intermedia, los niveles de magnesio soluble son entre 30 y 40 % más bajo que en el caso de la capa superficial durante el primer ciclo y la concentración tiende a permanecer más o menos constantes a lo largo de todo el período. Por el contrario, en profundidad hay una mayor actividad del magnesio soluble y al inicio del ciclo, la concentración del magnesio soluble es un 65 % mayor que en las capas superiores, lo que puede indicar que el magnesio fue lavado con facilidad.

www.bdigital.ula.ve

A nivel de la capa profunda, uno de los aspectos más resaltantes es que la concentración del magnesio soluble se incrementa considerable durante el período intercultivo en todos los casos, lo que indica que hay un proceso de lavado durante este período o fue lavado durante las primeras lluvias antes del inicio del segundo ciclo. igualmente existe una tendencia general hacia la disminución progresiva en la concentración del magnesio a medida que avanza el cultivo, lo que puede indicar que hay un proceso de lixiviación hacia las capas más profundas del suelo.

En la Tabla VII.9 se presentan los balances del magnesio soluble en $kmol_c\ ha^{-1}$ en relación al estado inicial del experimento, para el caso del suelo bajo cultivo de maíz. Según el estudio de variabilidad, una diferencia comienza a ser significativa cuando es igual o mayor que 0,07 kmol para el caso de las

Atribución - No Comercial - Compartir Igual 3.0 Venezuela (CC BY - NC - SA 3.0 VE)

dos primeras capas analizadas e igual o mayor que 0,04 kmol para el caso de la capa profunda.

Tabla VII.9.- Balance del magnesio soluble en relación al estado inicial del experimento, para el caso del suelo bajo cultivo de maíz.

				kmol$_c$ ha^{-1}			
Tratamiento	**Capa (cm)**	**P1** Ciclo I	**P4** Ciclo I	**P0** Ciclo II	**P1** Ciclo II	**P2** Ciclo II	**P4** Ciclo II
000M	0-10	+0.01	+0.01	+0.07	**-0.02**	**-0.01**	**-0.01**
	10-20	+0.01	0.00	+0.04	+0.06	0.00	+0.01
	20-40	+0.01	0.00	+0.19	+0.12	+0.05	+0.02
00NM	0-10	+0.08	+0.04	+0.22	+0.16	+0.34	+0.02
	10-20	+0.04	**-0.02**	+0.12	+0.21	+0.13	+0.09
	20-40	**-0.01**	**-0.03**	+0.17	+0.08	+0.11	+0.04
00NM+cal	0-10	+0.22	+0.11	+0.14	+0.43	+0.35	+0.05
	10-20	**-0.01**	**-0.03**	+0.03	+0.20	+0.35	+0.03
	20-40	0.00	**-0.04**	+0.11	+0.13	+0.20	+0.02
NPKM	0-10	+0.01	+0.03	+0.07	+0.04	+0.07	+0.09
	10-20	0.00	+0.03	+0.05	+0.22	+0.07	+0.05
	20-40	+0.14	+0.04	+0.21	+0.16	+0.17	+0.05
NPKM+cal	0-10	+0.04	+0.17	+0.11	+0.57	+0.07	+0.05
	10-20	**-0.02**	**-0.02**	+0.14	+0.18	+0.09	+0.01
	20-40	+0.18	-0.01	+0.28	+0.09	0.10	0.00

Estos balances muestran de manera general que en superficie, los incrementos de magnesio soluble no son significativos, salvo en el caso de los tratamientos encalados. Por el contrario, los balances a nivel de las capas inferiores muestran incrementos importantes de magnesio soluble, lo que demuestra que este calcio soluble es lixiviado, especialmente con las precipitaciones fuertes.

www.bdigital.ula.ve

Atribución - No Comercial - Compartir Igual 3.0 Venezuela (CC BY - NC - SA 3.0 VE)

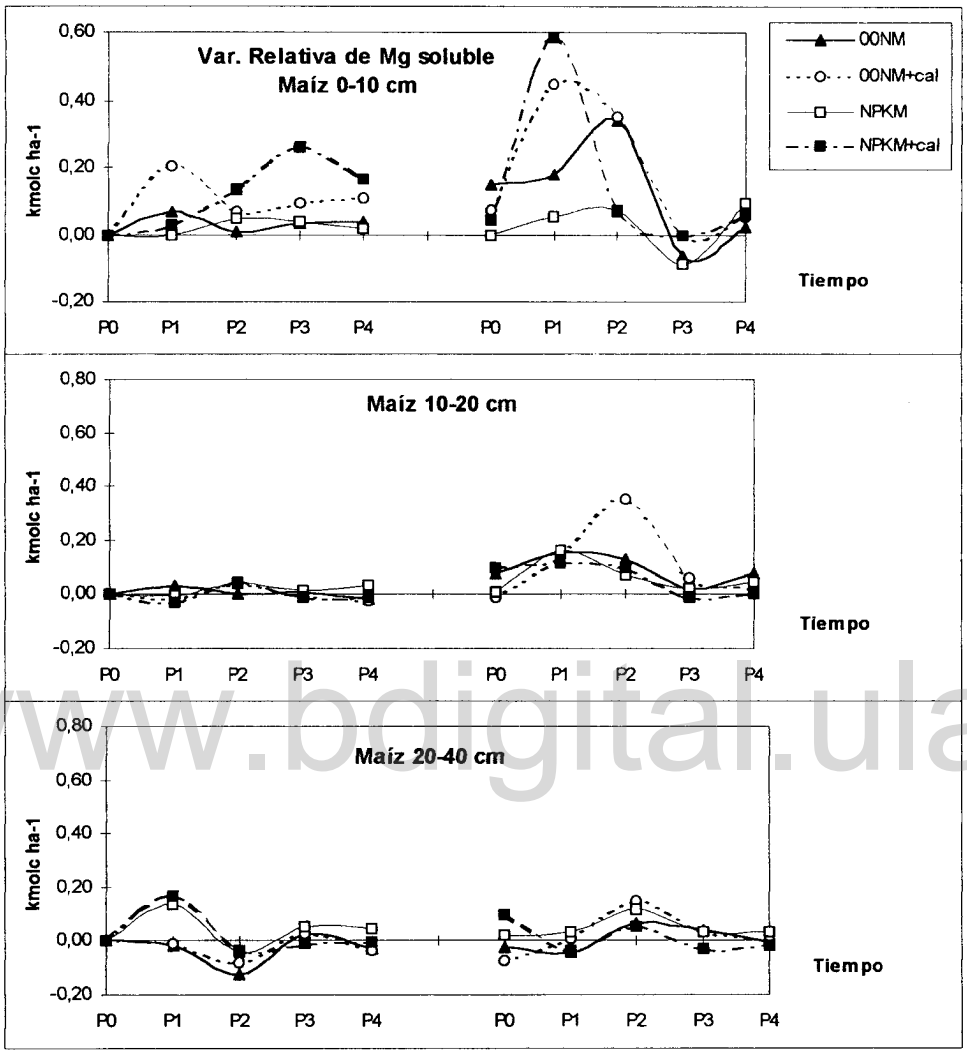


Figura VII.10.- Variación relativa del magnesio soluble, para el caso del suelo bajo cultivo de maíz.

www.bdigital.ula.ve

Atribución - No Comercial - Compartir Igual 3.0 Venezuela (CC BY - NC - SA 3.0 VE)

En la Figura VII.10 se muestra la Variación Relativa del magnesio soluble frente al tratamiento Testigo, para el caso del suelo bajo cultivo de maíz. Igualmente en Tabla VII.10 se muestran los balances relativos respectivos, en $kmol_c\ ha^{-1}$.

Las diferencias más marcadas con el tratamiento Testigo se presentan a nivel de superficie, especialmente en el caso de los tratamientos encalados sin embargo, estas diferencias desaparecen al final del segundo ciclo debido a la pérdida gradual del magnesio soluble en los tratamientos fertilizados.

Tabla VII.10.- Balance Relativo del magnesio soluble en relación al tratamiento Testigo, para el caso del suelo bajo cultivo de maíz.

		$kmol_c\ ha^{-1}$					
Tratamiento	**Capa (cm)**	**P1** Ciclo I	**P4** Ciclo I	**P0** Ciclo II	**P1** Ciclo II	**P2** Ciclo II	**P4** Ciclo II
00NM	0-10	+0.07	+0.04	+0.15	+0.18	+0.34	+0.02
	10-20	+0.04	**-0.01**	+0.08	+0.15	+0.13	+0.08
	20-40	**-0.02**	**-0.03**	**-0.02**	**-0.04**	+0.07	0.00
00NM+cal	0-10	+0.21	+0.11	+0.08	+0.45	+0.35	+0.05
	10-20	**-0.02**	**-0.02**	**-0.01**	+0.14	+0.35	+0.02
	20-40	**-0.01**	**-0.03**	**-0.08**	+0.01	+0.15	0.00
NPKM	0-10	0.00	+0.02	0.00	+0.06	+0.07	+0.10
	10-20	0.00	+0.03	+0.01	+0.16	+0.07	+0.05
	20-40	+0.13	+0.04	+0.02	+0.03	+0.12	+0.03
NPKM+cal	0-10	+0.03	+0.17	+0.04	+0.59	+0.07	+0.06
	10-20	**-0.03**	**-0.01**	+0.10	+0.12	+0.10	0.00
	20-40	+0.17	0.00	+0.10	-0.03	+0.05	**-0.02**

En el caso del suelo bajo cultivo de pasto, el magnesio soluble presenta un comportamiento similar al caso del calcio soluble sin embargo, su concentración inicial es un orden de magnitud mas baja que la de este último.

www.bdigital.ula.ve

Atribución - No Comercial - Compartir Igual 3.0 Venezuela (CC BY - NC - SA 3.0 VE)

Por otro lado, la concentración inicial del magnesio soluble en el suelo bajo pasto es entre cuatro y cinco veces mas grande que en el caso del suelo bajo cultivo de maíz. A nivel de la capa inferiores, la cantidad de magnesio soluble presente inicialmente es cuatro veces mas pequeña que en el caso de la capa superficial y esta tiende a permanecer más o menos constante a lo largo de ambos ciclos de cultivo.

En la Tabla VII.11 se presentan los balances del magnesio soluble en $kmol_c\ ha^{-1}$ en relación al estado inicial del experimento, para el caso del suelo bajo cultivo de pasto. Para este caso se aplican los mismos niveles de significancia que en el caso del maíz.

Tabla VII.11.- Balance del magnesio soluble en relación al estado inicial del experimento, para el caso del suelo bajo cultivo de pasto.

www.bdigital.ula.ve

$kmol_c\ ha^{-1}$

Tratamiento	**Capa (cm)**	**P1** Ciclo I	**P4** Ciclo I	**P0** Ciclo II	**P1** Ciclo II	**P2** Ciclo II	**P4** Ciclo II
000P	0-10	**-0.01**	**-0.16**	**-0.15**	**-0.16**	**-0.13**	**-0.13**
	10-20	0.00	**-0.02**	+0.06	0.00	0.00	**-0.03**
	20-40	0.00	**-0.02**	**-0.01**	**-0.02**	**-0.01**	**-0.01**
00NP	0-10	**-0.12**	**-0.14**	**-0.17**	**-0.18**	**-0.15**	**-0.15**
	10-20	**-0.03**	**-0.04**	**-0.04**	**-0.04**	+0.04	**-0.03**
	20-40	**-0.01**	**-0.05**	0.00	**-0.04**	**-0.01**	**-0.01**

Estos balances muestran pérdidas significativas en superficie, mientras que a nivel de las capas inferiores, en general los balances no son significativos. Esto muestra que estas pérdidas se deben principalmente al consumo del pasto y que la lixiviación del magnesio bajo pasto no es apreciable. Un resultado similar se obtuvo para el caso del calcio soluble.

Atribución - No Comercial - Compartir Igual 3.0 Venezuela (CC BY - NC - SA 3.0 VE)

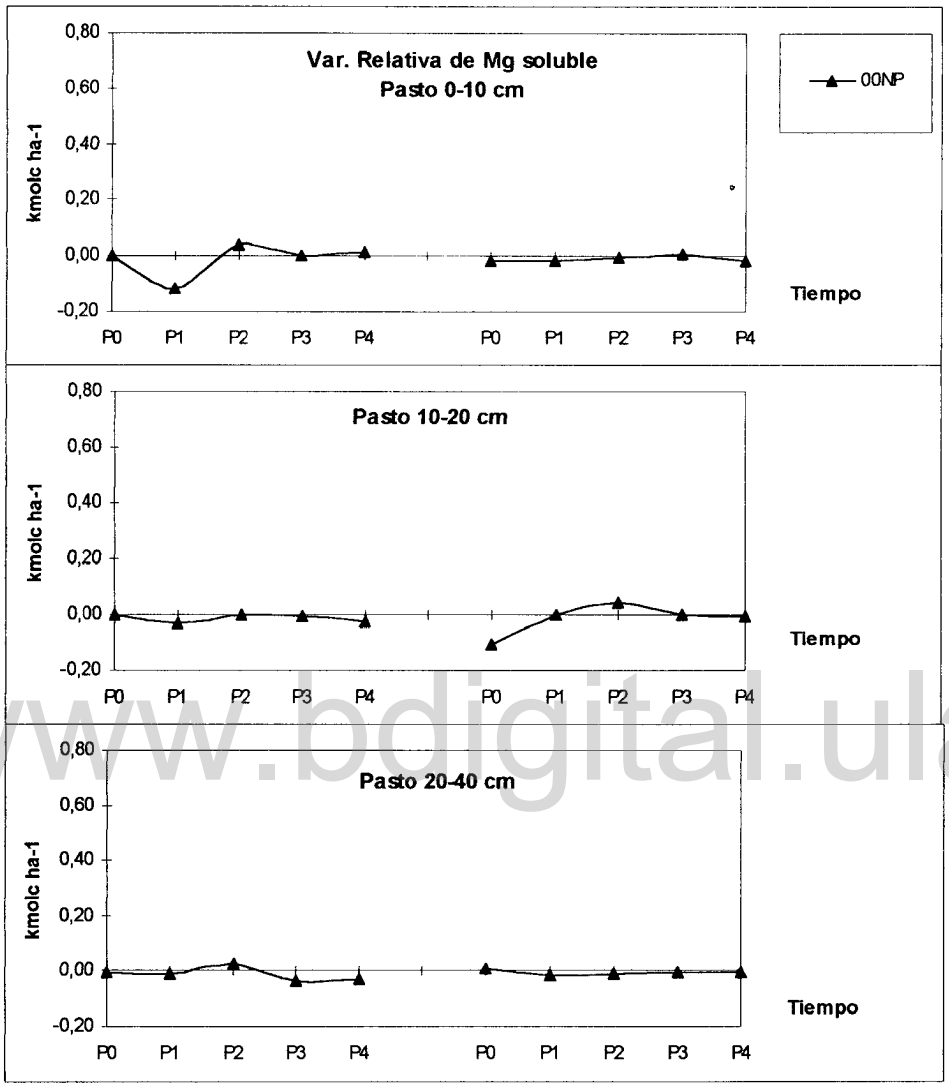


Figura VII.11.- Variación relativa del magnesio soluble, para el caso del suelo bajo cultivo de pasto.

www.bdigital.ula.ve

Atribución - No Comercial - Compartir Igual 3.0 Venezuela (CC BY - NC - SA 3.0 VE)

En la Figura VII.11 se muestra la Variación Relativa del Magnesio soluble frente al tratamiento Testigo, para el caso del suelo bajo cultivo de Pasto y en Tabla VII.12 se muestra el balance relativo respectivo en $kmol_c\ ha^{-1}$.

Estos resultados muestran que las diferencias intercultivos son bastante pequeñas, a excepción del punto uno de muestreo en el primer ciclo donde el tratamiento fertilizado registra 0,11 kmol por debajo del valor correspondiente al Testigo respectivo. Este balance negativo es producto de un mayor consumo de magnesio producido por el fertilizante.

Tabla VI.12.- Balance Relativo del magnesio soluble en relación al tratamiento Testigo a diferentes puntos de los dos ciclos de cultivo, para el caso del suelo bajo cultivo de pasto.

				$kmol_c\ ha^{-1}$			
Tratamiento	**Capa (cm)**	**P1** Ciclo I	**P4** Ciclo I	**P0** Ciclo II	**P1** Ciclo II	**P2** Ciclo II	**P4** Ciclo II
00NP	0-10	**-0.12**	+0.02	**-0.02**	**-0.02**	0.00	**-0.02**
	10-20	**-0.03**	**-0.03**	**-0.11**	0.00	+0.04	**-0.01**
	20-40	**-0.01**	**-0.03**	+0.01	**-0.02**	-0.01	0.00

www.bdigital.ula.ve

VII.2.2.- Magnesio intercambiable.

La influencia de los diferentes tratamientos sobre el comportamiento del magnesio intercambiable se muestra en las Figuras VII.12a y 12b para el caso del suelo bajo cultivo de maíz y pasto respectivamente. Estos datos están sujetos a una desviación estándar y un coeficiente de variación de 14,08 $\mu g\ g_{ss}^{-1}$ y 32 % para la capa superficial, 14,05 $\mu g\ g_{ss}^{-1}$ y 50 % para la capa intermedia y de 12.45 $\mu g\ g_{ss}^{-1}$ y 41 % para la capa profunda respectivamente.

Atribución - No Comercial - Compartir Igual 3.0 Venezuela (CC BY - NC - SA 3.0 VE)

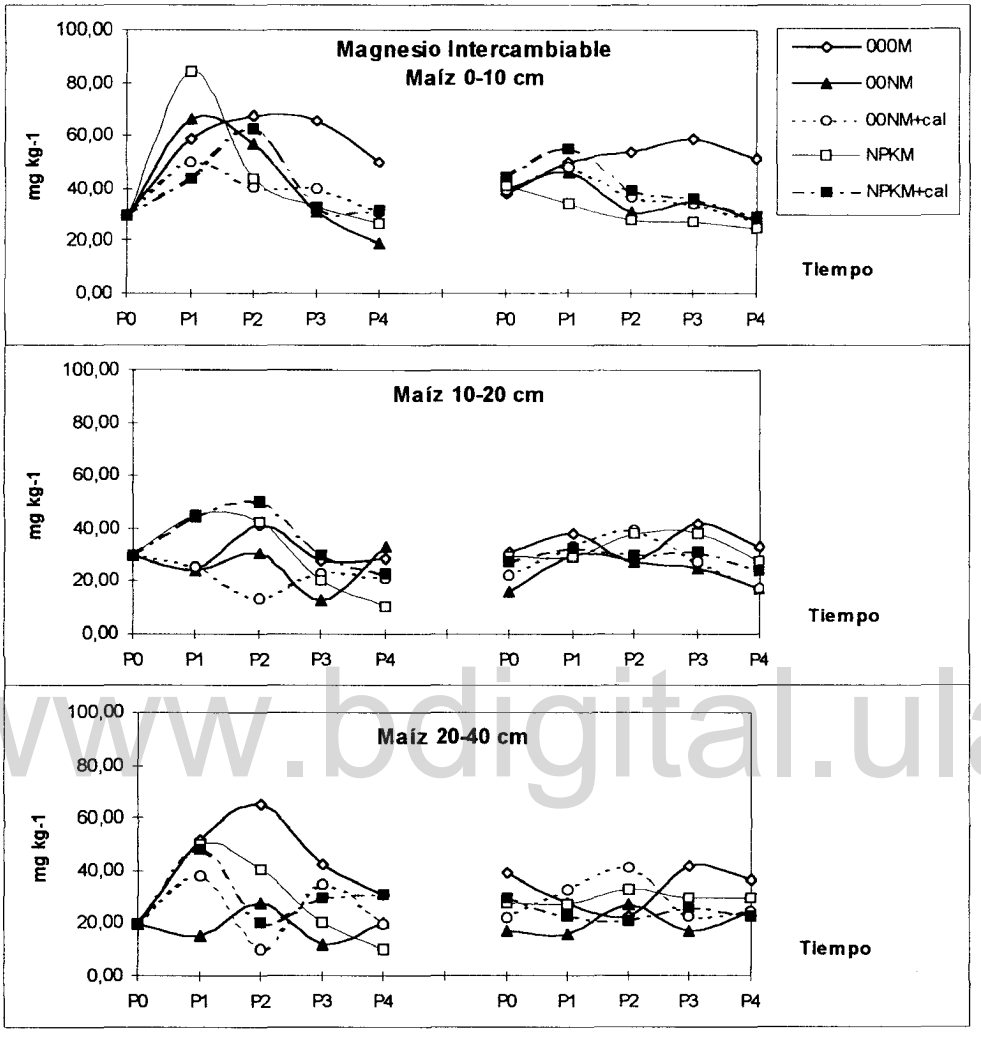


Figura VII.12a.- Variación del magnesio intercambiable, para el caso del suelo bajo cultivo de maíz.

www.bdigital.ula.ve

Atribución - No Comercial - Compartir Igual 3.0 Venezuela (CC BY - NC - SA 3.0 VE)

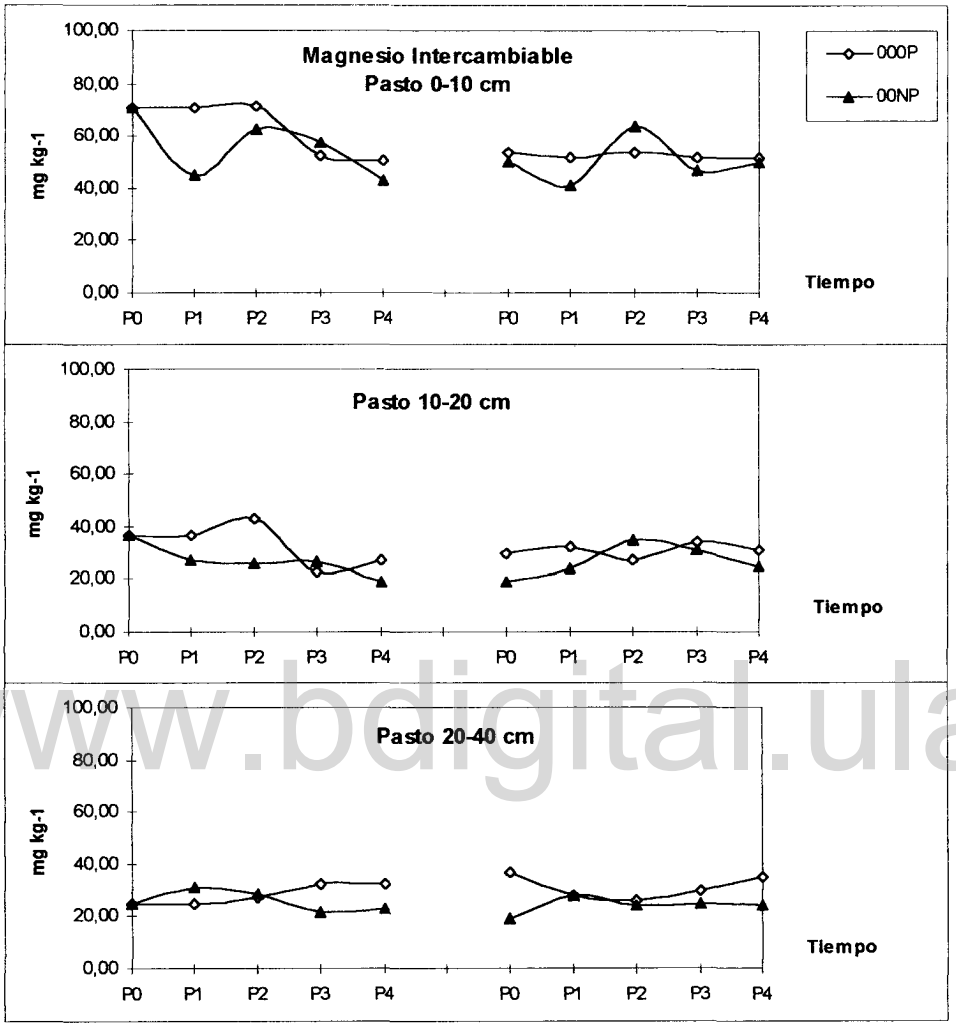


Figura VII.12b.- Variación del magnesio intercambiable, para el caso del suelo bajo cultivo de pasto.

www.bdigital.ula.ve

Atribución - No Comercial - Compartir Igual 3.0 Venezuela (CC BY - NC - SA 3.0 VE)

Para el caso del suelo bajo cultivo de maíz las concentraciones del magnesio intercambiable pueden ser hasta dos órdenes de magnitud mayor que en el caso del magnesio soluble sin embargo, la cantidad de magnesio intercambiable puede ser hasta tres veces más pequeña que la de calcio intercambiable.

En general, las mayores variaciones en la evolución del magnesio intercambiable tienen lugar durante el primer ciclo de cultivo, a todo lo largo del perfil del suelo. A nivel de la capa superficial se nota un crecimiento importante del magnesio intercambiable a principios del ciclo sin embargo, en el caso del tratamiento Testigo este crecimiento se mantiene a lo largo de ambos ciclos de cultivo. Este resultado es importante en el sentido que el calcio intercambiable tiene un comportamiento similar, lo que le da más firmeza a la idea de la fertilización interrumpida y los efectos residuales de las fertilizaciones anteriores.

www.bdigital.ula.ve

A nivel de la capa profunda, la cantidad inicialmente reportada de magnesio cambiable es un 33 % más baja que en el caso del las capas superiores. Las variaciones del magnesio intercambiable son bastante significativas, especialmente en el caso del tratamiento Testigo, donde tiene lugar un incremento importante de magnesio, lo que está seguramente relacionado con el incremento del calcio intercambiable en la misma capa. Por lo tanto, estos incrementos pueden tener un origen común.

En la Tabla VII.15 se presentan los balances del magnesio intercambiable en $kmol_c\ ha^{-1}$ en relación al estado inicial del experimento, para el caso del suelo bajo cultivo de maíz. Según el estudio de variabilidad, una diferencia comienza a ser significativa cuando es igual o mayor que 1,47 kmol

Atribución - No Comercial - Compartir Igual 3.0 Venezuela (CC BY - NC - SA 3.0 VE)

para el caso de las dos primeras capas analizadas e igual o mayor que 1,20 kmol para el caso de la capa profunda.

Tabla VII.13.- Balance del magnesio intercambiable en relación al estado inicial del experimento, para el caso del suelo bajo cultivo de maíz.

				kmol$_c$ ha^{-1}			
Tratamiento	**Capa (cm)**	**P1** Ciclo I	**P4** Ciclo I	**P0** Ciclo II	**P1** Ciclo II	**P2** Ciclo II	**P4** Ciclo II
000M	0-10	+3.15	+2.19	+0.89	+2.17	+2.60	+2.28
	10-20	**-0.51**	**-0.11**	+0.14	+0.89	**-0.18**	+0.35
	20-40	+3.42	+1.20	+2.06	+0.88	+0.34	+1.84
00NM	0-10	+3.99	**-1.18**	+1.10	+1.74	+0.14	**-0.18**
	10-20	**-0.61**	+0.34	**-1.47**	+0.03	**-0.29**	**-1.36**
	20-40	**-0.47**	+0.02	**-0.30**	**-0.41**	+0.77	+0.56
00NM+cal	0-10	+2.19	+0.12	+1.00	+1.96	+0.78	**-0.18**
	10-20	**-0.47**	**-0.93**	**-0.82**	+0.35	+1.00	**-1.36**
	20-40	+1.96	0.00	+0.23	+1.41	+2.27	+0.56
NPKM	0-10	+5.81	**-0.33**	+1.21	+0.46	**-0.18**	**-0.50**
	10-20	+1.64	**-2.11**	**-0.07**	**-0.07**	+0.89	**-0.29**
	20-40	+3.24	**-1.05**	+0.88	+0.77	+1.45	+1.09
NPKM+cal	0-10	+1.47	+0.18	+1.53	+2.71	+1.00	**-0.07**
	10-20	+1.53	**-0.74**	**-0.29**	+0.25	+0.03	**-0.61**
	20-40	+3.06	+1.21	+1.09	+0.34	+0.13	+0.34

Como vimos en el caso del calcio intercambiable, el incremento del mismo al final de cada ciclo es más significativo en el caso del tratamiento Testigo, mientras que en el caso de los tratamientos fertilizados los balances muestran que las cantidades de magnesio intercambiable al final de cada ciclo no varían de manera significativa en relación al estado inicial.

www.bdigital.ula.ve

Atribución - No Comercial - Compartir Igual 3.0 Venezuela (CC BY - NC - SA 3.0 VE)

Este resultado es importante en el sentido que la CNA del suelo se sustenta en gran parte del calcio y el magnesio intercambiables. Los resultados confirman que este suelo tiende a incrementar sus reservas básicas por las razones antes mencionadas, mientras que esta tendencia se ve afectada por efecto del fertilizante.

En la Figura VII.13 se muestra la Variación Relativa del magnesio intercambiable frente al tratamiento Testigo e igualmente en Tabla VII.14 se muestra el balance relativo respectivo en $kmol_c\ ha^{-1}$.

Tabla VII.14.- Balance Relativo del magnesio intercambiable en relación al tratamiento Testigo, para el caso del suelo bajo cultivo de maíz.

		$kmol_c\ ha^{-1}$					
Tratamiento	**Capa (cm)**	**P1** Ciclo I	**P4** Ciclo I	**P0** Ciclo II	**P1** Ciclo II	**P2** Ciclo II	**P4** Ciclo II
00NM	0-10	+0.81	**-3.37**	+0.21	**-0.42**	**-2.46**	**-2.46**
	10-20	**-0.10**	+0.45	**-1.60**	**-0.85**	**-0.11**	**-1.71**
	20-40	**-3.89**	**-1.18**	**-2.35**	**-1.28**	+0.43	**-1.28**
00NM+cal	0-10	**-0.95**	**-2.08**	+0.11	**-0.21**	**-1.19**	**-2.46**
	10-20	+0.04	**-0.82**	**-0.96**	**-0.54**	+1.17	**-1.71**
	20-40	**-1.47**	**-1.20**	**-1.19**	+0.54	+1.93	**-1.28**
NPKM	0-10	+2.67	**-2.53**	+0.32	**-1.71**	**-2.78**	**-2.78**
	10-20	+2.16	**-2.00**	**-0.21**	**-0.96**	+1.07	**-0.64**
	20-40	**-0.18**	**-2.24**	**-1.18**	**-0.11**	+1.07	**-0.75**
NPKM+cal	0-10	**-1.68**	**-2.01**	+0.64	+0.54	**-1.60**	**-2.35**
	10-20	+2.05	**-0.63**	**-0.43**	**-0.64**	+0.21	**-0.96**
	20-40	**-0.36**	+0.01	**-0.96**	**-0.54**	**-0.22**	**-1.50**

De una manera general, los balances relativos al Testigo son negativos, es decir que las cantidades de magnesio movilizadas están por debajo de los valores correspondientes al tratamiento Testigo.

www.bdigital.ula.ve

Atribución - No Comercial - Compartir Igual 3.0 Venezuela (CC BY - NC - SA 3.0 VE)

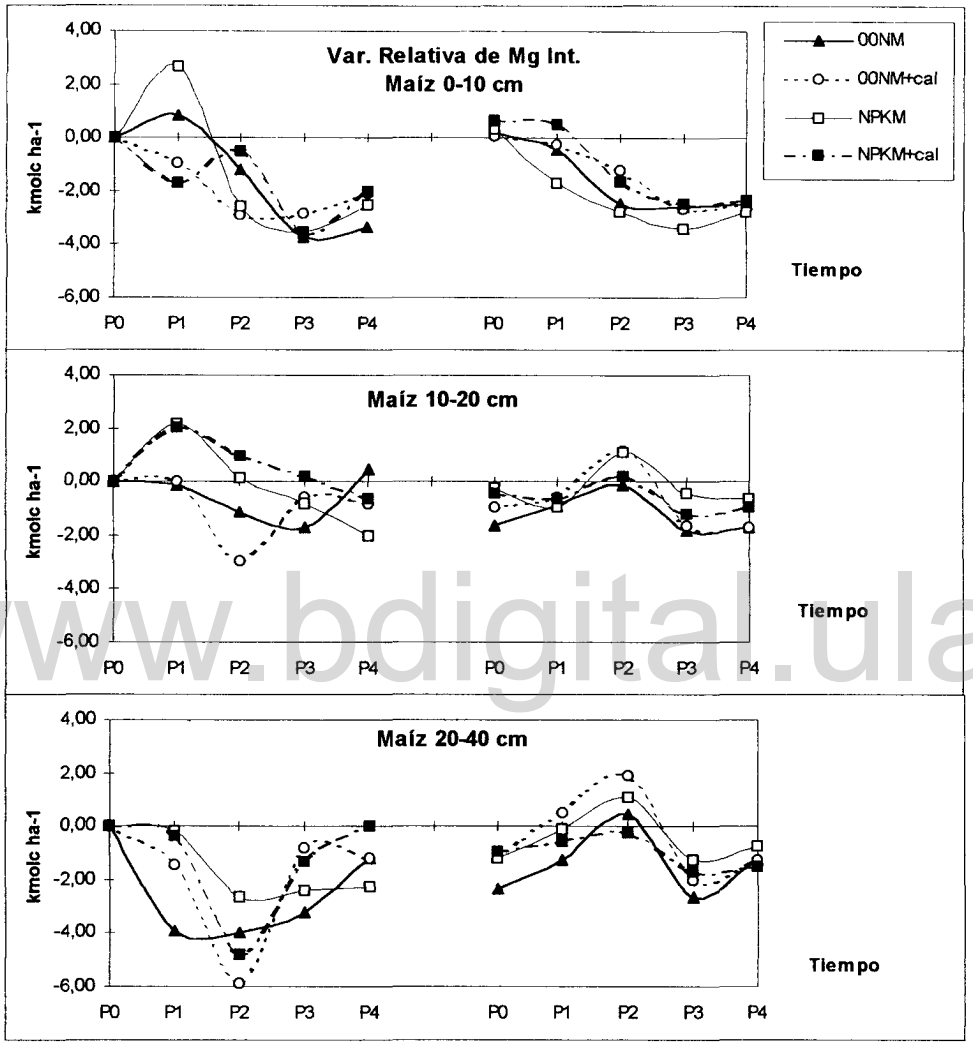


Figura VII.13.- Variación relativa del magnesio intercambiable, para el caso del suelo bajo cultivo de maíz.

www.bdigital.ula.ve

Atribución - No Comercial - Compartir Igual 3.0 Venezuela (CC BY - NC - SA 3.0 VE)

Igualmente, a la luz de la comparación con el Testigo, los incrementos en la cantidad de magnesio atribuidos a la respuesta de la fertilización, salvo en el caso del tratamiento NPKM, deben estar influenciados por otros factores ya que están por debajo de los valores del Testigo respectivo, lo que sugiere que estos incrementos son del mismo origen.

Al final del primer ciclo, la mayor diferencia con el tratamiento Testigo se registra en el caso del tratamiento 00NM, pero sólo en superficie, aunque el resto también presentan balances relativos negativos pero de menor magnitud.

De manera que la comparación con el Testigo pone de manifiesto el efecto de la urea sobre el magnesio intercambiable evidenciando pues que el incremento en la CNA del suelo se ve comprometida cuando se utiliza una fertilización nitrogenada especialmente cuando esta es a base de urea solamente.

www.bdigital.ula.ve

En el caso del suelo bajo cultivo de pasto, al inicio del experimento, la concentración del magnesio intercambiable encontrada en superficie es dos veces y media mayor que la encontrada en el suelo bajo cultivo de maíz para el mismo momento sin embargo, esta cantidad disminuye con la profundidad. Durante este primer ciclo, ambos tratamientos sufren una disminución en la cantidad de magnesio intercambiable, especialmente en el caso del tratamiento fertilizado, mientras que durante el segundo ciclo, el comportamiento del magnesio intercambiable en ambos tratamientos es mucho más constante, especialmente en el caso del tratamiento Testigo.

A nivel de la capa intermedia, la cantidad inicialmente medida de magnesio intercambiable es casi un 50 % más baja que en el caso de la superficie y a nivel de la capa profunda, la concentración inicial es un 66 % más baja que en superficie y un 34 % más baja que en el caso de la capa

Atribución - No Comercial - Compartir Igual 3.0 Venezuela (CC BY - NC - SA 3.0 VE)

intermedia y la concentración permanece prácticamente constante a lo largo de todo el experimento en ambos tratamientos.

En la Tabla VII.15 se presentan los balances del magnesio intercambiable en **k**mol$_c$ ha^{-1} en relación al estado inicial del experimento, para el caso del suelo bajo cultivo de pasto. En este caso también tomamos como variabilidad, la misma que para el caso del suelo bajo cultivo de maíz .

Tabla VII.15.- Balance del magnesio intercambiable en relación al estado inicial del experimento, para el caso del suelo bajo cultivo de pasto.

		kmol$_c$ ha^{-1}					
Tratamiento	**Capa (cm)**	**P1** Ciclo I	**P4** Ciclo I	**P0** Ciclo II	**P1** Ciclo II	**P2** Ciclo II	**P4** Ciclo II
000P	0-10	0.00	**-2.16**	**-1.83**	**-2.04**	**-1.83**	**-2.04**
	10-20	0.00	**-1.06**	**-0.73**	**-0.51**	**-1.05**	**-0.62**
	20-40	0.00	+0.84	+1.31	+0.39	+0.17	+1.13
00NP	0-10	**-2.79**	**-2.97**	**-2.26**	**-3.22**	**-0.76**	**-2.26**
	10-20	**-1.00**	**-1.87**	**-1.90**	**-1.37**	**-0.19**	**-1.26**
	20-40	+0.72	**-0.16**	**-0.58**	+0.37	**-0.04**	+0.04

www.bdigital.ula.ve

Estos resultados muestran primero que todo que la disminución en la cantidad de magnesio en ambos tratamientos en relación al estado inicial es significativa especialmente en el caso del tratamiento fertilizado, el cual presenta balances más negativos hasta los 20 cm.

Los balances a nivel de la capa profunda no muestran evidencias de lixiviación, por lo que esta disminución del magnesio intercambiable se debe principalmente al consumo del pasto, el cual es se incrementa cuando el pasto es fertilizado.

Atribución - No Comercial - Compartir Igual 3.0 Venezuela (CC BY - NC - SA 3.0 VE)

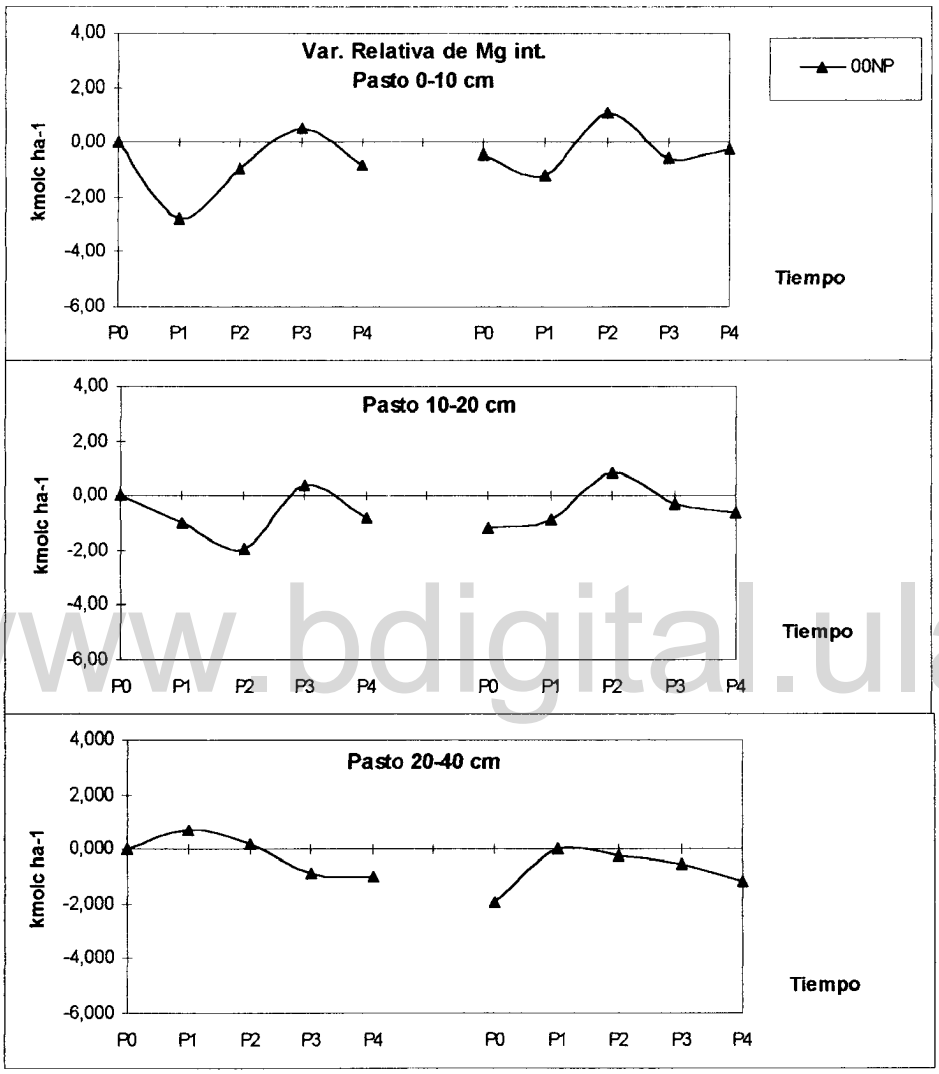


Figura VII.14.- Variación relativa del magnesio intercambiable, para el caso del suelo bajo cultivo de pasto.

www.bdigital.ula.ve

Atribución - No Comercial - Compartir Igual 3.0 Venezuela (CC BY - NC - SA 3.0 VE)

En la Figura VII.14 se muestra la Variación Relativa del Magnesio intercambiable, para el caso del suelo bajo cultivo de Pasto. Igualmente en Tabla VII.16 se muestra el balance relativo respectivo en $kmol_c\ ha^{-1}$.

Tabla VII.16.- Balance Relativo del magnesio intercambiable en relación al tratamiento Testigo, para el caso del suelo bajo cultivo de pasto.

		$kmol_c\ ha^{-1}$					
Tratamiento	**Capa (cm)**	**P1** Ciclo I	**P4** Ciclo I	**P0** Ciclo II	**P1** Ciclo II	**P2** Ciclo II	**P4** Ciclo II
00NP	0-10	**-2.79**	**-0.81**	**-0.43**	**-1.18**	+1.07	**-0.22**
	10-20	**-1.00**	**-0.81**	**-1.18**	**-0.87**	+0.86	**-0.64**
	20-40	+0.72	**-1.00**	**-1.93**	0.00	**-0.22**	**-1.18**

VII.2.3.- Suma magnesio más calcio intercambiable.

www.bdigital.ula.ve

Tanto el calcio como el magnesio representan gran parte de la reserva alcalina del suelo, lo que en esencia representa la CNA. Por lo tanto sus variaciones deben ser un indicativo fiel del proceso de acidificación del suelo.

En la Figura VII.15a y VII.15b se muestra la variación de la suma (Ca+Mg) para los casos del suelo bajo cultivo de maíz y pasto respectivamente. Igualmente, en las Tablas VII.17 y VII.18 se muestran los balances respectivos en relación al estado inicial del experimento para ambos casos.

En el caso del suelo bajo cultivo de maíz, el tratamiento testigo muestra que el suelo tiende a incrementar sus reservas alcalinas sin embargo, esta tendencia se ve afectada por el aporte de los fertilizantes tal como lo muestran los tratamientos no encalados.

Atribución - No Comercial - Compartir Igual 3.0 Venezuela (CC BY - NC - SA 3.0 VE)

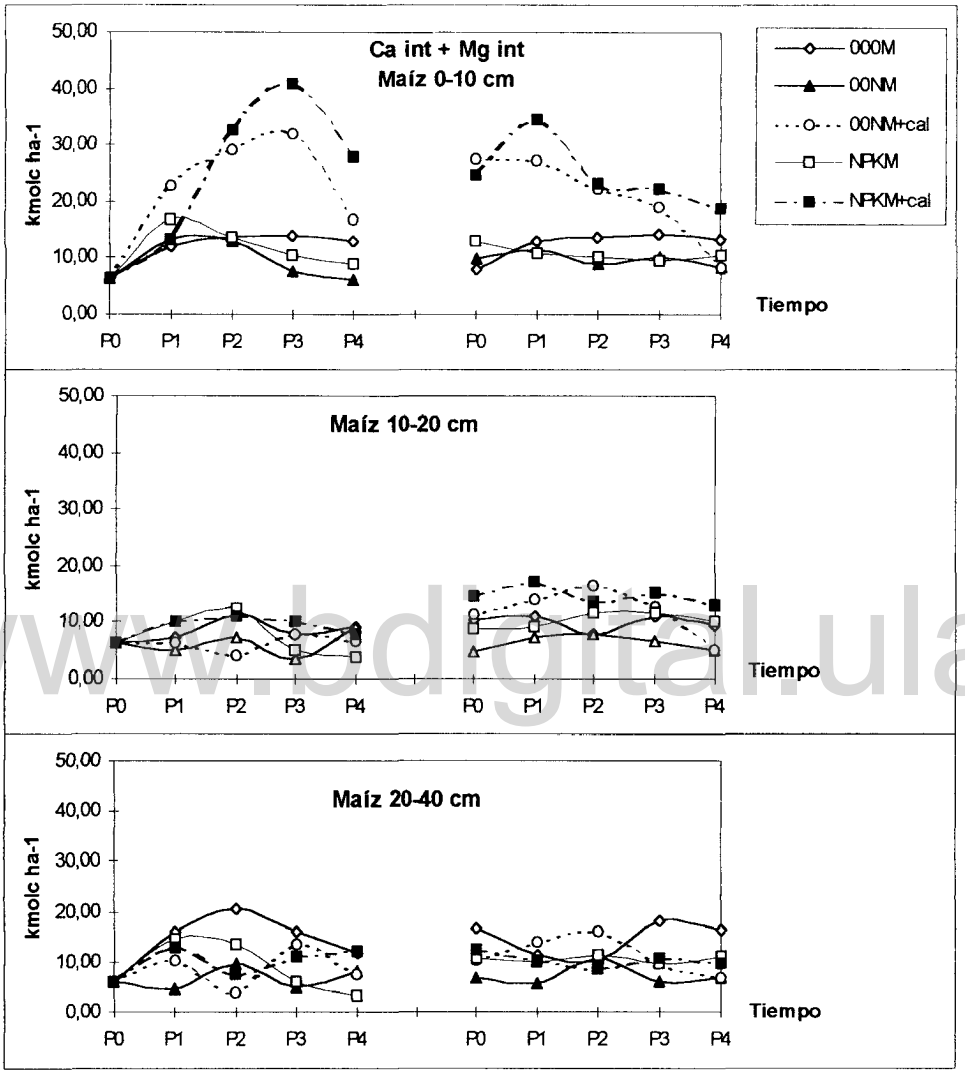


Figura VII.15a.- Variación de la suma Ca+Mg intercambiables, para el caso del suelo bajo cultivo de maíz.

www.bdigital.ula.ve

Atribución - No Comercial - Compartir Igual 3.0 Venezuela (CC BY - NC - SA 3.0 VE)

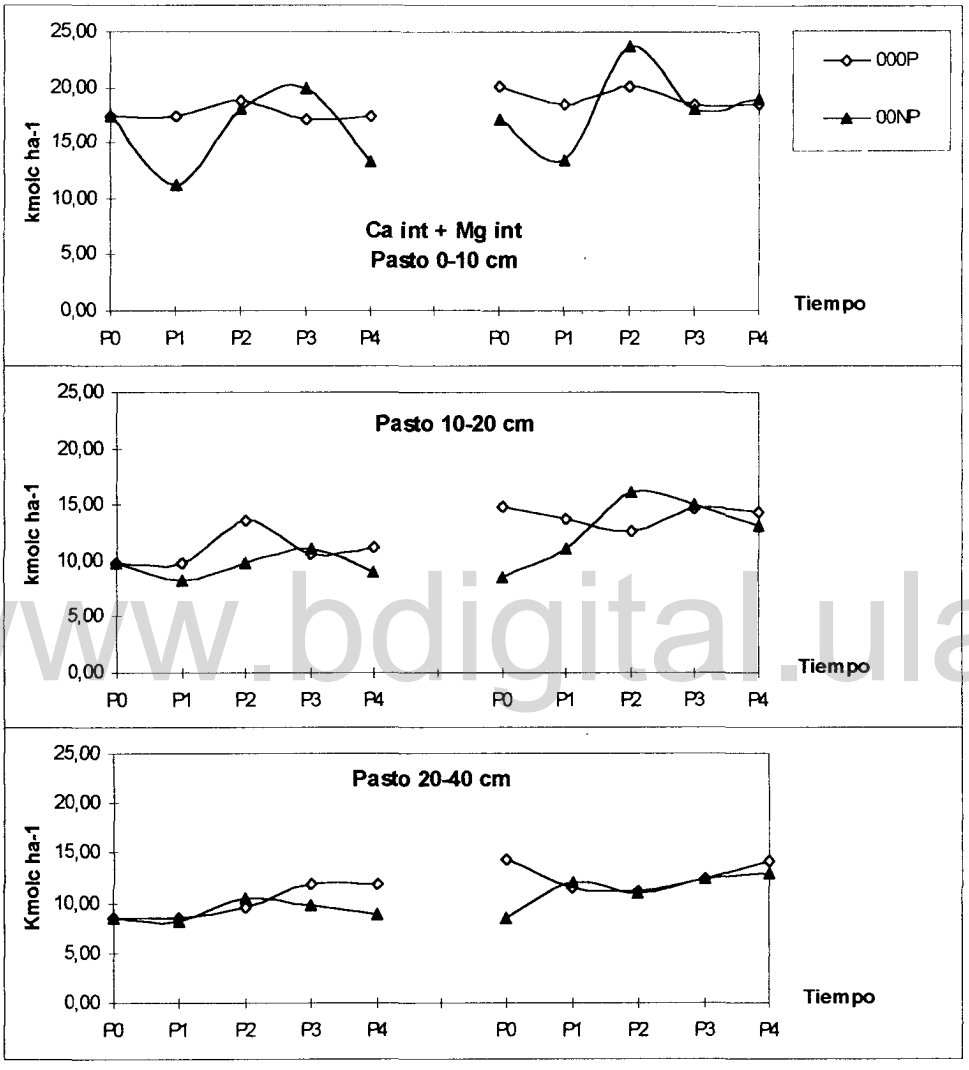


Figura VII.15b.- Variación de la suma Ca+Mg intercambiables, para el caso del suelo bajo cultivo de pasto.

www.bdigital.ula.ve

Atribución - No Comercial - Compartir Igual 3.0 Venezuela (CC BY - NC - SA 3.0 VE)

Tabla VII.17.- Balance de la suma (Ca + Mg) en relación al estado inicial del experimento, en $kmol_c\ ha^{-1}$, para el caso del suelo bajo cultivo de maíz.

				$kmol_c\ ha^{-1}$			
Tratamiento	**Capa (cm)**	**P1** Ciclo I	**P4** Ciclo I	**P0** Ciclo II	**P1** Ciclo II	**P2** Ciclo II	**P4** Ciclo II
000M	0-10	+5.75	+6.89	+1.82	+6.89	+7.28	+7.02
	10-20	+0.91	+2.86	+4.29	+4.94	+1.82	+3.38
	20-40	+9.88	+5.72	+10.40	+5.33	+4.16	+10.14
00NM	0-10	+7.02	**-0.13**	+3.64	+5.20	+2.47	+1.95
	10-20	**-1.04**	+2.86	**-1.43**	+1.17	+1.82	**-1.04**
	20-40	**-1.56**	+2.08	+0.78	**-0.52**	+4.55	+0.78
00NM+cal	0-10	+16.56	+10.66	+21.35	+21.06	+15.86	+1.95
	10-20	+0.13	+0.26	+5.20	+7.67	+10.27	**-1.04**
	20-40	+4.16	+1.43	+4.03	+7.80	+10.01	+0.78
NPKM	0-10	+10.40	+2.60	+6.63	+4.55	+3.90	+4.29
	10-20	+3.77	**-2.60**	+2.73	+2.99	+5.59	+3.77
	20-40	+8.58	**-2.86**	+4.68	+3.90	+5.20	+4.94
NPKM+cal	0-10	+7.02	+21.58	+18.59	+28.21	+16.77	+12.48
	10-20	+3.77	+1.82	+8.32	+10.79	+7.41	+6.76
	20-40	+6.50	+6.11	+6.24	+4.16	+2.34	+3.51

www.bdigital.ula.ve

En el caso del tratamiento 00NM este efecto es un poco más pronunciado, durante el primer ciclo se ve afectada sólo la capa superior, mientras que al segundo ciclo se ve afectada también la capa intermedia.

Esto indica que el continuo uso de la fertilización con urea conlleva a una inevitable pérdida de la CNA del suelo que si bien es discreta a corto plazo, puede intensificarse al mediano y largo plazo.

Estos resultados muestran que la cuantificación del efecto de acidificación inducida se puede realizar mucho mejor midiendo las variaciones en las cantidades de los elementos base, Ca y Mg, en la fase intercambiable.

Atribución - No Comercial - Compartir Igual 3.0 Venezuela (CC BY - NC - SA 3.0 VE)

Una disminución en la cantidad de estos elementos representa también una disminución de la CNA, lo que si está relacionado directamente con el efecto de acidificación inducida producido por la urea.

En el caso de los tratamientos encalados, si bien el aporte inicial de cal logra aumentar las reservas alcalinas, durante el segundo ciclo, donde no se aplicó el encalado, esta capacidad de neutralización disminuye, especialmente en el caso del tratamiento 00NM+cal, donde el efecto se nota inclusive a nivel de la capa intermedia.

Estos resultados muestran primero que todo que el efecto del encalado sobre la reserva alcalina del suelo es sólo superficial y en segundo lugar que este efecto es bastante pasajero. Una vez finalizado el efecto de la cal, estas reservas pueden disminuir inclusive hasta condiciones más desventajosas de las que se tenían antes del encalado.

www.bdigital.ula.ve

Para el suelo bajo pasto, las cantidades de calcio y magnesio al inicio del experimento son mayores que en el caso del suelo bajo cultivo de maíz. En el caso del pasto Testigo, las reservas alcalinas se incrementa de un ciclo al otro, a nivel de todas las capas, pero no hay cambios apreciables a lo largo de cada ciclo. Sin embargo, en el caso del tratamiento de pasto fertilizado, las reservas alcalinas disminuyen de manera significativa durante el primer ciclo, pero sólo a nivel de la capa superficial. Sin embargo, durante el segundo ciclo estas reservas se incrementan a nivel de todas las capas.

Todo esto indica que el impacto que tuvo la fertilización durante el primer ciclo pudo ser compensado durante el segundo ciclo por la misma acción del tipo de cultivo sobre el suelo y en conclusión, aunque el pasto sea fertilizado, este contribuye al incremento de la capacidad de neutralización del suelo.

Atribución - No Comercial - Compartir Igual 3.0 Venezuela (CC BY - NC - SA 3.0 VE)

Tabla VII.18.- Balance de la suma (Ca + Mg) en relación al estado inicial del experimento, para el caso del suelo bajo cultivo de pasto, en $kmol_c\ ha^{-1}$.

		$kmol_c\ ha^{-1}$					
Tratamiento	**Capa (cm)**	**P1** Ciclo I	**P4** Ciclo I	**P0** Ciclo II	**P1** Ciclo II	**P2** Ciclo II	**P4** Ciclo II
000P	0-10	0.00	0.00	+2.60	+1.17	+2.60	+1.17
	10-20	0.00	+1.30	+5.07	+3.90	+2.73	+4.55
	20-40	0.00	+3.38	+5.85	+2.99	+2.73	+5.72
00NP	0-10	**-6.24**	**-4.16**	**-0.39**	**-3.90**	+6.37	+1.56
	10-20	**-1.69**	**-0.91**	**-1.30**	+1.17	+6.24	+3.25
	20-40	**-0.26**	+0.39	+0.13	+3.64	+2.60	+4.55

VII.2.4.- Conclusiones.

Las cantidades y variaciones del magnesio intercambiable son más modestas que las registradas para el calcio intercambiable sin embargo, ellas apuntan en el mismo sentido. De esta manera, este suelo incrementa sus reservas alcalinas, motivado al efecto residual de las fertilizaciones anteriores, tal como lo muestra el tratamiento Testigo, donde el calcio y el magnesio provenientes de las mismas continúan pasando a posiciones de intercambio. Sin embargo, la presencia de la urea impide el crecimiento favoreciendo la lixiviación de estos elementos hacia las capas inferiores, lo que está directamente relacionado con el fenómeno de acidificación debido a una disminución de la CNA.

Por tal motivo, el seguimiento del comportamiento de los elementos básicos intercambiables, como lo son el calcio y el magnesio, y su cuantificación, pueden contribuir de una manera más realista a la evaluación del fenómeno de acidificación.

www.bdigital.ula.ve

Atribución - No Comercial - Compartir Igual 3.0 Venezuela (CC BY - NC - SA 3.0 VE)

VII.3.- Evolución del potasio.

Hipótesis de trabajo:

Las hipótesis de trabajo son básicamente las mismas que para el calcio, con la salvedad de que no se cuenta con los datos de potasio intercambiable.

VII.3.1.- Potasio soluble.

La influencia de los diferentes tratamientos sobre el comportamiento del potasio soluble se muestra en las Figuras VII.16a y 16b para el caso del suelo bajo cultivo de maíz y pasto respectivamente. Estos datos están sujetos a una desviación estándar y un coeficiente de variación de 9,2 $\mu g\ g_{ss}^{-1}$ y 46 % para la capa superficial, 14,3 $\mu g\ g_{ss}^{-1}$ y 65 % para la capa intermedia y de 4,9 $\mu g\ g_{ss}^{-1}$ y 32 % para la capa profunda respectivamente.

www.bdigital.ula.ve

En el caso del suelo bajo cultivo de maíz, el potasio domina la solución del suelo. Su concentración es tres veces mayor que la del calcio soluble sin embargo, a nivel de la capa inferiores la cantidad de potasio soluble registrada inicialmente es en promedio un 34 % más baja que en el caso de la superficie.

Su comportamiento varía de un ciclo al otro, lo que indica la influencia de un factor climático como lo es régimen de lluvias. En efecto, durante el segundo ciclo hay una mayor actividad, especialmente en superficie.

Hay un incremento del potasio soluble durante el período intercultivo, proveniente en gran parte de los restos de la primera cosecha. Así, con las primeras lluvias fuertes al final del período intercultivo tuvo lugar una solubilización importante la cual es acompañada de una lixiviación hacia las capas más profundas.

Atribución - No Comercial - Compartir Igual 3.0 Venezuela (CC BY - NC - SA 3.0 VE)

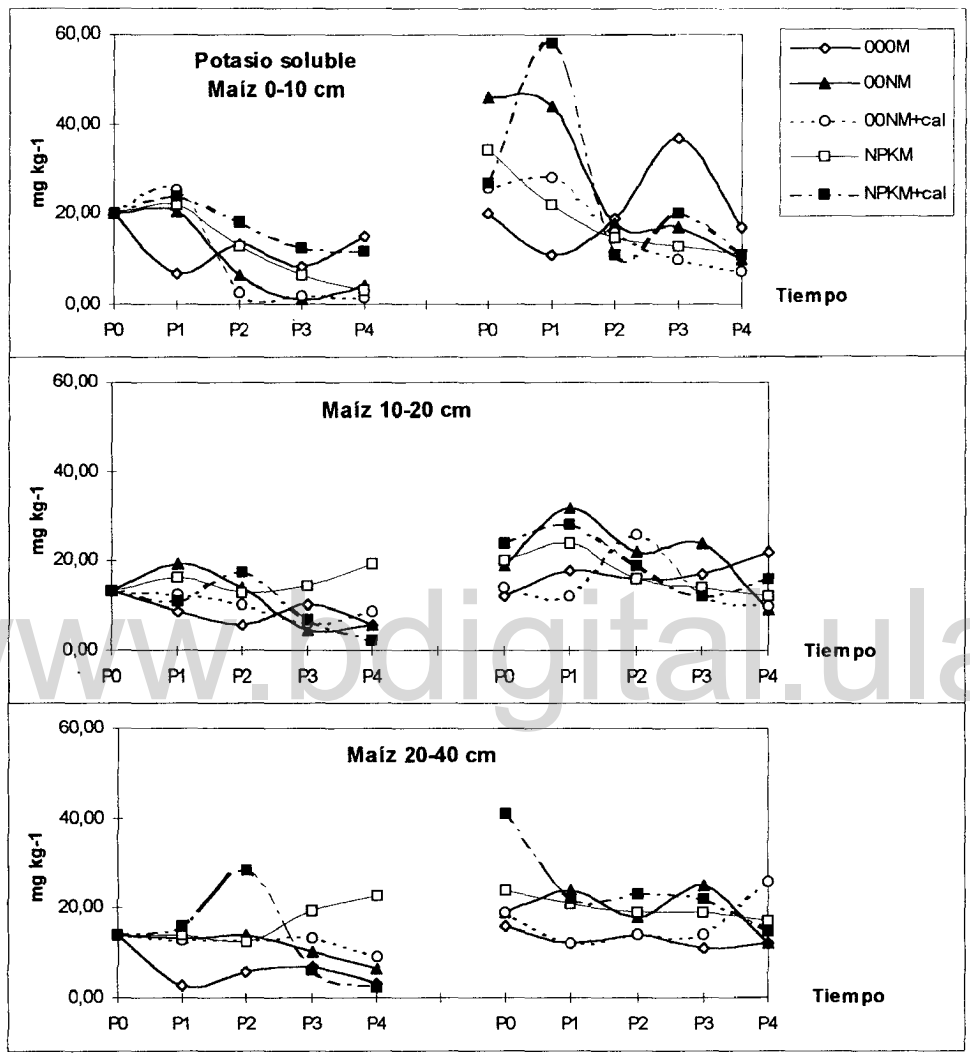


Figura VII.16a.- Variación del potasio soluble, para el caso del suelo bajo cultivo de maíz.

www.bdigital.ula.ve

Atribución - No Comercial - Compartir Igual 3.0 Venezuela (CC BY - NC - SA 3.0 VE)

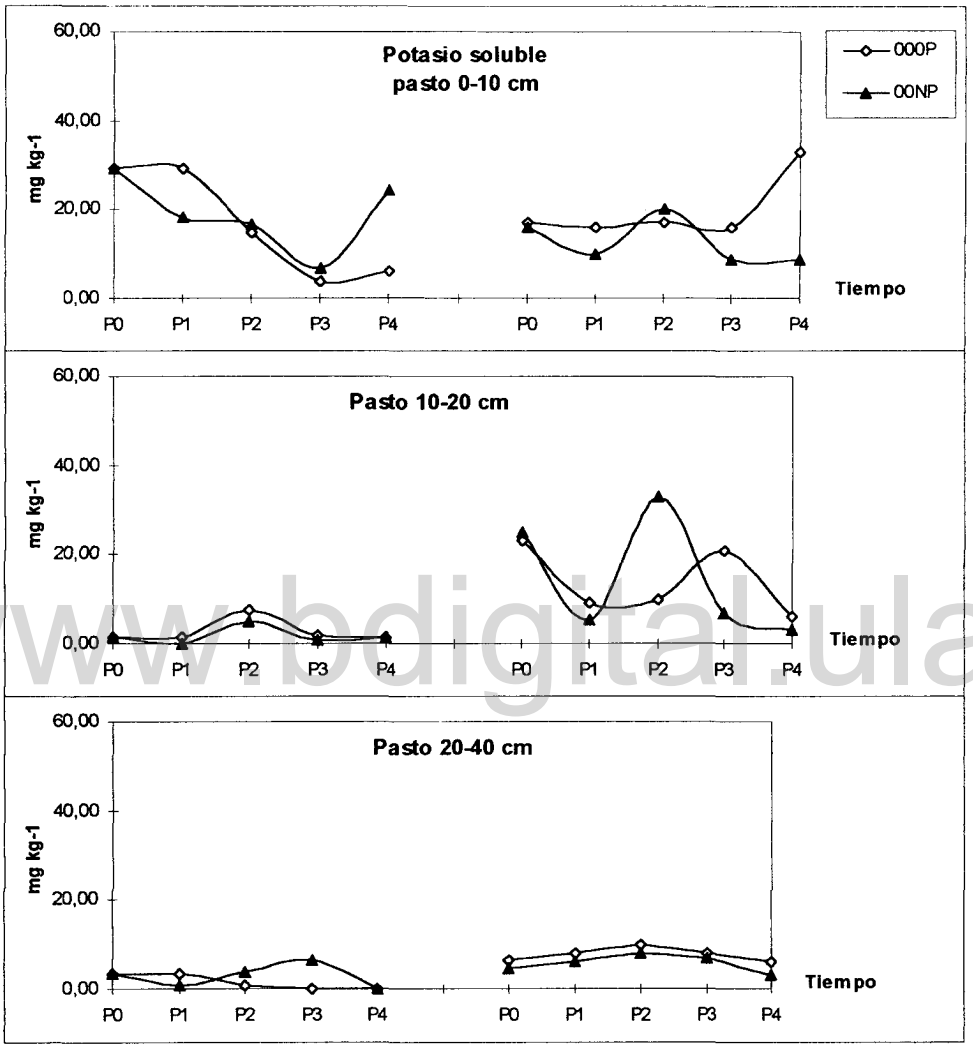


Figura VII.16b.- Variación del potasio soluble, para el caso del suelo bajo cultivo de pasto.

www.bdigital.ula.ve

Atribución - No Comercial - Compartir Igual 3.0 Venezuela (CC BY - NC - SA 3.0 VE)

En la Tabla VII.19 se presentan los balances del potasio soluble en $kmol_c$ ha^{-1} en relación al estado inicial del experimento, para el caso del suelo bajo cultivo de maíz. Según el estudio de variabilidad, una diferencia comienza a ser significativa cuando es igual o mayor que 0,26 kmol para el caso de la capa superficial, 0,43 kmol y 0,17 kmol para las capas intermedia y profunda respectivamente.

Tabla VI.19.- Balance del potasio soluble en relación al estado inicial del experimento, para el caso del suelo bajo cultivo de maíz.

		$kmol_c\ ha^{-1}$					
Tratamiento	**Capa (cm)**	**P1** Ciclo I	**P4** Ciclo I	**P0** Ciclo II	**P1** Ciclo II	**P2** Ciclo II	**P4** Ciclo II
000M	0-10	**-0.44**	**-0.16**	**-0.01**	**-0.31**	**-0.04**	**-0.10**
	10-20	**-0.16**	**-0.24**	**-0.04**	+0.16	+0.09	+0.29
	20-40	**-0.38**	**-0.36**	+0.07	+0.07	0.00	**-0.07**
00NM	0-10	0.00	**-0.53**	+0.86	+0.79	**-0.08**	**-0.34**
	10-20	+0.21	**-0.25**	+0.20	+0.62	+0.29	**-0.13**
	20-40	**-0.03**	**-0.26**	+0.17	+0.33	+0.13	**-0.07**
00NM+cal	0-10	+0.17	**-0.62**	+0.20	+0.26	**-0.14**	**-0.44**
	10-20	**-0.01**	**-0.14**	+0.03	**-0.04**	+0.43	**-0.10**
	20-40	**-0.03**	**-0.17**	+0.17	**-0.07**	0.00	**-0.36**
NPKM	0-10	+0.07	**-0.57**	+0.46	+0.05	**-0.18**	**-0.31**
	10-20	+0.09	+0.21	+0.22	+0.35	+0.09	**-0.04**
	20-40	0.00	+0.29	+0.33	+0.23	+0.17	+0.10
NPKM+cal	0-10	+0.13	**-0.29**	+0.22	+1.25	**-0.31**	**-0.31**
	10-20	**-0.08**	**-0.36**	+0.35	+0.43	+0.20	+0.09
	20-40	+0.07	**-0.39**	+0.90	+0.26	+0.30	+0.03

Estos resultados muestran que al final de cada período se observan pérdidas significativas del potasio soluble en los casos de los tratamientos fertilizados, especialmente en los tratamientos 00NM, NPKM y 00NM+cal,

www.bdigital.ula.ve

Atribución - No Comercial - Compartir Igual 3.0 Venezuela (CC BY - NC - SA 3.0 VE)

mientras que en el caso del tratamiento Testigo no hay cambios de importancia frente al estado inicial. Sin embargo, estas pérdidas atañen más que todo a la capa superficial y son más acentuadas al final del primer período, afectando inclusive en algunos de estos casos la condición del potasio soluble en profundidad.

En la Figura VII.17 se muestra la Variación Relativa del potasio soluble para el caso del suelo bajo cultivo de maíz e igualmente en Tabla VII.20 se muestran los balances relativos respectivos en $kmol_c\ ha^{-1}$.

Tabla VII.20.- Balance Relativo del potasio soluble en relación al tratamiento Testigo, para el caso del suelo bajo cultivo de maíz.

		$kmol_c\ ha^{-1}$					
Tratamiento	**Capa (cm)**	**P1** Ciclo I	**P4** Ciclo I	**P0** Ciclo II	**P1** Ciclo II	**P2** Ciclo II	**P4** Ciclo II
00NM	0-10	+0.44	**-0.36**	+0.87	+1.11	**-0.04**	**-0.23**
	10-20	+0.36	0.00	+0.23	+0.47	+0.20	**-0.42**
	20-40	+0.35	+0.10	+0.10	+0.39	+0.13	0.00
00NM+cal	0-10	+0.61	**-0.46**	+0.21	+0.57	**-0.10**	**-0.34**
	10-20	+0.14	+0.10	+0.07	**-0.20**	+0.34	**-0.39**
	20-40	+0.35	+0.20	+0.10	0.00	0.00	**-0.30**
NPKM	0-10	+0.51	**-0.40**	+0.47	+0.36	**-0.14**	**-0.21**
	10-20	+0.25	+0.46	+0.26	+0.20	0.00	**-0.33**
	20-40	+0.38	+0.65	+0.26	+0.30	+0.17	+0.17
NPKM+cal	0-10	+0.57	**-0.12**	+0.23	+1.56	**-0.27**	**-0.21**
	10-20	+0.08	**-0.12**	+0.39	+0.27	+0.10	**-0.20**
	20-40	+0.44	**-0.03**	+0.83	+0.33	+0.30	+0.09

Estos resultados muestran que en general, el comportamiento relativo del potasio soluble en relación al tratamiento Testigo es similar para los diferentes tratamientos sin embargo, difiere de un ciclo al otro.

www.bdigital.ula.ve

Atribución - No Comercial - Compartir Igual 3.0 Venezuela (CC BY - NC - SA 3.0 VE)

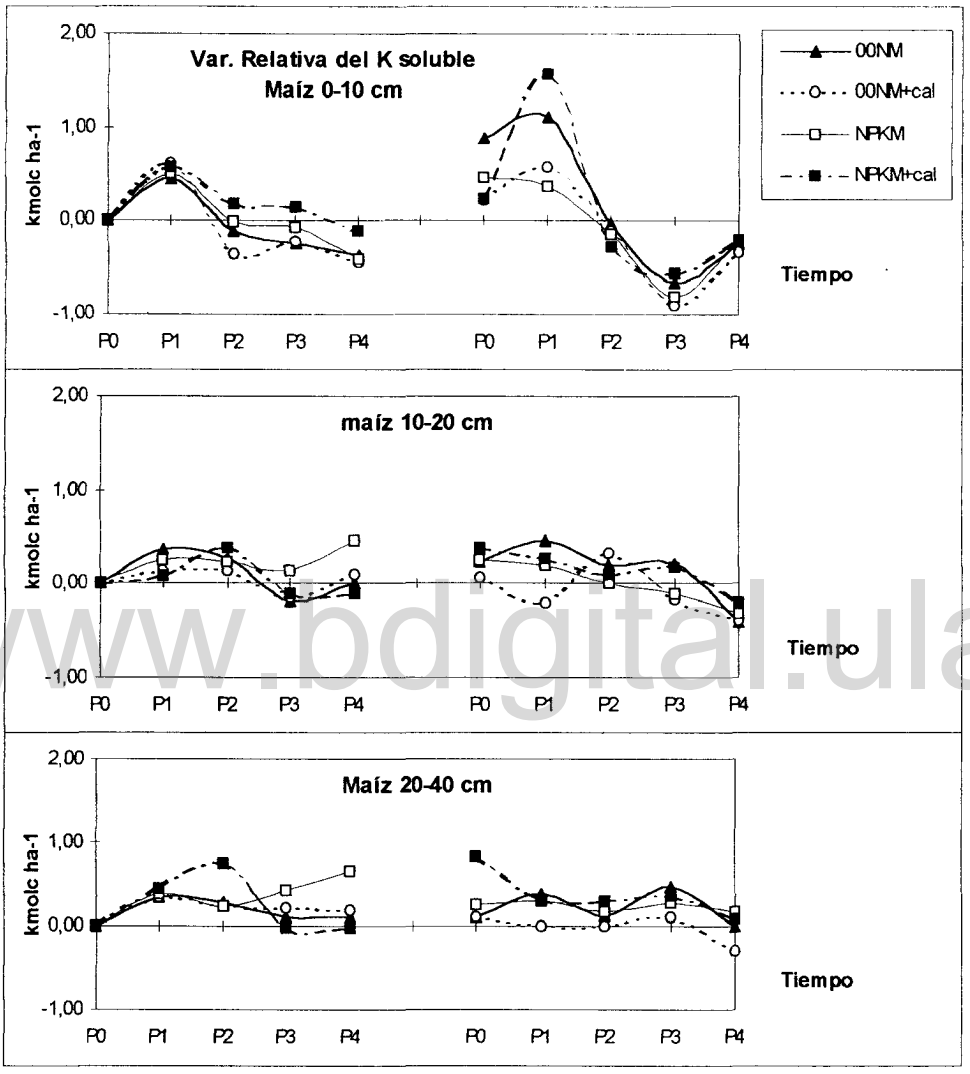


Figura VII.17.- Variación relativa del potasio soluble, para el caso del suelo bajo cultivo de maíz.

www.bdigital.ula.ve

Atribución - No Comercial - Compartir Igual 3.0 Venezuela (CC BY - NC - SA 3.0 VE)

En efecto al final de cada ciclo se observa que los valores del potasio correspondiente a los tratamientos fertilizados están significativamente por debajo de los valores correspondientes al tratamiento Testigo, especialmente durante el primer ciclo sin embargo, estas diferencias involucran principalmente a la capa superficial.

En el caso del suelo bajo cultivo de pasto, a nivel superficial, la concentración del potasio soluble es más o menos similar a la concentración del calcio soluble, mientras que en las capas inferiores la cantidad de potasio soluble puede ser hasta un orden de magnitud menor. La cantidad de potasio soluble encontrada en la superficie al inicio del experimento es un 44 % mayor que en el caso del suelo bajo cultivo de maíz.

El comportamiento del potasio soluble varía de un año al otro, muestra del efecto del factor climático. Durante este primer ciclo, hay una tendencia hacia la disminución de la concentración a través del primer ciclo, mientras que a nivel de las capas inferiores no ocurren cambios importantes en el estado del potasio soluble. Esto indica que estas pérdidas se deben principalmente al consumo del pasto el cual posee la mayor parte de su masa radicular en superficie.

www.bdigital.ula.ve

A nivel de la capa inferiores, la concentración inicial del potasio soluble es entre diez y veinte veces más pequeña que en el caso de la superficie y se mantiene a ese nivel durante todo el período para ambos tratamientos.

Durante el segundo período, el potasio soluble muestra a nivel de la superficie, un comportamiento más estable, especialmente el caso del tratamiento Testigo.

A nivel de la capa intermedia, la dinámica que presenta el potasio soluble es igualmente diferente a la observada durante el ciclo anterior con

Atribución - No Comercial - Compartir Igual 3.0 Venezuela (CC BY - NC - SA 3.0 VE)

cambios mucho más significativos. También hay una mayor movilización de potasio en comparación al nivel superficial para el mismo período.

El aumento de la concentración del potasio soluble durante el período intercultivo es bastante significativo y similar en ambos tratamientos, lo que muestra una lixiviación producto de las primeras lluvias antes del segundo ciclo. La concentración se incrementa 16 veces en relación al estado inicial sin embargo, el 60 % de este incremento se pierde rápidamente.

A nivel de la capa profunda, la concentración de potasio no registra cambios apreciables en ninguno de los tratamientos, desde el comienzo del experimento y a todo lo largo del segundo período, mostrando así que el nivel profundo no se ve afectado de una manera directa por la aplicación del fertilizante.

En la Tabla VII.21 se presentan los balances del potasio soluble en $kmol_c$ ha^{-1} en relación al estado inicial del experimento, para el caso del suelo bajo cultivo de pasto. Para este caso es válida la variabilidad aplicada a los tratamientos bajo cultivo de maíz.

www.bdigital.ula.ve

Tabla VII.21.- Balance del potasio soluble en relación al estado inicial del experimento, para el caso del suelo bajo cultivo de pasto.

				$kmol_c$ ha^{-1}			
Tratamiento	**Capa (cm)**	**P1** Ciclo I	**P4** Ciclo I	**P0** Ciclo II	**P1** Ciclo II	**P2** Ciclo II	**P4** Ciclo II
000P	0-10	0.00	**-0.78**	**-0.40**	**-0.48**	**-0.40**	+0.12
	10-20	0.00	0.00	+0.72	+0.26	+0.29	+0.14
	20-40	0.00	+0.01	+0.10	+0.15	+0.22	+0.08
00NP	0-10	**-0.38**	**-0.16**	**-0.44**	**-0.64**	**-0.31**	**-0.68**
	10-20	0.00	0.00	+0.78	+0.12	+1.04	+0.05
	20-40	+0.09	**-0.02**	+0.04	+0.09	+0.14	**-0.03**

Atribución - No Comercial - Compartir Igual 3.0 Venezuela (CC BY - NC - SA 3.0 VE)

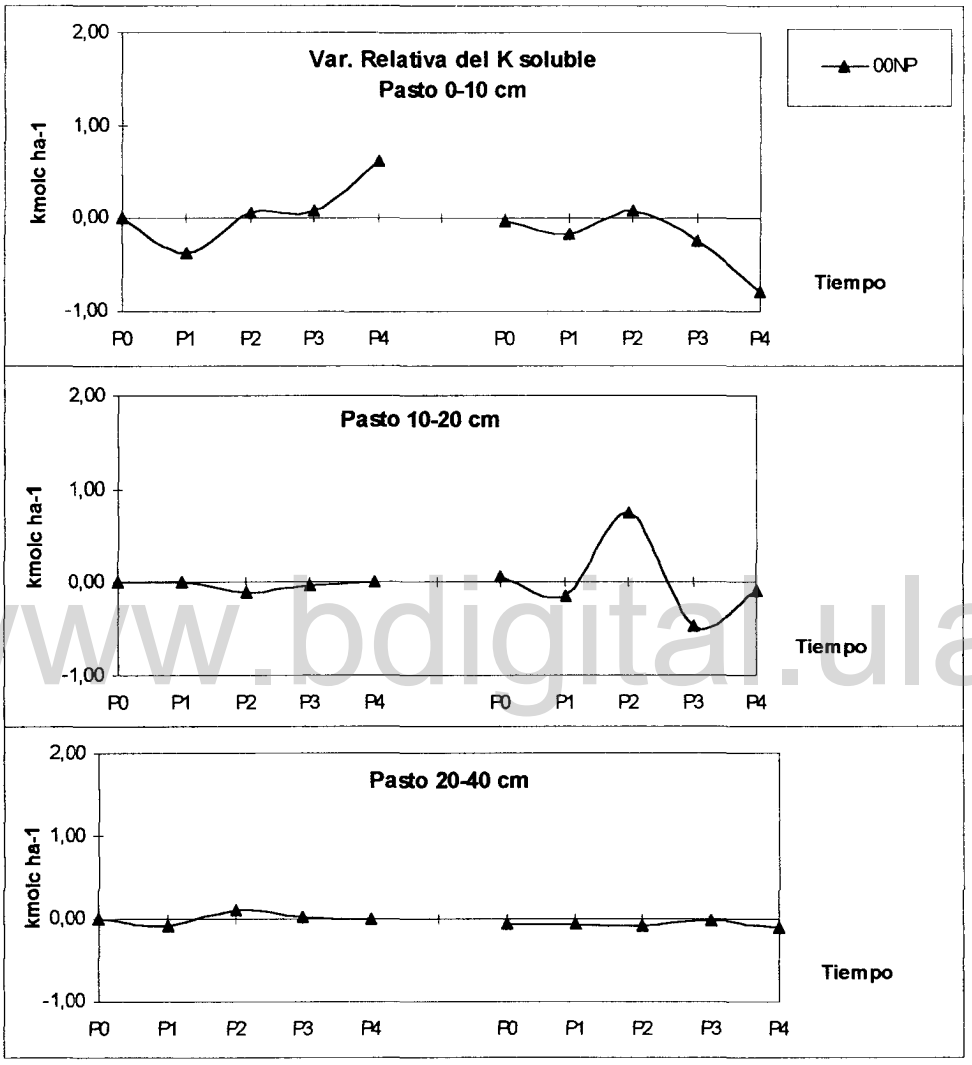


Figura VII.18.- Variación relativa del potasio soluble, para el caso del suelo bajo cultivo de pasto.

www.bdigital.ula.ve

Atribución - No Comercial - Compartir Igual 3.0 Venezuela (CC BY - NC - SA 3.0 VE)

En general, en el caso del tratamiento fertilizado, los balances son más negativos en superficie, especialmente al final del segundo ciclo sin embargo, estas disminuciones tienen su origen en un consumo extra motivado por la fertilización, al igual que el caso del calcio y el magnesio solubles.

En la Figura VII.18 se muestra la Variación Relativa del potasio soluble para el caso del suelo bajo cultivo de Pasto e igualmente en Tabla VII.22 se muestran los balances relativos respectivos en $kmol_c\ ha^{-1}$.

Tabla VII.22.- Balance Relativo del potasio soluble en relación al tratamiento Testigo, para el caso del suelo bajo cultivo de pasto.

		$kmol_c\ ha^{-1}$					
Tratamiento	**Capa (cm)**	**P1** Ciclo I	**P4** Ciclo I	**P0** Ciclo II	**P1** Ciclo II	**P2** Ciclo II	**P4** Ciclo II
00NP	0-10	**-0.38**	+0.61	**-0.04**	**-0.16**	+0.09	**-0.79**
	10-20	0.00	0.00	+0.07	**-0.14**	+0.75	**-0.09**
	20-40	**-0.09**	0.00	**-0.07**	**-0.07**	**-0.08**	**-0.10**

www.bdigital.ula.ve

Estos balances muestran que durante el primer ciclo las diferencias con el Testigo son superficiales, mientras que durante el segundo ciclo estas diferencias involucran también la capa intermedia. Esta comparación pone igualmente en evidencia no sólo el factor climático sino también un efecto mucho mayor en la segunda fertilización.

VII.7.- Conclusiones.

A pesar de que el potasio soluble domina en la solución de suelo, sus tendencias a lo largo de los dos ciclos de cultivo son muy similares a las que presentan el calcio y el magnesio solubles. Sin embargo, la utilización de estos

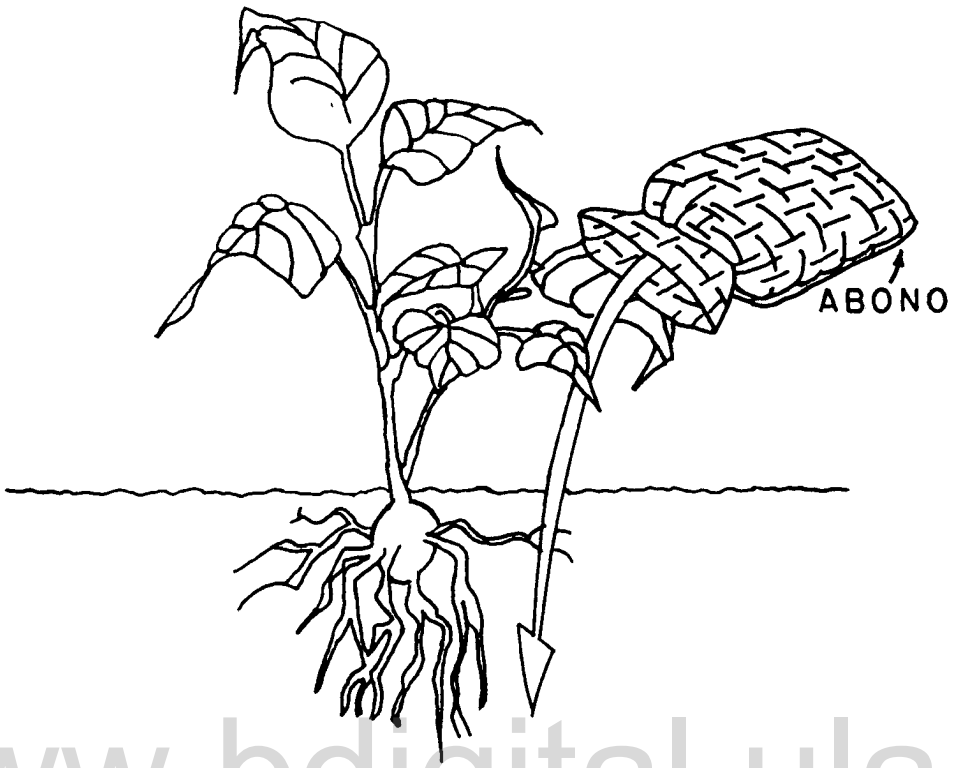
Atribución - No Comercial - Compartir Igual 3.0 Venezuela (CC BY - NC - SA 3.0 VE)

datos se convierte en una estimación parcial por que ella no tiene en cuenta el potasio intercambiable que no pudo ser medido y el cual debe jugar un papel muy importante en las variaciones de la CNA de este suelo de Barinas.

Este hecho pone en evidencia una gran desventaja del uso del KCL M como solución extractante de elementos intercambiables, la cual evidentemente dificulta la valoración del potasio intercambiable. En este sentido, se debe investigar la posibilidad de utilizar una solución de LiCl M para la extracción de todos los elementos intercambiables inclusive el potasio.

www.bdigital.ula.ve

Atribución - No Comercial - Compartir Igual 3.0 Venezuela (CC BY - NC - SA 3.0 VE)



www.bdigital.ula.ve

CAPÍTULO VIII

DISCUSIÓN GENERAL

Atribución - No Comercial - Compartir Igual 3.0 Venezuela (CC BY - NC - SA 3.0 VE)

www.bdigital.ula.ve

Atribución - No Comercial - Compartir Igual 3.0 Venezuela (CC BY - NC - SA 3.0 VE)

VIII.- Discusión General.

VIII.1.- Cambios en el nitrógeno mineral durante los ciclos de cultivo.

En el análisis de la acidificación , es importante entender cuales son los factores que incrementan la CNA del suelo y cuales la disminuyen. De esta manera, la acumulación de amonio incrementa la CNA, mientras que la acumulación de nitratos o la pérdida de estos desde el sistema la disminuyen.

El efecto de la aplicación de la urea es visible solo en los 20 primeros cm de profundidad al punto uno de muestreo, donde más de 8 kmol N ha^{-1} se encontraron bajo la forma de nitrógeno amoniacal, en el caso del tratamiento 00NM. Un mes más tarde las condiciones iniciales del suelo se restablecen permaneciendo así hasta el final del ciclo.

www.bdigital.ula.ve

Los resultados de lisimetria (Hetier et al, 1995) han confirmado que la lixiviación del amonio es prácticamente nula de manera que el amonio formado inicialmente por la hidrólisis de la urea desaparece debido en primer lugar a la absorción de la planta o su pérdida por volatilización, los cuales son procesos neutrales en relación a la CNA, luego por su transformación a la forma nítrica.

El contenido de nitratos es siempre mayor durante el segundo ciclo de cultivo, donde el suelo ha tenido la oportunidad de secarse después de un periodo inicial de lluvia. Este resultado confirma que la distribución de las lluvias juega un papel importante en la actividad nitrificadora (Lensi et al, 1992) y la actividad acidificante. De hecho, la lixiviación y la acidificación son menores durante el segundo ciclo.

Los balances de ^{15}N (Hetier et al, 1995) han revelado pérdidas importantes del nitrógeno proveniente del fertilizante de aproximadamente 4

Atribución - No Comercial - Compartir Igual 3.0 Venezuela (CC BY - NC - SA 3.0 VE)

kmol N ha^{-1}, entre el momento de la fertilización y el punto uno de muestreo, es decir, antes o la comienzo de la nitrificación.

Estas pérdidas rápidas ocurren principalmente por vía gaseosa, disminuyendo así la acidificación potencial inducida por la urea. Seguidamente, los balances de ^{15}N permanecen prácticamente constantes, lo que sugiere que las pérdidas han disminuido o que involucran sólo al nitrógeno proveniente del suelo.

Para el caso del tratamiento 00NM, el primer año desaparecen 6 kmol N-NO_3^- ha^{-1} de los primeros 40 cm de profundidad, entre los puntos 1 y 2 de muestreo. Al mismo tiempo, la planta absorbe aproximadamente 5 kmol N ha^{-1}, donde por lo menos la mitad está bajo la forma nítrica. Por lo tanto, 3.5 kmol N ha^{-1} pudieron haber sido lixiviados o perdidos por volatilización o denitrificación química, durante el período de la nitrificación. Esta cantidad es similar al déficit en el compartimiento ^{15}N.

www.bdigital.ula.ve

Los resultados han demostrado que, en el caso del suelo de Barinas, la lixiviación de los nitratos es significativa por lo que el efecto acidificante directamente ligado al ciclo del nitrógeno debe ser también significativo, a la escala de tiempo de dos ciclos de cultivo.

En la Figura VIII.1 se muestra la distribución de los nitratos en las diferentes capas para el caso de los tratamientos Testigo, 00NM y NPKM. En el caso del tratamiento 00NM, durante la mineralización de la urea aparecen en profundidad aproximadamente 5 Kmol de N-NO_3^-, de los cuales por lo menos 2 son consumidos por el cultivo. por lo que el efecto acidificante del aporte de urea está entre 2 y 3 $kmol_c$ ha^{-1}, lo que concuerda con lo estimado a través de las mediciones de 15N.

Atribución - No Comercial - Compartir Igual 3.0 Venezuela (CC BY - NC - SA 3.0 VE)

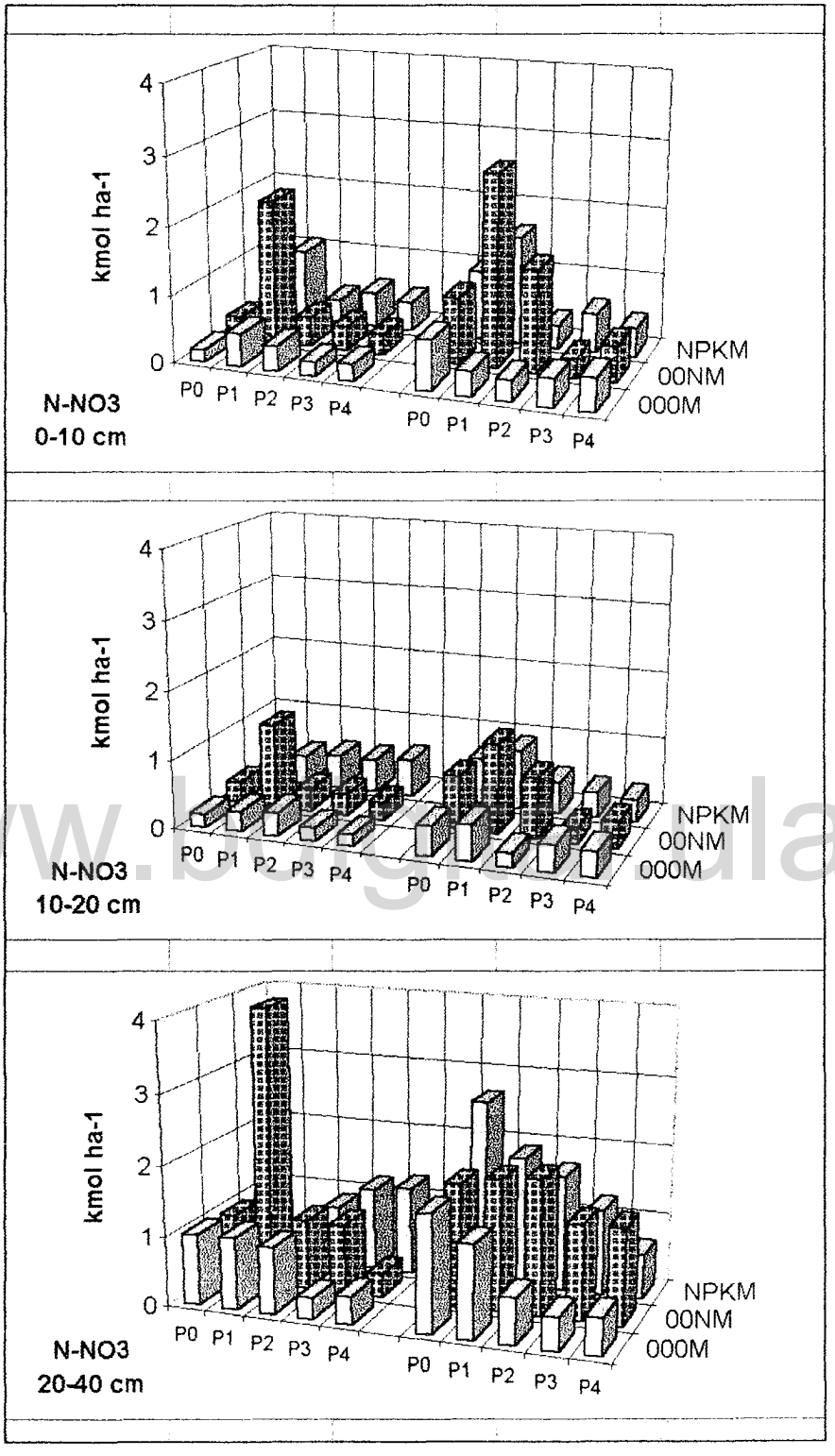


Figura VIII.1.- Cantidades de $N\text{-}NO_3^-$ en el perfil del suelo.

www.bdigital.ula.ve

Atribución - No Comercial - Compartir Igual 3.0 Venezuela (CC BY - NC - SA 3.0 VE)

Esta cantidad estimada aunque es significativa es sin duda discreta sin embargo, se puede incrementar con la distribución y abundancia de las lluvias las cuales favorecen el lavado de los nitratos, pero la velocidad de lixiviación de estos nitratos (2.5 cm por día entre la capacidad de campo y la saturación) debe ser por lo menos dos veces superior para permitir que predomine el proceso de lixiviación sobre su absorción por las plantas.

VIII.2.- *p*H y concentración de protones como índices del proceso de acidificación.

Durante mucho tiempo el problema de la acidificación de los suelos se ha limitado a usar el *p*H para detectar de una manera cualitativamente el peligro de toxicidad alumínica y de esta manera establecer una eventual necesidad de corrección de la acidez a través de un encalamiento. Esto ha sido demostrado por la diversidad de trabajos encontrados en la literatura hechos en base a este acercamiento.

www.bdigital.ula.ve

Estudios realizados en suelos templados (Haland, 1992), utilizados como pastorales, compararon los efectos en el *p*H producidos por el uso de urea así como fertilizantes compuestos como NPK . En este caso, la urea produjo cambios menores que el caso del fertilizante compuesto, además de que el efecto del fertilizante se concentra en los primeros 5 cm de profundidad.

Igualmente, estudios de larga duración realizados sobre el mismo tipo de suelo (McAndrew y Malhi, 1992) determinaron los efectos residuales de varias cantidades de fertilizantes nitrogenados, llegándose a registrar una baja de 1.5 unidades de *p*H al final del experimento con el aporte mayor del fertilizante.

Atribución - No Comercial - Compartir Igual 3.0 Venezuela (CC BY - NC - SA 3.0 VE)

Otros estudios del mismo tipo (Stone et al, 1991) determinaron el impacto producido por la fertilización nitrogenada sobre los valores de *p*H y algunas otras propiedades de varios suelos templados durante 20 años, aplicando diferentes cantidades de fertilizantes nitrogenados como amoníaco anhidro, nitrato de amonio, urea y una mezcla de urea y nitrato de amonio. El resultado mostró que se produce una disminución en el *p*H superficial del suelo de una unidad con relación al tratamiento testigo, así como un incremento en la cantidad de hierro, cobre y manganeso y una disminución significativa en la disponibilidad de fósforo y de bases intercambiables.

Estudios realizados en suelos tropicales han comparado la velocidad de decrecimiento del *p*H debido al aporte de diferentes fuentes nitrogenadas notándose una reducción de hasta 3 unidades después de tres años de aplicación del fertilizante (Abruma et al, 1958; Brochado, 1976; Balagubran, 1982).

www.bdigital.ula.ve

Igualmente, se ha comparado el impacto que tiene la aplicación de sulfato de amonio, urea y nitrato amónico cálcico sobre los valores del *p*H de un alfisol tropical moderadamente ácido (Stumpe y Vlek, 1991). Estas tres fuentes de nitrógeno disminuyen el valor del *p*H del suelo a velocidades predecibles a partir de su composición química.

Estudios realizados con plantas de trigo en semilleros (Weinberger y Yee, 1984), determinaron cambios de *p*H producidos por diferentes fuentes de nitrógeno de hasta 1.5 unidades en las inmediaciones de las raíces después de 3 semanas en comparación con un tratamiento control. Igualmente, sobre una plantación de manzanos (Belton y Goh, 1992), fertilizados con urea agregada en banda a diferentes cantidades se encontró que se produce un descenso de

Atribución - No Comercial - Compartir Igual 3.0 Venezuela (CC BY - NC - SA 3.0 VE)

1.6 unidades de *p*H a diferentes profundidades hasta 60 cm para un aporte de 50 kg de nitrógeno por hectárea y se registró un *p*H de 4.3 a 27 cm de profundidad. Se registró igualmente un aumento en la cantidades de aluminio y manganeso intercambiable así como pérdidas apreciables de calcio, magnesio y potasio en los 10 primeros cm de profundidad.

La aplicación a largo plazo de nitrato de amonio, conjuntamente superfosfato y sulfato de potasio a una plantación de naranjas valencianas sobre un suelo con *p*H alcalino, logra producir cambios substanciales tanto en el *p*H del suelo como en el fósforo extraible y las bases intercambiables hasta 30 cm de profundidad. El *p*H del suelo baja hasta un valor de 3.9 en los 20 primeros cm de profundidad con una dosis máxima de 450 kg N ha^{-1} (Sarooshi et al.,1994).

Estudios recientes (Bouman et al, 1995) han realizado una evaluación a largo plazo del efecto producido por la fertilización nitrogenada (amoníaco anhidro y urea hasta 180 kg N ha^{-1}) de cultivos de cereales sobre el *p*H de un suelo templado, moderadamente ácido, *p*H = 5.5. En este caso, el amoníaco anhidro produce una disminución mayor del *p*H, registrándose valores de hasta 4.3, lo que concuerda con las predicciones teóricas que asumen una completa oxidación del NH_3 a NO_3^-. Por otro lado, la urea no produjo el efecto esperado debido a una aparente pérdida del nitrógeno uréico a través de la volatilización de NH_3 (el cual es un proceso no acidificante, en relación a la CNA).

Otros estudios han dado más importancia a la determinación de la velocidad de acidificación del suelo más que en la determinación de valores de

www.bdigital.ula.ve

Atribución - No Comercial - Compartir Igual 3.0 Venezuela (CC BY - NC - SA 3.0 VE)

*p***H** alcanzados y variaciones de propiedades producidos por la fertilización nitrogenada (Helyar et al, 1990; Poss et al, 1995).

La velocidad de acidificación del suelo puede ser medida en términos de cambios absolutos o relativos a algún suelo control (Helyar y Porter, 1989). Las mediciones absolutas de las velocidades de aportes ácidos pueden obtenerse del análisis del suelo antes y después del período de acidificación como en los experimentos de larga duración. Las velocidades relativas de acidificación se pueden obtener de las diferencias entre tratamientos al final del experimento de larga duración.

Algunas estimaciones de la velocidad de acidificación realizadas en diferentes ecosistemas agrícolas han sido hechas en base a comparaciones realizadas entre áreas cultivadas adyacentes a áreas no cultivadas usando medidas de la capacidad buffer conjuntamente con mediciones de *p***H** (Chartres el al, 1990; Helyar el al, 1990; Ridley et al, 1990). La velocidad neta de aportes ácidos está entre 0 y 5 kmol H^+ ha^{-1} $año^{-1}$ pero, en algunos sistemas en explotación se han medido velocidades máximas entre 10 y 20 kmol H^+ ha^{-1} $año^{-1}$.

www.bdigital.ula.ve

Todos estos estudios realizados en base a mediciones de *p***H** son criticables en el sentido que las variaciones de este parámetro a lo largo del tiempo están condicionadas por múltiples factores de los cuales sólo unos pocos están relacionados con el fenómeno de la acidificación.

Por otro lado, las comparaciones en base a valores de *p***H** son engañosa y tienden más a confundir que ha enseñar debido a que este parámetro no representa una variación lineal de cantidades de protones, lo que no permite promediar de manera aritmética valores de *p***H**, a menos que estos valores estén

Atribución - No Comercial - Compartir Igual 3.0 Venezuela (CC BY - NC - SA 3.0 VE)

muy próximos entre si de manera que el error introducido esté dentro de un rango aceptable.

En el presente trabajo, aporte de urea es de 9.43 kmol N ha^{-1}. Admitiendo que la pérdida del nitrógeno nítrico se lleva a cabo por la vía de la lixiviación, la cual es la principal fuente de protones (Poss, 1995) y sabiendo que las pérdidas del nitrógeno derivado del fertilizante llegan al 30 % del aporte, podríamos esperar la aparición de 1 a 3 kmol H^+ en los 20 primeros cm del perfil.

Si utilizamos las variaciones del $p\mathbf{H}_{agua}$ para medir la cantidad de protones aparecidos en los 10 primeros cm del perfil, nos encontramos, al final del primer ciclo en el tratamiento 00NM, con que a lo sumo obtenemos entre el 1 y 2 % de la acidificación potencial estimada. Transformando las variaciones del $p\mathbf{H}_{agua}$ en protones agregados o sustraídos de su compartimiento, encontramos cantidades muy pequeñas y difícilmente interpretables, tal como lo muestra la Figura VIII.2. En general estas cantidades no superan los 0,04 Kmol por lo que no reflejan la magnitud del efecto de acidificación y confirma que no hay una relación simple entre la adición de protones al sistema y el $p\mathbf{H}_{agua}$ (Poss, 1995). De esta manera, si el suelo se encuentra en una zona buffer, el aporte de protones no se refleja en el pH del mismo.

www.bdigital.ula.ve

La Figura VIII.3 muestra que el total de protones intercambiables, en el mismo caso del tratamiento con urea, apenas alcanza 1 $kmol_c$ ha^{-1} entre los 0 y 20 cm, a la mitad del primer cultivo, por lo que estas variaciones del $p\mathbf{H}_{KCl}$ tampoco traducen la amplitud de la acidificación, sino que más bien parecen acompañar la actividad radicular ya que las variaciones son de menor magnitud en profundidad donde también la masa radicular es menos densa.

Atribución - No Comercial - Compartir Igual 3.0 Venezuela (CC BY - NC - SA 3.0 VE)

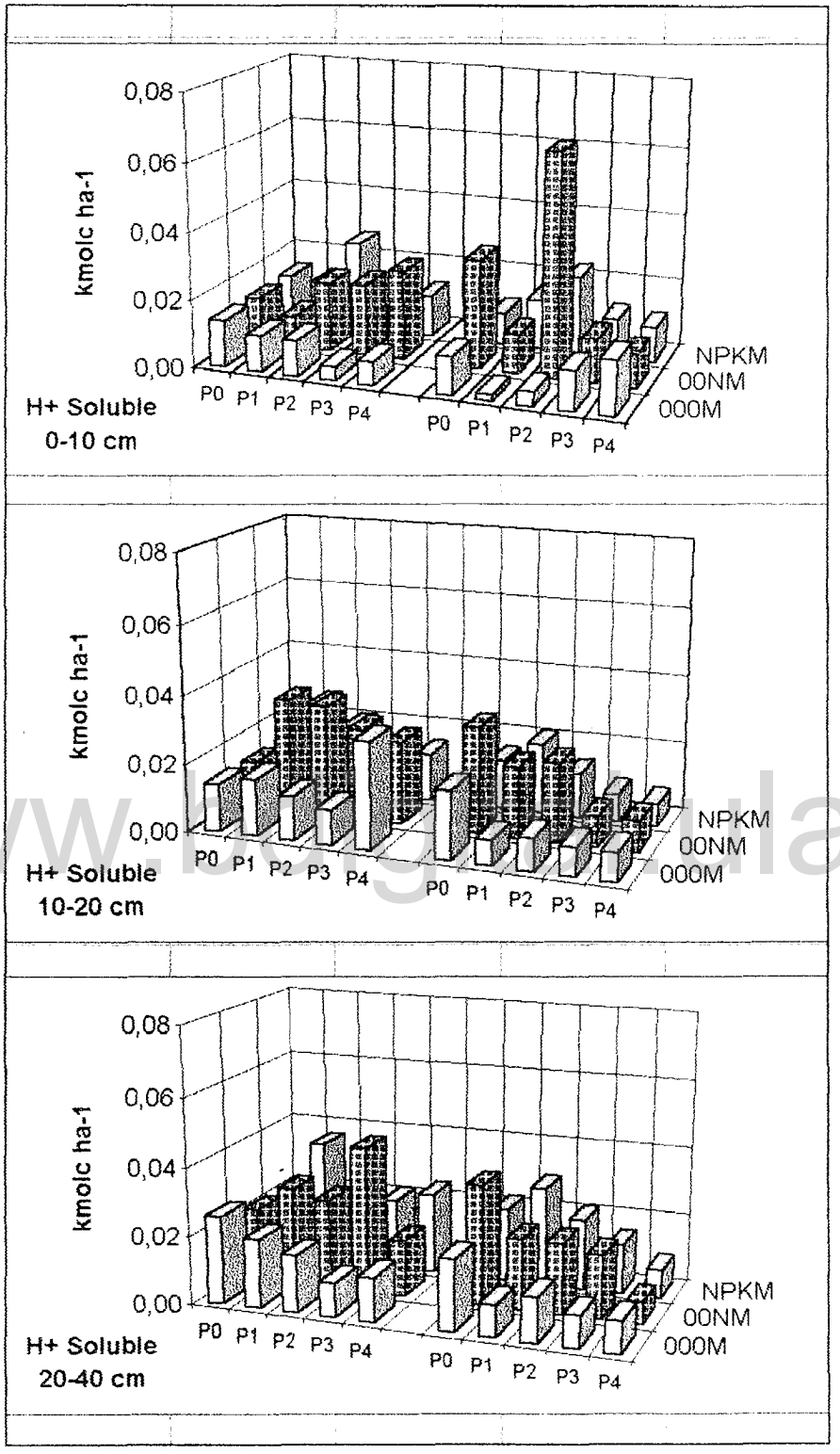


Figura VIII.2.- Cantidades de H^+ libres en el perfil del suelo.

www.bdigital.ula.ve

Atribución - No Comercial - Compartir Igual 3.0 Venezuela (CC BY - NC - SA 3.0 VE)

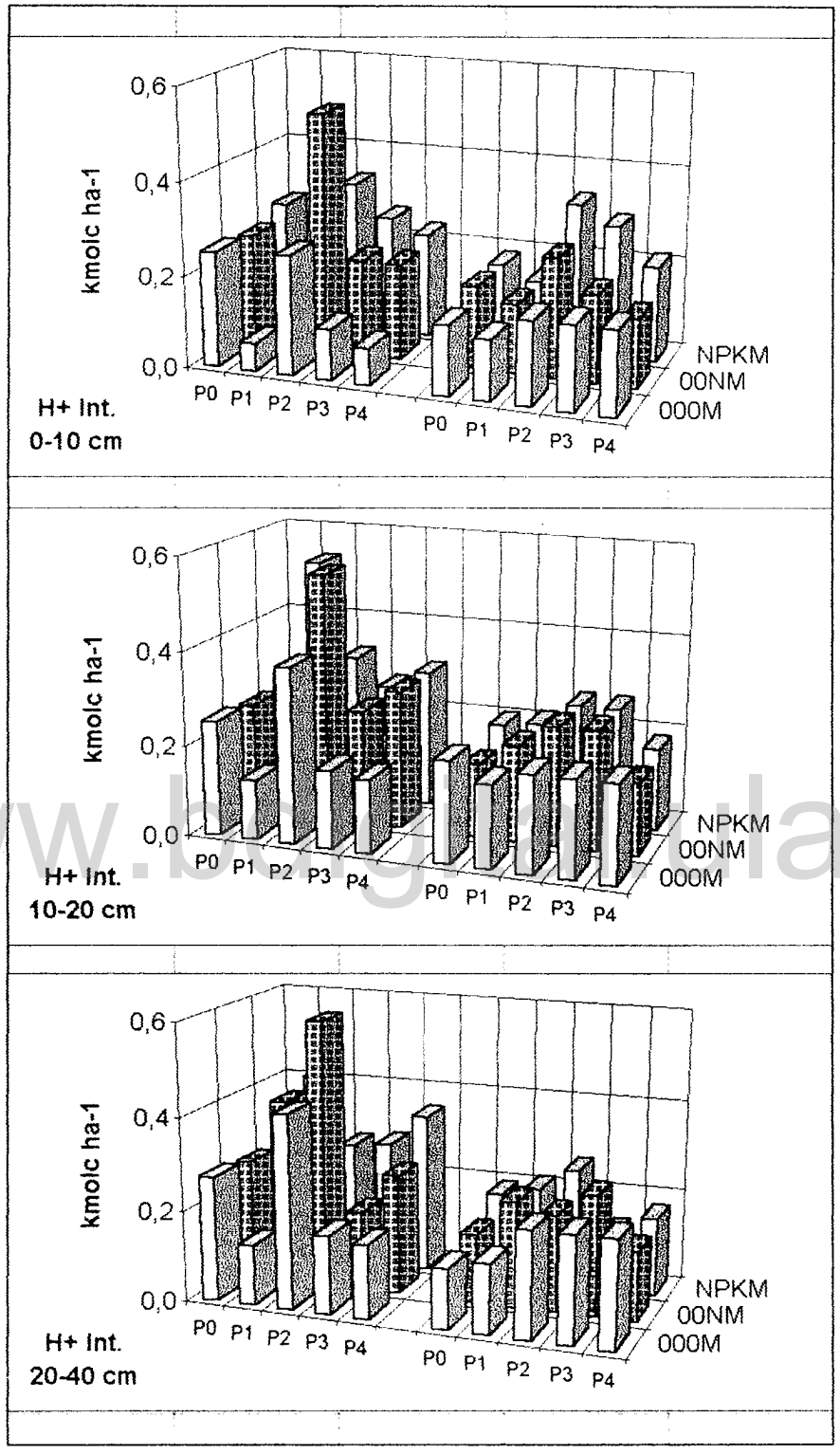


Figura VIII.3.- Cantidades de H^+ intercambiables en el perfil del suelo.

www.bibliotecha.ve

Atribución - No Comercial - Compartir Igual 3.0 Venezuela (CC BY - NC - SA 3.0 VE)

Por otro lado, si transformamos las variaciones sucesivas de *p*H en cantidades de protones aportados o sustraídos, teniendo en cuenta el poder tampón, es decir 26 $kmol_c\ ha^{-1}$ en los 20 primeros cm, encontramos cantidades que varían entre 5 y 20 Kmol. Estas cantidades están muy por encima de la acidificación estimada, por lo que tampoco reflejan una relación entre las cantidades de protones movilizados y el efecto de acidificación potencial de la urea. Estos resultados que ponen en evidencia la necesidad de establecer una relación entre el poder tampón y el modo de saturación de la capacidad de intercambio.

La consecuencia práctica de todo esto es que el *p*H medido en agua o en un electrolito no puede conducir a una evaluación cuantitativa del efecto de acidificación ni tampoco de los cambios en la CNA del suelo. Igualmente, la comparación hecha sobre los cambios de *p*H que ocurren a mediano o largo plazo entre áreas cultivadas y no cultivadas no es apropiado para discriminar el balance protónico en el ecosistema. Es necesario el conocer de manera detallada los mecanismos de acidificación que operan en el mismo ya que ese es el punto de partida para un mejor manejo y control de la acidez del suelo.

www.bdigital.ula.ve

La utilización de los protones movibles como índice de acidificación constituyen un instrumento sensible pero infiel para medir la acidificación. De la misma manera, los protones intercambiables tampoco constituyen una herramienta confiable debido el carácter esporádico e incoherente de las variaciones que se relacionan muy mal con los diferentes tratamientos. Sin embargo, expresados bajo la forma de una relación de protones libres a protones intercambiables, podrían servir al seguimiento cualitativo de los efectos combinados de la fertilización nitrogenada y del clima.

Atribución - No Comercial - Compartir Igual 3.0 Venezuela (CC BY - NC - SA 3.0 VE)

Por otro lado, utilizar un tratamiento no fertilizado en lugar de una muestra inicial como termino de comparación no mejora sino empeora las interpretaciones, ya que el tratamiento de control tiene sus propias variaciones ocasionadas por la interrupción de la fertilización nitrogenada practicada desde hace 18 años lo cual modifica el medio trayendo como consecuencia una disminución notable de las concentraciones de protones libres e intercambiables.

VIII.3.- Aluminio libre e intercambiable.

Las repercusiones negativas de la acidez de los suelos sobre la fisiología de las plantas y la baja de los rendimientos agrícolas es generalmente atribuida a la aparición de aluminio soluble (Kamprath, 1970; Boyer, 1976; Sánchez, 1976; Pavan, 1983; Robson y Pitman, 1983; Brady, 1990; Van Lierop, 1990; Yagodin, 1986; Marschner, 1991), siendo su límite de toxicidad aceptado de 10 mmol L^{-1} de Al^{+3} (Fallavier, 1995).

www.bdigital.ula.ve

La toxicidad del aluminio es muchas veces indirecta ya que este perturba la alimentación hídrica de las plantas, altera el metabolismo de los hidratos de carbono, del nitrógeno y del fosfato en las mismas. Igualmente inhibe la absorción de calcio y fósforo y por el contrario exalta la de manganeso (Boyer, 1976; Coppenet et al, 1986).

En general, tanto para el caso del suelo bajo maíz como bajo pasto se moviliza mucho más aluminio soluble en la superficie que en profundidad. Un estudio estadístico realizado muestra que no hay una relación directa entre las variaciones del pH_{agua} y las del aluminio soluble, por lo que este aluminio debe estar asociado principalmente a una materia orgánica que también es soluble.

Atribución - No Comercial - Compartir Igual 3.0 Venezuela (CC BY - NC - SA 3.0 VE)

Admitiendo que este aluminio esta relacionado con cierta materia orgánica soluble, resulta lógico que este aluminio se encuentre preferencialmente en las dos primeras capa, debido a la presencia de una gran masa radicular, la cual genera mucha actividad biológica, especialmente bajo cultivo de pasto. Sin embargo, esta actividad radicular esta limitada principalmente a los 20 primeros cm de profundidad, por lo que la capa entre los 20 y 40 cm es bastante pobre en materia orgánica y por eso el bajo contenido de este aluminio en la solución.

Por lo tanto, a nivel de los 20 primeros cm, es muy probable que este aluminio soluble se encuentra bajo la forma de complejos organometálicos y por lo tanto no estaría involucrado de una manera directa con el aspecto tóxico y tampoco con el proceso de acidificación.

Por otro lado, la aplicación de urea resulta en un notable incremento de aluminio intercambiable, especialmente en la capa profunda, tal como lo muestra la Figura VIII.4. Este incremento es más aparente en las capas superficiales ya que no conllevan a ninguna disminución del *p*H. Por otro lado, las cantidades de aluminio movilizadas superan los niveles tóxicos pero las plantas no presentan ningún síntomas de toxicidad.

www.bdigital.ula.ve

La razón es que probablemente una parte variable del aluminio medido, usualmente considerado como intercambiable, es de hecho una variedad de compuestos organo-minerales que corresponden a una rizodeposición más activa en el tratamiento fertilizado con urea.

Por este motivo, los resultados del aluminio extraible con la solución de KCl M deberían ser mejor analizados (Dahlgren, 1994) y estándarizados (Li et al, 1994) para ser utilizados en una evaluación local de toxicidad.

Atribución - No Comercial - Compartir Igual 3.0 Venezuela (CC BY - NC - SA 3.0 VE)

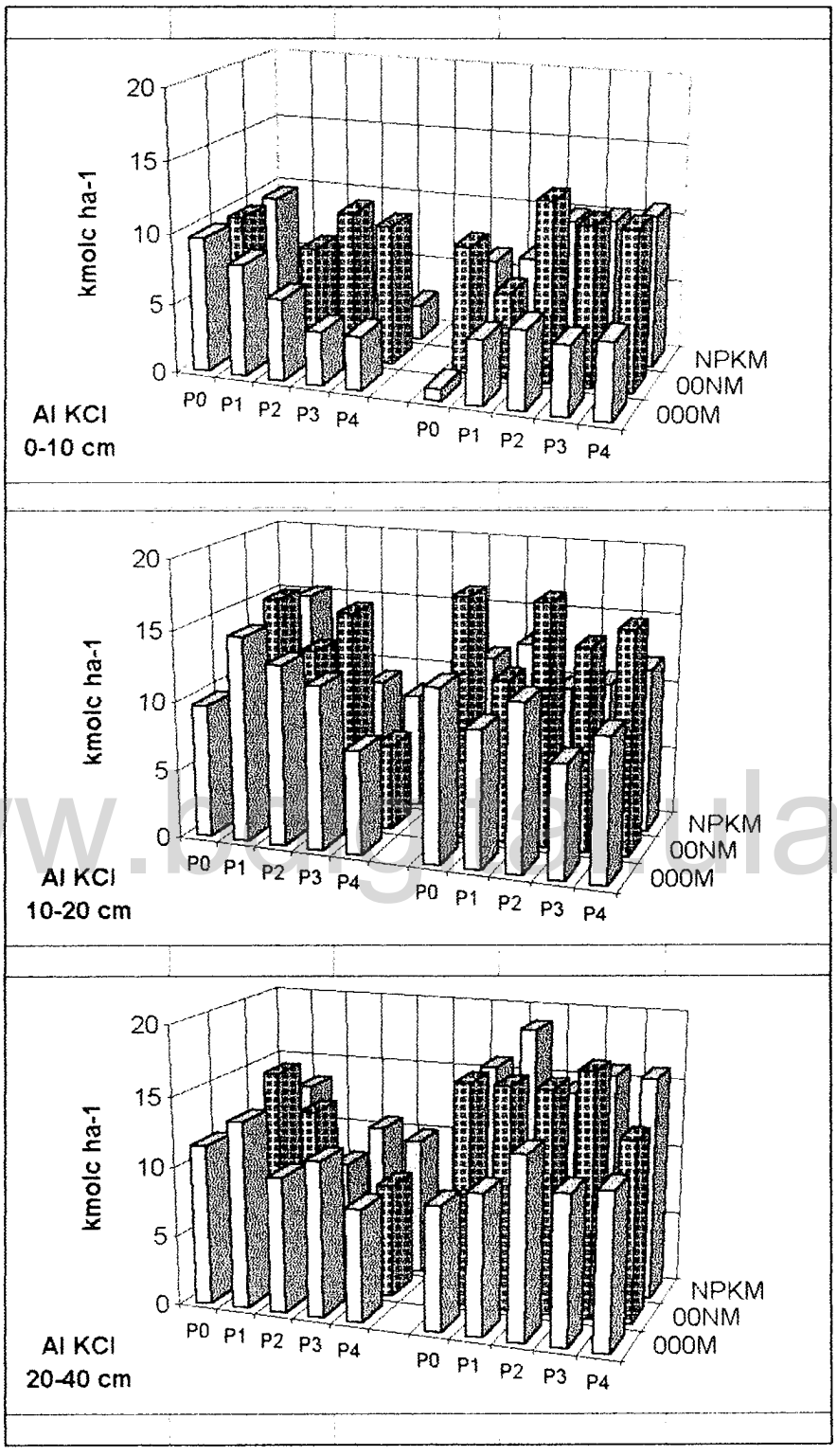


Figura VIII.4.- Cantidades de Al KCl en el perfil del suelo.

www.bdigital.ula.ve

Atribución - No Comercial - Compartir Igual 3.0 Venezuela (CC BY - NC - SA 3.0 VE)

Basado en estándares tradicionales (Hetier et al., 1992), los resultados obtenidos en el presente trabajo podrían indicar que la barrera de toxicidad ha sido excedida debido justamente a que el aluminio extraído por el KCl ***M*** y determinado por ICP, representa un aluminio total contenido en la muestra, el cual representa tanto los compuestos orgánicos solubles como formas inorgánicas así como también aluminio libre, Al^{+3} .

La detección de una posible toxicidad alumínica puede ser hecha de una manera más precisa usando condiciones más específicas de extracción (Boudot et al., 1994) y/o realizando una especiación de los tipos de aluminio medidos en la solución de suelo (Fallavier, 1995).

Los cálculos de especiación realizados con el software Geochem (P. Fallavier, comunicación personal) demostraron que las concentraciones de aluminio libre, Al^{+3}, en la solución de suelo, nunca es mayor que 1 mmol L^{-1}, mientras que el límite de toxicidad aceptado es de 10 mmol L^{-1}. Esto explica la ausencia de síntomas de la toxicidad alumínica en los cultivos de maíz en los suelos de la serie Barinas.

www.bdigital.ula.ve

Por lo tanto, la acidificación del suelo de Barinas no puede ser medido a través de los cambios del estado del aluminio debido a la incertidumbre sobre el estado iónico, polimerizado o acomplejado del aluminio medido por ICP en el extracto de KCl ***M***. Las relaciones entre los cambios de estado del aluminio y el poder buffer del suelo deben ser elucidadas para ver en que medida estas determinaciones pueden contribuir a la interpretación del fenómeno de acidificación así como su influencia sobre la CNA del suelo.

El problema del manganeso es menos general, pero en los suelos donde es abundante el puede causar toxicidad más rápidamente que el mismo

Atribución - No Comercial - Compartir Igual 3.0 Venezuela (CC BY - NC - SA 3.0 VE)

aluminio cuando el suelo se acidifica; bajo estas condiciones este elemento se hace muy sensible a los fenómenos de oxido reducción.

Descartando la posibilidad de que en algún momento del procedimiento analítico se hubiese provocado la insolubilización accidental del manganeso (y del cobre y del zinc que siguen el mismo patrón), el comportamiento del manganeso aparece como el resultado de complejas interacciones.

Se puede admitir como probable el antagonismo de las condiciones de nitrificación con la aparición del manganeso en la solución del suelo, sin embargo, descensos bruscos de *p*H durante el segundo ciclo pudiesen estar relacionados con esta aparición.

Es difícil el tratar de explicar este comportamiento del manganeso soluble debido a lo complejo de sus sistemas químicos. Este tiene tres estados de oxidación posibles en el suelo, Mn^{+2}, Mn^{+3} y Mn^{+4}, de las cuales las formas más reducidas son accesibles para las plantas. La forma Mn^{+2} es la más estable en la solución del suelo, mientras que la forma Mn^{+3} por ser un oxidante poderoso tiene un tiempo de vida corto en solución sin embargo, puede ser detectado en algunos casos cuando hay la presencia de algunos aniones acomplejantes como fosfatos, oxalatos o sulfatos que pudieran estabilizarlo por un tiempo (McBride, 1994; Coppenet y Juste, 1979;).

Tanto el Mn^{+3} como el Mn^{+4} son estables sólo en la fase sólida del suelo, donde forman minerales de estructura y estados de oxidación variables por ejemplo, MnO_2, MnOOH, Mn_3O_4, $Na_4Mn_{14}O_{27}$, etc.

El ion Mn^{+2}, el cual es muy soluble en agua, es liberado de estos sólidos por disolución espontánea o por intercambio catiónico, especialmente en condiciones ácidas o reductoras y su solubilidad esta regulada por el potencial

www.bdigital.ula.ve

Atribución - No Comercial - Compartir Igual 3.0 Venezuela (CC BY - NC - SA 3.0 VE)

redox y el *p*H del suelo, y sólo cuando *p*H > 7 puede haber la formación de hidróxidos o carbonatos insolubles que pueden precipitar. Sin embargo a *p*H de 6 o un poco más, el Mn^{+2} es el metal transicional más débilmente acomplejado por la materia orgánica (Senesi y Calderoni, 1988), óxidos y silicatos, por lo que su solubilidad decrece también.

Pequeños cambios en el *p*H del suelo y/o el potencial redox pueden mover la reacción Mn^{+2}/ Mn óxido; valores bajos de *p*H y de potencial redox favorecen la reducción de los óxidos insolubles incrementando la solubilidad del Mn^{+2}. Como resultado de esto, la solubilidad del Manganeso en un suelo particular puede variar tremendamente con el tiempo, pasando de ausente a niveles deficientes o tóxicos. Es bastante difícil establecer de alguna manera la movilidad del manganeso debido a que el es extremadamente sensible a las condiciones del suelo como acidez, humedad, actividad biológica, etc.

www.bdigital.ula.ve

Las deficiencias se presentan en suelos que son salinos y alcalinos, calcáreos etc, mientras que la toxicidad se presenta cuando el contenido de manganeso reducible se encuentra más por encima de los 100 mg por kg de suelo y es más probable de encontrarla en suelos ácidos con bajos contenidos de humus o también en suelos inundados (Bittel, 1957; Coppenet y Juste, 1979).

En el presente trabajo, las cantidades de manganeso extraído por la solución de KCl M (manganeso intercambiable) son mucho más pequeñas que las del aluminio sin embargo ellas apuntan en el mismo sentido. De igual forma, una parte variable de este manganeso en el extracto de KCl debe estar bajo la forma de compuestos organometálicos.

Atribución - No Comercial - Compartir Igual 3.0 Venezuela (CC BY - NC - SA 3.0 VE)

En todo caso, las cantidades de manganeso movilizadas no son lo suficientemente grandes como para contribuir de manera significativa a las variaciones de la CNA. Sin embargo, antes de tomar en cuenta el aluminio y el manganeso para los cálculos de la CNA se necesitan desarrollar tanto estudios teóricos como experimentales con el fin de determinar como contribuyen estos elementos al poder buffer.

Experimentos de percolación en columnas (Millán et al. 1997) han dejado ver que aparentemente tanto el aluminio como el manganeso son tan importantes como el calcio y el magnesio. Si este resultado es confirmado en estudios de campo estos elementos deben ser tomados en cuenta en estudios posteriores sobre la evolución de la CNA en suelos cultivados.

VIII.4.- Bases solubles e intercambiables y la CNA del suelo.

www.bdigital.ula.ve

Las diferentes conclusiones extraídas bajo diferentes contextos, muestran la necesidad de un marco teórico general para evaluar el fenómeno de la acidificación bajo diferentes circunstancias. Este hecho es una consecuencia lógica de la definición de acidificación de Van Breemen, (1983) la cual ha sido constatada por numerosos autores, en particular aquellos que utilizan el método de los balances de entrada y salida de protones (Poss, 1995). Según van Breemen el término "acidificación" puede ser utilizado sólo cuando la CNA del suelo ha disminuido de manera irreversible

VIII.4.1.- Elementos que sustentan la CNA del suelo.

La CNA del suelo depende en gran parte de los elementos base, calcio, magnesio y potasio, especialmente el primero de estos. Además de jugar un papel importante en las variaciones de la CNA, estos elementos son

Atribución - No Comercial - Compartir Igual 3.0 Venezuela (CC BY - NC - SA 3.0 VE)

macronutrientes importantes para el crecimiento de las plantas y en la propia constitución del suelo (Dutil, 1979; Dexter y Chan, 1991).

Entre los principales factores que determinan la disponibilidad de estos elementos están: el suministro total del elemento, *p*H del suelo, la capacidad de intercambio catiónica, el porcentaje de saturación en el complejo de intercambio, el tipo de coloides del suelo y la relación frente a otros cationes en la solución y en fase intercambiable y del tipo de arcilla y de la capacidad de fijación en el caso del potasio.

Las formas solubles e intercambiables de estos elementos están en un equilibrio dinámico, de manera que si la actividad del ion disminuye en la fase soluble, como consecuencia del lavado y el consumo de las plantas, este tiende a reponerse de la fase absorbida. Por el contrario, si la actividad del ion en la solución de suelo se incrementa de manera repentina, tiende a haber un cambio del equilibrio en la dirección contraria, con la subsecuente absorción del ion por el complejo absorbente.

www.bdigital.ula.ve

En los suelos ácidos de las regiones húmedas, el calcio predomina generalmente bajo la forma intercambiable y como minerales primarios no descompuestos. En la mayoría de estos suelos, el calcio, el aluminio y los iones hidrógeno están presentes en grandes cantidades sobre el complejo absorbente.

Por otro lado, a diferencia del calcio, el magnesio puede encontrarse bajo una forma poco disponible la cual se encuentra en un equilibrio dinámico con la forma intercambiable. La formación de esta forma poco disponible del magnesio, o de lenta liberación en suelos ácidos podría ser favorecida por la presencia de grandes cantidades de compuestos solubles de magnesio y arcillas del tipo 2:1. (Sumner et al, 1978).

Atribución - No Comercial - Compartir Igual 3.0 Venezuela (CC BY - NC - SA 3.0 VE)

A diferencia de los anteriores, se considera que el potasio existe en el suelo bajo cuatro formas catalogadas según sea su disponibilidad para las plantas: el potasio estructural o mineral, el potasio no intercambiable o lentamente disponible, el potasio intercambiable y el potasio en solución. Estas cuatro formas se encuentran entre si también en un equilibrio dinámico (Brady, 1974; Sharpley, 1989).

El potasio que se presenta asociado a los silicatos, o sea, el potasio estructural, representa la mayor parte del potasio en el suelo, pero este potasio no está disponible para la planta directamente sin embargo, participa en los procesos dinámicos y es liberado solo a través de la meteorización.

Por lo general, la transferencia de potasio de la fracción estructural o mineral hacia cualquiera de las otras tres formas es extremadamente lenta en la mayoría de los suelos y por lo tanto esa fracción de potasio se considera no disponible para las plantas al menos a la escala de un cultivo (Tisdale, et al 1985; Elkhatib y Hern, 1988). Las reservas de potasio del suelo son por lo general grandes, aunque la distribución de las diferentes formas de potasio difiere de suelo a suelo como una función del tipo de mineral predominante.

www.bdigital.ula.ve

VIII.4.2.- Cambios de calcio y magnesio libres e intercambiables.

Los resultados del presente trabajo que se muestran en las Figuras VIII.5 y VIII.6, han puesto en evidencia que en el tratamiento Testigo, las cantidades de calcio y magnesio se incrementan en las dos primeras capas durante los dos ciclos de cultivo. En los tratamientos que recibieron urea, especialmente 00NM, este incremento es bastante discreto durante el primer ciclo y casi nulo el segundo.

Atribución - No Comercial - Compartir Igual 3.0 Venezuela (CC BY - NC - SA 3.0 VE)

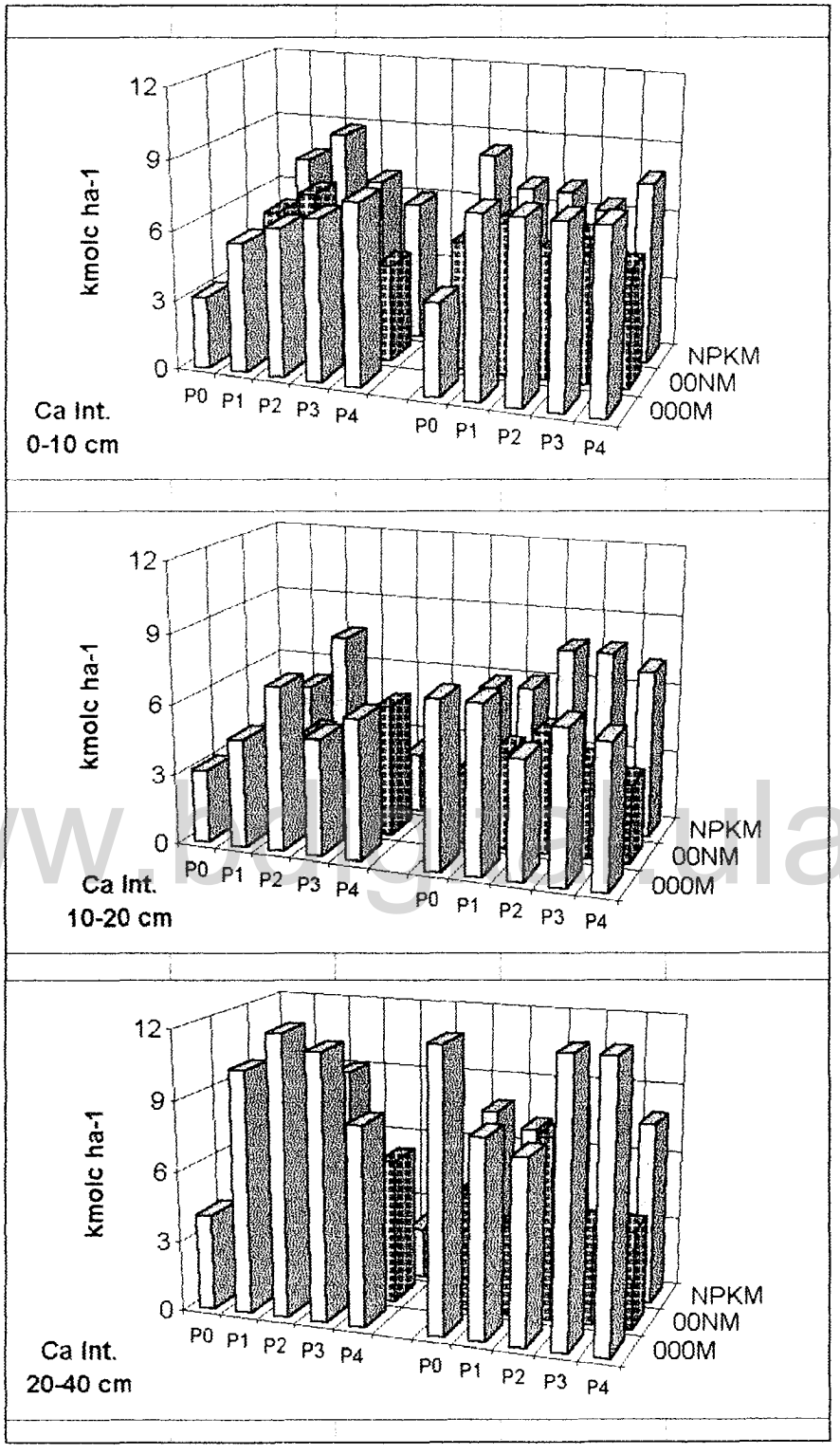


Figura VIII.5.- Cantidades de Ca intercambiable en el perfil del suelo.

www.bdigital.ula.ve

Atribución - No Comercial - Compartir Igual 3.0 Venezuela (CC BY - NC - SA 3.0 VE)

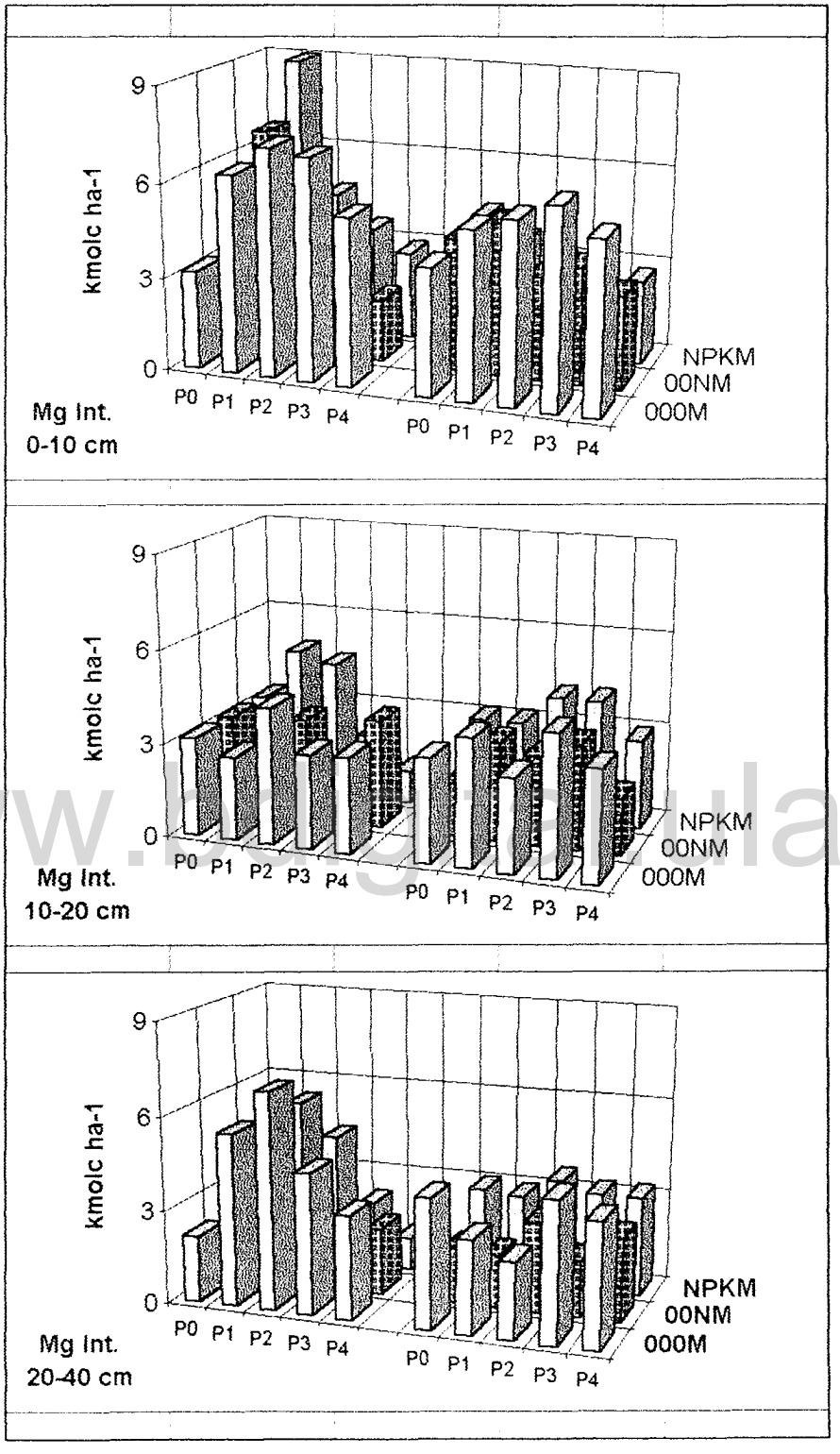


Figura VIII.6.- Cantidades de Mg intercambiable en el perfil del suelo.

www.bdigital.ula.ve

Atribución - No Comercial - Compartir Igual 3.0 Venezuela (CC BY - NC - SA 3.0 VE)

La comparación del estado final del suelo fertilizado con urea y del Testigo en relación al estado inicial revela un enriquecimiento global de 26 $kmol_c\ ha^{-1}$ de calcio para el caso del Testigo y de 2 para el suelo fertilizado con urea. Las cantidades y variaciones del magnesio son más modestas, pero ellas apuntan en la misma dirección. Al final de dos años de cultivo el complejo de intercambio del suelo Testigo contiene entonces 24 $kmol_c\ ha^{-1}$ de calcio y 7 de magnesio intercambiables más que el suelo fertilizado.

Estas diferencias son difíciles de interpretar sin embargo, estas no son debidas a la exportación por la planta. Esta exportación por la planta es mucho menor y representa aproximadamente 1 $kmol_c\ ha^{-1}$, incluyendo el grano.

A la cosecha, los restos no contienen más de 2 $kmol_c\ ha^{-1}$ de calcio más magnesio en el tratamiento fertilizado y no más de 0,5 en el Testigo, por lo que los resultados no explican la diferencia la cual es aproximadamente 15 veces mayor que la exportación de la planta.

www.bdigital.ula.ve

A pesar de los cuidados que se tuvieron en la definición del estado inicial, parte de esta diferencia puede ser atribuida a algún exceso local de calcio intercambiable en el tratamiento Testigo, particularmente a nivel de superficie. Sin embargo, la variación observada, del 12 al 40 % de la capacidad de intercambio efectiva, es mayor que la variabilidad del campo y por lo tanto debe ser considerada como significativa.

Debido a que el enriquecimiento del suelo Testigo en calcio intercambiable involucra más que todo al horizonte profundo que a las capas superficiales, estas diferencias también son mayores en las capas inferiores.

Podemos observar una lixiviación, pero esto no es suficiente para explicar estas diferencias. La parte móvil, es decir la parte soluble en el agua, de estos cationes intercambiable es del orden del 10 % del total en el suelo

Atribución - No Comercial - Compartir Igual 3.0 Venezuela (CC BY - NC - SA 3.0 VE)

fertilizado y del 5 % en el suelo Testigo. Esto significa que el calcio podrá ser lixiviado dos veces más rápido en presencia de urea que en el suelo no fertilizado.

La capa de agua que atraviesa el perfil por día durante el cultivo es en promedio del orden de los 50 mm, o sea 500 m^3ha^{-1}. De acuerdo a las mediciones de los elementos móviles podemos admitir que esta agua contiene cerca de 10 mg de calcio por litro. En los 100 días que dura un cultivo de maíz pueden salir del suelo 25 $kmol_c\ ha^{-1}$ de calcio. Sería necesario que las concentraciones sean dos veces más fuertes en presencia de urea por lo menos por un tiempo para explicar fácilmente las diferencias observadas en la evolución de los elementos intercambiables.

Los cambios observados en el transcurso de los dos años son considerables (31 $kmol_c\ ha^{-1}$ Ca + Mg) en los tres horizontes, sin embargo son compatibles con una evolución de cationes intercambiables en relación a una capacidad de intercambio cinco veces más grande (170 $kmol_c\ ha^{-1}$).

www.bdigital.ula.ve

Esta evolución se puede explicar por los cambios de la proporción de elementos solubles en agua en relación al total intercambiable que favorece más o menos la saturación del complejo de intercambio o la lixiviación.

Estos resultados corresponden sin duda al hecho de que el tratamiento Testigo revela los efectos de las fertilizaciones anteriores, en particular las de superfosfato de calcio que continúa disolviéndose liberando el calcio y magnesio que pasa a posiciones de intercambio pero que en presencia de urea es lixiviado.

El potasio soluble medido representa entre el 20 y el 30 % del potasio intercambiable. En ambos ciclos de cultivo, la cantidad de potasio soluble decrece mucho más en los tratamientos fertilizados, pero sólo a nivel de los 20

Atribución - No Comercial - Compartir Igual 3.0 Venezuela (CC BY - NC - SA 3.0 VE)

primeros cm y esta disminución se debe probablemente a la exportación por la planta. El maíz absorbe aproximadamente de 2 a 3 $kmol_c\ ha^{-1}$ de potasio, para 10 ton de material verde (Pieri, 1989; Poss, 1991), lo cual es equivalente a la disminución observada en los 20 primeros cm.

La fertilización nitrogenada tiende a sacar al potasio de los sitios de intercambio, obligándolo a entrar en solución, lo cual permite el lavado del mismo. Esto puede explicar porque el contenido de potasio soluble fue menor durante el primer año que fue más lluvioso.

Por otro lado, la absorción de potasio produce la exudación de una cantidad equivalente de protones que pueden ocasionar una alta acidificación pero temporal si los residuos de cosecha son dejados en el sitio, lo que fue una práctica común durante el experimento.

www.bdigital.ula.ve

VIII.4.3.- Cambios en la CNA del suelo.

La imposibilidad de utilizar los datos de *p***H** así como los de aluminio para cuantificar el efecto de acidificación inducida a conducido a buscar una eventual disminución de la CNA debido a un cambio en la composición catiónica que saturan la capacidad de intercambio.

Las siguientes Tablas (VIII.1 a VII.3) fueron diseñadas para las capas de 0-20 cm, suelo superficial y 20-40 cm, subsuelo, para resumir todos los resultados en términos de acidificación según la definición de van Breemen. La misma se basa en la diferencia de concentración de cada elemento entre dos muestreos sucesivos.

Esta evaluación simplificada demuestra que el suelo superficial incrementa su capacidad de neutralización (9,9 $kmol_c\ ha^{-1}$) cuando la

Atribución - No Comercial - Compartir Igual 3.0 Venezuela (CC BY - NC - SA 3.0 VE)

fertilización nitrogenada se interrumpe, mientras que una leve acidificación persiste cuando la aplicación de la urea se mantiene (-1,7 $Kmol_c\ ha^{-1}$). En el subsuelo, más de la mitad del incremento de la CNA se debe probablemente a la variabilidad espacial del campo.

Tabla VIII.1.- Variación de la CNA en el tratamiento 000M para el suelo superficial y el subsuelo.

	ΔCNA + o -					
0-20 cm	NO_3^-	NH_4^+	K^+	Ca^{+2}	Mg^{+2}	**Total** $kmol_c\ ha\text{-}1$
P0 ciclo I	**0.4**	**0.4**	**2.2**	**6.2**	**6.5**	
P1	-0.4	+1.0	-1.2	+4.0	+2.6	**+6.0**
P4	+0.4	-1.1	+0.4	+3.6	-0.5	**+2.7**
P0 cicloII	-0.8	+0.0	+0.7	-2.7	-1.1	**-3.8**
P1	+0.3	+0.5	-0.2	+3.8	+2.1	**+6.4**
P4	0.0	-0.6	+0.7	-1.1	-0.4	**-1.4**
Total	**-0.5**	**-0.2**	**+0.4**	**+7.6**	**+2.6**	**+9.9**
20-40 cm	NO_3^-	NH_4^+	K^+	Ca^{+2}	Mg^{+2}	**Total** $kmol_c\ ha\text{-}1$
P0 ciclo I	**1.0**	**0.4**	**1.1**	**9.5**	**5.0**	
P1	0.0	+0.4	-0.9	+14.6	+8.0	**+22.1**
P4	+0.6	-0.4	0.0	-4.4	-5.3	**-9.3**
P0 cicloII	-2.1	-0.4	+1.0	+8.9	+2.0	**+9.4**
P1	+0.4	+1.0	-0.3	-9.0	-2.8	**-10.7**
P4	+0.8	+0.4	0.0	+9.0	+2.3	**+12.4**
Total	**-0.3**	**+1.1**	**-0.2**	**+19.1**	**+4.3**	**+23.9**

www.bdigital.ula.ve

La magnitud del decrecimiento de la CNA relacionado a la fertilización uréica varía entre 0 y 2 $kmol_c\ ha^{-1}$ lo cual está de acuerdo con la proporción estimada de los nitratos lixiviados. Sin embargo, las variaciones observadas se deben principalmente al comportamiento del calcio y el magnesio más que al nitrógeno, cuyos efectos acidificante y alcalinizantes se compensan mutuamente cuando no hay una lixiviación importante de nitratos, lo que está de acuerdo con la definición de reversibilidad de van Breemen.

Atribución - No Comercial - Compartir Igual 3.0 Venezuela (CC BY - NC - SA 3.0 VE)

Tabla VIII.2.- Variación de la CNA en el tratamiento 00NM para el suelo superficial y el subsuelo.

			ΔCNA + o -			
0-20 cm	NO_3^-	NH_4^+	K^+	Ca^{+2}	Mg^{+2}	**Total** $kmol_c\ ha^{-1}$
P0 ciclo I	**0.6**	**0.3**	**2.2**	**6.2**	**6.5**	
P1	-2.7	+8.4	+0.4	+2.3	+3.4	**+11.8**
P4	+2.8	-8.0	-2.0	+1.2	-4.2	**-10.2**
P0 cicloII	-2.3	-0.3	+3.7	-1.2	+0.4	**+0.3**
P1	-2.4	+4.3	+0.7	+2.0	+2.2	**+6.8**
P4	+3.2	-4.3	-3.8	-2.2	-3.4	**-10.5**
Total	**-1.4**	**0.0**	**-0.9**	**+2.2**	**-1.6**	**-1.7**
20-40 cm	NO_3^-	NH_4^+	K^+	Ca^{+2}	Mg^{+2}	**Total** $kmol_c\ ha^{-1}$
P0 ciclo I	**1.0**	**0.4**	**1.1**	**9.5**	**5.0**	
P1	-3.3	+1.0	-0.1	-3.0	-1.3	**-6.6**
P4	+3.9	-0.8	-0.5	+7.8	+1.3	**+11.6**
P0 cicloII	-2.1	+0.1	+1.0	-2.6	-0.8	**-4.4**
P1	-0.1	+0.1	+0.4	-2.9	-0.3	**-2.7**
P4	+0.5	-0.2	-0.9	+0.6	+2.3	**+2.2**
Total	**-1.1**	**+0.2**	**-0.2**	**0.0**	**+1.3**	**+0.1**

www.bdigital.ula.ve

De los tratamientos encalados, tomamos como ejemplo el tratamiento NPKM+cal. La aplicación de cal produce por su puesto un incremento importante de la CNA, (+18,8) a nivel de los 20 primeros cm, donde el calcio intercambiable juega un papel importante frente a los demás elementos considerados. Por el contrario, el subsuelo experimenta una pequeña disminución.

Gran parte de este incremento está concentrado en los 10 primeros cm de profundidad ya que la cal aportada tiene un efecto bastante superficial a pesar de que la profundidad del labrado llega a los 20 cm. La consecuencia práctica de esto es que la corrección de la acidez en profundidad no es un problema fácil de resolver utilizando los métodos convencionales ni tampoco aportando mayor cantidad de cal.

Atribución - No Comercial - Compartir Igual 3.0 Venezuela (CC BY - NC - SA 3.0 VE)

Tabla VIII.3.- Variación de la CNA en el tratamiento NPKM+cal para el suelo superficial y el subsuelo.

	ΔCNA + o -					
0-20 cm	NO_3^-	NH_4^+	K^+	Ca^{+2}	Mg^{+2}	**Total** $kmol_c\ ha^{-1}$
P0 ciclo I	**0.5**	**0.4**	**2.2**	**6.2**	**6.4**	
P1	-1.4	+4.4	+0.1	+7.6	+3.0	**+13.7**
P4	+1.3	-4.1	-1.4	+16.1	-3.6	**+8.3**
P0 cicloII	-1.4	+1.4	+2.4	+1.9	+1.8	**+6.2**
P1	-4.6	+4.6	+1.0	+10.4	+1.5	**+13.0**
P4	+6.0	-6.0	-2.6	-16.3	-3.5	**-22.3**
Total	**-0.2**	**+0.3**	**-0.4**	**+19.8**	**-0.7**	**+18.8**
20-40 cm	NO_3^-	NH_4^+	K^+	Ca^{+2}	Mg^{+2}	**Total** $kmol_c\ ha^{-1}$
P0 ciclo I	**1.0**	**0.4**	**1.1**	**9.5**	**5.0**	
P1	-0.7	+1.2	+0.1	+7.5	-0.1	**+8.0**
P4	+1.3	-1.4	-1.1	+3.5	-4.3	**-2.0**
P0 cicloII	-2.8	+3.1	+3.0	+0.6	-0.3	**+3.6**
P1	-1.5	-1.4	-1.5	-3.0	-1.8	**-9.0**
P4	+0.8	-0.8	-0.5	-1.5	0.0	**-2.0**
Total	**-2.9**	**+0.7**	**+0.1**	**+7.1**	**-6.4**	**-1.4**

www.bdigital.ula.ve

En la Tabla VIII.4 se resumen las variaciones de la CNA de los ejemplos anteriores así como también para el suelo completo entre los 0 y 40 cm de profundidad para todos los tratamientos estudiados.

Esta estimación es todavía parcial por que ella no tiene en cuenta el potasio intercambiable que no pudo ser medido. El potasio medido en agua varía de 1 a 2 $kmol_c\ ha^{-1}$ en las capas superficiales y es de aproximadamente de 0,5 kmol entre los 20 y 40 cm.

Si estas cantidades son como para el caso de los protones, el calcio y el magnesio, alrededor de diez veces menor que el potasio intercambiable, vemos que las variaciones del potasio pueden de esta manera jugar un papel considerable en las variaciones de la CNA, sobre todo en las capas superficiales.

Atribución - No Comercial - Compartir Igual 3.0 Venezuela (CC BY - NC - SA 3.0 VE)

Tabla VIII.4.- Variación de la CNA de los diferentes tratamientos bajo cultivo de maíz y pasto.

	ΔCNA + o -		
Tratamiento	**0-20 cm**	**20-40 cm**	**0-40 cm**
000M	+9.9	+23.9	+33.0
00NM	**-1.7**	**+0.1**	**+0.2**
00NM+cal	----	----	+26.5
NPKM	----	----	+20.0
NPKM+cal	+18.8	-1.4	+27.3
000P	----	----	+20.5
00NP	----	----	+15.9

Vemos a través de este ejemplo que la utilización de la solución de KCl ***M*** como solución extractante en análisis de rutina de elementos intercambiable impide obtener datos de potasio intercambiable, los cuales representan una información preciosa para la interpretación del fenómeno de acidificación como para una evaluación más integral de las variaciones de la CNA.

www.bdigital.ula.ve

En efecto, tanto las hidrólisis sucesivas realizadas al suelo como el experimento de electrodiálisis han demostrado que las cantidades de potasio intercambiable son importantes y además su dinámica de intercambio es más rápida que la del calcio y el magnesio. Debido a esto, una evaluación más exacta del fenómeno de acidificación, en el caso de los suelos de Barinas, debe contar con los datos de potasio intercambiable.

De esta manera se pone en evidencia las interacciones existentes entre la dinámica de intercambio del calcio y el magnesio con la del potasio las cuales evidentemente deben llevarse a cabo por mecanismos diferentes. El mecanismo de liberación de potasio es mucho más rápido y el calcio y magnesio requieren un poco más de tiempo para poder intercambiarse. Esto podría tener una implicación importante en lo que se refiere a la facilidad con que pueden

Atribución - No Comercial - Compartir Igual 3.0 Venezuela (CC BY - NC - SA 3.0 VE)

lixiviarse los diferentes elementos y podemos deducir que en estos suelos de Barinas, el potasio puede lixiviarse con mayor facilidad que el calcio y el magnesio.

Por otro lado, la separación por electrodiálisis demuestra que el método de las hidrólisis sucesivas no funciona para el caso del calcio, mientras que el mismo se puede utilizar para el caso del magnesio. Ciertamente el ataque ácido puede extraer mucho más magnesio sin embargo, las cantidades de potasio liberadas por ambos métodos no difieren en cantidades apreciables. Sin embargo, se deben realizar otras experiencias complementarias a fin de establecer con mayor precisión las diferencias en los resultados arrojados por ambos métodos.

La separación por electrodiálisis es una técnica muy sensible y su respetabilidad es comparable con la de las hidrólisis, pero tiene el inconveniente de ser una técnica de difícil implementación, por lo que no es utilizable para el caso de los análisis de rutina sino más que todo en labores de investigación básica aplicada al suelo.

www.bdigital.ula.ve

Una evaluación aún más integral de las variaciones de la CNA, además del potasio intercambiable, debe tomar en cuenta el aluminio intercambiable (Al^{+3}). Sin embargo, tal como explicamos anteriormente, la incertidumbre sobre el estado del aluminio en el extracto de KCl obliga a una especiación del mismo para determinar la concentración real del Al^{+3} en el complejo de intercambio.

En las Tablas VIII.5 y VIII.6 se muestra la influencia que tiene el introducir el aluminio y el manganeso en el cálculo de la variación de la CNA para los caso de los tratamientos 000M y 00NM. Se ha tomado como base un

Atribución - No Comercial - Compartir Igual 3.0 Venezuela (CC BY - NC - SA 3.0 VE)

aluminio de valencia 2, como promedio de las especies aluminosas que pudiesen encontrarse en el extracto.

Tabla VIII.5.- Variación de la CNA, incluyendo Al y Mn, en el tratamiento 000M para el suelo superficial y el subsuelo.

				ΔCNA + o -				
0-20 cm	NO_3^-	NH_4^+	K^+	Ca^{+2}	Mg^{+2}	Al^{+2}	Mn^{+2}	**Total** $kmol_c ha^{-1}$
P0 C I	**0.4**	**0.4**	**2.2**	**6.2**	**6.5**	**25.7**	**+0.5**	
P1	-0.4	+1.0	-1.2	+4.0	+2.6	-4.7	-0.3	**+1.0**
P4	+0.4	-1.1	+0.4	+3.6	-0.5	+15.2	+0.4	**+18.3**
P0 CII	-0.8	0.0	+0.7	-2.7	-1.1	-2.6	-0.4	**-6.7**
P1	+0.3	+0.5	-0.2	+3.8	+2.1	-1.6	+0.2	**+5.0**
P4	0.0	-0.6	+0.7	-1.1	-0.4	-1.7	+0.1	**-3.0**
Total	**-0.5**	**-0.2**	**+0.4**	**+7.6**	**+2.6**	**+4.7**	**0.0**	**+14.6**

20–40 cm	NO_3^-	NH_4^+	K^+	Ca^{+2}	Mg^{+2}	Al^{+2}	Mn^{+2}	**Total** $kmol_c ha^{-1}$
P0 C I	**1.0**	**0.4**	**1.1**	**9.5**	**5.0**	**17.6**	**0.7**	
P1	0.0	+0.4	-0.9	+14.6	+8.0	-3.0	-0.1	**+19.0**
P4	+0.6	-0.4	0.0	-4.4	-5.3	+8.3	+0.4	**-0.6**
P0 CII	-2.1	-0.4	+1.0	+8.9	+2.0	-13.6	-0.1	**-4.3**
P1	+0.1	+1.0	-0.3	-9.0	-2.8	-1.8	0.0	**-12.4**
P4	+0.8	+0.4	0.0	+9.0	+2.3	-1.6	-0.1	**+10.8**
Total	**-0.3**	**+1.1**	**-0.2**	**+4.3**	**+4.3**	**-11.6**	**+0.8**	**+13.1**

www.bdigital.ula.ve

Los resultados obtenidos no son los más precisos debido a que se ha utilizado una concentración de aluminio que es más total que Al^{+3} sin embargo, estos resultados muestran que la influencia del aluminio en los cambios de CNA es importante.

La evaluación hecha del cambio de la CNA sin tomar en cuenta este elemento muestra que la acidificación por la fertilización uréica es baja sin embargo, la introducción del aluminio en los cálculos muestra que la CNA del suelo sufre una disminución importante en los 20 primeros cm de profundidad,

Atribución - No Comercial - Compartir Igual 3.0 Venezuela (CC BY - NC - SA 3.0 VE)

(-10,9), mientras que el suelo Testigo, a la misma profundidad, la incrementa aún más, (+14,6). Por otro lado, los cálculos muestran que la influencia del manganeso en los cambios de la CNA es sumamente pequeño debido a las pocas cantidades movilizadas de este elemento.

Tabla VIII.6.- Variación de la CNA, incluyendo Al y Mn, en el tratamiento 00NM para el suelo superficial y el subsuelo.

				ΔCNA + o -				
0-20 cm	NO_3^-	NH_4^+	K^+	Ca^{+2}	Mg^{+2}	Al^{+2}	Mn^{+2}	**Total** $kmol_c ha^{-1}$
P0 C I	**0.6**	**0.3**	**2.2**	**6.2**	**6.5**	**25.4**	**0.4**	
P1	-2.7	+8.4	+0.4	+2.3	+3.4	-0.6	-0.1	**+11.1**
P4	+2.8	-8.0	-2.0	+1.2	-4.2	+4.8	0.0	**-5.3**
P0 CII	-1.2	-0.3	+3.7	-1.2	+0.4	-13.6	-0.4	**-12.6**
P1	-2.4	+4.3	+0.7	+2.0	+2.2	+11.6	+0.3	**+18.7**
P4	+3.2	-4.3	-3.8	-2.2	-3.4	-12.7	0.0	**-23.2**
Total	**-0.3**	**0.0**	**-0.9**	**+2.2**	**-1.6**	**-10.5**	**+0.2**	**-10.9**
20-40 cm	NO_3^-	NH_4^+	K^+	Ca^{+2}	Mg^{+2}	Al^{+2}	Mn^{+2}	**Total** $kmol_c ha^{-1}$
P0 C I	**1.0**	**0.4**	**1.1**	**9.5**	**5.0**	**17.6**	**0.7**	
P1	-3.3	+1.0	-0.1	-3.0	-1.3	-6.4	-0.1	**-13.1**
P4	+3.9	-0.8	-0.5	+7.8	+1.3	+11.6	+0.3	**+23.5**
P0 CII	-1.4	+0.1	+1.0	-2.6	-0.8	-12.0	-0.3	**-16.0**
P1	-0.1	+0.1	+0.4	-2.9	-0.3	0.0	-0.1	**-2.8**
P4	+0.5	-0.2	-0.9	+0.6	+2.3	+4.7	+0.3	**+7.2**
Total	**-0.4**	**+0.2**	**-0.2**	**0.0**	**+1.3**	**-2.2**	**+0.1**	**-1.3**

www.bdigital.ula.ve

VIII.5.- Acercamiento histórico vs acercamiento actualístico.

A diferencia del método de Helyar y Porter, (1989), el acercamiento histórico, en relación a un invariante como lo es el estado inicial, es más adecuado al presente trabajo debido a que este es muy limitado en el espacio y

Atribución - No Comercial - Compartir Igual 3.0 Venezuela (CC BY - NC - SA 3.0 VE)

en el tiempo. El estudio en base a la comparación con el Testigo no es adecuada debido a que tiene la desventaja de que la variabilidad del mismo se suma a la variabilidad del tratamiento respectivo, lo que hace que las variaciones se diluyan en una variabilidad mayor.

Por otro lado, el acercamiento actualístico de Helyar y Porter (y Poss) no da importancia a los elementos intercambiables y basan sus conclusiones principalmente sobre estimaciones de entradas y salidas del sistema. Puede ser que este acercamiento sea más sensible pero tiene la debilidad de que se basa más en evaluaciones generales de los balances que en mediciones concretas y por lo tanto esto hace que sea más difícil de implementar.

El agricultor o el experimentador común no tiene ni el tiempo ni los medios para llevar a cabo tales balances pero sin embargo, si tienen la necesidad de saber si sus suelos están pasando por un proceso de acidificación.

www.bdigital.ula.ve

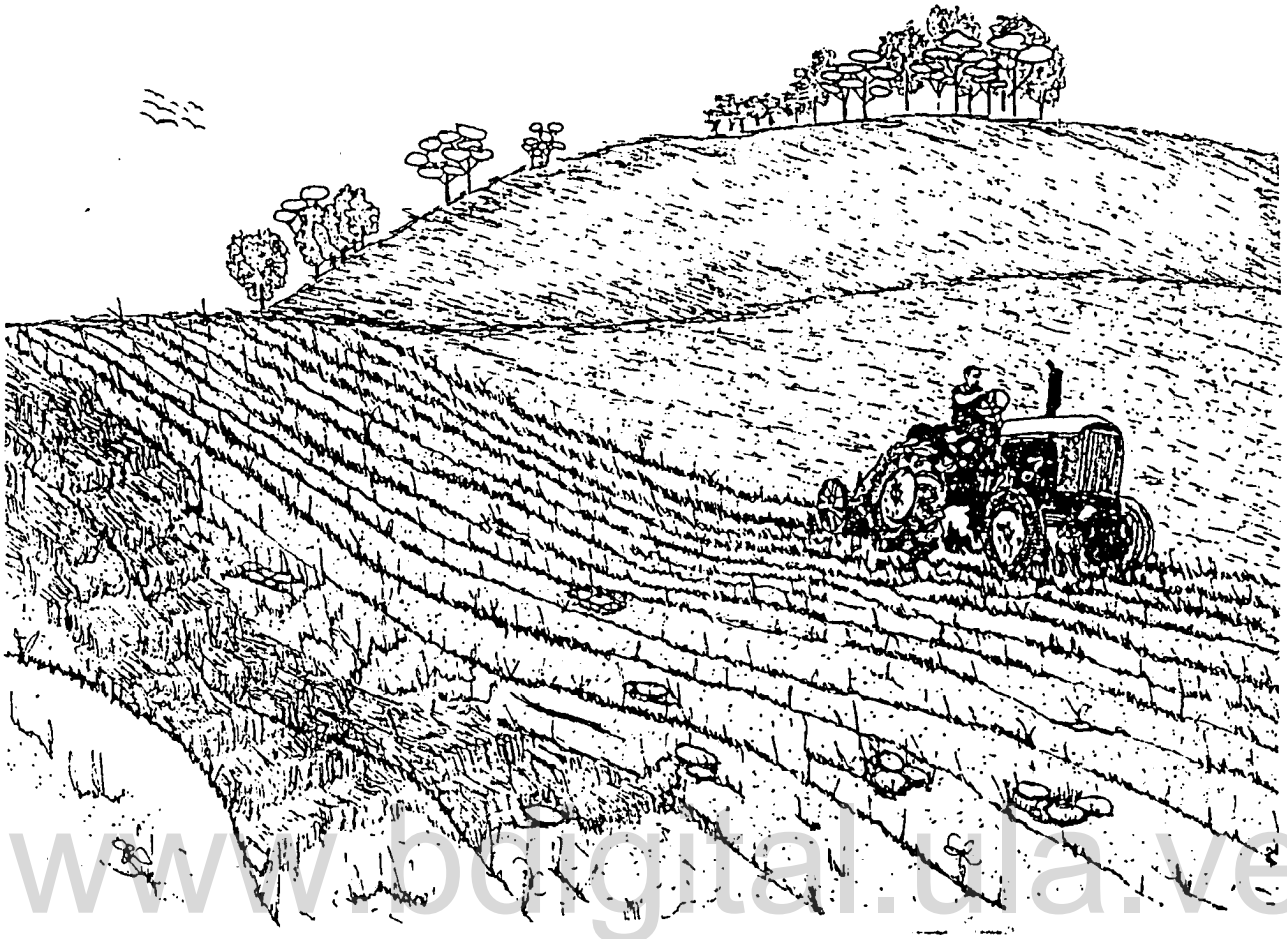
Este tipo de aplicación puede resultar fácil para cualquier laboratorio y puede ser fácilmente mejorada añadiendo más datos, por lo que estas Tablas ofrecen una manera sencilla de estimar la acidificación definida como un decrecimiento de la CNA.

La herramienta propuesta es novedosa ya que es la primera vez que se propone. A pesar de sus limitaciones, funciona bastante bien en el contexto aplicado sin embargo, debería aplicarse en contextos diferentes a fin de verificar su efectividad. También queda por hacerse todo un trabajo teórico para saber manejar correctamente las valencias del Aluminio en cuanto a la producción y consumo de protones.

Atribución - No Comercial - Compartir Igual 3.0 Venezuela (CC BY - NC - SA 3.0 VE)

www.bdigital.ula.ve

Atribución - No Comercial - Compartir Igual 3.0 Venezuela (CC BY - NC - SA 3.0 VE)



www.bdigital.ula.ve

CONCLUSIONES GENERALES

Atribución - No Comercial - Compartir Igual 3.0 Venezuela (CC BY - NC - SA 3.0 VE)

IX.- Conclusión general.

La acidez del suelo es difícil de caracterizar de manera sencilla debido a la diversidad de factores que intervienen y que hacen que mediciones de *p*H realizadas sean sólo una representación simplificada de una realidad más compleja. Sin embargo, es una práctica habitual el relacionar el *p*H del suelo con los niveles de disponibilidad de los nutrientes y el mismo es utilizado para una predicción aproximada de la toxicidad protónica, alumínica y mangánica.

Ciertamente, el *p*H del suelo influencia la solubilidad de los nutrientes en la solución de suelo, pero su valor del *p*H no puede ser un índice adecuado para caracterizar la acidificación del suelo ya que el valor del *p*H no varía de una manera directa con la cantidad de protones aportados debido al poder buffer del suelo en ciertos rangos de *p*H, por lo tanto, la acidificación de un suelo se expresa mejor en función de la remoción de componentes básicos lo que resulta en una disminución de la **Capacidad de Neutralización de los Ácidos, CNA.**

www.bdigital.ula.ve

La acidificación se puede producir a causa de procesos naturales como la oxidación de compuestos de nitrógeno, carbono, azufre y fósforo en el ecosistema. Igualmente, se puede producir también por causas antropogénicas y las cuales están relacionadas a la creciente actividad industrial y la intervención de la mano del hombre sobre los ecosistemas naturales.

Una de estas intervenciones está relacionada con el uso creciente de fertilizantes nitrogenados, azufrados y fosforados en la actividad agrícola, lo que tiene un marcado efecto sobre la química de los suelos, pudiendo perjudicar el nivel de fertilidad del suelo.

Atribución - No Comercial - Compartir Igual 3.0 Venezuela (CC BY - NC - SA 3.0 VE)

La acidez del suelo es una limitación seria para la agricultura en muchas regiones del planeta. Su influencia negativa está relacionada al aumento de la solubilidad del aluminio y el manganeso, los cuales son tóxicos para las plantas, y con la lixiviación de cationes básicos en zonas de muy alta pluviosidad. Por otro lado, la fertilización nitrogenada favorece una acumulación de nitratos, el cual es un factor importante en el proceso de acidificación debido a su lixiviación y la de los cationes básicos, por lo que el uso desmedido de fertilizantes nitrogenados puede ocasionar un deterioro del suelo a mediano plazo por una alteración de sus propiedades. Por lo tanto, un proceso de acidificación puede conducir a una disminución de la fertilidad y por lo tanto una baja en los rendimientos agrícolas.

En un estudio de acidificación es importante establecer cuales son los factores que aumenta o disminuyen la CNA del suelo. Es por eso que hay que analizar la evolución de los diferentes elementos que participan en el proceso, poniendo en relieve sus acumulaciones o pérdidas del sistema a lo largo del tiempo.

www.bdigital.ula.ve

En los diferentes tratamientos, la aparición del nitrógeno mineral proveniente del fertilizante es bastante rápida y se concentra principalmente a nivel de la capa superficial a pesar de su gran solubilidad que le permitiría drenar fácilmente en un suelo arenoso como el utilizado.

En el caso del suelo bajo cultivo de maíz predomina la forma nítrica, salvo durante los 30 días después de cada fertilización, mientras que bajo cultivo de pasto predomina la forma amoniacal, tal como lo indican los valores superiores de la relación amonio nitrato, por lo tanto, en este caso la CNA se ve incrementada debido a la acumulación de amonio.

Atribución - No Comercial - Compartir Igual 3.0 Venezuela (CC BY - NC - SA 3.0 VE)

El contenido de nitratos es siempre mayor durante el segundo ciclo de cultivo, debido a que la distribución de las lluvias juega un papel importante en la nitrificación. De hecho, la lixiviación y la acidificación son menores durante el segundo ciclo.

Se estima que el efecto acidificante debido al aporte de urea está entre 2 y 3 $kmol_c\ ha^{-1}$, de manera que para que la nitrificación de la urea pueda causar un efecto acidificante mayor, la velocidad de lixiviación de estos nitratos debe ser superior a la velocidad de absorción de los mismos por las plantas o por una mayor abundancia en las precipitaciones.

Existe un comportamiento bien diferenciado en la evolución del *p***H** de los diferentes tratamientos, en relación con la profundidad, pero la utilización del valor del *p***H** del suelo como índice del nivel de acidez puede ser muy engañoso por que por un lado esconde las variaciones logarítmicas de las concentraciones de los protones en la solución de suelo y por el otro sus valores no varían de una manera directa con la cantidad de protones aportados al suelo debido a la acción del poder buffer del suelo que actúa en ciertos rangos de *p***H**. En este sentido cabe decir que es bastante difícil acidificar un suelo que ya de por si es ácido, por lo que la acidificación no sería el primer problema del los alfisoles de los llanos occidentales.

La traducción de los valores de *p***H** a cantidades de protones aportados o sustraídos del compartimiento protónico, revela cifras demasiado pequeñas y difíciles de interpretar a la luz del poder tampón del suelo, por lo que sus variaciones no pueden traducir la amplitud de la acidificación. Sin embargo, la relación entre los protones solubles e intercambiables pone de manifiesto que su movilidad en el suelo está afectada por el factor climático e igualmente, que

www.bdigital.ula.ve

Atribución - No Comercial - Compartir Igual 3.0 Venezuela (CC BY - NC - SA 3.0 VE)

su valor no está directamente relacionado a la llegada del amonio al complejo absorbente.

La consecuencia práctica de esto es que el *p*H del suelo, medido en agua o en un electrolito, no conduce a una evaluación cuantitativa del nivel de acidificación del suelo sin embargo, expresado bajo la forma de protones libres e intercambiables pueden servir al seguimiento de los efectos combinados del clima y la fertilización con urea.

El comportamiento del Al depende de interacciones variadas que pueden provocar su aparición o desaparición de la solución de suelo y del complejo de intercambio catiónico. Su comportamiento en la capa superficial demuestra la solubilización por acción de los nitratos y la insolubilización debida al calcio y el fósforo, mientras que en las capas profundas demuestra la formación de complejos organometálicos pseudo solubles cuya evaluación cuantitativa requiere la valoración del carbono en los extractos de agua y de KCl *M*.

www.bdigital.ula.ve

En general, tanto para el caso del suelo bajo maíz como bajo pasto se moviliza mucho más aluminio soluble en la superficie que en profundidad. Admitiendo que este aluminio esta relacionado con la materia orgánica soluble, este resultado es lógico, debido a la presencia de una gran masa radicular a nivel de la capa superficial, la cual genera mucha actividad biológica, especialmente bajo cultivo de pasto. Por lo tanto, este aluminio soluble que se encuentra bajo la forma de complejos organometálicos no está involucrado directamente con el aspecto tóxico y tampoco con el proceso de acidificación.

Los cálculos de especiación demostraron que las concentraciones de aluminio libre, Al^{+3}, en la solución de suelo, nunca es mayor que 1 mmol L^{-1}, mientras que el límite de toxicidad aceptado es de 10 mmol L^{-1}. Esto explica

Atribución - No Comercial - Compartir Igual 3.0 Venezuela (CC BY - NC - SA 3.0 VE)

porque no fueron detectados síntomas de toxicidad alumínica en los cultivos de maíz en los suelos de la serie Barinas y por este motivo la toxicidad alumínica (y mangánica) no es el principal problema de los suelos de Barinas.

La aplicación de urea resulta en un notable incremento de aluminio intercambiable, especialmente en la capa profunda sin embargo, no se observa ninguna disminución del *p*H, debido a que una parte variable del aluminio medido en la solución de KCl ***M*** (por espectroscopia de absorción o emisión atómica), usualmente considerado como intercambiable, es de hecho una variedad de compuestos organo-minerales que corresponden a una rizodeposición más activa en el tratamiento fertilizado con urea.

Así, los resultados de aluminio intercambiable pueden estar sujetos a un error sistemático por exceso que puede estar en el orden del 20 %, en el caso de suelos orgánicos, o menos en el caso de suelos pobres en materia orgánica como en el caso de los suelos de Barinas.

www.bdigital.ula.ve

Por este motivo, los resultados del aluminio extraible con la solución de KCl ***M*** deben ser mejor analizados y estándarizados para que puedan servir en una evaluación local de toxicidad. La detección de una posible toxicidad alumínica puede ser hecha de una manera más precisa usando condiciones más específicas de extracción y/o realizando una especiación de los tipos de aluminio medidos en la solución de suelo.

Por lo tanto, aunque el aluminio puede ser un indicador sensible del proceso que está ocurriendo en el suelo, la acidificación del suelo de Barinas no puede ser medida a través de los cambios del estado de este elemento debido a la incertidumbre sobre su estado iónico, polimerizado o acomplejado en el extracto de KCl ***M*** (y acuoso). También, las relaciones entre los cambios de estado del aluminio y el poder buffer del suelo deben ser elucidadas para ver en

Atribución - No Comercial - Compartir Igual 3.0 Venezuela (CC BY - NC - SA 3.0 VE)

que medida estas determinaciones pueden contribuir a la interpretación del fenómeno de acidificación así como su influencia sobre la CNA del suelo.

La imposibilidad de utilizar los datos de *p***H** así como los de aluminio para cuantificar el efecto de acidificación inducida a conducido a buscar una eventual disminución de la CNA debido a un cambio en la composición catiónica que saturan la capacidad de intercambio. En este sentido, las variaciones de la CNA del suelo pueden ser una herramienta útil en la evaluación del proceso de acidificación

Las cantidades de calcio y magnesio se incrementan en las dos primeras capas durante los dos ciclos de cultivo en el caso del tratamiento Testigo, mientras que en los tratamientos que recibieron urea, especialmente el tratamiento 00NM, este incremento es bastante discreto durante el primer ciclo y casi nulo el segundo.

www.bdigital.ula.ve

Esta diferencia se debe al hecho de que el tratamiento Testigo revela los efectos de fertilizaciones anteriores, en particular las de superfosfato de calcio que continúa disolviéndose liberando el calcio y magnesio que pasa a posiciones de intercambio pero que en presencia de urea es lixiviado sin embargo, esta lixiviación es frenada por la presencia del anión fosfato.

Las cantidades de Ca en juego son mucho mas grandes que las de nitrógeno introducido por la urea y más aún que los nitratos. Por lo tanto es probable que la movilización del calcio se realice más como bicarbonato que como nitratos ya que los otros aniones no pueden equilibrar tales cantidades de calcio.

El potasio soluble medido, que representa entre el 20 y el 30 % del potasio intercambiable, decrece mucho más en los tratamientos fertilizados, a

Atribución - No Comercial - Compartir Igual 3.0 Venezuela (CC BY - NC - SA 3.0 VE)

nivel de la superficie. A diferencia del calcio y el magnesio, la disminución en las cantidades del potasio se debe principalmente a la exportación por la planta.

La evaluación simplificada de la CNA, sin tomar en cuenta el potasio el aluminio y el manganeso intercambiables, demuestra que el suelo superficial incrementa su capacidad de neutralización en 9,9 $kmol_c\ ha^{-1}$ cuando la fertilización nitrogenada se interrumpe, mientras que la aplicación de urea mantiene una leve acidificación equivalente a -1,7 $kmol_c\ ha^{-1}$, lo cual está de acuerdo con la proporción estimada de los nitratos lixiviados.

Sin embargo, las variaciones observadas en la CNA del suelo se deben principalmente al comportamiento del calcio y el magnesio más que al nitrógeno, cuyos efectos acidificante y alcalinizantes se compensan mutuamente cuando no hay una lixiviación importante de nitratos, lo que está de acuerdo con la definición de reversibilidad de van Breemen.

www.bdigital.ula.ve

Esta estimación es todavía parcial por que ella no tiene en cuenta el potasio y el aluminio intercambiables. El potasio medido en agua varía de 1 a 2 $kmol_c\ ha^{-1}$ en las capas superficiales, lo que puede representar entre el 20 y 30 % del potasio intercambiable, de manera que las variaciones de este elemento pueden jugar un papel importante en las variaciones de la CNA, sobre todo en las capas superficiales.

La introducción del aluminio en los cálculos muestra que este elemento también tiene una influencia importante en las variaciones de la CNA. En este caso, la CNA del suelo sufre una disminución importante en los 20 primeros cm de profundidad, equivalente a -10,9 $kmol_c\ ha^{-1}$, mientras que el suelo Testigo, a la misma profundidad, se incrementa en +14,6 $kmol_c\ ha^{-1}$.

Atribución - No Comercial - Compartir Igual 3.0 Venezuela (CC BY - NC - SA 3.0 VE)

Sin embargo, las relaciones entre los cambios de estado del aluminio y el poder buffer del suelo deben ser estudiadas para ver cual es su verdadera influencia sobre la CNA del suelo.

Las cantidades y variaciones del potasio soluble y del calcio y magnesio intercambiable son indicadores parciales pero útiles de la magnitud del cambio de la CNA. Para optimizar su uso, debe mejorarse la representatividad de la muestra de suelo, particularmente en la definición del estado inicial y deben incorporarse nuevos datos, como los de potasio intercambiable que mejoran la estimación de la variación de la CNA y por ende la del proceso de acidificación.

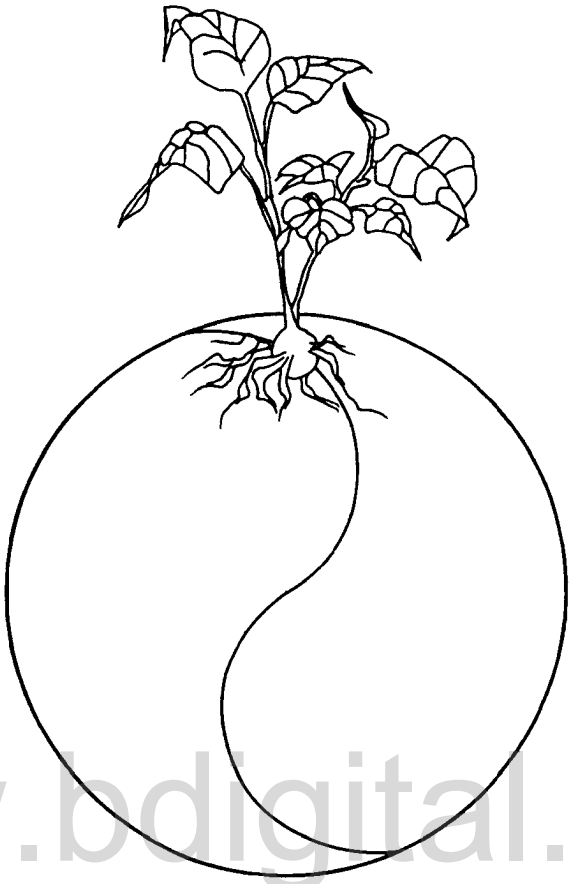
Por lo tanto, una estimación más real del proceso de acidificación se obtiene a través del análisis de la evolución de la CNA sin embargo, queda por perfeccionarse y aplicar este instrumento a suelos de tipo oxisol y ultisol.

www.bdigital.ula.ve

Atribución - No Comercial - Compartir Igual 3.0 Venezuela (CC BY - NC - SA 3.0 VE)

www.bdigital.ula.ve

Atribución - No Comercial - Compartir Igual 3.0 Venezuela (CC BY - NC - SA 3.0 VE)



www.bdigital.ula.ve

BIBLIOGRAFIA

Atribución - No Comercial - Compartir Igual 3.0 Venezuela (CC BY - NC - SA 3.0 VE)

BIBLIOGRAFIA

Abruma, F.; Pearson R.W. y Elkins, C.B., 1958. Quantitative evaluation of soil reaction and base status changes resulting from field application of residually acid forming nitrogen fertilizer. *Soil Sci.Soc.Am.Proc.* 22:539-542.

Adams, F. 1974, Soil Solution, *In* Carson, E.W. (Ed). The Plant Root and its Environment. Univ. Press of Virginia, p. 441-481.

Adams, F. 1984. Crop response to lime in the southern United States. *In* F. Adams (editor) Soil acidity and liming. 2nd ed. Agron. Monogr. 12. ASA, CSSA and SSSA, Madison, WI. *pp.* 221-265.

Aitken, R. L. y Moody, P. W., 1991. Interrrelations between soil pH measurements in various electrolytes and soil solution pH in acidic soils. *Aust. J. Soil Res.*, 29, 483-491.

Aldana, T.; Amaya, Y; Hetier, J. M., 1989. Determinación de nitrógeno en aguas, plantas y suelos marcados con 15N. *Agricultura Andina*, IIAP. Vol. 4, 33-56.

Amaya, L.; Aldana, A.; Hetier, J. M., 1989. Estudio metodológico de la presición analítica en la determinación de nitrógeno total del suelo. *Agricultura Andina*, IIAP, vol 4, 15-31.

Baedecker, P. A.; Reddy, M. M.1993, The Erosion of Carbonate Stone by Acid Rain, *J Of Chem. Educ.*, vol. 70 (2), 104-108.

Balasubraman, V. Y Singh, L., 1982. Efficiency of nitrogen fertilizer use under rainfed maize and irrigated wheat at Kadawa northern Nigeria. *Fertilizer research* 3: 315-324.

Barber, S. A., 1984. Liming materials and practice. *In* F. Adams (editor), Soil Acidity and Liming, 2nd De., Agronomy Series Nr. 12, American Society of Agronomy, Inc. P. 171 - 209.

www.bdigital.ula.ve

Atribución - No Comercial - Compartir Igual 3.0 Venezuela (CC BY - NC - SA 3.0 VE)

Belton, P.R. y Goh, K.M. 1992. Effects of urea fertigation of apple trees on soil *p*H, exchangeable cations and extractable manganese in a sandy loam soil in New Zealand. *Fertilizer Research* 33: 239-247.

Benites J. R., 1990. Agroforestry systems with potential for acid soils of the humid tropics of Latin America and the Caribbean. *Forest Ecology and Management*, 36: 81-101.

Bernas, B., 1968. A new method for decompositión and comprehensive analysis of silicates by atomic absortion spectrometry. *Anal. Chem.* 40: 1682-1686.

Bittel, R, 1957. *Ann. Agron.* 8: 91-109

Black, A. S; Cameron, K. C. 1984. Effect of leaching on soil properties and lucerne growth following lime and gipsun amendments to a soil with an acid subsoil. *New Zealand J. Of Agric. Research.* 27, 195-200

Black, C.A. 1968. Soil - plant relationships, John Wiley and sons N.Y., p. 311.

Bolan, N.S.; Hedley, M.J. y White, R.E.,1991. Processes of soil acidification during nitrogen cycling with emphasis on legume based pastures. *Plant-Soil interactios at low p*H, 169-179.

Bolt G. H.; Bruggenwert, M. G. M., 1978. Soil Chemistry: A basic elements. *Developement in Soil Science* 5A, Elsevier Scientific Pub. Co., Amsterdam, 281 p.

Boudot, J. P.; Merlet, D.; Rouiller, J.; Maitat, O., 1994. Validation of an operational procedure for aluminium speciation in soil solution and surface waters. *The Science of Total Environnement.* 158: 237-252.

Bouman, O.T.; Curtin, D.; Campbell, C.A.; Biederbeck, V.O. y Ukrainetz, H., 1995. Soil acidification from long-term use of anhydrous ammonia and urea. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 59:1488-1494.

www.bdigital.ula.ve

Atribución - No Comercial - Compartir Igual 3.0 Venezuela (CC BY - NC - SA 3.0 VE)

Boyer, J.,1976. L'aluminium échangeable: incidences agronomiques et correction de sa toxicité dans les sols tropicaux. *Cah.Orstom, ser. Pédol.*, XIV(4): 259- 269.

Bradstreet, R.B., 1965. The Kjeldahl Methods for Organic Nirogen. Academic Press, New York, p. 17.

Brady, N.C. 1974, The Nature and Properties of Soils, 8th edition, MacMillan Pub. New York. 456 p.

Brady, N.C. 1990, The Nature and Properties of Soils, 10th edition, MacMillan Pub. New York. 621 p.

Bramley, R. G. V.; White, R. E., 1990. The variability of nitrifying activity in field soils. *Plant an Soil*, 126, 203-208, Kluwer Academic Publishers.

Breeuwsma, A.; de Vries, W., 1984. The relative importance of natural production of H^+ in soil acidification. *Neth. J. Agric. Sci.*, 32: 161-163.

www.bdigital.ula.ve

Bremner, J.M. y Keeney, D.R. 1965. Steam distillatión methods for determination of ammonium, nitrate and nitrite. *Anal. Chim. Acta,* 32: 485-495.

Brochado - Miranda, V. H. 1976. Influence of nitrogen fertilizer upon some soil characteristics. *Landwirtsch. Forsch.* 29: 21-27.

Bruckert, S. Y Rouiller, J., 1982. Mechanisms Regulating the pH of Soils in Bonneau, M. Y Souchier, B., Constituents and Properties of Soils, Academic Press, London 1982, 398-411.

Butler, J. N., 1964. Ionic Equilibrium: A Mathematical Approach. Addison-Wesley Publishing Co. Massachusetts, 547 p.

Carballas, T., 1995. Influence of Cultivation on Organic Nitrogen Status in Tropical soils. Adjustment of a Mathematical Model to Nitrogen Fertility. Commission of the European Communities, Programme

Atribución - No Comercial - Compartir Igual 3.0 Venezuela (CC BY - NC - SA 3.0 VE)

Science and Technology for Development, Project: TS3*-CT91-0003, vol.I Nitrogen, p. 66.

Carson, C. D.; Fanning, D. S.; Dixon, J.B., 1982. Alfisols and Ultisosls with acid sulfate weathering features in Texas. *In* Acid sulfate weathering. Kittric, J. A. (Editor). Spec. Pub. 10. *Soil Sci. Soc. Am.*, Madison , Wis., *pp.* 127-146.

Casanova, E. 1991. Introducción a la Ciencia del Suelo. Universidad Central de Venezuela, Facultad de Agronomía, Consejo de Desarrollo Científico y Humanístico, Caracas, capítulo 2, p. 25-63.

Cassman, K.G. y Olk, D.C. 1995. Reduction of Potasium Fixation by Two Humic Acid Fractions in vermiculitic soils, *Soil Sci. Soc Am.J.* 59(5), p. 1250-1258.

Chamayou, H.; Legros, J. P., 1989. Les bases physiques, chimiques et mineralogiques de la science du sol. Coll. Techniques vivantes, Agence de la coopération culturelle et technique (ACCT), Conseil International de la langue francaise, PUF, 593 p.

Charlson, R. J.; Rodhe, H., 1982. Factors controling the acidity of natural rainwater. *Nature*, 295: 683-685.

Chartres, S. J.; Cumming, G. S. P.; Beattie, J. A.; Bowman, G.M.; Wood, K. T., 1990. Acidificatión of soils on a transect from plains to slopes, south-western New South Wales. *Aust. J. Soil Res.* 28: 539-548

Chotte, J. L.; Jocteur Monrozier, L.; Villemin, G.; Albrecht, A., 1993. Soil microhabitats and the impotance of th fractionation method. *In* Mulongoy, K; Merckx, R (editors), Soil Organic Matter Dynamics and Sustainability of Tropical Agriculture. John Wiliey and Sons, New York, pp 3-18.

Clark, R.B., 1984. Physiological Aspects of calcium, magnesium and molibdenum Deficiencies in Plants, in Adams, F. (Ed.), Soil Acidity and Liming, Agronomy 12, American Society of Agronomy, Inc. P. 99-170,

www.bdigital.ula.ve

Atribución - No Comercial - Compartir Igual 3.0 Venezuela (CC BY - NC - SA 3.0 VE)

Comerma J., Paredes R., 1978. Principales limitaciones y potencial agrícola de las tierras en venezuela. *Agronomía Tropical*. Vol. 28(2): 71-85.

Conyers, M.K.; Uren, N.C. y Helyar, K.R., 1995. Causes of changes in *p*H in acidic mineral soils. *Soil Biol. Biochem*. 27(11), 1383-1392.

Conyers, M. K. y Davey, B. G., 1988. Observations on some rutine methods for soil pH determination. *Soil Sci.*, 145(1), 29-36.

COPLNARH, 1970. La agricultura deseable. Una prospección al año 2000. Publcación No 19. Caracas, Venezuela.

Coppenet, M; Juste, C., 1979. Oligoéléments indispensables a la vie des plantes. Fénoménes de toxicité. *In* Bonneau, M.; Souchier, B.; Duchaufour, Ph. (Editors), Constituants et Propiétés du sol. p 408-418, Masson, Paris.

Cotton, F.A.; Wilkinson, G. 1978. Fundamentos de Química Inorgánica. Editorial Limusa S. A. Mexico, 556 p.

www.bdigital.ula.ve

Dahlgren, R. A., 1994. Solubility control of KCl extractable aluminium in soils with variable charges. *Commun. Soil Sci. Plant Anal*. 25 Nrs 11 y 12: 2201-2214.

Dexter, A.R. y Chan, K.Y., 1991. Soil Mecanical properties as influenced by exchageable cations, *J of Soil Science*, 42, 219-226.

Djondo, M.J., 1994. Propiétés d'echange ionique des sols ferralitiques argileux de la Vallée du Niari et sableux du Plateau de Mbe-Bateke au Congo. Aplication á la correction de leur acidité. Tesis Dr. Univ. Paris XII Val-de-Marne, 288 p.

Dollin, P. J.; Ritchie, G. S. P., 1985. Estimates of soil solution ionic strength and the determination of pH in West Australian soils. *Aust. J. Soil Res.*, 23: 309-314.

Dommergues, Y; Mangenot, F., 1970. Ecologie Microbienne du sol. Masson et C^{ie}, Paris, 796 p.

Atribución - No Comercial - Compartir Igual 3.0 Venezuela (CC BY - NC - SA 3.0 VE)

Doulbeau, S., 1991. Séparatión par Electrodialyse des éléments retenus par un sol. Application á la séparation de formes de fer ferroux présentes dans un sol saturé d'eau. *Cah. Orstom, ser. Pedol.*, vol XXVI Nr. 3: 213-225.

Duchaufour, P., 1982. Pedology. Paton, T. R. (Transl), Allen and Unwin, London.

Dutil, P., 1979. Le Calcaire dans le Sols, Calcium et Magnesium in Bonneau, M. Souchier, B., Pédologie, vol 2, Constituants et Propiétés du sol, ed. Masson, Paris 1979, capítulo 11, p. 373-378.

Elkhatib, E.A. y Hern, J.L. 1988. Kinetics of Potasium Desorption from Appalachian Soils, *Soil Science*, vol. 145(1), 11-19.

Evans, C.E. y Kamprath, E.J. 1970. Lime Response as related to percent Al Saturation, Solution Al and Organic Matter Content, *Soil Sci. Soc. Am J.*, 34: 893.

Fallavier, P., 1995. Phisico-chimie des sols tropicaux acides. *In* Fertilité du milieu et stratégies paysannes sous les tropiques humides. Comunications présentées au séminaire, CIRAD, Centre de coopération internationale en recherche agrnomique pour le développement, 13-17 novembre 1995, Montpellier, France.

FAO, 1988. Potentials for agricultural and rural development in Latin America and the Caribbean, Annex IV. Natural resources and the environment. FAO, Rome, 141 pp.

Fassbender, H.W.1980. QUÍMICA DE SUELOS con énfasis en suelos de América Latina. 2° edición, Instituto interamericano de Ciencias Agrícolas, Ed. IICA, San José, Costa Rica, capítulos 12-13, p.319-361.

Feller, C., 1993. Organic inputs, soil organic matter and functional soil organic compartments in low activity clay soils in tropical zones. *In* Mulongoy, K.; Merckx, R. (Editors), Soil Organic Matter Dynamics and Sustainability of Tropical Agriculture. John Wiley and Sons, New York, pp. 77-88.

www.bdigital.ula.ve

Atribución - No Comercial - Compartir Igual 3.0 Venezuela (CC BY - NC - SA 3.0 VE)

Fernandez, M. L.; Macias, F; Guitian Ojea, F., 1980. Estudio comparativo de dos métodos de obtención de la solución de suelo. Aplicación al estudio de la solución de suelos podsólicos de Galicia. *An. Edaf. Agrobiol.* 39, 1587-1607.

Flaig, W.,1971. Organic Compounds in Soil. *Soil Science*, vol III Nr. 1, 19-33.

Fox, R. H.; Hoffman, L. D., 1981. The effect of N fertilizer source on grain yield, N uptake, soil pH and lime requirement in non-till corn. *Journal of Agronomy*. 73: 891-895.

Furrer, G., 1993. New aspects on the chemistry of aluminum in soils. *Aquatic Scences* 55(4): 282-290.

Gaston, L. A.; Mansell, R. S.; Selim, H. M., 1992. Predicting Removal of Mayor Soil Cations and Anions during Acid Infiltrations: Model Evaluation. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 56: 944-950.

www.bdigital.ula.ve

Gillman, G. P., 1991. The chemical properties of acid soils with emphasis on soils of the humid tropics. *In* Plant-soil interaction at low pH. Wright et al. (Editors), Kluwer Academic Publishers, *pp* 3-14.

Grubert, W; Herbauts, J., 1990. Determination de l'aluminium en présence de hautes concentrations en sels dissous, par spectrométrie d'absotipon atomique. *Analusis* vol 18 Nr 3: 112-115.

Guillet, B.; Souchier, B., 1979. Les oxihydroxydes amorphes et cristallins dans les sols (Fer, Aluminium, Manganese, Silicium). *In* Bonneau, M.; Souchier, B.; Duchaufour, Ph. (Editors), Constituants et Propiétés du sol. p 16-37, Masson, Paris.

Guiraud, G.; Fardeau, J. C., 1977. Dosage par la methode Kjeldahl des nitrates contenu dans le sols et les vegetaux. *Aun. Agron.* 28 (3): 329-333.

Haland, A. 1992. The effects of fertilizer type on grassland soil pH and yield. *Norwegian Agricultural Research.* Vol. 6 No 4: 297-304.

Atribución - No Comercial - Compartir Igual 3.0 Venezuela (CC BY - NC - SA 3.0 VE)

Hanson, J. B.,1984. The functions of calcium in plant nutrition. *In* P. B. Tinker y A. Lauchli (editores). Advances in Plant Nutrition, Vol I, Praeger Scientific, N. York, p. 149 - 208

Haylock, O. F., 1956. A method for estimating the availability of nonexchangeable potasium. VI Congrés de la science du sol. Paris

Helyar, K. R.; Porter. W. M., 1989. Soil Acidification, its measurement and the processes involved. *In* Robson (editor), Soil Acidity and Plant Growth pp.66-101, Academic Press. London, UK.

Helyar, K. R.; Cregan, P. D.; Godyn, D. L., 1990. Soil Acidity in New South Wales- Current pH values and estimates of acidification rates. *Aust. J. Soil Sci.*, 28: 523-537.

Hershey, D.R. 1992. Acidity and basicity of fertilizer. *J. Of Chem. Educ.* Vol 69, No 7: 642.

Hetier, J.M.; Schargel, R.; Vallejos -Torres, O.; Sarmienrto, G.; Gómez, C., 1992. Le sols de savane des llanos vénézuéliens et le sol ferrugineux tropical de Barinas. *Cah. Orstom, sér. Pédol.*, vol. 27, Nr.2, 167-202.

Hetier, J. M.; Cardon, D., 1995. Balances del nitrógeno derivado del suelo y del fertilizante en un Alfisol bajo maíz. XIII Congreso Venezolano de la Ciencia del Suelo, Maracay, Venezuela.

Hetier, J. M.; Zuvia, M.; Cardon, D., 1993. Simulatión mathématique du cycle de l'azote dans les sols tropicaux. C.R. de fin d'etude financée par le MRT D.A. Nr. 89 L0531 268 p

Hetier, J. M.; Fardeau, J. C., 1977. Estimation du fer mobile et asimilable des sols par dilution isotopique. *Science du Sol*, Nr. 4: 231-244

Holland, H. D., 1978. The Chemistry of the atmosphere and oceans. Wiley Interscience, Somerset, N. J.

www.bdigital.ula.ve

Atribución - No Comercial - Compartir Igual 3.0 Venezuela (CC BY - NC - SA 3.0 VE)

IBSRAM, 1989. Acid tropical soil management and land developement practices. First training workshop held at the Yurimeguas Experimental Statión, Peru. IBSRAM Tecnical Notes No. 2, 242 p.

IGAC, 1979. Métodos analíticos del Laboratorio de suelos. Min. de Hacienda y Crédito Público, Bogotá

Jackson, M. L., 1970. Análisis Químico de Suelos. 2da. ed. Editorial Omega, Barcelona, p 254.

Kamprath, E. J., 1970. Exchangeable aluminium as a criterion for liming leached mineral soils. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.* 34: 252-257

Keeney, D. R.; Nelson, D. W., 1982. Nitrogen - Inorganic forms. *In* A. L. Page et al (editors) Methods of Soil Analysis. Part 2. 2nd de. Agron. Monogr. 9. ASA and SSSA, Madison, W.I. p. 643-698

Keller, W. D., 1957. The principles of chemical weathering. Lucas Bros., Columbia, Mo.

www.bdigital.ula.ve

Kennedy, Y. R., 1992. Acid Soil and Acid Rain. Research Studies Press Ltd., John Wiley and Sons Inc., 254 p. New York.

Kern, D. M., 1960. The Hydration of Carbon Dioxide. *J. of Chem Educ.* 37(1): 14-22.

Khonje, D. J.; Varsa, E.C. y Klubek, B., 1989. The acidulation effects of nitrogenous fertilizers on selected chemical and microbiological properties of soil. *Soil Sci. Plant Anal.*, 20: 1377-1395.

Kinraide, T. B., 1991. Identity of the rhizotoxic aluminium species. *Plant and Soil* 134: 167-178. Kluwer Academic Publishers

Krug, F. C.; Frink, C. R., 1983. Acid rain on acid soil: A new perspective. *Science*. 221: 520-525.

Lacroix, Y.1962. ANALYSE CHIMIQUE, Interprétation des résultats par le calcul statistique. Masson et Cia. Éditeurs, Paris. p. 6

Atribución - No Comercial - Compartir Igual 3.0 Venezuela (CC BY - NC - SA 3.0 VE)

Lagowski, J. J., 1978. Química Inorgánica Moderna. Editorial Reverte, S. A. 847 p.

Latham M., 1987. IBSRAM's soil management approach. *In* IBSRAM (1987), Africland, *pp* 11-18.

Lensi, R.; Domenach, A. M.; Abbadie, L., 1992. Field study of nitrification and denitrification in a wet savanna of West Africa (Lamto, Cote d'Ivoire). *Plant and soil*, 147: 107-113.

Li, X. L.; Huang, F.L.; Xu, F. L.; Hu, Q., 1994. Forms of active aluminium in acids soils and aluminium phytotoxicity. XV World Congress of Soil Science. Vol 5b, p. 247-248.

Lindsay, W. L., 1979. Chemical Equilibria in Soils. John Wiley and Sons, Somerset, N. J.

López, L; Millán, F. y Lo Mónaco, S., 1997. Caracterización de ácidos húmicos extraídos de suelos de los llanos, Estado Barinas. XIV Congreso Venezolano de la Ciencia del Suelo, Univ. de Los Andes, Trujillo, Noviembre 1997.

www.bdigital.ula.ve

Lurie, Ju., 1975. Handbook of Analytical Chemistry, Mir Publishers, Moscow.

Marschner, H., 1991. Mechanism of adaptation of plant to acid soils. *Plant and Soil* 134(1): 1-20

Martin, H.W. y Sparks, D.L. 1985. On the Behavior of Nonexchangeable potasium in soils, *Commun. Soil Sci. Plant Anal.*, No. 16, p. 133-162.

Masterton, W. L.; Slowinski, E. J., 1979. Química General Superior, IV Edición. Interamericana, Mexico, 760 p.

Mengel, K; Kirkby, E.A., 1982. Principles of plant nutrition, International Potash Institute, Berne, Switzerland, 593 p

Atribución - No Comercial - Compartir Igual 3.0 Venezuela (CC BY - NC - SA 3.0 VE)

McAndrew, D.W. y Malhi, S.S., 1992. Long term N fertilization of a solonetzic soil effects on chemical and biological properties. *Soil Boil. Biochem.*, vol. 24, No 7: 619-623.

McBride, M.B. 1994. Environmetal Chemistry of Soils. Oxford University Press Inc., Oxford, capítulo 6, p. 207-239.

Mc Lean, E.O., 1982. Soil pH and lime requierement. In A. L. Page (Ed), Methods of soil analysis part **2**, Agronomy, No. 9 (part 2), 2nd. Ed., American Society of Agronomy, Inc.; Soil Science Society of America, Inc. Pub. Madison, WI, USA.

McLean, E.O y Watson, M.E. 1985. Soil Measurement of Plant Available Potassium in Munson, R.D.et al (Ed). Potasium in Agriculture, ASA, Madison WI. P. 277-398.

Millán, F.; Hetier, J. M.; Dureau, D.; Araque, Y.; Burguera, M., 1997. Fertilization and acidity in a cultivated trolical alfisol. XVI World Congress of soil Sciece. Scientific registration Nr. 1957

Miller, J.C. y Miller, J.N. 1988. Statitics for Analytical Chemistry 2nd Ed., Ellis Horwood Limited Pub. Chichester. P. 53.

Mogollón, L. F y Comerma, J. 1994. Suelos de Venezuela. Gerencia Corporativa de Asuntos Públicos de Palmaven, Filial de PDVSA, Caracas.

Moreau P., Godefroy J., 1985. Problémes des zones tropicales et ecuatoriales forestieres. *C.R. Acad. Agr. de France*, 71(10): 1169-1179.

Munns, D. N., 1965. Soil acidity and growth of a legume. *Australian J. Of Agric. Research.* 16, 743-755

Nilson, T.; Kranz-Eliasson, B y Bjurman, M, 1995. Measurement of pH in soil samples from a cutover peatland in Sweden: The effect of electrolyte and solution/soil ratio. *Commun. Soil Sci. Plant Anal.*, 26(3-4), 361-374.

www.bdigital.ula.ve

Atribución - No Comercial - Compartir Igual 3.0 Venezuela (CC BY - NC - SA 3.0 VE)

Ochiai, El-ichiro., 1992. The Chemical Logic of Life and the Earth's Biosphere. A simple, One-Diagram Outline. *J. of Chem. Educ.* 69(5): 356-357.

O'Neill, P.1993. Environmental Chemistry, 2nd edition, Chapman & Hall,New York, capitulos 11-12, p. 176-191.

Paces, T. 1985. Sources of acidification in Central Europe estimated from elemental budgets in small basins. *Nature* , vol. 315 2: 31-36.

Parberry, N. H., 1945. Soil acidity and tree nutrition in Murray valley citrus orchard. *The Agricultural Gazette*. 56: 362-366.

Patil, S. G.; Sarma, V. A. K.; vanLoon, G. W., 1989. Acid rain, cation dissolution, and sulfate retention in three tropical soils. *Journal of Soil Science*, 40: 85-93.

Pavan, M.A., 1983. Alumínio en solos ácidos do Paraná Relacáo entre o alumínio náo trocável e solúvel com o pH, CTC, porcentagem de saturacáo de Al e matéria orgánica. *R bras. Ci. Solo, Campinas*, 7: 39-46

www.bdigital.ula.ve

Pedro G., 1985. Les grandes tendances des dols mondiaux. *ORSTOM Actualites*, (11): 11-14.

Perdue, E. M., 1985. Acidic Functional groups of humic substances. *In* Ainken, G. R. (Editor), Humic substances in soil, sediment and water. Wiley Interscience, New York, pp 493-526.

Pieri C., 1985. Les perspectives d'intensification de la productivité des terres dans les zones de savane intertropicales. *C. R. Acad. Agr. de France*, 71(10): 1153-1168.

Pieri, C., 1989. Fertilité des sols de savanes. Bilans de trente ans de recherche et de développement agricole au sud du Sahara. Ministere de la coopération et Cirad-Irat ISBN 2 87614-024-1 444 p.

Pla Y., Florentino A., Lobo D., 1985. Soil erosion and conservation. En Swaify S. A., Moldenhauer W. C., Andrew L. (Editores).

Atribución - No Comercial - Compartir Igual 3.0 Venezuela (CC BY - NC - SA 3.0 VE)

Posner, A. M., 1964. Titration curves of humic acids. Trans. Int. Congr. Soil Sci., Bucarest, Romania. Academy of the Socialist Republic of Romania, Bucharest, 11: 161-164.

Poss, R.; Smith, C. J.; Dunin, F. X.; Angus, J.F., 1995. Rate of acidification under wheat in a semi-arid environment. *Plant and Soil*, Kluwer Academic Publishers, 177: 85-100

Poss, R., 1991. Tranfert de l'eau et des éléments minéraux dans les terres de Barre du Togo. Conséquences agronomiques. Thése de Doctorat, Univ. Paris VI, 335 p

Pratt, P. F., 1951. *Soil Sci.*, 72, 107-117.

Pratt, P. F., 1965. Potasium. In Black C. A. (Editor) Methods of Soil Analysis. Am. Soc of Agron. Madison Wis. 1022-1030.

Ramirez, E.,1995. Políticas de Fertilizantes en Venezuela. Conferencia en el Taller de Trabajo "Efecto de la fertilización nitrogenada sobre las reservas de nitrógeno orgánico en los suelos de los Llanos Occidentales de Venezuela". Univ. de Los Andes, Mérida

Rasmussen, P.E. y Rohde, C.R. 1989. Soil acidification from ammonium-nitrogen fertilization in moldboard plow and stubble-mulch wheat-fallow tillage. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 53: 119-122.

Reeve, N. G.; Sumner, M. E., 1972. Amelioration of subsoil acidity in natal Oxisols by leaching of surface-applied amendments. *Agrochemophysica*, 4, 1-6

Ridley, A. M.; Slattery, W. J.; Helyar, K. R.; Cowling, A., 1990. Acidificatión under grazed annual and perennial grass based pasture. *Aust. J. Exp. Agric.* 30: 539-554

Ritchie, G. S. P., 1989. The chemical behaviour of aluminium, hidrogen and manganese in acid soils. *In* Soil acidity and plant growth. Edited by A.D. Robson, *Soil Sci. and Plant Nutr. School of Agric.*, Univ. of Western Australia, Academic Press, *pp* 1-60.

www.bdigital.ula.ve

Atribución - No Comercial - Compartir Igual 3.0 Venezuela (CC BY - NC - SA 3.0 VE)

Robert, M y Trocmé, S. 1979. Le Potasium, *in* Bonneau, M. Souchier, B., Pédologie, vol 2, Constituants et Propiétés du sol, ed. Masson, Paris 1979, capítulo 12, p. 379-385.

Robson, A. D., 1989 (editor). Soil acidity and plant growth. Academic Press, Australia, 306 p.

Rouse, R. D.; Bertramson, B. R., 1950. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.*, 14: 113-123.

RPF, 1992. Réferentiel Pédologique Francais. Coll. Publications de l'INRA.

Russel, E.W. 1973. Soil conditions and plant grouth, Longman, London, p. 121.

Sánchez P.A., 1976. Properties and management of soils in the tropics. Wiley Interscience Publication. 618 p.

Sánchez P.A., Smyth T. J., 1987. The IBSRAM acid tropical network: a progres report. *In* IBSRAM, 1987, Africland, pp 19-40.

Sanz Medel, A., 1990. Espectrometria de Emisión Atómica con Fuente de Plasma: El ICP. *In* Espectroscopia Atómica Analítica. M. Blanco; V. Cerda y A. Sanz Medel (Editores). Publicaciones de la Universidad Autónoma de Barcelona, Bellaterra, España.

Sarmiento,G., 1984. The Ecology of neo-tropical savannas. Harward Univ. Press Cambidge MA.

Sarooshi, R.A.; Weir, R.G.; Barchia, Y. M., 1994. Soil pH, extractable phosphorus, and exchangeable catios as affected by rates of fertilizer nitrogen, phosphorus, and potasium applied over several years to Valencia orange trees. *Australian Journal of Experimental Agriculture*, 34: 419-425.

Schnitzer, M.; Kodama, H., 1977. Reaction of mineral with soil humic substances. *In* Dixon, J. B.; Weed, S. B. (Editors), Mineral in soil environment, Soil Sci. Soc. Am., Madison, Wis., pp. 741-770.

www.bdigital.ula.ve

Atribución - No Comercial - Compartir Igual 3.0 Venezuela (CC BY - NC - SA 3.0 VE)

Schwab, A.P.; Ramson, M.D. y Owensby, C.E. 1989. Exchange properties of an Argiustoll: Effects of long-term ammonium nitrate fertilization. *Soil Sci. Soc.Am. J.*, **53**:1412-1417.

Schwarz, O., 1987. Acidic precipitation, formation and impact on terrestrial ecosystems. Verein Deutscher Ingenieure Commission for air polution prevention, Dusseldorf, Germany.

Schofield, R.K.; Taylor, A. W., 1955. The measurement of soil pH. *Soil Sci. Soc. Am Proc.*, 19: 164-167.

Senesi, N; Calderoni, G., 1988. Structural and chemical characterization of copper, iron and manganese complexes formed by paleosol humic acids. *Org. Geochem.* Vol 13, Nrs 4-6: 1145-1152.

Sharpley, A.N., 1989. Relationship Between Soil Potasium Forms and Mineralogy, *Soil Sci. Soc. Am. J.* 52(4), 1023-1028.

Silverstein, R. M.; Bassler, C.G.; Morril, T. C., 1974. Spectrometric identification of organic compounds. John Wiley and sons, New York, 340 p.

Sparks, D. L., 1984. Ion activities: a historical and theoretical overview. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 48: 514-518.

Suárez, D., 1997. Acidificación y Encalado de Suelos: Problemática Nacional. Seminario Internacional: Uso Eficiente de Fertilizantes en Agricultura Sustentable. Depto. de Suelos, Facultad de Agronomía, Universidad de Concepción, Chile.

SSSA, 1987. Glossary of soil science terms. *Soil Sci. Soc. of Am.*, Madison, 33 p.

Stevenson, F. J., 1982. Humus Chemistry. John Wiley and Sons, Somerset, N.J.

www.bdigital.ula.ve

Atribución - No Comercial - Compartir Igual 3.0 Venezuela (CC BY - NC - SA 3.0 VE)

Stevenson, F. J., 1985. Geochemistry of soil humic substances, *In* Aiken, G. R. (Editor), Humic substances in soil, sediment, and water, John Wiley and Sons, Somerset, N. J. p. 13-52

Stone, D.L.R.; Whitney, D.A.; Janssen, K.A. y Long, J.H. 1991. Soil properties after twenty years of fertilization with different nitrogen sources. *Soil Sci. Soc. Am. J.* **55**:1097-1100.

Stumm, W.; Morgan, J., 1981. Aquatic Chemistry: An introduction emphasizing chemical equilibria in natural waters. Wiley Interscience, New York

Stumpe, J.M. y Vlek, P.L.G., 1991. Acidification induced by different nitrogen sources in columns of selected trpical sois. *Soil Sci. Soc. Am. J.* **55**: 145-151.

Sumner, M.E.; Farina, P.M.W. y Hurst, V.J. 1978. Magnesium Fixation. A possible cause of negative yield responses to lime aplications. *Commun. Soil Sci. Plant Anal.*, **9**: 995.

www.bdigital.ula.ve

Swift, M. J.; Woomer, P. L., 1993. Organic matter and the sustainability of agricultural sistems: Definition and measurement. *In* Mulongoy, K; Merckx, R (editors), Soil Organic Matter Dynamics and Sustainability of Tropical Agriculture. John Wiliey and Sons, New York, pp 3-18.

Tamhane, R. V.; Motiramani, D. P; Bali, Y. P, 1978. SUELOS: su química y fertilidad en zonas tropicales, Editorial Diana, Mexico , 483 p.

Tan, K. H., 1986. Degradation of soil minerals by organic acids. *In* Huang, P. M.; Schnitzer, M. (Editors), Interaction of Soil Minerals with natural Organics and Microbes. Soil Sci. Soc. Am. Spec. Publ. 17. SSSA, Madison, Wis. pp 1-27

Tan, K.H. 1993. Principles of Soil Chemistry, 2nd edition, Marcel Dekker, Inc. New York, capítulo 7, p. 229-243.

Tan, K.H. 1996. Soil Sampling, Preparation and analysis, Marcel Dekker, Inc. New York, capítulo 10, p. 135-188.

Atribución - No Comercial - Compartir Igual 3.0 Venezuela (CC BY - NC - SA 3.0 VE)

Thomas, W. G.; Hargrove, W. L., 1984. The Chemistry of Soil Acidity. *In* Adams, F. (editor). Soil Acidity and Liming. Agronomy Nr. 12, American Society of Agronomy, Inc. Publisher, p 3-56.

Tisdale, S.L.; Nelson, W.L.; Beaton, J.D., 1985. Soil Fertility and Fertilizers, 4th ed. MacMillan Pub. New York, cap. 7-8, p. 249-349.

Trassy, C.; Mermet, JM, 1984. Les Applications Analytiques des Plasmas HF. Technique et Documentation Laviosier, Paris.

Truog, E., 1951. Mineral Nutrition of Plants. Madison, University of Wisconsin press, 469 p.

Ugolini, F. C.; Anderson, D. M., 1973. Ionic migration and weathering in frozen Antartic soils. *Soil Science*, 115: 461-470.

Ugolini, F.C; Sletten R. S., 1991. The Role of Proton Donors in Pedogenesis as Revealed by Soil Solution Studies. *Soil Science*, vol 151Nr. 1, 59-75.

www.bdigital.ula.ve

Ulrich, B., 1980. Production and consumption of hidrogen ions in the ecosphere. *In* Hutchinson, T. C.; Havas, M. (Editors), Effects of Acid Precipitation on Terrestrial Ecosystems. Plenum Press, New York, pp. 255-282.

Ulrich, B.; Summer, M. E., 1991 (editors). Soil Acidity. Springer-Verlag, Berlin, 224 p.

Van Breemen, N., 1982. Genesis, morphology and classification of acid sulfate soils in coastal plains. *In* Kittrick, J. A. (Editor), Acid sulfate weathering. Spec. Publ. 10. *Soil Sci. Soc. Am.*, Madison, Wis., pp 95-108.

Van Breemen, N.; Mulder, J.; y Driscoll, C.T., 1983. Acidification and alkalinization of soils. *Plant and Soil* 75, 283-308.

Van Breemen, N., 1991. Soil acidification and alcalinization. *In* Soil Acidity, Ulrich and Summer (editors) Chapter 1, pp 1-7

Atribución - No Comercial - Compartir Igual 3.0 Venezuela (CC BY - NC - SA 3.0 VE)

Van den Ende, J., 1989. Estimating the chemical compositión of the soil solution of glasshouse soil. 1. Compositions of soil solution and aqueous extracts. *Netherlands J. Of Agric. Sci.,* 37: 311-322.

Van den Ende, J., 1989. Estimating the chemical compositión of the soil solution of glasshouse soil. 2. Relationship between the composition of soil solution and aqueous extracts. *Netherlands J. Of Agric. Sci.,* 37: 323-334.

VanDoren, J. B., 1987. Soil pH as a first experiment in quantitative analysis. *J. of Chem. Educ.*, 64(5). 447.

Van Lierop, W., 1990. Soil pH and lime requirement determination. *In* Soil testing and plant analysis, 3th. Edition, Westerman, R. L., editor, Soil Sci. Soc. Am., Inc., Madison, 73-126.

Vedy, J.C.; Bruckert, S. 1979. Les Solutions du Sol. Composition et Signification Pédogénétique, *in* Bonneau, M. Souchier, B., Pédologie, vol 2, Constituants et Propiétés du sol, ed. Masson, Paris 1979, capítulo 8 p. 161-183.

www.bdigital.ula.ve

Vitousec, P.M. y Matson, P.A.,1988. Nitrogen transformations in a range of tropical forest soils. *Soil Biol. Biochem.* Vol. 20 No. 3, 361-367.

Vizier, J.E., 1992. Cinetique de séparation par électrodialyse de formes de fer ferreux preéentes dans un sol saturé d'eau. *Cah. Orstom, sér. Pedol.*, vol XXVII, Nr. 2: 251-261.

Wada, K., 1989. Allophone and Imogolite. *In* Dixon, J. B; Weed, S. B. (Editors), Minerals in soil environmente, 2nd. De., Soil Sci. Soc. Am., Madison, Wis., pp 1051-1087.

Weinberger, P. y Yee, D., 1984. The influence of nitrogen sources on root- mediate changes in substrate pH. *Can. J. Bot.* Vol. 62, 161-162.

White, G. N.; Feldman, S. B.; Zelazny, L. W., 1988. Rates of nitrient release by mineral weathering. Tech. Bull. Nr. 542, Natl. Counc. Pap. Ind. Air Stream Improve., New York.

Atribución - No Comercial - Compartir Igual 3.0 Venezuela (CC BY - NC - SA 3.0 VE)

Wood, L. N.; Deturk, E.E., 1940. *Soil Sci. Soc.Am. Proc.* 5: 152-161.

Wright R. J., Baligar V. C., Murman R. P. (Editores), 1991. Plant-soil interation at low pH. Kluwer Academic Publisher, 1104 p.

Yágodin, B. A.,1986. Agroquímica, vol I. Editorial Mir Moscú, 416 p.

ZincK, A.; Stagno, P., 1966. Estudio edafológico de la zona Santo Domingo-Paguey estado Barinas. Estudios Agrológicos de Occidente, Guanare Edo. Portuguesa, Min. De Obras Públicas, Div. de Edafología 67-140.

www.bdigital.ula.ve

Atribución - No Comercial - Compartir Igual 3.0 Venezuela (CC BY - NC - SA 3.0 VE)