MINERALIZACION DE NITROGENO ORGANICO EN ALGUNOS SUELOS DE COSTA RICA

Por

J. RICARDO PINEDA M.

Instituto Interamericano de Ciencias Agrícolas de la OEA
Centro de Enseñanza e Investigación
Turrialba, Costa Rica

Julio, 1969

MINERALIZACION DE NITROGENO ORGANICO EN ALGUNOS SUELOS

DE COSTA RICA

Tesis

Presentada al Consejo de la Escuela para Graduados
como requisito parcial para optar al grado de

Magister Scientiae

en el

Instituto Interamericano de Ciencias Agrícolas de la OEA

APROBADA: _____ Consejero

Elemer Bornemisza, Ph.D.

_____ Comité

Hans W. Fassbender, Dr.Cien.Agr.

_____ Comité

José A. Martini, Ph.D.

_____ Comité

J. M. Montoya Maquin, Dr.Sc.B.

Julio, 1969

A mis padres

A mi esposa

A mis hijos

AGRADECIMIENTO

El autor desea expresar su agradecimiento a las siguientes personas e Instituciones, sin cuyo apoyo no hubiera sido posible llevar a término el presente trabajo:

Dr. Elemer Bornemisza, Consejero Principal

Drs. Hans Fassbender, José Martini y Michel Montoya, miembros del Comité Consejero.

Programa de Energía Nuclear

Instituto Interamericano de Ciencias Agrícolas de la OEA

Universidad Nacional Técnica de Piura

Dr. Gilberto Páez

Ing. Raul Fuentes

Asi mismo desea hacer extensivo su agradecimiento, a sus profesores, compañeros y a todas las personas que de una u otra manera contribuyeron a la culminación de la presente tesis.

BIOGRAFIA

El autor nació en la ciudad de Huancayo, Perú en el año 1937. Sus estudios primarios y secundarios los realizó en su ciudad natal.

Ingresó a la Universidad Agraria "La Molina" en 1957, habiendo finalizado sus estudios en 1961, graduándose como Ingeniero Agrónomo.

Durante los años de 1962, 63 y 64 trabajó en el Laboratorio de Suelos de la Fábrica "Abonos Completos" S.A. en Lima.

A partir de 1965 desempeña el cargo de docente en el Departamento de Química y Suelos de la Universidad Nacional Técnica de Piura.

En setiembre de 1967 ingresó a la Escuela para Graduados del Instituto Interamericano de Ciencias Agrícolas de la OEA en Turrialba, Costa Rica, terminando sus estudios en julio de 1969.

CONTENIDO

Página

LISTA DE CUADROS

LISTA DE FIGURAS

I. INTRODUCCION

El término mineralización se usa en general para denominar al complejo proceso de las transformaciones de los compuestos orgánicos del suelo en componentes inorgánicos más facilmente accesibles para las plantas.

En el caso particular del nitrógeno, su mineralización implica la transformación del nitrógeno constituyente de la materia orgánica del suelo, en nitrógeno mineral constituido por las fases nítrica y amoniacal.

Este proceso ha sido ampliamente estudiado dada su gran importancia como mecanismo abastecedor de nitrógeno asimilable, ya que como se sabe prácticamente la totalidad del nitrógeno utilizado por las plantas en condiciones naturales, proviene de la materia orgánica del suelo.

En el caso particular de los suelos ando, este fenómeno de la mineralización del nitrógeno presente aún muchas interrogantes aunque ya existen trabajos que indican un comportamiento diferente a los generalmente observados en otros suelos.

Los andosoles o suelos ando, como se ha convenido en llamar provisionalmente a los suelos de origen volcánico reciente y que en la 7ª Aproximación corresponde al Gran Grupo Distrandept (anteriormente llamado Umbrandept ó Normandept), dentro del suborden Andept y del orden Inceptisol, han demostrado tener características muy especiales que implican la necesidad de estudiarlos profundamente para establecer luego normas de manejo respecto a ellos.

Merece llamar la atención sobre los problemas de métodos de

caracterización. Hay probablemente muchos de estos que no puedan aplicarse directamente siendo por lo tanto necesario actuar con cautela, establecer su aplicabilidad o hacer las modificaciones necesarias.

Un ejemplo del caso al que nos referimos es el de la determinación de la capacidad de intercambio catiónico (CIC), estudios de Rich (62) y posteriormente de Bornemisza y Fuentes*, han demostrado la inconveniencia del uso del acetato de amonio en el caso de suelos con arcillas amorfas o pobremente cristalizadas (los andosoles caen dentro de este caso), por la fijación del ión acetato.

Otro ejemplo es el de la mineralización del nitrógeno orgánico, y es de lo que justamente trata el presente trabajo.

Casi toda la información que se tiene acerca de los andosoles proviene de Japón, Nueva Zelandia y Hawaii en donde buen número de investigadores han trabajado en los últimos 20 años y vienen haciéndolo todavía tratando de obtener la mayor información posible.

En Centroamérica y en la cordillera de los Andes, en América del Sur, región eminentemente volcánica y en donde los suelos ando deben estar profusamente distribuidos, se han realizado relativamente pocos estudios específicos acerca de ellos.

El presente trabajo es una contribución al mejor conocimiento de los suelos ando en Costa Rica y está diseñado con el propósito de:

- Comparar las características de algunos suelos ando con un grupo

---

* Comunicación personal, Bornemisza, E. y Fuentes, R., NEP, IICA, Turrialba, Costa Rica, 1968.

de suelos no ando, especialmente en lo que respecta a sus contenidos de alofana, mineral amorfo arcilloso que es practicamente signo de identificación de los andosoles (aunque no es exclusividad de ellos).

- Comparar la velocidad de mineralización del nitrógeno orgánico de estos suelos, y establecer la relación entre contenido de alofana y dicha mineralización.
- Comparar la influencia de algunos tratamientos sobre la mineralización del nitrógeno orgánico en los suelos estudiados.

La importancia de este trabajo queda implícita en la importancia que tiene el nitrógeno como elemento nutritivo para la planta; es de interés conocer la capacidad de abastecimiento de nitrógeno mineral de estos suelos, esto es la mineralización del nitrógeno orgánico.

De confirmarse para los suelos en estudio, los resultados obtenidos por Broadbent, Jackman y McNicoll (24) en suelos similares de Nueva Zelandia, en los cuales, en algunos, casos hallaron una muy baja mineralización, se tendría una base sólida para efectos de recomendaciones de abonamiento, siendo necesario entonces no solo tomar en cuenta la cantidad de nitrógeno total como índice de capacidad de abastecimiento de nitrógeno disponible, sino también la situación de baja mineralización.

Si entre los tratamientos establecidos se consigue alguno que active dicha mineralización, se habrá logrado un aporte dentro de las normas de conducta para el mejor manejo de estos suelos.

II. REVISION DE LITERATURA

A. FACTORES QUE AFECTAN LA MINERALIZACION DEL NITROGENO ORGANICO

1. Variaciones estacionales de nitratos

Durante mucho tiempo la humedad y la temperatura fueron los dos factores señalados como los básicamente influyentes en el proceso de mineralización.

Posteriormente un hecho en apariencia contradictorio llamó la atención de los investigadores y motivó muchos trabajos respecto al mismo (26, 31, 33, 37, 38, 40, 41, 48, 64, 76). Este hecho fue el de haber sido observado un alto contenido de nitratos en la parte superficial de muchos suelos de zonas tropicales justamente después de las épocas de sequía cuando se supone que la temperatura es alta y la humedad deficiente para que se desarrollen los procesos bioquímicos responsables de la mineralización.

Las interpretaciones que se dieron a este fenómeno fueron varias. Rao y Dhar (61) ya en 1931 habían lanzado su teoría de la fotonitrificación, la que en síntesis dice que la nitrificación es más un proceso fotoquímico que bacterial, especialmente en zonas tropicales. En realidad esto no resultaba nada nuevo porque ya en 1906 Russell y Smith (68) habían vislumbrado la posibilidad de que esto sucediera, pero señalaron que su importancia era de poca significación dentro del proceso total.

Otros investigadores (31, 34, 39, 64, 76, 80, 88) demostraron la

responsabilidad específica de las bacterias en los procesos de nitrificación, coincidiendo todos en que pueden existir factores muy variados que influyen sobre la actividad bacteriana y sobre los que es necesario investigar más aún, pero que en última instancia las responsables directas de la nitrificación son las bacterias.

Otra teoría que trata de explicar la acumulación de nitratos en las épocas de sequía es la de la ascención capilar sostenida por varios investigadores (67, 76, 89, 90, 91).

2. Efecto de secamiento-rehumedecimiento

Dentro de la última década ha tomado cuerpo una nueva forma de explicar el fenómeno de la fluctuación estacional de nitratos y es lo que se ha dado en llamar el "Efecto Birch" y que fue propuesta por el autor del mismo nombre, quien basado en varios de sus trabajos asi como en los realizados con la colaboración de Friend y Emechebe (6, 7, 8, 9, 10, 12, 13), estableció que dichas variaciones obedecen a los procesos de secamiento-rehumedecimiento de los suelos; y más aún, que el fenómeno completo de mineralización del nitrógeno es función de tales procesos. Birch encontró una mayor liberación de nitrógeno en los tejidos vegetales sometidos a secamiento y rehumedecimiento que en el caso de humedad constante. En condiciones aeróbicas el secamiento intermitente, no solo incrementó la cantidad de nitrógeno liberado sino que el efecto fue acumulativo con el número de los ciclos de dicho tratamiento.

Birch y Emechebe (12), en un experimento de invernadero,

lograron un mayor rendimiento de millo y un mayor contenido de nitrógeno dentro de esta planta al realizar el tratamiento de secamiento-rehumedecimiento en los suelos utilizados.

Birch (6), estableció en un experimento respirométrico, que cuando un suelo seco es mojado, ocurre un característico patrón de descomposición de la materia orgánica, en el cual existe un período inicial de relativa rápida descomposición (estado 1), que cae luego en unos pocos días a un estado de lenta descomposición (estado 2). Este patrón es susceptible de ser repetido con sucesivos secamientos y rehumedecimientos; la magnitud de la descomposición depende del contenido de C en el suelo y de las condiciones de secamiento. Un patrón similar de descomposición debe ocurrir bajo condiciones de campo a través de sucesivas estaciones secas y húmedas.

Aún cuando Birch no da una explicación definitiva del porque de esta situación, sugiere las siguientes posibilidades. En primer lugar que los sucesivos secamientos produzcan liberación de materia orgánica de entre los látices de las arcillas quedando en consecuencia más susceptible al ataque microbiano. En segundo lugar cabe la posibilidad que después de cada secamiento queden muchas esporas resistentes las que proliferarían en forma rápida al humedecerse, atacando luego adicionalmente al cadaver bacteriano producido por el secamiento. Y por último cabe la explicación del efecto de superficie: cada secamiento produce una fragmentación y un aumento consiguiente de la superficie reaccionante involucrada en los procesos de mineralización.

Si bien el mérito de haber trabajado exahustivamente en la investigación del efecto secamiento-rehumedecimiento, corresponde a Birch, este mismo autor (6) cita a Lebedjuntzev quien en 1924 informó por primera vez el efecto del secamiento en la fertilidad de los suelos.

Cairns (25), trabajando con solonetz, encontró que el efecto del calentamiento produjo una efectiva liberación de nitrógeno amoniacal.

Van Schereven (84), al estudiar el efecto del secamiento-rehumedecimiento en suelos calcáreos, encontró que dicho tratamiento aplicado periódicamente estimuló la mineralización del nitrógeno.

Broadbent, Jackman y McNicoll (24), constataron el efecto Birch en suelos volcánicos y no volcánicos pero no encontraron diferencia de comportamiento entre ambos grupos.

Schalscha y colaboradores (73), estudiaron el efecto del secamiento en suelos de cenizas volcánicas respecto a su influencia en varias determinaciones, encontrando que después de tal tratamiento los valores de contenido de arcilla, pH, CIC, P soluble y Fe soluble fueron notablemente menores que en el caso en que no se desecaron las muestras.

3. Efecto de encalado

Abichandani y Patnaik (2), en una prueba de incubación que hicieron a 35 grados centígrados, utilizando un suelo proveniente de un cultivo de arroz en inundación, encontraron que la tasa de mineralización del nitrógeno orgánico en presencia de cal, durante los primeros quince días fue cercanamente el doble que en el caso del tratamiento

sin cal. El efecto del encalado fue menos marcado cuando se incorporó abono verde. Adiciones de SO_4 $(NH)_4$ tendieron a reducir la respuesta de la cal, mientras que aplicaciones de superfosfato tendieron a incrementarla.

Blue y Eno (19), investigando en suelos arenosos ácidos y utilizando millo y avena forrajera encontraron que el encalado produjo un marcado incremento en la producción asi como en la recuperación del N aplicado en la forma de NH_3 anhidro y urea.

Abichandani y Patnaik (1), nos dicen que la mayor parte del nitrógeno orgánico, en suelos inundados cultivados con arroz, es resistente a la conversión en NH_3, solo una fracción muy pequeña se mineraliza después de 10 a 15 semanas de inundación; la actividad microbiana es incrementada con la adición de cal.

Wood (92) estableció que cantidades de 2, 4 y 8 tn de CO_3Ca/acre indujeron una rápida mineralización.

Blasco y Cornfiel (16), investigando el efecto de la aplicación de una dosis de 1% de CO_3Ca, en la mineralización del N, encontraron que en suelos ácidos el efecto es positivo. Sin embargo durante las seis primeras semanas se produjo un detrimento en la mineralización, lo que según estos autores se debió a la formación de humatos de calcio. En suelos halomórficos el CO_3Ca disminuyó la mineralización y en suelos neutros no encontraron ningún efecto.

4. Efecto de abono orgánico

Algunos investigadores han estudiado la influencia de la adición

de abonos orgánicos y materiales orgánicos en general, sobre los procesos de mineralización.

Oke (56) encontró una disminución de la nitrificación al aplicar paja de cereales a un suelo pardo gris tropical siendo tal efecto mayor cuanto más alta fue la relación C/N, del material aplicado.

Greenland y Nye (32), estudiando un latosol tropical bien drenado hallaron que al aplicar paja de cereales de una relación carbono nitrógeno mayor de 70, no se produjo disminución de la cantidad de nitratos como podría esperarse; estos autores explican esta situación achacando a las termitas una rápida descomposición de la materia orgánica sin mayores requerimientos de nitrógeno.

Broadbent (23), señala que en presencia de paja de alta relación C/N, la proporción de inmovilización del N, depende fuertemente de la temperatura, señalando como los límites más deseables para la mineralización del nitrógeno orgánico: 75 a 90 grados F (24 a 32 grados C).

Blasco y Cornfield (14), hallaron que al adicionar 1% de celulosa, se produjo un marcado detrimento de nitratos durante las primeras 12 semanas y recién a partir de la 16ª semana se notó acumulación de nitrógeno mineral.

Robertson y Neller (63), determinaron que al agregar aserrín en dosis de 10 Tn/Ha se incrementó la recuperación de N en pasto bermuda; 20 Tn/Ha, no resultó mejor que 10 y 40 Tn/Ha produjo un detrimento.

Mortensen (53), estudió el efecto de la adición de alfalfa (marcada con ^{14}C y ^{15}N) en la mineralización nitrogenada de dos suelos incubados, uno virgen y el otro cultivado. Este autor encontró que

el tejido de alfalfa se descomponía en mayor proporción en el suelo virgen; también estableció que el tejido de alfalfa redujo la descomposición de la materia orgánica del suelo en proporción a la cantidad de material adicionado y por último observó que un incremento en la adición de la alfalfa, causó un aumento en la cantidad de nitrógeno mineralizado de dicho tejido, pero tuvo poco efecto en la cantidad de N mineralizado de la materia orgánica del propio suelo.

Sakai e Ike (70), determinaron que durante la incubación de un suelo de ceniza volcánica, tratado con diferentes cantidades de abono orgánico estable, en los estados más tempranos de incubación, el CO_2 evolucionó en proporción a la cantidad de abono orgánico adicionado, pero en los estados más tardíos, la evolución del CO_2 por unidad de abono orgánico llegó a ser más baja en los suelos que recibieron las menores dosis de dicho abono; nos dicen estos autores que esto indica la existencia de alguna interferencia biológica dentro del mismo suelo. Encontraron también, Sakai e Ike, que la descomposición, en estados tardíos, es proporcionalmente menor en suelos de cenizas volcánicas que en suelos aluviales y por lo tanto sugieren que los experimentos sobre procesos de descomposición de la materia orgánica tengan un período de incubación amplio para poder obtener resultados comparables con otros suelos.

5. Efecto de diversos factores

Existen muchos otros factores que inciden en el proceso de la mineralización del nitrógeno orgánico y que han sido estudiados por

varios autores.

Asi por ejemplo, en cuanto a la influencia del factor humedad, tenemos entre otros los trabajos de Robinson (65), Dommergues (28), Blasco y Cornfield (16).

Blasco y Cornfield (17), estudiaron también el efecto de la acidificación temporal en suelos salinos.

Martin y Cox (49), relacionaron profundidad del suelo con mineralización del N.

Existen también trabajos sobre la influencia de los pesticidas en la mineralización nitrogenada (50, 79).

Pathak y Jain (57), asi como Harada y Kai (36), estudiaron el efecto de las sales alcalinas sobre la liberación de nitrógeno mineral. Sinha (77) asi como también Shankar y Ventaca-Rao (74), investigaron el efecto del abonamiento, nitrogenado y fosforado respectivamente, sobre la mineralización del nitrógeno.

Robinson (66) y Saunders y Grand (72), establecieron correlaciones entre textura y mineralización nitrogenada.

Birch y Dougall (11), estudiaron el efecto de las leguminosas. El efecto antibiótico de las excreciones radicales de ciertas gramíneas sobre las bacterias nitrificantes, ha merecido la atención de muchos investigadores (19, 31, 37, 48, 54, 55, 81, 82, 93, 94).

Recientemente se han intensificado las investigaciones sobre las relaciones entre CIC y la mineralización del nitrógeno orgánico (75, 78, 30, 47, 59, 60, 75, 78).

B. ANDOSOLES Y MINERALIZACION DE NITROGENO ORGANICO

1. Alofana

Mitchell, Farmer y McHardy (52), en 1964 hicieron una recopilación de los trabajos realizados hasta esa fecha respecto a la alofana y aún cuando en algunos casos aparecen ciertas conclusiones divergentes por parte de algunos autores (especialmente en lo concerniente a su composición química, habiéndose inclusive llegado a señalar una fórmula para la alofana), en términos generales han predominado los siguientes criterios:

Alofana no es un compuesto definido sino un material amorfo constituido predominantemente de silice, aluminio y agua; su presencia no está asociada necesariamente a material volcánico reciente (en arena volcánica reciente no se ha hallado alofana); se ha detectado alofana en suelos arcillosos derivados de sedimentos del pelistoceno asi como también en latosoles y en suelos hidrotermales. Dentro de la alofana, se distingue un tipo inestable que se forma por meteorización rápida de vidrio volcánico y una alofana estable producto de la meteorización de la haloisita y caolinita (esta última sería la alofana encontrada en los latosoles).

Se ha encontrado un buen contenido de aluminosilicatos amorfos (alofana) en suelos con buen contenido de materia orgánica en la capa superficial y buen drenaje interno.

Yoshinaga y Aomine (97), han descrito otro mineral amorfo; la imogolita, que presenta cierta estructura cristalina a los rayos X y

que en lo referente a curva de absorción infrarroja, composición química y valor delta, muestra una cercana semejanza con la alofana. Estos autores creen que la imogolita es un producto intermedio de la meteorización entre alofana y el mineral arcilloso cristalino.

Yoshinaga y Aomine (96), después de hacer observaciones de alofanas de distinta procedencia, con el microscopio electrónico, encontraron que las formas que se aprecian son muy variadas; así, la alofana de Uemura está compuesta principalmente de partículas fibrosas de tamaño variable, a veces redondeadas en forma de masas irregulares; la alofana de Choyo presenta un ensamblaje más o menos contínuo en el cual las partículas fibrosas aparecen esporádicamente; y la alofana de Okamoto aparece compuesta principalmente de partículas finas de forma irregular con apariencia de agregado. En el caso de alofana coexistiendo con imogolita, no se aprecia diferencia de formas entre si. Estos autores nos dicen en conclusión que las formas de estos compuestos amorfos varían de muestra a muestra dependiendo seguramente del estado de meteorización.

Yoshinaga (95) en un trabajo reciente, ha establecido la composición química de la alofana y las relaciones de sus componentes, destacando sin embargo que no es posible todavía obtener a la alofana en forma completamente pura ya que es muy difícil separarla de ciertas impurezas como sesquióxidos libres y minerales cristalinos. Los valores encontrados por Yoshinaga son los siguientes:

SiO_2 de 31 a 40%

Al_2O_3 de 35 a 42%

H_2O, susceptible de perderse por ignición de 16 a 19% (H_2O_+)

Estos tres constituyentes ocupan entre el 90 y el 93% del material total.

Existe también una apreciable cantidad de agua adsorbida (H_2O_-). Después de los tres componentes principales anotados primeramente, el sodio es el elemento más abundante (4,5 a 6,5%) presentándose en forma intercambiable (145 a 210 meq/100 g.).

El hierro y el titanio están presentes en cantidades apreciables.

Yoshinaga encontró, en arcillas de Choyo y Okamoto, que después de 10 tratamientos de deferración, dichas arcillas contenían aún 0,3 y 0,9% respectivamente de Fe; esto nos dice el autor, hace pensar que una apreciable cantidad del Fe está en combinación y no en forma libre.

No se conoce la forma exacta en que se encuentra el titanio, pero la relación de valores de Fe y Ti, hace pensar en la presencia de algunas fases como la ilmenita, aunque una positiva evidencia de tal mineral no ha sido obtenida.

La cantidad de los demás elementos es generalmente baja. Se han encontrado pequeñas cantidades de K, Mg, etc. pero se considera a estos como impurezas que se incorporaron dentro de las partículas de alofana durante los procesos de meteorización.

En cuanto a las relaciones moleculares encontradas por Yoshinaga, son las siguientes:

$SiO_2/Al_2/O_3$	de 1,3 a 2
Na/Si	0,31

H_2O_+/ SiO_2	1,7
H_2O_-/ SiO_2	2,1
$H_2O\pm/ SiO_2$	3,8
H_2O-/Al_2O_3	3,3
H_2O+/Al_2O_3	2,5
$H_2O\pm/Al_2O_3$	5,7

Estas dos últimas relaciones pueden indicar que la alofana depende principalmente del contenido de aluminio, presumiblemente a través de la asociación de moléculas de agua con AlOH. Se puede considerar entonces que la alofana, en un estado de alta saturación con cationes metálicos, sufre aparentemente un aumento en su contenido de agua (como resultado del incremento de aluminio), correspondiente a más o menos 2,5 H_2O+ y 5,7 $H_2O\pm$ por Al_2O_3; sin embargo hay que considerar que si la silice y la alumina están combinados en la alofana, entonces la cantidad de agua por mol de Al_2O_3 decrecerá.

2. Alofana y materia orgánica

El alto contenido de humus en los suelos ando, ha llevado a algunos investigadores a pensar en la alofana como un retenedor de materia orgánica.

Tokudome y Kanno (83), estudiando la naturaleza del humus en suelos alofanicos de Japón, encontraron que la mayor parte del humus estaba unido a la alofana y sesquióxidos (especialmente a óxidos de aluminio), encontraron además que suelos alofanico-húmicos jóvenes tienen mayor cantidad de carbono y relativamente mayor cantidad de ácidos

fúlvicos que los suelos alofanico-húmicos viejos, lo cual, nos dicen estos autores, indican una condensación de los ácidos húmicos.

Wada e Inoue (87), estudiaron las interacciones de las sustancias húmicas derivadas de la descomposición del material vegetal con la fracción inorgánica del suelo (con alofana y montmorillonita especificamente), los resultados que observaron fueron los siguientes:

Reacción característica	Montmorilonita	Alofana
Obtención de equilibrio de la adsorción	rápido	lento
Capacidad de adsorción	6,5 mg C/g.suelo	28-44 mg.C/g.suelo
Estabilidad de las sustancias húmicas adsorbidas	menor	mayor
Grado de humificación de las sustancias húmicas adsorbidas	alto	bajo

Las diferencias que se observan entre las relaciones montmorilonita-humus y alofana-humus, pueden tener una influencia importante en la acumulación de sustancias húmicas en suelos de cenizas volcánicas, especialmente bajo condiciones de alta temperatura y humedad y buen drenaje, terminan diciéndonos estos autores.

Kyuma y Kawaguchi (46), estudiaron la importancia de la alofana en cambios oxidativos de los polifenoles en relación a los procesos de formación de humus en los suelos ando. Para el efecto incubaron un suelo Chestnut con un sustrato (el cual contenía taninos), en un material alofánico; después de un lapso más o menos largo de incubación, observaron que el material alofánico había adsorbido grandes

cantidades de C orgánico (8 a 10 veces más que el material de control, en el término de 22 semanas). Determinaciones, que posteriormente hicieron estos mismos investigadores, en la materia orgánica adsorbida, les hicieron pensar que la alofana podría tener algún efecto catalítico en los cambios oxidativos de los polifenoles, lo que repercutiría en la formación y acumulación de humus en los suelos ando.

Los polifenoles están ahora ampliamente reconocidos como uno de los principales constituyentes esqueléticos de las sustancias húmicas en los suelos.

Aomine y Kobayachi (3), en un trabajo que hicieron incubando tres clases de arcillas (montmorilinita, haloisita y alofana) en un substrato de hemoglobina y en presencia de la enzima proteasa, encontraron que la arcilla alofánica inhibió más fuertemente la actividad de la proteasa. Nos dicen estos autores que el grado de interferencia de una arcilla con la hidrólisis enzimática de la hemoglobina parece estar influido por el tipo de adsorción, que en el caso de la alofana es coulombica y no coulombica, a diferencia de las arcillas cristalinas en donde la adsorción es sólo de tipo coulombico. Estos mismos autores citan a Jackman quien ha sugerido 2 explicaciones posibles a la estabilización de la materia orgánica por parte de la alofana: a) Una adsorción inusitadamente fuerte de la materia orgánica lo que significa una protección del ataque microbiano. b) Una disminución de la actividad microbiana debido a: deficiencia de nutrimentos, toxicidad mineral, o reducción de la actividad enzimática debido a la adsorción de las enzimas por parte de la alofana.

Aomine y Kobayachi (3) citan a Wada y Ataka quienes encontraron una notable adsorción no coulombica por parte de la alofana.

Aomine y Kobayachi (4), en un trabajo posterior determinaron que la presencia de arcillas montmoriloniticas, haloisiticas y alofanicas, protejen al almidón de la acción hidrolítica de la enzima beta-amilasa. Respecto a la alofana, observaron que su contenido de imogolita o su composición química influyen en esta su acción protectora. La adsorción de la enzima en las arcillas no es proporcional al grado de protección, la enzima adsorbida a la arcilla ejerce su acción enzimática pero su actividad en este caso es marcadamente menor a la de las enzimas libres. En el trabajo citado, los autores encontraron que la montmorilonita ejerció la mayor protección, seguida de la haloisita y luego la alofana. Aomine y Kobayachi nos dicen que las diferentes actividades de las enzimas adsorbidas podrían ser atribuidas a las variaciones del mecanismo por el cual dichas enzimas son adsorbidas.

Estos mismos autores citan a Aomine y Kodama quienes encontraron que la tasa de descomposición de celulosa y albúmina por los microorganismos, fue menor en suelos ando que en suelos aluviales ilíticos o montmoriloníticos.

Harada (35), estableció que bajo condiciones de inundación, la descomposición de la albúmina fue retardada por la presencia de minerales de arcilla, hidróxidos de fierro y aluminio y ácido húmico. En suelos volcánicos ricos en humus, solo 30% de la albúmina fue descompuesta después de dos meses. En experimentos de invernadero con arroz, Harada encontró que la albúmina fue tan efectiva como el

SO_4 $(NH)_4$ en caso de suelos montmoriloníticos, pero fue mucho menos efectiva en suelos de cenizas volcánicas ricas en humus.

Jackman (42), concluye entre otras cosas, que la alofana puede ser el agente responsable de la estabilización del carbono y el fósforo orgánico en los suelos pardo amarillo francos y en los suelos pomes.

3. Alofana y mineralización de nitrógeno orgánico

Como se ha visto hasta ahora por las investigaciones citadas, practicamente todos los trabajos estuvieron orientados a tratar de aclarar las relaciones de alofana y materia orgánica.

Solo se han encontrado dos trabajos que enfocan directamente el problema de alofana y mineralización de nitrógeno orgánico.

El primero es el realizado por Brodbent, Jackman y McNicoll (24). Estos autores encontraron que no hay estabilidad de materia orgánica en los suelos pomes derivados de cenizas rioliticas, ya que la mineralización de C y N en estos suelos fue similar a la de los suelos no alofánicos; estos autores nos dicen que esto podría explicarse porque la cantidad de alofana en los suelos pomes, no fue suficiente para influir en el proceso de la descomposición de la materia orgánica. Por otra parte estos mismos investigadores encontraron que suelos volcánicos derivados de cenizas andesíticas, con alto contenido de alofana, presentaron una mineralización de C y N marcadamente menor que en el caso de suelos no alofánicos.

También nos informan de un suelo alofánico con un contenido

inicial de 14.000 lbs. de N/acre-pie, que al cabo de un año su mineralización calculada fue de 590 lbs de N/acre-pie; mientras que en otro suelo (haloisitico), con un contenido inicial de 7.000 lbs de N/acre-pie, su mineralización anual significó 690 lbs de N/acre-pie.

El segundo trabajo al que nos referimos es el de Kai y Harada (45) quienes recientemente llevaron a cabo un experimento para establecer el efecto de la clase, cantidad y grado de saturación con calcio, de tres arcillas (montmorilonita, haloisita y alofana), sobre la nitrificación.

Los citados autores llegaron a establecer que tanto la montmorilonita como la haloisita incrementaron la nitrificación a cantidades crecientes de dichas arcillas, hasta cierto límite, por encima del cual el efecto se volvió detrimental.

En el caso de la alofana, a niveles bajos de NH_4 en el sustrato de incubación, el efecto de cantidades crecientes de esta arcilla amorfa sobre la nitrificación, fue detrimental; sin embargo a alta concentración de NH_4 en el sustrato también produjo incremento de la nitrificación, hasta cierto límite de cantidad de alofana, por encima del cual la nitrificación disminuyó.

III. MATERIALES Y METODOS

A. SUELOS ESTUDIADOS

Para el presente trabajo se escogieron 8 suelos, habiéndose obtenido dos muestras de cada uno; la primera correspondió a los 20 cm. superiores y es lo que denominamos capa superficial; la segunda muestra correspondió a la porción comprendida entre 20 y 50 cm. y es la que denominamos subsuelo.

De estos ocho suelos, cuatro son considerados andosoles siendo los siguientes:

a. Birrisito

b. Cervantes

c. Arenón Poasito

d. Coronado

Los cuatro restantes, son los que denominamos "no andosoles":

e. Alajuela

f. Paraiso

g. Tempisque

h. La Lola

De este último grupo, Alajuela y Paraiso están constituidos de material volcánico laterizado, mientras que Tempisque y La Lola son suelos aluviales.

1. Descripción de los suelos

a. Birrisito. Este suelo ha sido descrito por Dóndoli y Torres (29) quienes señalan que se trata de un suelo desarrollado de cenizas volcánicas depositadas sobre lava andesítica. Tiene un horizonte A muy orgánico negro poroso y muy permeable. Un horizonte B arcillo arenoso amarillento. Un tercer horizonte constituido por la transición al material lávico y que en muchos casos presenta coloración grisácea clara, lo cual parece que se debe a posibles acumulaciones de sedimentos lacustres de materiales más o menos arcillificados provenientes de cenizas de tipo traquítico. Podría pensarse también en una acción hidromórfica por una mayor concentración de humedad en la zona de contacto con la lava vieja. El horizonte B presenta una marcada concentración de óxidos de hierro pero son muy escasas las concreciones en forma de perdigón y costras.

Entre 0-50 cm. es de color negro en húmedo y pardo grisáceos en seco, de textura franco-arenosa, de estructura granular, consistencia ligeramente plástica y de permeabilidad moderadamente rápida; esta capa es una zona de buen desarrollo radical.

Entre 50-180 cm. es de color amarillento oscuro en húmedo y claro en seco; de textura arcillo arenosa; forma terrones duros en seco que se rompe entre los dedos; ligeramente adhesivo en húmedo; buena permeabilidad. Hay menor desarrollo radical en esta capa.

Entre 180-200 cm. se aprecia una zona de transición difusa, color gris claro, hay presencia de arcilla con grava y fracciones de roca muy meteorizada.

Por debajo de 200 cm. aparece la lava andesítica muy meteorizada y en algunos casos a menores profundidades.

b. Cervantes. La descripción de este suelo también corresponde a Dóndoli y Torres (29), de acuerdo a ellos, la base geologica de esta serie la constituyen las lavas recientes de Aquiares y Cervantes con mantos de ceniza volcánica en la superficie. Los suelos de esta serie son delgados y pedregosos, de un estado de meteorización poco avanzado y de color pardo oscuro, casi negro.

De 0 a 20 cm. presenta color negro en húmedo y pardo grisáceo en seco; de textura franco arenosa humífera, de estructura granular que se vuelve "polvoso" cuando seco; de permeabilidad entre media y rápida; presenta alto contenido de humus y grava fina; las raíces se desarrollan profusamente en este horizonte.

De 20 a 30 cm. aparece una delgada capa de color pardo amarillento en húmedo y pardo amarillento claro en seco, algo más arcilloso que el horizonte anterior; de estructura granular; con alto contenido de grava y con permeabilidad moderada.

De 30 cm. en adelante, se aprecia la lava andesítica poco meteorizada, porosa y que en los intersticios presenta material arenogravoso.

c. Arenón Poasito. La descripción de este suelo corresponde a Vargas y Torres (86). Señalan estos autores que dicho suelo proviene de materiales piroclásticos presentando una sucesión de capas de materiales gruesos y finos (arena y ceniza) de distinto espesor y con pro

piedades diversas. En la capa de material grueso se nota una fuerte concentración de concreciones rojas amarillas y blancas. En la capa de ceniza el color es más parejo dominando los tonos amarillentos; ambos presentan un avanzado estado de meteorización. El drenaje en general es bueno.

De 0 a 38 cm. presenta un color negruzco en húmedo y pardo oscuro en seco; textura moderadamente ligera (franco arenoso fino); consistencia no adhesiva, no plástica en húmedo y suelta en seco; se aprecian cantidades moderadas de concreciones rojas amarillas y negras; es rico en materia orgánica y tiene buen drenaje.

De 38 a 152 cm. es de color amarillo rojizo en húmedo a amarillento en seco; de textura moderadamente pesada (franco arcillosos); consistencia ligeramente adhesiva en húmedo y suelta en seco; presenta regular cantidad de concreciones amarillas y rojas, muy pocas negras; el contenido de materia orgánica es de bajo a mediano; el drenaje es bueno.

De 152 a 200 cm. presenta color amarillo rojizo en húmedo y amarillento en seco; textura moderadamente pesada a pesada (arcillo arenoso); de consistencia no adhesiva y no plástica en húmedo, suelta en seco.

d. Coronado. Este suelo ha sido descrito por Vargas y Torres (86); dichos autores lo describen como un suelo desarrollado de materiales piroclásticos finos (cenizas volcánicas); son de gran espesor, llegando a veces a tener más de 10 metros; de textura bastante suelta y de gran capacidad de absorción de agua. Son suelos relativamente

jóvenes y con buen drenaje interno. En algunas áreas se aprecia que a cierta profundidad aparecen capas de iguales características en color y textura a la que en la actualidad está funcionando como suelo, lo que hace pensar que el proceso de formación fue interrumpido por la caída de nuevo material de igual origen que sepultó al anterior.

De 0 a 70 cm. presenta color negruzco en húmedo y pardo en seco; es de textura media (franco arenoso muy fino); de consistencia ligeramente adhesiva no plástico en húmedo y suelto en seco; tiene buen contenido de materia orgánica y buen drenaje.

De 70 a 140 cm. es de color pardo amarillento en húmedo y pardo en seco; de textura moderadamente pesada (franco arcillo arenoso); de consistencia ligeramente adhesiva plástica en húmedo y suave en seco; de contenido mediano de materia orgánica y de buen drenaje.

De 140 a 200 cm. es de color pardo amarillento en húmedo y pardo en seco; de textura moderadamente pesada (franco arcillo arenoso); de consistencia no adhesiva en húmedo y muy duro en seco. Esta es una capa muy compactada.

En otros casos solo se observa dos capas hasta los dos metros (la primera y la segunda), no existiendo la capa compactada.

e. Alajuela. Vargas y Torres (86), han hecho la descripción de este suelo y señalan que procede de la acumulación de materiales piroclásticos en diferentes estados de meteorización, arrastrado y depositado en el valle.

De 0 a 20 cm. es de color pardo oscuro en húmedo y pardo rojizo en seco; su textura es media (franco a franco arenoso muy fino); su

consistencia es ligeramente adhesiva, no plástica en húmedo y suave en seco; tiene buen contenido de materia orgánica y buen drenaje; se observa un poco de material gravoso y algunas concreciones rojas amarillas y negras.

De 20 a 200 cm. presenta color pardo rojizo en húmedo y rojizo en seco; su textura es moderadamente pesada (franco arcilloso); su consistencia es ligeramente adhesiva, plástica en húmedo y ligeramente dura en seco; su contenido de materia orgánica es bajo y tiene buen drenaje aunque más lento que en la primera capa; se aprecian muchas concreciones rojas amarillas blancas y negras.

f. Paraiso. Dóndoli y Torres (29), han descrito estos suelos como zonales lateríticos, siendo la roca madre andesita muy meteorizada aún a varios metros de profundidad; de color rojizo, con alto contenido de óxidos de hierro, presentando corrientemente concreciones férricas y ferromagnésicas (perdigones), pero sin alcanzar el grado de laterita.

De 0 a 20 cm. es de color pardo oscuro en húmedo y pardo claro en seco; de textura arcillosa y estructura granular (subangular) media; de consistencia plástica y ligeramente adhesivo en húmedo, ligeramente duro en seco; de regular a bajo contenido de materia orgánica; presenta concreciones ferromagnésicas en forma de perdigon pequeño.

De 20 a 200 cm. es de color pardo rojizo en húmedo y rojo amarillento en seco (color ladrillo cocido), con manchas amarillentas rojizas y negras y mayor contenido de perdigon que en la capa anterior; de textura arcillosa; estructura terronosa angular; plástico y

ligeramente adhesivo en húmedo, duro en seco. A partir de 190 cm. presenta fracciones pequeñas de roca muy meteorizada.

g. Tempisque. Este suelo ha sido descrito por Vargas (85), como un suelo aluvial de topografía plana, de ondulaciones muy suaves con ausencia de drenaje natural, muy susceptible a la erosión eólica durante la época de sequía.

Se aprecia una primera capa de color café grisáceo oscuro; de textura moderadamente ligera (franco arenoso muy fino a arenoso muy fino); de consistencia ligeramente adhesiva y poco plástico en húmedo, suelto en seco; de buen drenaje y contenido medio de materia orgánica.

Por debajo de la capa anterior se distingue una segunda capa de color café amarillento oscuro; de textura ligera (arena fina o arena muy fina); de consistencia no adhesiva y ligeramente plástico en húmedo, suelto en seco; de buen drenaje de contenido media a bajo de materia orgánica.

Luego se aprecia una tercera capa de color café, de textura ligera arenoso medio con grava; consistencia no adhesiva y no plástica en húmedo, suelto en seco.

El autor (85) no señala la profundidad de las capas anteriores.

De 115 cm. en adelante se observa concreciones amarillas y rojizas.

h. La Lola. Este suelo ha sido descrito por Bazan y Hardy (5), como una gruesa capa (105 a 165 cm. de espesor) bastante uniforme en textura estructura y consistencia, por debajo de la cual aparece una

capa pedregosa cuyo espesor no fue determinado (ya que el barreno no pudo penetrarla).

Se aprecia un drenaje deficiente por debajo de los 56 cm.

Entre 0 y 30 cm. es de color pardo (10YR4/4), de textura arcillo limoso, pegajoso en húmedo, de estructura granular friable; es una zona de buen desarrollo radical.

Entre 30 y 60 cm. es de color pardo amarillo-grisáceo 10YR4/3, pobre en humus y más compactado que la capa anterior.

2. Determinaciones químicas generales

a. Materia orgánica. Se determinó por el método de combustión húmeda establecido por Walkley y Black y modificado por Saiz del Río y Bornemisza (69).

b. Nitrógeno total. Para esta determinación de empleó el método Kjeldalh modificado por Bremner (20).

c. Nitrógeno mineral. Se considera como tal la suma del nitrógeno nítrico (NO_2^- + NO_3^-) más el nitrógeno amoniacal (NH_4^+). Para esta determinación se usó el método de Bremner y Keeny (22).

d. pH. Esta medición se hizo por el método potenciométrico (58) empleándose tres suspensiones diferentes:

1) Suelo/agua, relación 1:2·5
2) Suelo/Cl_2Ca 0,01 M, relación 1:2·
3) Suelo/ClK 1 N, relación 1:2·5

e. Análisis textural. Para esta determinación se empleó el método internacional de la pipeta, propuesto por Kilmer y Alexander y modificado por Day (27).

f. Capacidad de intercambio catiónico. Para la medida de la CIC se empleó el método del Cl_2Ca pH 7 establecido por Rich (62).

g. Cationes cambiables. Se hizo la extracción de los cationes por medio del acetato de amonio 1 N, pH 7 (69); efectuándose luego las lecturas de Ca, Mg. Na, K, y Mn en un espectrofotómetro de absorción atómica (Perkin Elmer modelo 303). El Al fue extraído separadamente con ClK 1 N y determinado por colorimetría usando el método de la aluminona (51).

3. Determinación de alofana

Para la determinación de la alofana, se siguió el método establecido por Aomine y Jackson (43), basado en la determinación del valor delta de la CIC.

Estos autores habían observado que la CIC, de arcillas alofánicas, medida usando soluciones de pH 7, variaba mucho de acuerdo con el pH del reactivo de dispersión empleado en la separación de dichas arcillas. La fracción arcilla originalmente separada en un medio alcalino (pH más o menos 10,7) debe una alta CIC (150 meq/100 g.), mientras que la fracción arcilla del mismo suelo separada en un medio de dispersión ácido (pH alrededor de 3,5), daba una CIC igual a solo una tercera parte de la anterior. La CIC de la muestra de la dispersión

ácida fue incrementada hasta igualar el tratamiento con la dispersión alcalina, por medio de una solución buffer alcalina suave. Esta característica de incremento de la CIC exhibida por un grupo de suelos alofánicos (desarrollados por rápida intemperización de cenizas volcánicas) y también por dos alofanas estandar de Ross y Kerr, fue denominado como valor delta de la CIC. La reproductibilidad obtenida con este método es suficientemente alta para la determinación cuantitativa.

Los autores antes mencionados, hacen notar que este métodos no debe confundirse con un simple cambio de CIC medido a diferentes pH, ya que el pH final al cual se hace la medición de la CIC es de 7 en todos los casos.

En términos muy generales, el fundamento del método se trata de explicar de la siguiente manera:

La formación de CO_2 por la reacción de la alofana neutra con CO_3HNa en solución, implica una reacción fundamental que involucra el desprendimiento de un proton estructural o hidronio de la estructura superficial de la alofana (también en una limitada proporción de las aristas de la montmorilonita y haloisita). A través de esta reacción se producen cargas negativas netas, las cuales pueden medirse como CIC a pH 7. La acción de CO_3Na_2 buffer, es considerada igual excepto que no se produce CO_2, dado el pH de 10,7. La reacción recíproca en OHAc buffer (pH 3,5), restituye proton a la superficie estructural de la alofana y elimina la correspondiente cantidad de cargas negativas netas.

Aomine y Jackson, han determinado también valores delta para otras arcillas; asi señalan para montmorilonita de Wyoming un valor delta de 10, para haloisita 18, para caolinita 0. También han encontrado valores de 0,5 para gibsita y 0 para cuarzo.

El primer paso en este método es el de la destrucción de la materia orgánica, lo cual resulta obvio ya que la materia orgánica también acusa un valor delta y además porque a pH 10,7 y a 100 grados centigrados (condiciones a la que se somete la muestra de suelo), la materia orgánica forma sustancias húmicas solubles susceptibles de perderse en los procesos de decantación.

Para la eliminación de la materia orgánica, Aomine y Jackson (43) señalan el mismo tratamiento que es usado en las determinaciones mineralógicas y texturales, y que consiste en la aplicación de agua oxigenada "hasta que el color de la materia orgánica haya desaparecido", lo cual se supone que debe conseguirse con adiciones periódicas de agua oxigenada en el transcurso de dos días; sin embargo en la realidad la cosa no resulta tan simple.

Sasaki (71) después de experimentar al respecto, utilizando agua oxigenada de diferentes concentraciones y diferentes volumenes (hasta 500 ml/g. de suelo) aplicados en lapsos diferentes a suelos ricos en materia orgánica, estableció entre otras las siguientes conclusiones: Que la materia orgánica no es totalmente oxidada por el H_2O_2 y la proporción de descomposición es diferentes para diferentes suelos.

Fuentes*, comprobó en diferentes muestras de suelos con alto

---

* Comunicación personal. Fuentes, R., NEP, IICA, Turrialba, Costa Rica, 1968.

contenido de materia orgánica (16 a 18%) que después del tratamiento con agua oxigenada hasta "cambio de color" dichas muestras contenían aún entre 5 y 6% de materia orgánica.

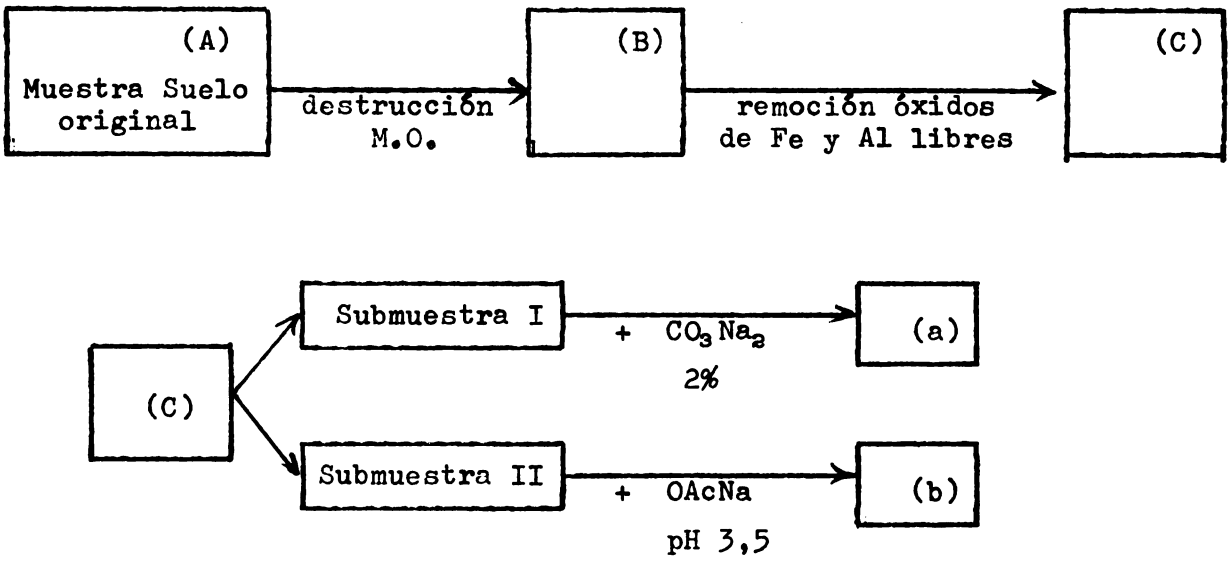
En el presente trabajo se corroboraron estas observaciones, habiéndose encontrado que trabajando con 5 gr. de suelo, fue necesario agregar una cantidad total de 160 ml. de agua oxigenada (35% de p/v) distribuidos durante diez días, para reducir los contenidos de materia orgánica de 18-20% a un máximo de 1%. Al comienzo las aplicaciones fueron de menores volúmenes y más distanciadas, dada la gran efervescencia que se producía inicialmente (5 ml. dos veces al día). Además con cierta periodicidad fue necesario eliminar por calentamiento los excesos de agua que se iban formando al descomponerse el agua oxigenada.

En la fase siguiente del proceso, que corresponde a la remoción de óxidos de hierro libres, después de haber agregado el ditionito de sodio a la suspensión caliente, el método de Aomine y Jackson dice "revolver vigorosamente"; se recomienda hacerlo al comienzo con precaución ya que muchas veces se produce una reacción violenta con la consecuente pérdida del material.

En esta misma fase de la remoción de óxidos de hierro libres, el método señala en forma optativa la adición de 10 ml. de acetona para la completa floculación y consecuente separación al centrifugar; se recomienda hacer esta aplicación en todos los casos en los que se trate de muestras arcillosas, pues de esta manera se garantiza la floculación y se gana tiempo.

En los estractos obtenidos al final del proceso, después de la saturación con acetato de potasio y lavado subsecuente con acetato de amonio, se determinó el K en el espectrofotómetro de absorción atómica (Perkin Elmer modelo 303).

En la figura 1 se esquematizan los pasos del método de Aomine y Jackson (43), y que fuera empleado en el presente trabajo.



[CIC (a)] - [CIC (b)] = Valor Delta CIC = % Alofana (en primera aproximación)

Fig. 1. Esquema general del método de Aomine y Jackson para la determinación de alofana (43).

Para una mayor aproximación, deberá tomarse en cuenta la alofana disuelta por el tratamiento citrao-ditionito-carbonato, más el valor delta atribuido a otros minerals. Para este último caso será necesario determinar dichos minerales por otro tipo de análisis.

Este método de determinación de alofana ha resultado satisfacto-

riamente aplicable. Aunque en apariencia parece ser un poco largo y laborioso, hay que tomar en cuenta que la mayor parte del proceso corresponde a los pretratamientos (destrucción de materia orgánica y remoción de óxidos de Fe y Al libres), fase que es inherente también a otros varios análisis como son los mineralógicos y texturales. De tal forma que descontando los pretratamientos anotados líneas arriba, la técnica para la determinación de alofana con este método, se circunscribe practicamente a dos simples determinaciones de CIC.

B. MINERALIZACION DE NITROGENO

Para determinar la mineralización del nitrógeno orgánico, se siguió el método de Keeny y Bremner (21), utilizándose para el efecto las muestra de suelo secadas al aire y tamizadas con una malla de 0,5 mm. de diámetro.

Este método establece una incubación de 2 semanas a 30 grados centígrados, de una mezcla de 10 gr. de suelo y 30 g. de arena, más 6 ml. de agua destilada, en condiciones tales que se mantiene la muestra aereada y con humedad constante; estas dos condiciones se consiguen mediante un dispositivo especial denominado "Res Cap" que se adapta al cuello de los recipientes señalados por el método. En nuestro caso, no disponiéndose de dichos recipientes ni del dispositivo complementario anotado, se utilizó simplemente pomos de boca ancha de 130 ml. de capacidad, a los que una vez agregada la mezcla suelo-arena-agua se los tapó con una membrana de polietileno la misma que luego se fijó con una liga de goma.

Se constató experimentalmente la difusividad de los gases respiratorios y la no difusividad del vapor de agua a través de dicha membrana.

Al término del período de incubación establecido, se determinó el N mineral (NO_2^- + NO_3^- + NH_4^+), por extracción con 100 ml. de ClK 2 N y subsecuente destilación por semimicro Kjeldalh en presencia de OMg y aleación de debarda, recibiendo el destilado en ácido bórico con indicador y titulando con SO_4H_2 0.005 N (22). Siguiendo la misma técnica se determinó el N mineral antes de la incubación y se estableció la mineralización del N por diferencia entre ambos valores obtenidos (antes y después de la incubación). La mineralización se ha expresado en por ciento de incremento respecto al contenido de N mineral antes de la incubación.

C. TRATAMIENTOS APLICADOS A LOS SUELOS

Con la idea de tratar de incrementar la mineralización en los suelos y establecer la diferencia de dichos incrementos entre los dos grupos de suelos estudiados (ando y no ando), se sometieron las 16 muestras (8 de la capa superficial y 8 del subsuelo) a los siguientes tratamientos con tres repeticiones en cada caso:

1) Testigo
2) Adición de CO_3Ca
3) Adición de $(OH)_2Ca$
4) Adición de abono orgánico (guano de pato)
5) Secamiento-rehumedecimiento.

1. Testigo

Se procedió en forma exactamente igual al caso anterior, cuando se determinó la mineralización comparativa entre los suelos ando y no ando, salvo la diferencia del tiempo de incubación que en este último caso, como en todos los tratamientos siguientes fue de 30 días.

2. Adición de CO_3Ca

Se aplicó CO_3Ca (grado reactivo), en la proporción de 6 meq. de Ca/100 g. de suelo, lo que significó 0,03 gr. de CO_3Ca por cada 10 g. de muestra empleada en la incubación. Esto representa aproximadamente 6 Tn/Ha. de CO_3Ca.

3. Adición de $(OH)_2Ca$

Se aplicó $(OH)_2Ca$ (grado reactivo) en la misma proporción de Ca que el tratamiento anterior, o sea 6 meq. de Ca/100 g. de suelo, lo que significó 0,022 gr. de $(OH)_2Ca$ por cada 10 g. de muestra de suelo empleada en la incubación. Esto representa aproximadamente 4,4 Tn/Ha. de $(OH)_2Ca$. El propósito de este experimento fue acelerar el efecto del encalado, por la naturaleza más reactiva del $(OH)_2Ca$.

4. Adición de abono orgánico

Se utilizó guano de pato secado al aire molido y tamizado por malla de 0,5 mm. de diámetro en la proporción de 40 Tn/Ha., lo que significó 0,2 gr. de dicho guano por cada 10 g. de muestra de suelo

empleado en la incubación.

Para descontar el efecto de la mineralización del propio abono orgánico, se procedió de la siguiente manera: Se puso a incubar junto con los demás tratamientos una mezcla de guano solo, arena y agua, en las mismas proporciones anteriores y por el mismo lapso, al final del cual se determinó el contenido de N mineral; este valor así obtenido se restó de los valores que dieron cada una de las muestras de suelos que fueron incubadas con el abono orgánico en mención. En el guano utilizado para el presente tratamiento, se hicieron las determinaciones de N total, por el método de Kjeldalh (20), y de nitrógeno mineral por el método de Bremner y Keeny (22), encontrandose los siguientes resultados:

2,5% de Nitrógeno total

0,35% de Nitrógeno mineral (NO_2^- + NO_3^- + NH_4^+)

Siendo la relación C/N = 20.

5. Secamiento-rehumedecimiento

Para este caso, se procedió en igual forma que con el testigo, salvo la diferencia de haber realizado dos secamientos y rehumedecimientos a los 10 y 20 días del inicio de la incubación; en las fechas señaladas se extrajeron las muestras de la incubadora y se colocaron en la estufa a 110 grados centígrados por 24 horas, al cabo de los cuales después de dejar enfriar, se les restituyó los 6 ml. de agua destilada que se agregaron a cada una de las muestras al inicio de la incubación.

Tanto en los casos de la adición de CO_3Ca, $(OH)_2Ca$ como en la aplicación del abono orgánico, las mezclas se hicieron en primera instancia entre el suelo y dichos productos agitándose manualmente por espacio de 1 minuto cada muestra procurando conseguir la mayor homogeneidad posible, seguidamente se agregó la arena prosiguiéndose con el agitado manual por medio minuto adicional.

IV. RESULTADOS Y DISCUSION

A. CARACTERISTICA DE LOS SUELOS ESTUDIADOS

Los suelos estudiados en el presente trabajo, conforme se aprecia en los cuadros 1 y 2, muestran características bastante heterogéneas entre sí, tanto en la capa superficial como en el subsuelo.

Asi se puede observar que los contenidos de materia orgánica fluctuan desde cantidades tan bajas como 0,8 y 0,9% (subsuelos de La Lola y Tempisque) hasta valores tan altos como 21,7 y 22% en la capa superficial de los andosoles Arenón Poasito y Coronado respectivamente.

En cuanto al contenido de N total, las variaciones observadas son proporcionales a las cantidades de materia orgánica en cada caso, siendo en consecuencia el rango también bastante amplio: 0.08 para el subsuelo de La Lola y 1,27 para la capa arable de Arenón Poasito.

En lo que respecta a su reacción, ésta es ácida fluctuando el pH entre 5 y 6, con excepción del suelo Tempisque que resulta practicamente neutro, llegando su pH hasta 7,4 en el subsuelo.

Las características texturales muestran una gran variabilidad, desde muy suelto como en el caso de Birrisito (87% de arena) hasta extremadamente fino en Paraiso (86% de arcilla).

La capacidad de intercambio catiónico, tiene un rango de variación relativamente amplio; de 12 meq/100 g. en el subsuelo de Birrisito, hasta 42 meq/100 g. en La Lola.

Debe destacarse que en la mayoría de los casos, las marcadas

Cuadro 1. Resultados de análisis de suelos.

Muestra		M. O. %	N %	pH			Análisis textural		
				H_2O	ClK 1 N	Cl_2Ca 0,01 M	Arena %	Limo %	Arcilla %
Birrisito	A	20,3	0,80	5,3	5,0	4,5	75	18	7
	B	8,0	0,31	5,2	5,3	4,8	87	8	5
Cervantes	A	13,6	0,88	5,0	5,0	4,8	54	33	13
	B	3,3	0,18	6,0	5,4	5,3	42	34	24
Arenón Poasito	A	22,0	1,27	5,4	5,3	5,2	57	36	7
	B	13,8	0,64	5,6	5,3	5,0	62	34	4
Coronado	A	21,7	1,01	5,3	5,0	4,6	45	45	10
	B	17,5	0,68	5,6	5,3	4,9	49	38	13
Alajuela	A	9,1	0,34	5,5	5,0	4,8	26	20	54
	B	7,5	0,27	5,4	4,8	4,8	10	21	69
Paraiso	A	12,9	0,43	5,0	4,7	4,4	6	13	81
	B	4,5	0,15	5,4	4,6	4,5	3	11	86
Tempisque	A	2,5	0,14	6,4	5,5	6,1	39	17	44
	B	0,9	0,12	7,4	6,4	6,9	50	30	20
La Lola	A	3,0	0,23	5,6	5,1	5,3	25	37	38
	B	0,8	0,08	5,9	5,0	5,3	21	36	43

Cuadro 2. Resultado de análisis de suelos.

Muestra		C.I.C. meq/100 gr. Cl_2Ca pH 7	CATIONES CAMBIALES meq/100 gr.						
				ClK 1N	Acetato de Amonio pH 7				
			Σ	Al	Ca	Mg	Na	K	Mn
Birrisito	A	19,5	2,8	0,56	1,2	0,52	0,174	0,28	0,008
	B	12,0	1,2	0,11	0,8	0,06	0,091	0,11	0,004
Cervantes	A	25,5	9,2	0,20	6,9	1,26	0,135	0,64	0,004
	B	15,0	10,4	0,03	6,3	0,70	0,222	3,10	0,020
Arenón Poasito	A	28,5	8,1	0,08	5,2	1,24	0,522	0,97	0,090
	B	19,5	4,0	0,11	2,8	0,50	0,117	0,44	0,004
Coronado	A	22,0	3,0	0,50	1,5	0,46	0,087	0,36	0,003
	B	20,0	3,0	0,11	2,1	0,44	0,083	0,20	0,020
Alajuela	A	16,0	6,6	0,37	3,9	1,28	0,087	0,82	0,130
	B	13,5	5,6	0,56	2,6	0,94	0,152	0,57	0,080
Paraiso	A	18,5	5,4	1,37	2,5	0,96	0,131	0,35	0,050
	B	15,5	3,3	2,00	0,8	0,28	0,104	0,13	0,006
Tempisque	A	35,0	36,8	0,05	29,0	6,28	1,350	0,16	0,040
	B	32,0	36,2	0,00	29,0	5,54	1,500	0,16	0,008
La Lola	A	42,0	32,7	0,06	26,0	5,94	0,261	0,25	0,194
	B	41,5	33,0	0,08	25,0	6,94	0,244	0,65	0,090

diferencias que se aprecian entre CIC y la suma de Cationes Cambiables, especialmente en los andosoles, en los cuales la CIC equivale hasta 10 veces la suma de los cationes de cambio.

En contraposición a esto se observa que en los suelos aluviales los valores de CIC y la suma de los cationes de cambio son mucho más cercanos (prácticamente iguales en el suelo Tempisque), y se nota que justamente en estos últimos casos (suelos aluviales), los contenidos de aluminio cambiable son notablemente más bajos mientras que el Ca y el Mg cambiables son nitidamente más altos que en todos los demás suelos.

Si bien es cierto que, de lo que se considera "acidez cambiable" solo se hizo la determinación de aluminio, es difícil pensar que el hidrógeno cambiable represente la gran diferencia entre CIC y la suma de cationes cambiables.

Mas aún, es pertinente recordar que en el presente trabajo, para la determinación de la CIC, se empleó el método recomendado por Rich (62) para suelos con arcillas amorfas, y que este método en el caso de estos últimos suelos (con arcillas amorfas) da resultados más bajos que el método tradicional del acetato de amonio.

De todo esto se puede concluir que aún queda mucho por averiguar respecto al complejo problema de la CIC en suelos de fracción arcillosa amorfa.

En lo concerniente a cationes cambiables, la secuencia general de mayor a menor contenido es la siguiente:

Ca > Mg > K > Al > Na > Mn

Debiendo anotarse las excepciones siguientes:

a) El K cambiable en el subsuelo de Cervantes es notablemente mayor que el Mg.

b) El contenido de Al cambiable en Paraiso (tanto en la capa superficial como en el subsuelo), es notablemente mayor que el K, y mas aún, en el caso particular del subsuelo, el Al es el catión dominante.

En cuanto a la relación C/N, tal como se observa en el cuadro 3 los valores más altos se presentan en los suelos Paraiso y Alajuela (una relación entre 16 y 17); mientras que los valores más bajos se observan en La Lola y Tempisque (una relación de 7 en promedio) lo cual es explicable dado que estos dos últimos suelos son predominantemente montmoriloníticos y por consiguiente fijadores de NH_4.

También en el cuadro 4 se puede apreciar la gran variabilidad que se presenta en la relación nitrógeno total con nitrógeno mineral (Nt/N_1), dentro de los diferentes suelos; asi dichos límites están comprendidos entre 169 (capa superficial de Coronado) y 5 (subsuelo de Tempisque).

Al observar los cuadros 1 y 4 se nota una aparente contradicción al constatar que en todos los suelos ando (tanto en la capa superficial como en el subsuelo), los porcentajes de alofana son superiores a los de arcilla, cosa que puede explicarse por cuanto:

- Todos estos suelos son ricos en materia orgánica (en algunos casos hasta 22%).

- Al determinar la textura, la destrucción de materia orgánica no fue completa (sobre este particular ya se llamó la atención en el capítulo de revisión de literatura).
- El por ciento de alofana está expresado sobre muestras practicamente excentas de materia orgánica, de óxidos de aluminio y hierro libres, y en adición desecadas a 105 grados centígrados.
- Además, existen autores (24), que señalan que el método tradicional de sedimentación no resulta muy eficiente para determinar el contenido de arcillas en suelos con predominancia de arcillas amorfas.

B. ALOFANA

Los contenidos de alofana como se observa en el cuadro 4, varían en un rango de 30,3% (capa superficial de Coronado), hasta 2% (subsuelo de Tempisque); correspondiendo los valores más altos a los suelos calificados como ando (promedio de 25%), y los valores más bajos (promedio de 3%) a los suelos aluviales. En la generalidad de los suelos, los contenidos más altos de alofana corresponden a la capa superficial, esto hace suponer que en el subsuelo la alofana ya ha evolucionado parcialmente a formas más cristalinas. En el caso de Coronado donde tanto la capa superficial como el subsuelo son muy similares, se observan valores de alofana parecidos en ambas capas, debido a que probablemente se trata de una deposición más reciente de ceniza volcánica que en los otros casos.

Hay otra excepción más a la generalización que se hizo al comienzo

de este acapite, y es la del suelo Arenón Poasito, cuyo contenido de alofana resulta ser mayor en el subsuelo, cosa que podría explicarse dada su textura sumamente suelta, en tales condiciones el material fino se habría lixiviado a la capa inferior, o podría también deberse a una deposición más reciente de material volcánico riolítico (que es menos adecuado para la formación de material alofánico).

C. ALOFANA Y MINERALIZACION

No se encontró significancia estadística en los coeficientes de correlación entre el contenido de alofana de los suelos y la mineralización del nitrógeno orgánico de los mismos. Sin embargo al tomar en cuenta solo la capa superficial, se encontró un por ciento de asociación lineal de 39,7% (Cuadro 3) entre alofana y mineralización, que ya podría aceptarse como suficiente para señalar que existe una relación inversa entre ambas variables. Es decir que los altos contenidos de alofana inhiben la descomposición de la materia orgánica; lo cual podría ser una explicación adicional al hecho de la acumulación de la materia orgánica en regiones tropicales montañosas.

Cuadro 3. Parámetros de relación entre contenidos de alofana en los suelos y mineralización de N orgánico.

	Coeficiente correlación lineal	% asociación lineal	Coeficiente correlación cuadrática	% asociación cuadrática
Capa superf. y sub.	-0,31	9,6	0,57	32,5
Capa superficial	-0,63	39,7	0,45	20,3
Subsuelo	-0,03	0,0	0,04	0,0

Cuadro 4. Contenido de alofana y mineralización de los suelos.

Muestras		M. O. %	N_t %	C %	C/N	N_1 ppm	N_2 ppm	N_t/N_1	Alofana %	Mineralización %
Birrisito	A	20,3	0,80	11,8	15	67	100	128	27,8	49
	B	8,0	0,31	4,6	15	47	57	66	21,4	25
Cervantes	A	13,6	0,88	7,9	9	702	815	12	25,7	16
	B	3,3	0,18	1,9	11	83	115	22	12,7	38
Arenón Poasito	A	22,0	1,27	12,8	10	1317	1430	10	15,6	9
	B	13,8	0,64	8,0	13	292	347	22	25,2	18
Coronado	A	21,7	1,01	12,6	12	60	190	168	30,3	201
	B	17,5	0,68	10,0	15	47	127	145	29,5	170
Alajuela	A	9,1	0,34	5,3	16	53	105	64	13,5	98
	B	7,5	0,27	4,4	16	62	128	44	13,3	107
Paraiso	A	12,9	0,43	7,5	17	54	171	80	12,5	206
	B	4,5	0,15	2,6	17	35	112	43	7,1	220
Tempisque	A	2,5	0,14	1,5	11	37	153	38	5,0	313
	B	0,9	0,12	0,5	4	246	320	5	2,0	30
La Lola	A	3,0	0,23	1,7	7	30	127	77	3,6	323
	B	0,8	0,08	4,6	6	25	40	32	2,9	60

N_t = Nitrógeno total

N_1 = Nitrógeno mineral (NO_2^- + NO_3^- + NH_4^+), antes de la incubación

N_2 = Nitrógeno mineral (NO_2^- + NO_3^- + NH_4^+), después de la incubación

Como se aprecia en la figura 2, existen 4 puntos nítidamente separados del área de dispersión de los demás; dichos puntos corresponden a capa superficial y subsuelo de Coronado y a los subsuelos de Tempisque y La Lola. Dado el bajo número de items utilizado para determinar la correlación, el comportamiento de estas cuatro muestras ha influído decididamente para la no obtención de un grado de asociación más elevado.

En cuanto a Coronado (suelo de alto contenido de alofana), su activa mineralización podría explicarse por el valor tan alto de su relación N total/N mineral antes de la incubación (ver cuadro 4); al ponerse dicho suelo en incubación el nitrógeno orgánico empezó a descomponerse activamente de acuerdo al patrón de descomposición señalado por Birch (6) y debido al gran déficit de su nitrógeno mineral respecto al total; probablemente de haberse prolongado el lapso de incubación hubiera podido observarse un decaimiento de esta activa mineralización inicial.

Dicho en otras palabras, el potencial inicial de mineralización fue tal que superó el efecto interferente de la alofana, la misma que llegaría a actuar sobre la materia orgánica en una etapa más tardía cuando el impulso inicial de mineralización haya disminuido al conseguirse una relación N total/N mineral más estrecha.

Broadbent y colaboradores (24) también informan de un suelo derivado de ceniza volcánica en donde no se presentó estabilización de materia orgánica y su mineralización fue semejante a la de un suelo no volcánico; estos autores dedujeron que ello se debió a un supuesto

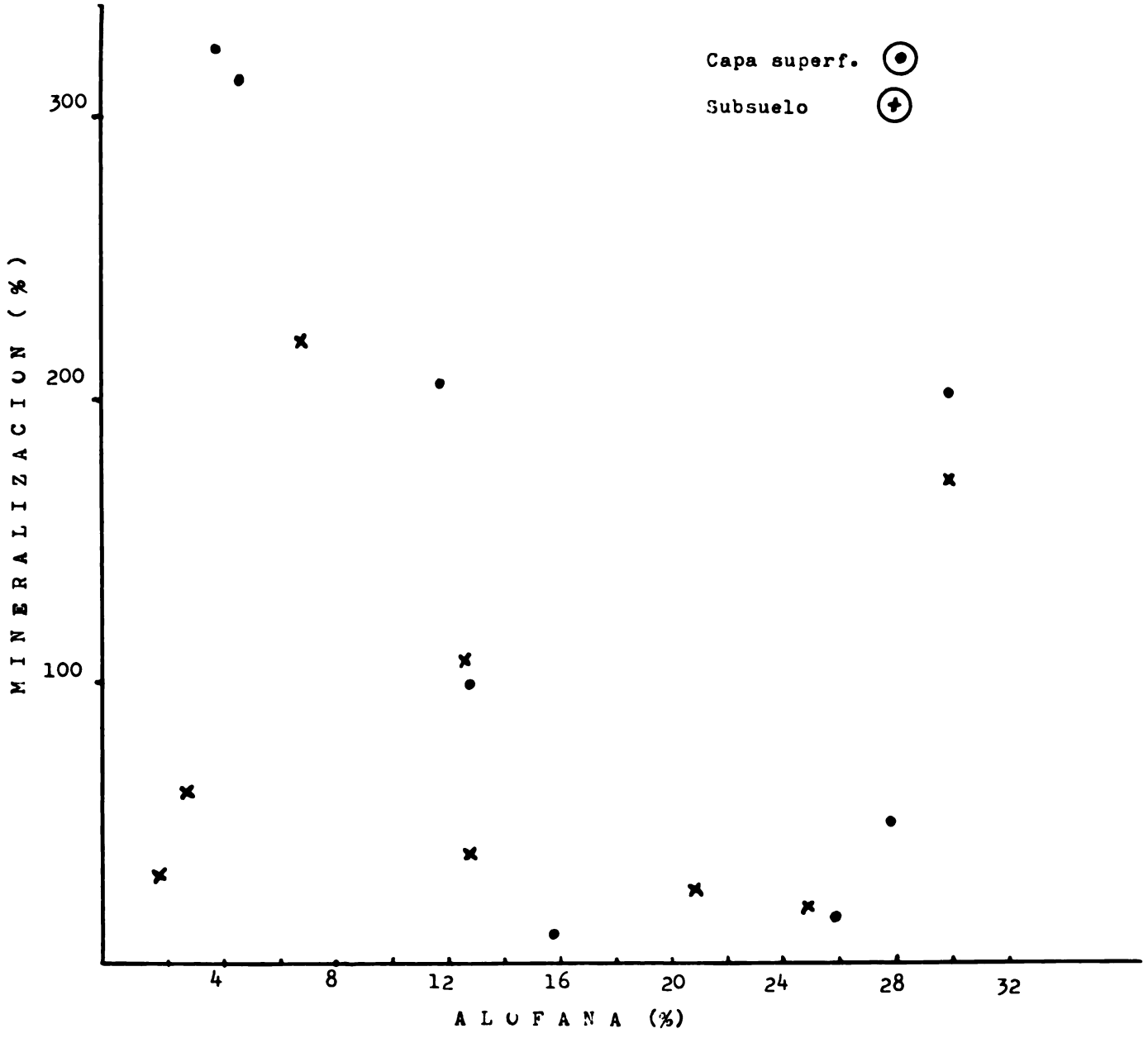


FIG. 2 Correlación entre contenido de alofana de los suelos y mineralización de N organico (capa superf. y subsuelo)

bajo contenido de alofana ya que dicho suelo era derivado de cenizas riolíticas sin embargo estos autores no informan de los niveles de alofana en los suelos que estudiaron.

Estos mismos autores señalan que la acción protectora de la alofana se manifiesta en la materia orgánica que ya ha sufrido cierto grado de descomposición mas no en la materia orgánica fresca; ésta podría ser otra explicación a lo observado en el caso del suelo Coronado.

En el caso de los subsuelos de Tempisque y La Lola (de muy bajo contenido de alofana), la pobre mineralización que se observa podría explicarse por su deficiencia en materia orgánica y consecuente nivel tan bajo de nitrógeno total. Además algunos autores (30, 47, 59, 60) han constatado la formación de complejos proteino-montmoriloníticos que implican una menor mineralización de la materia orgánica; esta situación más la ya anotada (deficiencia de N total) explicaría lo observado en los subsuelos de Tempisque y La Lola los cuales son eminentemente montmoriloníticos).

D. MINERALIZACION DE LOS DIFERENTES SUELOS

Para hacer la comparación de la mineralización producida en los diferentes suelos, se procedió en primer lugar a una partición ortogonal de clases, encontrándose los siguientes resultados:

1. Al comparar la parte superficial con el subsuelo, se encontró una diferencia altamente significativa (a nivel de 0,01), a favor de la mineralización ocurrida en la capa superficial.

2. Al comparar el grupo de los cuatro suelos ando con el grupo de los suelos no ando (tanto en la capa superficial como en el subsuelo), se detectó una diferencia altamente significativa (a nivel de 0,01) a favor de la mineralización producida en los suelos no ando; lo cual concuerda con lo encontrado por Sakai (70).

Esta situación refuerza aún más el criterio de aceptación del 39,7% de asociación lineal entre alofana y mineralización del nitrógeno para concluir que por lo menos en la capa superficial existe una relación inversa entre ambas variables.

Seguidamente se procedió a hacer la comparación de los tratamientos por pares, empleándose para tal efecto el método de Duncan.

Los resultados obtenidos fueron los siguientes:

1. Entre la capa superficial de los cuatro suelos ando:

   a. La mineralización en Coronado fue significativamente mayor que Cervantes, Birrisito y Arenón P. (a nivel de 0,1).
   b. En Birrisito se presentó una mineralización significativamente mayor que en Cervantes y Arenón P. (a nivel de 0,01).
   c. No hubo diferencia significativa entre la mineralización del Arenón Poasito y Cervantes.

La explicación dada a la activa mineralización de Coronado (en el acapite de "alofana y mineralización"), es también aplicable para justificar el comportamiento de Birrisito respecto a Cervantes y Arenón Poasito a los que supera netamente en su relación Nt/N_1.

2. Entre el subsuelo de los cuatro suelos ando

a. La mineralización en Coronado fue significativamente mayor que en el caso de los otros tres andosoles (a nivel de 0,01).

b. La mineralización en Cervantes fue significativamente mayor que en Arenón Poasito (a nivel de 0,01) y que en Birrisito (a nivel de 0,05).

c. No hubo significancia estadística entre Birrisito y Arenón Poasito.

En este caso la mayor mineralización observada en Cervantes respecto a Birrisito y Arenón P. podría explicarse dado que en dicho suelo el contenido de alofana es practicamente la mitad que en los dos últimos.

3. Entre la capa superficial de los cuatro suelos no ando

a. La mineralización en La Lola y Tempisque fue significativamente mayor que en Alajuela y Paraiso (a nivel 0,01).

b. Entre La Lola y Tempisque no hubo diferencia significativa.

c. En Paraiso la mineralización fue significativamente mayor que en Alajuela (a nivel 0,01).

También aquí se observa que en La Lola y Tempisque donde la mineralización es más activa, el contenido de alofana es practicamente la mitad que en Paraiso y Alajuela.

4. Entre los subsuelos de los cuatro suelos no ando

a. La mineralización en Paraiso fue significativamente mayor que en Alajuela Tempisque y La Lola (a nivel de 0,01).

b. En Alajuela se presentó una mineralización significativamente mayor que en Tempisque y La Lola (a nivel 0,01).

c. En La Lola la mineralización del nitrógeno fue significativamente mayor que en Tempisque (a nivel 0,01).

De la misma manera que en los casos precedentes, se podría explicar la mayor mineralización en Paraiso que en Alajuela por su menor contenido de alofana (practicamente la mitad).

En cuanto al comportamiento de La Lola y Tempisque, ya fue explicado anteriormente (formación del complejo proteina-montomorilonita).

Todos estos casos se resumen en el cuadro 5 y se ilustran en la figura 3.

Cuadro 5. Secuencia observada, de mayor a menor mineralización de N orgánico, en los suelos estudiados (tiempo de incubación: 14 días).

Suelo Ando	Capa superf.	Coronado $\geq_{**}$ Birrisito $\geq_{**}$ Arenón P. = Cervantes
	Subsuelo	Coronado $\geq_{**}$ Cervantes $\geq_{**}$ Birrisito = Arenón P.
Suelos no Ando	Capa superf.	La Lola = Tempisque $\geq_{**}$ Paraiso $\geq_{**}$ Alajuela
	Subsuelo	Paraiso $\geq_{**}$ Alajuela $\geq_{**}$ La Lola $\geq_{**}$ Tempisque

** Significativo a 0,01.

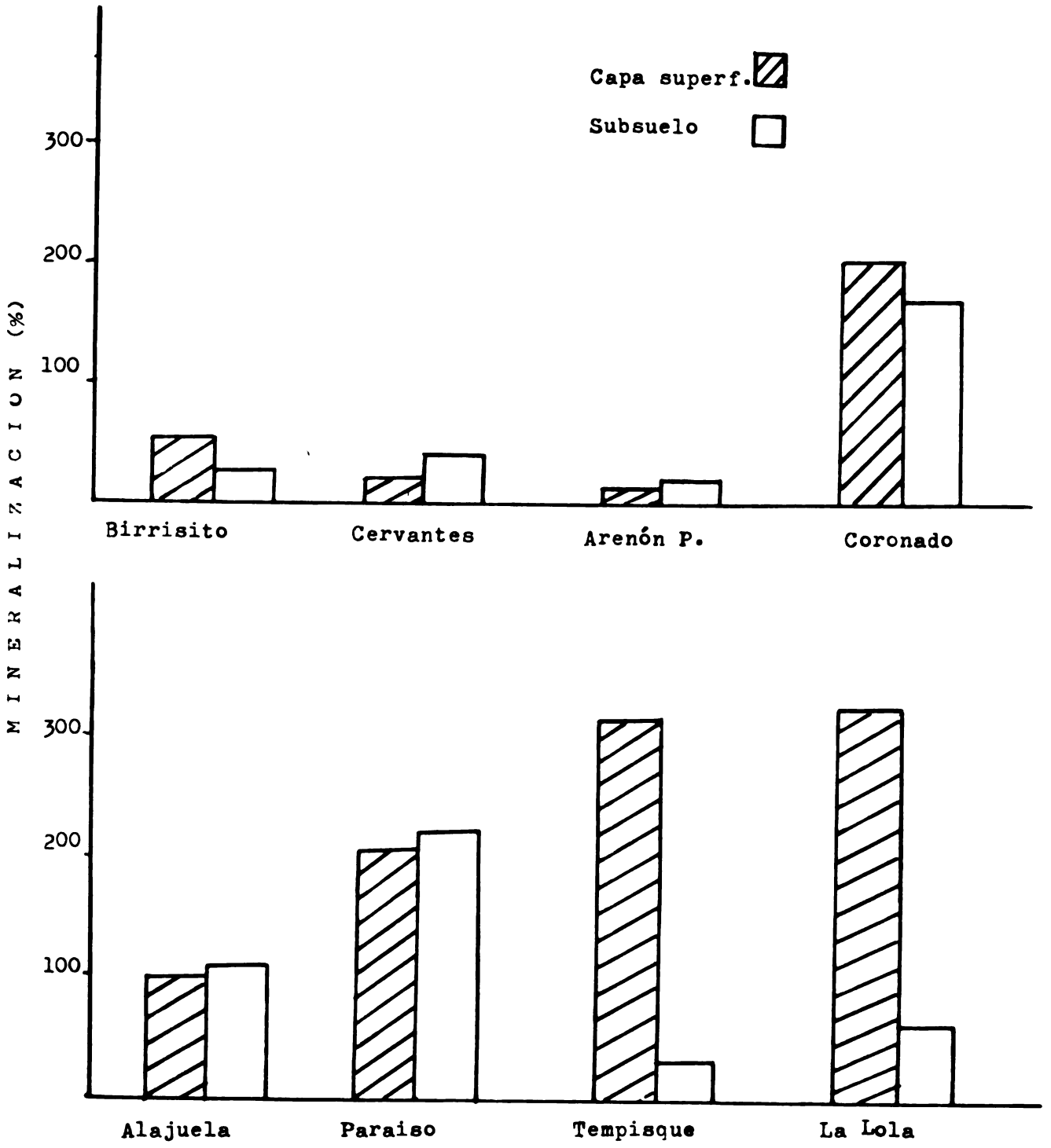


FIG. 3 Mineralización de N orgánico
(tiempo de incubación: 14 dias)

E. EFECTO DE LOS TRATAMIENTOS APLICADOS SOBRE LA MINERALIZACION

El efecto producido sobre la mineralización del nitrógeno orgánico por los tratamientos empleados (Testigo, CO_3Ca, $(OH)_2Ca$, abono orgánico y secamiento-rehumedecimiento), se ha analizado separadamente dentro de cada suelo, para lo cual se hicieron comparaciones de rangos múltiples empleando el método de Duncan.

Los resultados obtenidos fueron los siguientes:

1. Birrisito

a. Capa superficial. En este caso se ha encontrado diferencia estadística significativa (a nivel 0,01) entre todos los tratamientos, siendo la secuencia de mayor a menor mineralización producida, la siguiente:

Abono org. $\underset{**}{>}$ Secamiento-rehum. $\underset{**}{>}$ Testigo $\underset{**}{>}$ CO_3Ca $\underset{**}{>}$ $(OH)_2Ca$

b. Subsuelo. En este caso al igual que en el anterior se encontró diferencia estadística significativa entre todos los tratamientos (a nivel 0,01), con excepción de CO_3Ca e $(OH)_2Ca$ entre los cuales no hubo respuesta diferencial.

La secuencia, siempre de mayor a menor mineralización producida fue la siguiente:

Secamiento-rehum. $\underset{**}{>}$ Abono org. $\underset{**}{>}$ Testigo $\underset{**}{>}$ $CO_3Ca = (OH)_2Ca$

---

* Significativo a 0,05

** Significativo a 0,01

2. Cervantes

a. Capa superficial. Los tratamientos abono orgánico y secamiento-rehumedecimiento resultaron significativamente mayores que todos los demás (a nivel 0,01). No hubo respuesta diferencial entre los demás tratamientos.

La secuencia observada fue la siguiente:

Secamiento-rehum = Abono org. $\gtrsim_{**}$ Testigo = CO_3Ca = $(OH)_2Ca$

b. Subsuelo. El proceso de secamiento-rehumedecimiento resultó significativamente mayor que todos los demás tratamientos (a nivel 0,01).

El tratamiento con abono orgánico y el testigo, fueron significativamente mayores que el CO_3Ca e $(OH)_2Ca$ (a nivel 0,01). No se observó respuesta diferencial significativa entre los demás tratamientos.

La secuencia fue como sigue:

Secamiento-rehum. $\gtrsim_{**}$ Abono org. = Testigo $\gtrsim_{**}$ CO_3Ca = $(OH)_2Ca$

3. Arenón Poasito

a. Capa superficial. En este caso la aplicación del abono orgánico produjo una liberación de nitrógeno mineral significativamente mayor que todos los demás tratamientos (a nivel 0,01).

La aplicación de $(OH)_2Ca$ redundó en una producción de nitrógeno mineral significativamente mayor que el secamiento-rehumedecimiento (a nivel 0,01), y que el testigo (a nivel 0,05).

El tratamiento de CO_3Ca y el testigo produjeron un efecto significativamente mayor que el secamiento-rehumedecimiento (a nivel 0,01). No se detectó diferencia significativa entre las demás comparaciones. No se presentó una secuencia definida entre los tratamientos.

b. Subsuelo. La incorporación de abono orgánico superó significativamente a todos los demás tratamientos en la mineralización. Los tratamientos CO_3Ca y secamiento-rehum. superaron significativamente a $(OH)_2Ca$ y testigo.

No se encontró respuesta diferencial significativa entre los tratamientos restantes.

La secuencia de la mineralización fue la siguiente:

Abono org. $\gtrsim_{**}$ CO_3Ca = Secamiento-rehum. $\gtrsim_{**}$ $(OH)_2Ca$ = Testigo

4. Coronado

a. Capa superficial. El efecto del secamiento-rehumedecimiento fue significativamente mayor que todos los demás tratamientos (a nivel 0,01).

La incorporación de abono orgánico produjo mayor mineralización por el CO_3Ca y $(OH)_2Ca$ y el testigo (a nivel 0,01).

La adición de CO_3Ca superó significativamente al testigo en la producción de N mineral (a nivel 0,05).

No se apreció diferencia estadística entre los demás tratamientos.

No se presentó una secuencia definida entre efecto de los distintos tratamientos.

b. Subsuelo. El efecto del secamiento-rehumedecimiento, mostró ser significativamente mayor que todos los otros tratamientos (a nivel 0,01).

El testigo superó significativamente al abono orgánico CO_3Ca e $(OH)_2Ca$ (a nivel 0,01) en la liberación del nitrógeno mineral.

No hubo diferencia significativa entre los demás tratamientos.

Se observó la siguiente secuencia:

Secamiento-rehum. $\gg_{**}$ Testigo $\gg_{**}$ CO_3Ca = $(OH)_2Ca$ = Abono org.

5. Alajuela

a. Capa superficial. Se presentó respuesta diferencial estadísticamente significativa entre todos los tratamientos siendo la secuencia la siguiente:

Secamiento-rehum. $\gg_{**}$ Abono org. $\gg_{**}$ Testigo $\gg_{**}$ $(OH)_2Ca$ $\gg_{**}$ CO_3Ca

b. Subsuelo. El proceso secamiento-rehumedecimiento, produjo una cantidad de N significativamente mayor que los tratamientos CO_3Ca, $(OH)_2$ y Abono org. (a nivel de 0,01).

La mineralización en el testigo resultó significativamente mayor que con los tratamientos CO_3Ca e $(OH)_2Ca$ (a nivel 0,01) y que el correspondiente al abono orgánico (a nivel 0,05).

El efecto del abono orgánico fue significativamente mayor que el de CO_3Ca e $(OH)_2Ca$ (a nivel 0,01).

Cuadro 6. Efecto de 4 tratamientos en la mineralización del nitrógeno orgánico (Tiempo de incubación: 30 días).

Muestra		Testigo		Más $CaCO_3$		Más $(OH)_2Ca$		Más Mat.Org.		Secamiento y re-humedecimiento	
		N ppm	Mineralización %	N ppm	Mineralización %	N ppm	Mineralización %	N ppm	Mineralización %	N ppm	Mineralización %
Birrisito	A	112	67	103	54	96	43	126	88	119	77
	B	64	36	53	13	55	17	71	51	101	115
Cervantes	A	819	16	735	5	710	1	1050	50	1029	47
	B	123	48	103	24	103	24	120	46	157	89
Arenón Poasito	A	1490	13	1558	18	1579	20	1727	31	1360	4
	B	360	23	383	31	360	23	440	51	380	30
Coronado	A	239	298	255	325	247	311	285	375	312	420
	B	130	176	116	147	114	143	107	128	162	245
Alajuela	A	110	108	71	34	89	68	134	153	255	381
	B	135	118	105	69	107	72	124	100	137	121
Paraiso	A	173	220	157	190	160	196	231	328	203	276
	B	116	231	64	83	61	77	116	231	155	443
Tempisque	A	80	216	40	8	39	5	71	99	116	214
	B	324	32	260	6	262	7	250	2	250	2
La Lola	A	135	350	132	340	135	350	116	287	180	500
	B	43	72	45	80	41	64	40	60	66	164

Entre las demás comparaciones no se apreció respuesta diferencial. No se presentó una secuencia definida entre la mineralización producida por los diferentes tratamientos.

6. Paraiso

a. Capa superficial. Hubo diferencia significativa entre todos los tratamientos (a nivel 0,01), excepto entre CO_3Ca e $(OH)_2Ca$; la secuencia fue la siguiente:

Abono org. $\gg_{**}$ Secamiento-rehum. $\gg_{**}$ Testigo $\gg_{**}$ $(OH)_2Ca$ = CO_3Ca

b. Subsuelo. El tratamiento secamiento-rehumedecimiento resultó significativamente mayor que todos los demás (a nivel 0,01). La aplicación del abono orgánico y el testigo produjeron una mineralización significativamente mayor que CO_3Ca e $(OH)_2Ca$ (a nivel 0,01). No se detectó diferencia estadística significativa entre las demás comparaciones.

Secamiento-rehum. $\gg_{**}$ Abono org. = Testigo $\gg_{**}$ CO_3Ca = $(OH)_2Ca$

7. Tempisque

a. Capa superficial. En este caso la mineralización en el testigo fue significativamente mayor que con la aplicación de CO_3Ca e $(OH)_2Ca$ (a nivel 0,01).

El proceso de secamiento-rehumedecimiento superó significativamente en la mineralización del N orgánico, al CO_3Ca (a nivel 0,01) y también al tratamiento con abono orgánico (a nivel 0,05).

No se presentó respuesta diferencial significativa en la comparación de las demás medias.

No se presentó una secuencia definida al efecto de los diferentes tratamientos.

b. Subsuelo. El testigo superó significativamente a todos los demás tratamientos (a nivel 0,01).

Las aplicaciones de CO_3Ca e $(OH)_2Ca$ resultaron significativamente mayores que las de abono orgánico y que el secamiento-rehumedecimiento (a nivel 0,01).

No hubo diferencia significativa en las demás comparaciones.

La secuencia de mineralización fue la siguiente:

Testigo $\gtrsim_{**}$ $(OH)_2Ca$ = CO_3Ca $\gtrsim_{**}$ Secamiento-rehum. = Abono org.

8. La Lola

a. Capa superficial. El efecto del secamiento-rehumedecimiento fue significativamente mayor que todos los demás (a nivel 0,01). El testigo, y las aplicaciones de CO_3Ca e $(OH)_2Ca$ produjeron una mayor liberación de N mineral que el tratamiento con abono orgánico en forma estadísticamente significativa (a nivel 0,01).

No se encontró diferencia significativa entre los demás tratamientos.

La secuencia en este caso fue la siguiente:

Secamiento-rehum. $\gtrsim_{**}$ Testigo = CO_3Ca = $(OH)_2Ca$ = Abono org.

b. Subsuelo. También en este caso, el proceso de secamiento-rehumedecimiento resultó superior estadísticamente a todos los demás tratamientos (a nivel 0,01).

La aplicación de CO_3Ca produjo una mineralización significativamente mayor que el $(OH)_2Ca$ y el abono orgánico (a nivel 0,01).

El testigo superó estadísticamente al abono orgánico (a nivel 0,05). No hubo significancia estadística entre las demás comparaciones. No fue posible apreciar una secuencia definida del efecto de los diferentes tratamientos.

Todos estos casos se resumen en los cuadros 7 y 8 y se ilustran en las figuras 4 y 5.

Haciendo una apreciación en conjunto del efecto de los tratamientos sobre los suelos estudiados, se puede señalar en general:

1) El secamiento-rehumedecimiento, en la mayoría de los casos (suelos ando y no ando) es el tratamiento que ha producido los mayores incrementos en la mineralización; lo cual confirma los trabajos de Birch y colaboradores (6, 7, 8, 9, 10, 12, 13); de Cairns (25); de Van Schreven (84); y de Broadbent, Jackman y McNicoll (24).

2) Se nota que los mayores efectos del secamiento-rehumedecimiento han sido sobre las muestras con mayores contenidos de arcilla; los efectos más bajos se presentaron en suelos arenosos. Este hecho reforzaría una de las tres presunciones que hace Brich (6) al explicar el efecto de tal tratamiento, y que es la liberación de la materia orgánica de entre los látices de las arcillas por

Cuadro 7. Secuencia de mayor a menor mineralización producida por los tratamientos aplicados (Suelos Ando).

Birrisito	Capa superf.	Abono orga. $\gg_{**}$ Secam-rehum. $\gg_{**}$ Testigo $\gg_{**}$ CO_3Ca $\gg_{**}$ $(OH)_2Ca$
	Subsuelo	Secam-rehum. $\gg_{**}$ Abono orga. $\gg_{**}$ Testigo $\gg_{**}$ CO_3Ca = $(OH)_2Ca$
Cervantes	Capa superf.	Secam-rehum. = Abono orga. $\gg_{**}$ Testigo = CO_3Ca = $(OH)_2Ca$
	Subsuelo	Secam-rehum, $\gg_{**}$ Abono orga. = Testigo $\gg_{**}$ CO_3Ca = $(OH)_2Ca$
Arenón P.	Capa superf.	Abono orga. $\gg_{**}$ $(OH)_2Ca$, CO_3Ca, Testigo y Secam-rehum. $(OH)_2Ca$ = CO_3Ca $\gg_{**}$ Secam-rehum. CO_3Ca = Testigo $\gg_{**}$ Secam-rehum.
	Subsuelo	Abono orga. $\gg_{**}$ CO_3Ca = Secam-rehum. $\gg_{*}$ $(OH)_2Ca$ = Testigo
Coronado	Capa superf.	Secam-rehum. $\gg_{**}$ Abono orga. $\gg_{**}$ CO_3Ca, $(OH)_2$ Ca y Testigo CO_3Ca $\gg_{*}$ Testigo CO_3Ca = $(OH)_2Ca$ $(OH)_2Ca$ = Testigo
	Subsuelo	Secam-rehum. $\gg_{**}$ Testigo $\gg_{**}$ CO_3Ca = $(OH)_2Ca$ = Abono orga.

* Significativo a 0,05

** Significativo a 0,01

Cuadro 8. Secuencia de mayor a menor mineralización producida por los tratamientos aplicados (suelos no ando).

Alajuela	Capa superf.	Secam-rehum. $\gtrsim_{**}$ Abono orga. $\gtrsim_{**}$ Testigo $\gtrsim_{**}$ $(OH)_2Ca$ $\gtrsim_{**}$ CO_3Ca
	Subsuelo	Secam-rehum. $\gtrsim_{**}$ Abono orga. , CO_3Ca y $(OH)_2Ca$ Secam-rehum. = Testigo Testigo $\gtrsim_{**}$ CO_3Ca y $(OH)_2Ca$ Testigo $\gtrsim_{**}$ Abono orga. Abono orga. $\gtrsim_{**}$ CO_3Ca = $(OH)_2Ca$
Paraiso	Capa superf.	Abono orga. $\gtrsim_{**}$ Secam-rehum. $\gtrsim_{**}$ Testigo $\gtrsim_{**}$ $(OH)_2Ca$ = CO_3Ca
	Subsuelo	Secam-rehum. $\gtrsim_{**}$ Abono orga. = Testigo $\gtrsim_{**}$ CO_3Ca = $(OH)_2Ca$
Tempisque	Capa superf.	Secam-rehum. = Testigo Testigo $\gtrsim_{**}$ Abono orga., CO_3Ca y $(OH)_2Ca$ Secam-rehum. $\gtrsim_{**}$ Abono orga. Secam-rehum. $\gtrsim_{**}$ CO_3Ca = $(OH)_2Ca$
	Subsuelo	Testigo $\gtrsim_{**}$ $(OH)_2Ca$ = CO_3Ca $\gtrsim_{**}$ Secam-rehum. = Abono orga.
La Lola	Capa superf.	Secam-rehum. $\gtrsim_{**}$ Testigo = CO_3Ca = $(OH)_2Ca$ = Abono orga.
	Subsuelo	Secam-rehum. $\gtrsim_{**}$ CO_3Ca , $(OH)_2Ca$; Testigo y Abono orga. CO_3Ca $\gtrsim_{**}$ $(OH)_2Ca$ = Abono orga. CO_3Ca = Testigo Testigo = $(OH)_2Ca$ Testigo $\gtrsim_{*}$ Abono orga.

* Significativo al 0,05

** Significativo al 0,01

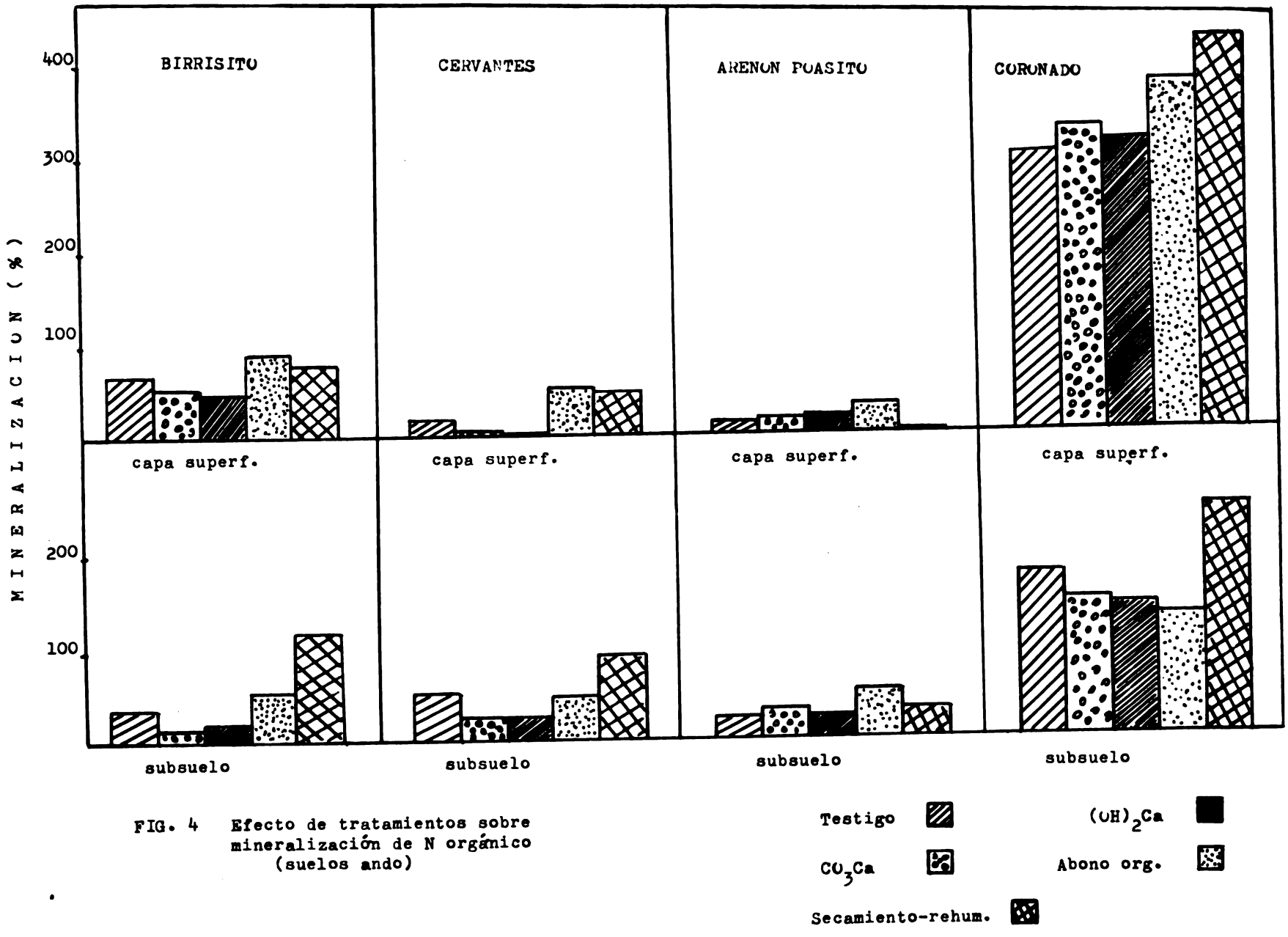


FIG. 4 Efecto de tratamientos sobre mineralización de N orgánico (suelos ando)

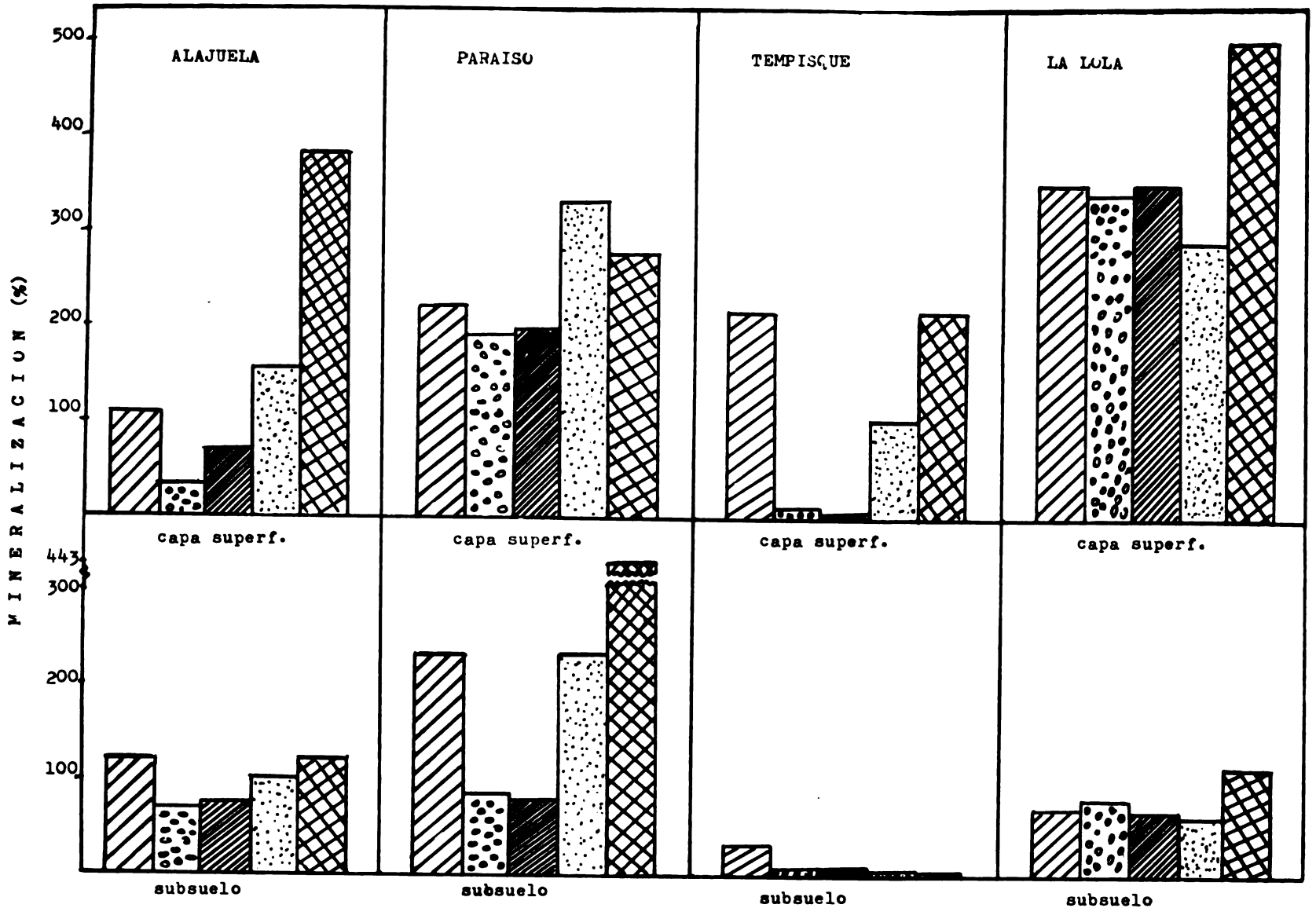


FIG. 5 Efecto de tratamientos sobre mineralización de N orgánico (suelos no ando)

Testigo

$(OH)_2Ca$

CO_3Ca

Abono org.

Secamiento-rehum.

sucesivas contracciones y expansiones, haciéndola de esta manera más susceptible a los procesos de descomposición.

3) La aplicación del abono orgánico ha producido resultados contradictorios por cuanto su efecto ha sido positivo en el caso de la mayoría de los suelos ando (tanto en capa superficial como en el subsuelo), que al mismo tiempo son los que tienen los mayores contenidos de materia orgánica. En cambio en los suelos no ando, este tratamiento en varios casos, produjo una mineralización más baja respecto al testigo, aún cuando sus contenidos de materia orgánica son menores que en el caso del otro grupo de suelos (ando).

4) En términos generales, el CO_3Ca y el $(OH)_2Ca$ tuvieron un comportamiento muy parecido entre si, siendo tal efecto detrimental (tanto en los andosoles como en los no andosoles) respecto al testigo. Esta misma situación fue observada por Blasco y Cornfield (17) quienes explican tal resultado por la formación de humatos de calcio en un estado temprano de la incubación.

V. CONCLUSIONES

1. No se encontró significancia estadística en los coeficientes de correlación entre contenido de alofana de los suelos y la mineralización del nitrógeno orgánico de los mismos. Sin embargo al tomar en cuenta solo la capa superficial se encontró un por ciento de asociación lineal de 39,7% entre alofana y mineralización, pudiendo aceptarse dicho porcentaje como suficiente para señalar que existe una relación inversa entre ambas variables.

2. Los suelos ando estudiados (con un contenido de alofana de 24% en promedio), tuvieron una mineralización significativamente más baja que los suelos no ando (a nivel 0,01).
   Esta situación refuerza la conclusión número 1.

3. El tratamiento secamiento-rehumedecimiento, activó la mineralización significativamente en la mayoría de los casos (suelos ando y no ando), y especialmente cuando las muestras fueron más arcillosas.

4. El tratamiento con abono orgánico no dio una respuesta de tendencia definida; en la mayoría de los suelos ando, incrementó la mineralización del N, mientras que en varios de los suelos no ando, en efecto fue detrimental.

5. El encalado (aplicación de CO_3Ca y $(OH)_2Ca$), en las condiciones del presente trabajo en general tuvo un efecto negativo sobre la mineralización del nitrógeno orgánico.

RESUMEN

Se estudiaron ocho suelos de Costa Rica, de los cuales cuatro fueron andosoles y cuatro no andosoles (de estos últimos, dos provenientes de material volcánico laterizado y dos aluviales). Se investigó la relación entre contenido de alofana en dichos suelos y la mineralización del N orgánico producido durante un período de incubación de dos semanas.

Luego, se sometieron las muestras a cuatro tratamientos: CO_3Ca, $(OH)_2Ca$, Abono orgánico y secamiento-rehumedecimiento), para establecer el efecto de cada uno de ellos sobre la mineralización del nitrógeno. El período de incubación en este último caso fue de 30 días.

Los resultados obtenidos fueron los siguientes:

En la capa superficial (20 cm.), de los suelos estudiados se encontró un porcentaje de asociación lineal (39,7), que se puede considerar como aceptable para concluir que existe una relación inversa entre contenido de alofana y mineralización de nitrógeno orgánico.

Los suelos ando estudiados (con un contenido de alofana de 24% en promedio) tuvieron una mineralización significativamente más baja que los suelos no ando.

El proceso de secamiento-rehumedecimiento, activó la mineralización significativamente en la mayoría de los casos (tanto en suelos ando como no ando), especialmente cuando las muestras fueron más arcillosas.

El tratamiento con abono orgánico no dio una respuesta de tendencia definida.

El tratamiento de encalado (tanto el CO_3Ca como el $(OH)_2Ca$), en las condiciones del presente trabajo produjo en general un efecto negativo sobre la mineralización del N orgánico.

SUMMARY

The mineralization of organic nitrogen as effected by allophane content and from treatment was studied in eight Costa Rican soils.

Four andosoles and four non andosoles (including two alluvial soils and two soils derived from old laterized volcanic materials). The treatment applied consisted of liming with $CaCO_3$ and $Ca(OH)_2$ (6 Ca /100 g), the addition of organic manure (40 Tn/Ha) and a wetting and drying (105°C) treatment. A 30 days incubation period was used to study the effect of treatments.

The following results were obtained:

For the surface soils, a negative linear association (39.7%) was found between allophane content and organic nitrogen mineralization. The studied andosols (with an average of 24% of crude allophane) showed significantly less mineralization than the non-allophanic soils studied.

The drying-wetting process, increased mineralization in most cases, especially for fine textural soils.

The lime treatment ($CaCO_3$ or $Ca(OH)_2$) had a detrimental effect on mineralization of these soils.

No definite tendency was noted on organic application.

LITERATURA CITADA

1. ABICHANDANI, C. T. y PATNAIK, S. Mineralizing action of lime on soil nitrogen in water-logged rice soils. International Rice Commission News Letter 13:11-13. 1955.

2. _____ y PATNAIK, S. Effect of lime applications on nitrogen availability and rice yields in water logged soils. Journal Indian Society of Soil Science 9:55-62. 1961. (Original no consultado, compendiado en Soils and Fertilizers 24:2753. 1961)

3. AOMINES, S. y KOBAYACHI, Y. Effects of allophanic clays on the enzimatic activity of protease. Soil Science and Plant Nutrition 10(1):28-32. 1964.

4. _____ y KOBAYACHI, Y. Effects of allophanic clays on the enzimatic activity of beta-amylase. Soil Science and Plant Nutrition 12(1):7-12. 1966.

5. BAZAN, R. S. Soil survey of La Lola cacao farm. Tesis Mag. Agr. Turrialba, Costa Rica. Instituto Interamericano de Ciencias Agrícolas. 1963. 127 p.

6. BIRCH, H. F. The effect of soil drying on humus descomposition and nitrogen availability. Plant and Soil 10(1):9-13. 1958.

7. _____. Further observations in humus descomposition and nitrification. Plant and Soil 11(3):262-286. 1959.

8. _____. Simultaneus descomposition processes in soil. Nature 183:1415. 1959.

9. _____. Nitrification in soil after different periods of dryness. Plant and Soil 12(1):81-96. 1960.

10. _____. Mineralization of plant nitrogen following alternate wet and dry conditions. Plant and Soil 20(1):43-49. 1964.

11. _____ y DOUGALL, H. W. Effect of legume on soil nitrogen mineralization and percentage nitrogen in grasses. Plant and Soil 27:292-296. 1967.

12. _____ y EMECHEBE, A. M. The effect of soil drying on millet. Plant and Soil 24(2):333-335. 1966.

13. BIRCH, H. F. y FRIEND, M. T. Humus descomposition in east african soils. Nature 178:500-501. 1956.

14. BLASCO, L. M. y CORNFIELD, H. A. Efectos de la adición de celulosa sobre la mineralización y nitrificación del nitrógeno en los suelos del valle. Agricultura Tropical (Colombia 24(2):113-116. 1968.

15. _____ y CORNFIELD, H. A. NH_3-N, NO_3-N y N-mineral en los suelos del valle del Cauca con y sin adición de $CaCO_3$ y producción de CO_2. Acta Agronómica (Colombia) 17:55-61. 1967.

16. _____ y CORNFIELD, H. A. Effects of soil moisture during incubation on the nitrogen mineralizing characteristic of the soils of Colombia. Geoderma 1(1):19-25. 1967.

17. _____ y CORNFIELD, H. A. Stimulation of nitrification following temporary acidification of soil. Nature 210:1187-1188. 1966.

18. BLUE, W. G. y ENO, C. F. The effect of lime on plant growth and recovery of nitrogen from anhidrus ammonia, urea and ammonium nitrate in acid sandy soils. Soil Crop Science Society, Florida Proceeding 17:255-261. 1957.

19. BOUGHEY, A. S. et al. Antibiotic reactions between african savanna species. Nature 203:1302-1303. 1964.

20. BREMNER, J. M. Total nitrogen. In Black, C. A. ed. Methods of Soil Analysis. American Society of Agronomy, Inc. Publisher, Madison, Wisconsin. 1965. pp. 1149-1178. 2 v.

21. _____. Nitrogen availability indexes. In Black, C. A. ed. Methods of soil analysis. American Society of Agronomy, Inc. Publisher, Madison, Wisconsin. 1965. pp. 1324-1345. 2 v.

22. _____. Inorganic forms of nitrogen. In Black, C. A. ed. Methods of Soil Analysis. American Society of Agronomy, Inc. Publisher, Madison, Wisconsin. 1965. pp. 1179-1237. 2 v.

23. BROADBENT, F. E. Interchange between inorganic and organic nitrogen in soils. Hilgardia 37(6):165-180. 1960.

24. _____, JACKMAN, R. H. y McNICOLL, J. Mineralization carbon and nitrogen in some New Zealand allophanic soils. Soil Science 98(2):118-128. 1964.

25. CAIRNS, R. R. Nitrogen mineralization in solonetic soil samples and some influencing factors. Canadian Journal of Soil Science 43:387-392. 1963.

26. CALDER, E. A. Features of nitrate accumulation in Uganda soil. Journal of Soil Science 8(1):60-72. 1957.

27. DAY, P. R. Particle fractionation and particle-size analysis. In Black, C. A. ed. Methods of Soil Analysis. American Society of Agronomy, Inc. Publisher, Madison, Wisconsin. 1965. pp. 545-567. 2 v.

28. DOMMERGUES, Y. Mineralization de l'azote aux faibles humidites. Transaction of the 7th. International Congress of Soil Science, Madison, Wisconsin 2:672-678. 1960.

29. DONDOLI, B. C. y TORRES, M. J. A. Estudio geoagronómico de la región oriental de la meseta central. Costa Rica. Ministerio de Agricultura e Industrias. 1954. 180 p.

30. ENSMINGER,L. E. y GIESEKING. Resistance of clay adsorbed proteins to proteolitic hydrolysis. Soil Science 53:205-209. 1942.

31. GREENLAND, D. J. Nitrate fluctuations in tropical soils. Journal of Agricultural Science 50(1):82-91. 1958.

32. _____ y NYE, P. H. Does straw induce nitrogen deficiency in tropical soils? Transaction of the 7th. International Congress of Soil Science. Madison, Wisconsin 2:478-485. 1960.

33. GRIFFITH, G. y MANNING, H. L. Nitrate accumulation in Uganda soils. Nature 165:571. 1950.

34. HAGENZIEKER, F. Soil nitrogen studies al Urambo, Tanganyka territory, East Africa. Plant and Soil 9(2):97-113. 1957.

35. HARADA, T. The mineralization of native organic nitrogen in ppady soil and the mechanism of its mineralization. Bull. Nat. Inst. Agric. Sci. Tokyo B9:123-199 (j.e). 1959. (Original no consultado, compendiado en Soils and Fertilizes 23:997. 1959)

36. _____ y KAI, H. Studies on the environmental conditions controllin nitrification in soil. I. Effect of ammonium and total salts in media on the rate of nitrification. Soil Science and Plant Nutrition 14(1):20-26. 1968.

37. HARDY, F. Seasonal fluctuation of soil moisture and nitrate in a humid tropical climate. Tropical Agriculture 23(3): 40-49. 1946.

38. _____. The significance of carbon-nitrogen ratio in soil growing cotton. III. Nitrate fluctuation in relation to planting date and soil manurial requeriments in British West Indies. Tropical Agriculture 23(11):201. 1946.

39. JOSHI, N. V. y BISWAS, S. C. Does photonitrifications occur in the soil? Indian Journal of Agriculture Science 18:115-129. 1948.

40. JEWITT, N. T. Field nitrates in gezire soil. Journal of Agricultural Science 40:160-165. 1950.

41. _____. Field nitrate in the gezira soil. II. Journal of Agricultural Science 47:461-467. 1956.

42. JACKMAN, R. H. Organic phosphorus in New Zealand soils under pasture. II. Relation between organic phosphorus content and some soil characteristic. Soil Science 79:293-299. 1955.

43. JACKSON, M. L. Free oxides, hydroxides, and amorphous aluminosilicates. In Black, C. A. ed. Methods of Soil Analysis. American Society of Agronomy, Inc. Publisher, Madison Wisconsin. 1965. pp. 578-603. 2 v.

44. JOHSON, D. D. y GUENZI, W. D. Influence of salts on ammonium oxidation and carbon dioxide evolution from soil. Soil Science Society of American, Proceeding 27:663-666. 1963.

45. KAI, H. y HARADA, T. Studies on the environmental conditions controlling nitrification in soil. II. Effect of soil clay minerals on the rate of nitrification. Soil Science and Plant Nutrition 15(1):1-10. 1969.

46. KYUMA, K. y KAWAGUGHI, K. Oxidative changes of polyphenoles influenced by allophane. Soil Science Society of American, Proceeding 28(3):371-374. 1964.

47. LINCH, D. L. y COTNOIR, L. J. Jr. The influence of clay minerals on the breakdown of certain organic substrats. Soil Science American. Proceeding 20:367-370. 1956.

48. MARTIN, A. E. y COX, J. E. Nitrogen studies on black soils from the Darling Downs, Queesland. I. Seasonal variations in moisture and mineral nitrogen fractions. Australian Journal of Agriculture Research 7:169-183. 1956.

49. MARTIN, A. E. y COX, J. E. Nitrogen studies on black soils from the Darling Downs. II. The nitrifying activity of subsurface horizons. Australian Journal of Agricultural Research 7:184-193. 1956.

50. METHA, B. V., PATEL, G. J. y DANGARWALA, R. T. Effect of fumigation and other measures for nematode control on the production of nitrate in Gorodu soil. Journal of Indian Society of Soil Science 11:361-371. 1963. (Original no compendiado en Soils and Fertilizers 27:2838. 1964)

51. MCLEAN, E. O. Aluminium. In Black, C. A. ed. Methods of soil analysis. American Society of Agronomy, Inc. Publisher, Madison, Wisconsin. 1965. pp. 978-998. 2 v.

52. MITCHELL, B. D., FARMER, V. C. y McHARDY, W. J. Amorphus inorganic materials in soils. Advances in Agronomy 16: 327.383. 1964.

53. MORTENSEN, J. L. Descomposition of organic matter and mineralization of nitrogen in Brookston silt loam and alfalfa green manure. Plant and Soil 19:374-378. 1963.

54. MUNRO, P. E. Inhibition of nitrite-oxidizers by roots of grass. Journal of Applied Ecology 3:227-229. 1966.

55. _____. Inhibition of nitrifiers by grass root extracts. Journal of Applied Ecology 3:231-238. 1966.

56. OKE, O. L. Nitrogen transformations in tropical soils. West African Journal Biology Applied Chemistry 9:48-51. 1967. (Original no consultado, compendiado en Soils and Fertilizers 30:1607. 1967)

57. PATHAK, A. N. y JAIN, S. L. Effect of alkaline salts. II. On nitrification. Journal Soil Water Conservation. India 13:30-32. 1965. (Original no consultado, compendiado en Soils and Fertilizers 29:2530. 1966)

58. PEECH, M. Hydrogen-Ion activity. In Black, C. A. ed. Methods of Soil Analysis. American Society of Agronomy, Inc. Publisher. Madison, Wisconsin. 1965. pp. 914-928. 2 v.

59. PINCK, L. A., DYAL, R. S. y ALLISON, F. E. Protein-montmorillonitic complexes, their preparation and the effect of soil microorganisms on their descomposition. Soil Science 78: 109-118. 1954.

60. PINCK, L. A. y ALLISON, F. E. Resistance of protein-montmorillonitic complexes to descomposition by soil microorganisms. Science 114:130-131. 1951.

61. RAO, G. G. y DHAR, N. R. Photosensitied oxidation of ammonia and ammonium salts and the problem of nitrification in soils. Soil Science 31:379-384. 1931.

62. RICH, C. I. Removal of excess salt in cation exchange capacity determination. Soil Science 93:87-94. 1962.

63. ROBERTSON, W. K. y NELLER, J. R. The effect on nitrogen, sawdust and lime on soil fertility and recovery of nitrogen in Bermuda grass grown on Blanton fine sand. Soil Crops Science Society Florida, Proceeding 23:108-116. 1963.

64. ROBINSON, D. B. Nitrogen studies in coffee soil. I. Seasonal trend of natural soil nitrate and ammonia in relation to crop, growth, soil moisture and rainfall. Journal of Agricultural Science 55:333-338. 1960.

65. _____. The critical relationship between soil moisture content in the region of wilting point and the mineralization of natural soil nitrogen. Journal of Agricultural Science 49:100-105. 1957.

66. _____. Soil particle size fractions and nitrogen mineralization. Journal of Soil Science 18:109-117. 1967.

67. _____ y GACOKA, P. Evidence of the upward of nitrate during the dry season in the kikuyo red loam coffee soil. Journal of Soil Science 13(1):133-139. 1962.

68. RUSSEL, E. J. y SMITH, N. On the question whether nitrites or nitrates are produced by non bacterial processes in the soil. Journal of Agricultural Science 1:444-453. 1906.

69. SAIZ DEL RIO, J. F. y BORNEMISZA, S. E. Análisis químico de suelos. Método de laboratorio para diagnóstico de fertilidad. Turrialba, Costa Rica. Instituto Interamericano de Ciencias Agrícolas de la OEA. Departamento de Energía Nuclear. 1961. 107 p.

70. SAKAI, H. e IKE, M. Studies on the effect of application of organic matter in Tokachi volcanic Ash Land. Part 2: The process of descomposition of organic matter applied to Tokachi volcanic ash soil. Journal of the Science of soil and manure. Japon 31(9):383-386. 1960. (Original no consultado, compendiado en Soil and Plant Food 6:191. 1960.

71. SASAKI, S. Hydrogen peroxide treatments on typical Hokkaido soils. Soil and Plant Food 6:106-113. 1961.

72. SAUNDER, D. H. y GRAND, P. M. Rate of mineralization of organic matter in cultivated Rhodesian soils. International Soil Conference. New Zealand: 235-239. 1962. (Original no consultado, compendiado en Soils and Fertilizers 26:3059. 1963)

73. SCHALSCHA, E. B. et al. Effect of drying on volcanic ash soils in Chile. Soil Science Society American Proceeding 29: 481-482. 1965.

74. SHANKAR, K. y VENTAKA-RAO, B. V. Influence of soil phosphorus status on nitrification in red soils of Mysore. Journal of Indian Society of Soil Science 14:97-100. 1966. (Original no consultado, compendiado en Soils Fertilizers 30: 1082. 1960)

75. SHELDON, S. GOLBERG, S. S. y GAINEY, P. L. Role of surface phenomena in nitrification. Soil Science 80:43-53. 1955.

76. SIMPSON, J. R. The mechanism of surface nitrate accumulation on a bare fallow soil in Uganda. Journal of Soil Science 11(1):45-60. 1960.

77. SINHA, P. The effects of continuous manuring and cropping on the crop yields, nitrifiying power of the soil and nitrogen uptake by plants. Journal of Indian Society of Soil Science 5:205-211. 1957. (Original no consultado, compendiado en Soils and Fertilizers 21:1029. 1958)

78. SMITH, J. H. Relationships between soil cation exchange capacity and the toxity of ammonium to the nitrification process. Soil Science Society of American, Proceeding 28:640-644. 1964.

79. SRIVASTAVA, S. C. The effect of telodrin on nitrification of ammonia in soil and its implication on nitrogen nutrition of sugarcane. Plant and Soil 25:471-473. 1966.

80. STEPHENS, D. Upward movement of nitrate in bare soil in Uganda. Journal of Soil Science 13(1):52-59. 1952.

81. STIVEN, G. Production of antibiotic substance by the roots of a grass (Trachypogon plumosus) and of Pentaniscia variabilis. Nature 170:712-713. 1952.

82. THERON, J. J. The influence of plant on the mineralization of nitrogen and the maintenance of organic matter in the soil. Journal of Agricultural Science 41:289-292. 1951.

83. TOKUDOME, S. y KANNO, I. Nature of the humus of himic allophane soil in Japan. II. Some phisico-chemical properties of humic and fulvic acids. Soil Science and Plant Nutrition. 11(5):1-8. 1965.

84. VAN SCHEREVEN, D. A. The effect of intermittent drying and wetting of calcareus soil on carbon and nitrogen mineralization. Plant and Soil 26:14-32. 1967.

85. VARGAS, V. O. Proyecto de riego del río Tempisque. Estudio preliminar de suelos. Boletín Técnico nº 30, Costa Rica, Ministerio de Agricultura e Industrias. 1959. 48 pp.

86. _____ y TORRES, J. A. Estudio preliminar de suelos de la región occidental de la meseta central. Boletín Técnico nº 2. Costa Rica. Ministerio de Agricultura e Industrias. 1958. 64 pp.

87. WADA, K. e INOUE, T. Retention of humic substances derived from rotted clover leaves in soil containing montmorillonite and allophane. Soil Science and Plant Nutrition 13(1):9-16. 1967.

88. WAKSMAN, A. S. y MADHOK, M. R. Influence of light and heat upon the formation of nitrate in soils. Soil Science 44:361-375. 1937.

89. WETSELAAR, R. Capillary movement of nitrate towards tropical soil surface. Nature 186:572-573. 1960.

90. _____. Nitrate distribution in tropical soils. I. Posible causes of nitrate accumulation near the surface after a long dry period. Plant and Soil 15(2):110-120. 1961.

91. _____. Nitrate distribution in tropical soils. II. Extent of capillary accumulation of nitrate during a long dry period. Plant and Soil 15(2):121-133. 1961.

92. WOOD, R. A. Nitrification in relation to pH, its importance in fertilizer nitrogen utilization by cane in some sugar belt soil. Proceeding of 40th. Congress. South Africa Sugar Technology Association 241-246. 1966. (Original no consultado, compendiado en Soils and Fertilizers 30:1083. 1967)

93. WOOD, R. A. Analogous nitrogen mineralization effects produced by soils under grass leys and sugar cane. Transactions of 8th. International Congress of Soil Science. Bucarest 4:255-260. 1964.

94. _____. Assessing the potential of sugar belt soils to supply nitrogen for plant cane. Proceeding of 38th. Congress of S.Af. Tech. Ass. 1964. 555 pp. (Original no consultado, compendiado en Soils and Fertilizers 28:3877. 1965)

95. YOSHINAGA, N. Chemical composition and thermal data of allophane from ando soils and weathered pumices. Soil Science and Plant Nutrition 12(2):1-8. 1966.

96. _____ y AOMINE, S. Allophane in some ando soils. Soil Science and Plant Nutrition 8(2):6-13. 1962.

97. _____ y AOMINE, S. Imogolite in some ando soils. Soil Science and Plant Nutrition 8(3):22-29. 1962.

Date Due

		1 NOV 1994	
JUN 19 '72		2 5 NOV 1994	
FEB 13 '72		0 9 DIC 1994	
FEB 28 '72		2 2 MAR 1995	
- 5 NOV. 1974			
1 6 ABR. 1975		0 5 ABR 1995	
10 SET. 1980		2 6 ABR 1995	
		1 9 MAY 1995	DEVUELTO
1 4 MAR 1983			
1 1 MAR 1992		DEVUELTO	
1 8 AGO 1994			
0 DEVUELTO		DEVUELTO	
1 1 OCT 1994			
2 5 OCT 1994			