

RECONOCIMIENTO E INVESTIGACION DE LOS SUELOS

CHILE

ESTUDIOS SOBRE ACTIVIDAD
DE LAS POBLACIONES MICROBIANAS
EN SUELOS CHILENOS



PROGRAMA DE LAS NACIONES UNIDAS PARA EL DESARROLLO

ORGANIZACION DE LAS NACIONES UNIDAS PARA LA
AGRICULTURA Y LA ALIMENTACION

ROMA, 1972

RECONOCIMIENTO E INVESTIGACION DE LOS SUELOS

CHILE

ESTUDIOS SOBRE ACTIVIDAD DE LAS POBLACIONES MICROBIANAS EN SUELOS CHILENOS

Informe preparado para
el Gobierno de Chile
por
la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación
en su carácter de Organismo Ejecutivo del
Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo

basado en la labor de
R. Schaefer, A. Urbina, E. San Martín, y N. Klenner

PROGRAMA DE LAS NACIONES UNIDAS PARA EL DESARROLLO
ORGANIZACION DE LAS NACIONES UNIDAS PARA LA AGRICULTURA Y LA ALIMENTACION

Roma, 1972

FAO. Reconocimiento e investigación de los suelos, Chile.
Estudios sobre actividad de las poblaciones microbianas
en suelos chilenos, basado en la labor de R. Schaefer,
A. Urbina, E. San Martín y N. Klenner. Roma, 1972. 45 p.
5 figuras. AGL:SF/CHI 18. Informe técnico 4.

EXTRACTO

El Gobierno de Chile, con la ayuda de la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación como agencia ejecutiva del Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo, emprendió un proyecto de Reconocimiento e investigación de los suelos de Chile, cuyas actividades se iniciaron en octubre de 1966 y concluyeron en diciembre de 1971.

El presente informe trata del análisis de las actividades de micro-organismos que cumplen determinadas funciones metabólicas en su relación con el efecto activador o limitante que ejercen los factores del ambiente, aislados o en combinación. La investigación, estrechamente relacionada con los programas de fertilidad y reconocimiento de suelos, que miran a llegar a una explotación racional y a la conservación de los recursos naturales, permite alcanzar un mejor conocimiento de los mecanismos biológicos de la productividad.

Se estudió, principalmente por su incidencia sobre la productividad de los cultivos, la dinámica de los ciclos esenciales del carbono, el nitrógeno y el fósforo en el transcurso de las estaciones y en relación a modificaciones del medio ambiente a través de ensayos de tipo factorial, en que se hizo variar tales factores como la humedad, la temperatura y la naturaleza de los sustratos. A tal efecto, se escogieron suelos de distintas áreas del país.

El informe consigna los pormenores de estas investigaciones, los estudios sobre la biogeografía, el clima y los suelos de las áreas estudiadas, y ofrece, a modo de conclusiones, una evaluación del potencial biológico en suelos de distintos grupos, así como recomendaciones finales, entre las que destacan las pertinentes al futuro trabajo de laboratorio y la exploración de fenómenos biológicos a través de ensayos factoriales.

La Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación expresa su vivo reconocimiento a las organizaciones y personas que colaboraron en la ejecución del proyecto facilitando datos, asesoramiento y servicios.

INDICE

	<u>Página</u>
<u>Capítulo 1</u> INTRODUCCION	1
<u>Capítulo 2</u> METODOLOGIA	3
2.1 Economía del nitrógeno	3
2.1.1 Estudio de la dinámica estacional de la mineralización del N orgánico, bajo condiciones de campo	3
2.1.2 Estudio de la mineralización del N orgánico bajo condiciones de laboratorio	5
2.1.3 Desnitrificación	5
2.2 Economía del carbono	5
2.3 Interacción entre los ciclos del nitrógeno y del carbono	6
2.4 Economía del fósforo	6
<u>Capítulo 3</u> BIOGEOGRAFIA, CLIMA Y SUELOS DE LAS AREAS ESTUDIADAS	7
<u>Capítulo 4</u> CONCLUSIONES	10
4.1 Evaluación del potencial biológico en suelos de distintos grupos	10
4.1.1 Suelos aluviales	10
4.1.2 Vertisoles	11
4.1.3 Suelos derivados de cenizas volcánicas	11
4.2 Confrontación de la dinámica de C-N-P en suelos aluviales y en suelos derivados de cenizas volcánicas	14
4.2.1 Ciclo del carbono	14
4.2.2 Ciclo del nitrógeno	15
4.2.3 Ciclo del fósforo	16
4.3 Relaciones con la clasificación - reconocimiento - y estudios básicos de suelos	16
<u>Capítulo 5</u> DESARROLLO PREVISTO DE LOS PROGRAMAS	19
5.1 Dinámica estacional de nitrificación	19
5.2 Inmovilización biológica de N mineral	19
5.3 Reducción desasimilativa de los nitratos	20
5.4 Producción de ácidos grasos y volátiles	20
5.5 Elaboración de compost	20
5.6 Humificación en parcelas	20
5.7 Mineralización del C orgánico	21
5.8 Estudios de materia orgánica	21
<u>Capítulo 6</u> OBSERVACIONES Y RECOMENDACIONES	22
<u>Apéndice</u> BIBLIOGRAFIA	35

LISTA DE CUADROS

	<u>Página</u>
1. Caracterización físico-química de los suelos estudiados	25
2. Desprendimiento acumulativo de CO ₂ y acumulación de nitratos (33 días, 28°C, hum. equiv.) en un suelo aluvial (La Platina)	26
3. Materia orgánica humificada en suelos ñadi Huíno-Huíno y trumao San Fabián, expresada en poder reductor	27
4. Dinámica estacional de la degradación de celulosa "in situ", 5 g de papel filtro/bolsa de malla nylon enterrada en 3 niveles de un suelo ñadi (Huíno-Huíno), el 13.9.68	28
5. Mineralización del C orgánico, medida por el desprendimiento de CO ₂ acumulativo bajo incubación a 28°C y a la humedad equivalente durante 60 días, de 100 g de hojarasca del bosque natural ñadi (Huíno-Huíno)	29
6. Efecto del P (16000 ppm) sobre la respiración: mg de C liberado adicionalmente por 100 g de suelo ñadi y tasa de mineralización Incubación de 30 días a 28°C y a la humedad equivalente	30
7. Humificación del aserrín de coigüe (Osorno). Poder reductor de los extractos (pirofosfato 5% y NaOH 0,1 N)	31
8. Poder reductor del extracto acuoso, en ml de tiosulfato 0,1 N por 100 g de material, y pH de los extractos de hojarasca de coigüe incubada a 28°C a la humedad equivalente	32
9. Suelo aluvial (La Platina): poder reductor, en ml KMnO ₄ N/10 por 10 g de suelo, ocho meses después de la incorporación de C (paja) y N orgánico (ver cuadro 2). Extracción por pirofosfato 5% y luego por NaOH 0,1 N	33
10. Rendimiento, en kg/10 m ² , promedio (ver cuadros 2 y 9)	33

LISTA DE FIGURAS

1. Comparación de nitratos	37
2. Dinámica del N amoniacal y nítrico en un suelo ñadi	39
3. Acumulación de nitrógeno amoniacal y nítrico en un suelo trumao	41
4. Desprendimiento acumulativo de CO ₂ en suelo trumao	43
5. Desprendimiento acumulativo de CO ₂ en suelo ñadi	45

Capítulo 1

INTRODUCCION

Actualmente la microbiología de suelos tiene como meta principal el obtener el conocimiento de las interacciones sinecológicas entre una población determinada y el medio ambiente físico-químico y climático, considerando el suelo no sólo como el habitat de la microflora, sino como un sistema integrado ecológico y bioquímico.

Es así como en este programa se da prioridad al análisis de las actividades de microorganismos que siendo taxonómicamente diferentes cumplen una determinada función metabólica común, lo que hace posible explorar el efecto activador o limitante que ejercen los factores del medio ambiente, aislados o en combinación.

Bajo este enfoque se considera fundamental conocer los efectos producidos por el manejo del suelo y las modificaciones energéticas y químicas inducidas por las aplicaciones de fertilizantes sobre la actividad global de la micropoblación, dándole al análisis bacteriológico (fisiológico y taxonómico) una importancia secundaria.

La investigación realizada está íntimamente relacionada con los programas de fertilidad y reconocimiento de suelos, cuya finalidad principal es contribuir a dilucidar los problemas que actualmente presenta el uso y manejo de los principales tipos de suelo chilenos, al nivel del agricultor y aun de la planificación agropecuaria, para llegar a una explotación racional y a la conservación de los recursos naturales.

Se trata así de mejorar y aumentar la producción a través de un mejor conocimiento de los mecanismos biológicos de la productividad. Una parte importante del trabajo se hizo en relación a los programas de fertilidad de suelos que investigan los factores de productividad en trigo; así, los resultados de variación de nitratos, durante el período vegetativo de este cereal, pueden ser utilizados por ese grupo de trabajo.

La ejecución misma del programa se basó en los siguientes fundamentos:

1. Considerar que el balance bioquímico (transformaciones, flujo de energía) en esta fase del trabajo es más importante que aspectos taxonómicos o numéricos.
2. Comenzar con materiales técnicos locales, trabajar con equipos sencillos, lo que permitirá preparar un equipo de trabajo que comprenda los problemas fundamentales y para quienes el trabajar con instrumentos perfeccionados no signifique sino un aumento de precisión y de rendimiento.
3. Experimentar bajo condiciones de campo, repetir los análisis en el ciclo estacional y complementar este trabajo con investigaciones bajo condiciones controladas en el laboratorio.
4. Estudiar mecanismos fundamentales, teniendo como meta la obtención de resultados que se pueden aplicar a problemas de la agricultura.

En general, se estudiará la dinámica de los ciclos de elementos esenciales como C, N, P, en el transcurso de las estaciones y se relacionará con las modificaciones del medio ambiente a través de ensayos de tipo factorial, en que se varían los factores del medio ambiente (temperatura, humedad) y los substratos.

Los mecanismos estudiados son los siguientes:

a) Economía del nitrógeno

1. Mineralización del N orgánico natural o aportado (alanina, gelatina) que es un índice de la actividad heterotrófica.
2. Acumulación de nitrógeno nítrico. (Índice de la actividad autotrófica en aerobiosis).
3. Reducción desasimilativa de los nitratos = desnitrificación. (Índice de actividad de los heterótrofos anaeróbicos facultativos).
4. Reducción asimilativa = inmovilización de los nitratos. (Actividad microbiana global).

b) Economía del carbono

1. Mineralización del C orgánico natural o aportado (piruvato, celulosa, glucosa, restos vegetales) a través de la medición del CO₂ desprendido. (Índice de actividad heterotrófica global).
2. Actividad deshidrogenásica, medida del C aprovechable.
3. Dinámica de la humificación en aerobiosis y en anaerobiosis.
4. Elaboración de compost, usando materiales residuales locales.

c) Economía del fósforo

1. Mineralización del P orgánico (fitina, glicerofosfato).
2. Actividad fosfatásica.

Estas funciones metabólicas han sido elegidas porque es posible medir a través de ellas la aprovechabilidad de la fuente de energía ya sea presente en el suelo en una fecha dada, o aportada, es decir, para averiguar qué efecto ejerce la modulación estacional (meses) y la de más largo período (años) de los factores del medio ambiente sobre el balance de los substratos biógenos.

Capítulo 2

METODOLOGIA

Solamente se puede abordar en forma útil estas investigaciones considerando las actividades metabólicas de los grupos fisiológicos microbianos, al nivel integrado de la actividad bioquímica de la población en su contexto ecológico, y no el análisis descriptivo y numérico.

Se impone, pues, efectuar ensayos en el terreno mismo, por intermedio de los balances metabólicos en tierra y no en medio sintético, procedimiento artificial que no traduce el desarrollo de las reacciones que tienen lugar "in situ".

A través de ensayos factoriales, se pretende:

- a) Aclarar la influencia individual o global, limitante o estimulante de los factores del medio ambiente físico y microclimático.
- b) Analizar la función de substratos definidos, de su naturaleza y de su rol, en el metabolismo telúrico.

Damos gran importancia a los ensayos efectuados en el terreno mismo, obteniendo así una estimación de la actividad actual que depende del efecto de la suma de los factores estacionales comparándola con la actividad potencial observada en condiciones controladas y óptimas en el laboratorio, pudiendo así interpretar la dinámica estacional y por extrapolación prever las trayectorias posibles de evolución.

2.1 ECONOMIA DEL NITROGENO

2.1.1 Estudio de la dinámica estacional de la mineralización del N orgánico, bajo condiciones de campo

Se mide periódicamente, a través del ciclo estacional y en los diferentes suelos, la cuantía de N mineral acumulado.

Para entender mejor los mecanismos que rigen esta acumulación y para establecer los enlaces con el ciclo del C se ha empleado el siguiente sistema:

Se colocan invertidos recipientes con suelo acondicionado, los que son enterrados a la profundidad del muestreo y también a un nivel superior o inferior (La Platina y Nadi).

A tal efecto se utilizan tarros metálicos (10 cm ϕ) de un volumen de 750 ml, llenándolos de suelo tamizado a 2 mm, ajustado a la humedad deseada (80% de la humedad equivalente). Se colocan mallas finas de nylon antes de cerrar los tarros con sus tapas a las cuales se les hace un hoyo central de 6,5 cm de diámetro.

Además se aplican substratos elegidos (alanina o gelatina, paja molida o piruvato, fosfato) solos y en combinación. Ha sido el caso para los suelos trumao, rojo arcilloso y aluvial La Platina. Para los otros suelos aluviales y el ñadi se experimentó con el suelo natural. En general se hacen ocho repeticiones, que corresponden a las fechas de análisis, con suelo tomado al iniciar el ensayo.

En el caso de los suelos aluviales (Calera de Tango, Teno, San Vicente) se trabajó con un diseño algo diferente: se entierra un juego de tarros con suelo natural al iniciar el ensayo. En cada fecha posterior de muestreo se coloca otro grupo con suelo tomado en esa fecha.

Simultáneamente se toma siempre una muestra de suelo natural y se desentierra un tarro de cada fecha anterior, llevándolos al laboratorio donde se les determina el nitrato y se incuban durante \pm 35 días. Durante este tiempo se mide el desprendimiento de CO_2 cada 4 días al comienzo y luego cada 7 días; al final se vuelve a determinar los nitratos.

Se obtiene así 4 tratamientos diferentes:

- 1a. Suelo natural, en completo contacto con el medio ambiente, que tiene almacenado una información bioquímica, reflejando en su comportamiento la influencia de los aportes y extracciones del medio (campo, "in situ").
- 1b. Suelo natural, en condiciones óptimas y constantes de temperatura y humedad, sometido a una aireación activa en el laboratorio ("in vitro").
- 2a. Suelos acondicionados en tarros colocados en el campo. En la fecha del entierro los suelos se desconectan así parcialmente del medio físico-químico y totalmente del medio biótico.

El acondicionamiento del suelo en el tarro y su posición invertida permiten eliminar la competencia por el NO_3 de raíces de las plantas superiores, la lixiviación por la lluvia, la exportación por la microfauna; mantiene tal vez la humedad en el óptimum o muy cerca de él, la temperatura corresponde a la variación ambiental y la aireación es normal ya que la difusión de los gases se efectúa libremente, entre el suelo del tarro y el medio exterior.

- 2b. Suelos provenientes de los tarros (2a.) son colocados en condiciones de campo, llevados al laboratorio en que son sometidos a una activación térmica (28°C constantes) y a una aireación activa. Se pone así en evidencia la capacidad de mineralización de una muestra en una fecha dada, sin que influyan los cambios que modifican continuamente el medio exterior, dando así las condiciones óptimas para la acumulación de nitratos, que refleja la influencia de la localidad, evidenciando tal vez la existencia de un ritmo intrínseco estacional en las actividades de la micro-población.

Para establecer el potencial de acumulación de nitratos, un solo test no es suficiente, es necesario comparar las cuatro curvas resultantes de los tratamientos mencionados (1a, 1b, 2a, 2b) y confrontarlas con las del desprendimiento de CO_2 para llegar a una interpretación adecuada y a una posible previsión de la dinámica del nitrógeno en el suelo. Al terminar el ensayo, con los datos del tratamiento 2a, se dispone de un conjunto de curvas de las que se dibuja una curva idealizada, que es la resultante del promedio de los puntos de cada época de muestreo. Las fechas de muestreo corresponden a etapas fisiológicas bien determinadas de la planta: siembra (S), macolla (M), encañadura (E), floración (F), grano lechoso (GL) y cosecha (C).

2.1.2 Estudio de la mineralización del N orgánico bajo condiciones de laboratorio

En los tratamientos 1b y 2b, previamente mencionados, y en general para medir la acumulación potencial de N mineral, se homogeniza una cantidad de suelo que varía entre 60 g (nadi) y 110 g (suelos aluviales). Se ajusta a un 80% de la humedad equivalente y se agregan eventualmente substratos (N orgánico, C orgánico, P). Se incuban a 28°C una serie de muestras en frascos Erlenmeyer de 500 ml, tapados con algodón o en bolsitas de polietileno. Se extrae con KCl 2N una muestra, en general cada 5 días en el transcurso de los 35 días del experimento. El N mineral se mide según J. M. Bremner y D. R. Keeney (Analyt. Chim. Acta 32: 485-495, 1965): arrastre por vapor del NH_4^+ desplazado por MgO, recepción en ácido bórico y titulación acidimétrica. Se reduce luego el nitrato con aleación Devarda y se repite el procedimiento.

La tasa de mineralización del N orgánico es el porcentaje del N total que aparece como N mineral en un período determinado. Es tanto más alta en los substratos orgánicos que son más susceptibles a la biodegradación.

2.1.3 Desnitrificación

La reducción desasimilativa de los nitratos se determina tomando 50 g de suelo (tamizado y mezclado con diversas dosis de nitrato) poniéndolo en bolsas de polietileno, saturándolo con agua, extrayéndole el aire, incubando a 28°C y determinando los nitratos periódicamente, como ya se mencionó. Salvo que KCl se agrega como sal para llevar la fase líquida a una concentración 2N.

Este tipo de metabolismo que conduce a un desprendimiento de N_2 molecular funciona en la medida en que haya un substrato energético disponible, teniendo así una evaluación de la tasa de substratos energéticos aprovechables ya sea naturalmente presentes en el suelo o bien provenientes de substratos aplicados de acuerdo a la finalidad del ensayo (glucosa, piruvato, paja, compost).

El efecto del catión acompañante se mide variando el catión del nitrato.

2.2 ECONOMIA DEL CARBONO

La mineralización del C orgánico, es decir, la actividad respiratoria de la micropoblación del suelo que se mide por el desprendimiento de CO_2 , es un reflejo de la actividad biológica global. Su importancia ecológica es fundamental, puesto que por una parte traduce el nivel de reactividad biológica y por otra integra el efecto de los componentes del habitat.

Se justifica así su empleo como índice de fertilidad biológica global.

El CO_2 se mide periódicamente en muestras de \pm 110 g de suelos aluviales y de \pm 60 g de suelos volcánicos, colocados en frascos Erlenmeyer de 500 ml. El CO_2 acumulado es arrastrado por succión a través de una solución de barita, donde el CO_2 precipita como carbonato de bario. La diferencia entre el blanco y la muestra titulada con ácido oxálico N/22 en presencia de fenolftaleína, nos da la cantidad de CO_2 desprendido; 1 ml de ácido gastado equivale a 1 mg de CO_2 . La depresión aplicada asegura una extracción completa del gas carbónico y una renovación del aire en los microporos.

La tasa de mineralización del C orgánico, $\frac{C (CO_2) \times 100}{C \text{ orgánico}}$, es tanto más alta en los substratos orgánicos que son más susceptibles a la biodegradación, por eso permite comparaciones sobre una base fisiológica y bioquímica, mientras que la mineralización establecida en base a un peso o volumen de suelo es un valor ecológico.

La actividad deshidrogenásica se mide utilizando el método de la reducción del cloruro de trifeniltetrazolium a formazan rojo, extraído con metanol, tetracloruro de carbono y acetona, leyendo la densidad óptica a 485 nm (A. Thalmann: Diss., Landw. Fak., Univ. Giessen, 1967, 243 p.).

La actividad celulolítica durante el ciclo estacional, se establece enterrando bolsas de malla de nylon con 5 gramos de papel filtro a varias profundidades. La pérdida de peso, con las correcciones necesarias proporciona la velocidad de transformación.

La síntesis y evolución de sustancias humificadas a partir de material vegetal (en el laboratorio y en parvas de compost) en oxibiosis y anoxibiosis, se sigue a través del tiempo por la medición del poder reductor. (R. Jarriger: Ann. Biol. anim. Biochim. Biophys. 1 (2), 163-212, 1961).

La dinámica del humus del suelo se estudia de acuerdo al método de extracción, separación y caracterización de Ph. Duchaufour y F. Jacquín. (Bull. Ec. Nat. Agron. Nancy 8 (1): 3-24, 1966).

2.3 INTERACCION ENTRE LOS CICLOS DEL NITROGENO Y DEL CARBONO

La interdependencia entre estos ciclos se manifiesta a través del fenómeno de inmovilización biológica del nitrógeno mineralizado y de la reducción desasimilativa de los nitratos, procesos cuya intensidad es determinada por la cantidad y calidad del carbono presente. En el primer caso el nitrógeno permanece en el sistema, almacenado en la masa protoplásmica de los microbios; en el segundo, se pierde como nitrógeno gaseoso hacia la atmósfera.

La dinámica de la inmovilización del N mineral se hace accesible por el análisis de la dinámica del desprendimiento de CO_2 : a cada fase de inmovilización corresponde, en proporción y forma, un pico de actividad respiratoria.

2.4 ECONOMIA DEL FOSFORO

La mineralización del fósforo orgánico se mide por el desprendimiento de CO_2 y por la determinación de fósforo orgánico residual. (F.E.G. Harrap: J. Soil Sci. 14 (1): 134-143, 1963, N.C. Mehtan et al.: Soil Sci. Soc. Am. Proc. 18: 443-449, 1954). La actividad fosfatásica se determina por el método del difenil fosfato, midiendo el fenol liberado en el ultra violeta (290 nm). (G. Braweman, E. Chargaff: Biochim. Biophys. Acta 15: 549, 1954).

Capítulo 3

BIOGEOGRAFIA, CLIMA Y SUELOS DE LAS AREAS ESTUDIADAS

En cada región biogeográfica existe una correspondencia entre el conjunto de los elementos climáticos (de mayor significado para los organismos) y la fisionomía de la vegetación, del suelo y de la fauna que en su totalidad condicionan un ambiente de características definidas como "zona de vida" o biocora.

Todas las comunidades biológicas sometidas al mismo clima tienden a dar una respuesta homóloga, lo que resulta en el establecimiento de un estado climax en equilibrio con las condiciones ambientales dominantes. Este estado constituye el término de la secuencia de cambios progresivos, estructurales y funcionales, que se define como "sucesión ecológica".

El arte de la agricultura conservacionista consiste precisamente en reemplazar la cobertura vegetal por cultivos sin que el desplazamiento del equilibrio dinámico natural sobrepase la tolerancia del ecosistema. Rotaciones y manejo son prácticas muy importantes, pues aseguran una diversidad de la calidad química del humus que se acerca al grado de complejidad máximo que tiene la formación climax.

En microbiología del suelo, es fundamental relacionar estudios de actividad con el concepto de zonación bioclimática, porque la fuente de energía para los microbios es la biomasa vegetal, cuya cantidad y calidad dependen del clima y del suelo.

Chile tiene, tanto en su extensión norte-sur, como en la variación altitudinal oeste-este, una diversidad excepcional de áreas ecológicas. Así, la duración del período favorable o de mayor actividad biológica varía en un rango muy amplio, lo que se refleja en el nivel de la productividad biológica global de cada biocora.

La actividad vegetativa reducida por el frío o por la aridez influye, según su ubicación estacional, sobre los consiguientes procesos de producción primaria.

En general, se puede decir que en la zona del "Bosque Valdiviano", se producen condiciones climáticas favorables al desarrollo de la vegetación durante todo el año; hacia el norte, la disminución de la humedad (lluvia) y hacia el sur la disminución de la temperatura, crean condiciones adversas.

De acuerdo con este concepto de zonación, se eligieron suelos en diferentes áreas ecológicas, a saber:

- a) Región mediterránea árida: El Palqui (provincia de Coquimbo)
- b) Región mediterránea semiárida: Santiago, suelos aluviales de la Serie Maipo
- c) Región mediterránea subhúmeda: San Vicente (provincia de O'Higgins), vertisoles, Teno (provincia de Curicó)
- d) Región mediterránea húmeda: Santa Bárbara (provincia de Bío-Bío), trumao
- e) Región mediterránea perhúmeda: Los Negros (provincia de Osorno), ñadi

El cuadro 1 muestra las características de los suelos estudiados. Estos suelos han sido descritos por Roger Langohr (informe inédito).

La caracterización del clima resalta de la relación entre el promedio mensual de la temperatura del aire y de las precipitaciones (hiterógrafo), y de la humedad atmosférica (climógrafo). En la escala de temperaturas se eligió el valor de 10°C para dividir los sistemas de coordenadas en dos mitades superpuestas, por corresponder a un punto térmico de vital importancia para el desarrollo de las praderas y por lo tanto, indirectamente, para la existencia del ganado.

En el Llano Central, el progresivo incremento de la aridez hacia las regiones septentrionales condiciona la aparición de la tendencia mediterránea en que la actividad biológica queda en latencia en verano y en donde el período favorable (aumento progresivo de las precipitaciones hacia los meses de invierno), que naturalmente es restringido, se alarga artificialmente por el regadío.

La amplitud térmica es moderada, extendiéndose entre extremos generales de 6,8°C hasta 22,5°C en un rango de oscilación promedio igual a 12,3°C. El tenor higrométrico es 53% en verano, aumentando hasta un 86% en invierno.

Las características térmicas y pluviométricas determinan "períodos favorables" que comprenden tres meses y son aquellos que tienen temperaturas medias superiores a 10°C, o bien índice de De Martonne igual o superior a 20.

Se conjugan ahí condiciones óptimas de temperatura y precipitación, determinantes del desarrollo de las diversas formaciones vegetales.

En muchos suelos del Valle Central en la zona de Santiago, una aireación deficiente debida a una compactación excesiva impone una anoxibiosis relativa que afecta al desarrollo de las funciones metabólicas de los microbios. Además, debido al manejo que han tenido estos suelos, la tasa de humus es demasiado baja, es decir, el equilibrio biológico natural ha sido desplazado y es frecuente encontrar suelos con serios problemas sanitarios (nematodos, Fusarium sp., etc).

Los suelos intrazonales del grupo vertisoles (San Vicente) tienen características muy particulares: la materia orgánica humificada, que es elaborada sin restricción, es estabilizada al ser distribuida de manera muy homogénea y absorbida por el complejo coloidal arcilloso que contiene montmorillonita.

La dinámica estacional de la mineralización del N orgánico, de la acumulación de N mineral y de la inmovilización han recibido particular atención. Sus vinculaciones con el ciclo del C orgánico se han estudiado a través del intercambio respiratorio.

Los ensayos se ubicaron esencialmente en áreas en donde el desarrollo simultáneo de ensayos de fertilidad podía dar más información.

Los suelos derivados de cenizas volcánicas tienen en Chile una gran extensión. Son biológicamente muy poco conocidos y presentan rasgos particulares debido a sus componentes mineralógicos (alofán, aluminio) que se supone que interfieren en la mineralización del humus, en la disponibilidad del P, en la dinámica del N amoniacal.

Los trumaos son caracterizados por una excelente percolación, régimen hidrológico que asegura condiciones óptimas de oxibiosis en el transcurso de las estaciones. Tienen alto poder de retención de agua al punto de marchitez permanente, y alto contenido de materia orgánica humificada.

Se eligió el suelo Santa Bárbara, por ser un trumao típico de la pre-cordillera.

Los suelos rojos arcillosos son derivados de cenizas más antiguas, tienen haloisita y menos alofán que trumaos o ñadis. Están altamente sujetos a la erosión, después de haber sido sometidos a un prolongado monocultivo. El suelo Corcovado es un rojo arcilloso enterrado bajo trumao.

Los ñadis son suelos de carácter hidromórfico, la inundación periódica (invierno) dificulta el manejo y el uso de estos terrenos que hasta aquí están lejos de alcanzar el nivel de productividad que podrían eventualmente tener.

El clima regional de la zona de Osorno difiere mucho del de Santiago. Posee una oscilación térmica anual menor (extremo 6,5°C y 18,7°C), con una oscilación promedio igual a 9,1°C, producto de cierta influencia oceánica. También las temperaturas medias inferiores a 10°C se presentan en un mayor número de meses. En cuanto a las precipitaciones, la clasificación como "per húmeda" no radica en una mayor precipitación lograda en invierno, sino en la mayor pluviosidad anual (más o menos 1 700 mm), pues en los meses de verano las lluvias no son menores de 18 a 36 mm mensuales, mientras que en los meses de otoño y primavera no bajan de los 45 mm. La repartición estacional es la siguiente: 30% en otoño, 35% en invierno, 20% en primavera y 15% en verano.

La humedad relativa del aire fluctúa alrededor de 82% (76-87).

El período favorable en la zona del bioclima del bosque valdiviano (selva higrófila templada) se extiende a lo largo de casi todo el año; los elementos dominantes en las biocenosis son de tipo higrófilo y mesotérmico.

Capítulo 4

CONCLUSIONES

4.1 EVALUACION DEL POTENCIAL BIOLOGICO EN SUELOS DE DISTINTOS GRUPOS

4.1.1 Suelos aluviales

Los ensayos realizados en suelos aluviales de la Zona Central mostraron que existe, bajo condiciones de campo, una micropoblación de número restringido que ve sus funciones limitadas por un déficit en C orgánico. Como hay un substratum energético limitado, la microflora heterótrofa lleva a cabo su metabolismo a un ritmo reducido; la amonificación es restringida por el nivel de N orgánico disponible, lo que a su vez determina una nitrificación escasa.

Sin embargo, la cuantía de nitratos acumulados se encuentra en relación manifiesta con la tasa de nitrificación, debido a que la reducción asimilativa es regida por la débil tasa de C orgánico disponible: la población no varía sino en un rango reducido (figura 1).

Es obvio, así, que cualquier aporte de substrato orgánico (abono orgánico compostado, residuos de cultivos o excreciones radiculares) en el ciclo estacional, y siempre que las condiciones hídricas lo permitan, da lugar a una activación metabólica que es función de la susceptibilidad a la biodegradación del material (cuadro 2).

Experimentos de laboratorio para una actividad en aerobiosis, bajo condiciones óptimas de humedad, de temperatura y de substratos, demostraron que la micropoblación presente es potencialmente muy activa. A una mineralización acrecentada de C orgánico corresponde una mayor acumulación de N mineral y también una mayor inmovilización biológica del N mineralizado.

Un aporte de C fácilmente aprovechable vigoriza este fenómeno y desplaza ampliamente el balance hacia la inmovilización. Si bien esto se manifiesta con efecto depresivo sobre el rendimiento inmediato de los cultivos, representa una medida de conservación en vista de la reposición de la reserva húmica a un nivel que corresponde a la zona climática.

El efecto generalmente favorable de una fertilización de cultivos con N mineral se explica porque esta substituye a la función natural deficiente. No tiene influencia sobre la actividad de los microbios porque ya el N disponible naturalmente no limita mayormente a ésta. Si se emplea N orgánico, una fuerte inmovilización por microbios competirá con las exigencias de los cultivos.

Se destaca aquí la noción de fertilidad de un suelo para microorganismos heterótrofos que está ligada primordialmente a la presencia de substratos energéticos aprovechables, opuesta a la noción de fertilidad para plantas superiores que depende de la disponibilidad en elementos, como N y P, en su forma mineral; sin embargo, aquí también interviene el C, por las propiedades intrínsecas del humus; conservación de estructura, diversificación de la micropoblación, lo que dice aumento

probable de los antagonistas contra fitopatógenos y más fácil mineralización de elementos orgánicos.

Experimentos de reactivación con substrato energético mostraron hasta qué nivel el C es el factor limitante.

En total, en los suelos aluviales examinados, los ciclos C y N son estrechamente interdependientes. Conviene aportar un abono orgánico que se integre paulatinamente al suelo, tal como compost o estiércol bien humificado, porque un aporte de C húmico no conduce a una inmovilización excesiva del N mineral y equilibra las funciones bioquímicas y biológicas en el sistema suelo.

4.1.2 Vertisoles

Los vertisoles no necesitan tal aporte, tienen un nivel suficiente de C humificado. Pero como éste se encuentra estrechamente ligado al coloide mineral muy hidrófilo, el problema es de evitar fases de anaerobiosis que pueden originar metabolitos tóxicos por fermentación, durante el período que favorece el desarrollo vegetal. Esto requiere formas de manejo particular. El período de mayor actividad biológica es amplio, sólo limitado, de hecho, por temperaturas bajas.

Estarían en operación, en los vertisoles, mecanismos particularmente estables de regulación del sistema biológico (figura 1).

Los suelos de la Zona Central tienen, en su mayoría, un alto potencial biológico natural, pero han sido sometidos a formas de manejo y de riego muy deficientes. En la zona de clima mediterráneo semiárido y subhúmedo, en donde se acorta artificialmente el período de diapausa (o actividad reducida) por el regadío, éste debe ir acompañado de patrones de fertilización ecológicamente fundados. En tal sentido, la dinámica de las actividades microbianas es todavía insuficientemente conocida.

4.1.3 Suelos derivados de cenizas volcánicas

El metabolismo, actual y potencial, en estos suelos ha sido el objeto de investigaciones relacionadas con las interrogantes siguientes: tamaño, diversidad y actividad de la micropoblación y su variación estacional en condiciones naturales, reactividad bajo condiciones controladas, factores que frenan la mineralización de compuestos orgánicos "in situ".

La materia orgánica degradable recién incorporada al suelo y la hojarasca depositada sobre él, humifican rápidamente cuando las condiciones hídricas y térmicas son favorables. Aquí se presentan ya diferencias según la ubicación climática de los suelos volcánicos: aparición y extensión del período seco anual en el eje S-N, y existencia de gradientes térmicos y de precipitación desde la altitud cordillera al Llano Central.

Es un hecho de observación que las condiciones ambientales de los suelos rojo-arcillosos, trumaos y nadis favorecen una cierta acumulación de humus, bajo la vegetación climática (cuadro 3). Esto se debe esencialmente a que los compuestos humificados de tamaño molecular reducido son fuertemente absorbidos por el coloide arcilloso alofán y estabilizados en forma de quelatos con aluminio: 300 mg por g de C de la fracción fúlvica en un suelo nadi. En ambos casos, los ácidos fúlvicos son difícilmente accesibles a la actividad catabólica microbiana.

La mineralización de materia orgánica fresca (celulosa) (cuadro 4) y humificada (cuadro 5) está frenada "in situ" por exceso de humedad invernal en los ñadis y por falta de agua en verano en los trumaos en las ubicaciones más boreales. Esta diferencia podría tener amplias proyecciones en los patrones del metabolismo húmico y de materia orgánica en general, estimulado por alternancias en el microclima del suelo.

La fracción carbono en el N y P orgánicos es sometida a las mismas normas que el C de los hidratos de carbono en cuanto a humificación y mineralización se refiere. Pero existe el hecho para el N orgánico que su mineralización se traduce por una evolución adicional de CO_2 que indica una inmovilización del N mineralizado, a pesar de que una gran parte del NH_4 producido por amonificación sea ligado por el complejo alofán, en una forma difícilmente alcanzable por los microbios.

En el transcurso de la mineralización de P orgánico es liberado P mineral que a su vez desplaza una cantidad de C sorbido por el alofán, que se suma a la fracción de C orgánico de los compuestos P iniciales. El C desorbido mineraliza muy fácilmente, lo que comprueba la existencia en los suelos volcánicos de una reserva de humus potencialmente aprovechable pero protegida contra la biodegradación por su enlace con el alofán (cuadro 6).

La preparación de compost, a partir de aserrín de coigüe no presentó problemas, siempre que se agregara cal de conchas particularmente de ostiones, debido a su contenido en apatita y salitre potásico. Esto demuestra también que aun en la zona climática perhúmeda de los ñadis, el proceso de humificación fuera del suelo funciona con excelente rendimiento (cuadro 7). Queda por experimentarlo en dos zonas de trumao (Temuco, húmedo y San Fabián, con período seco).

El efecto de aplicación de compost en los suelos ñadis consiste en un aumento notable de la actividad microbiana global, una menor exigencia de P, una mayor inmovilización del N mineral en forma de proteínas microbianas y a la vez una mayor acumulación de nitratos. Todo esto se ha reflejado en una mayor productividad en papas, cultivo conocido como humfivoro, lo que implica una buena aprovechabilidad del humus artificial aportado. Conviene profundizar los ensayos en este rubro.

Las condiciones hídricas revisten una particular importancia en la economía del humus. En los ñadis, la oscilación de la napa freática hace alternar condiciones de oxi y anoxibiosis, mientras que al otro extremo en los trumaos sometidos a un período seco alternan condiciones de óptima actividad biológica aeróbica y fases de detención.

En los ñadis, el alofán queda permanentemente en estado de gel mientras que en los trumaos situados en el límite norte hay tendencia a una evolución y transformación en arcillas cristalinas.

Se confirma para suelos volcánicos lo que postulan Duchaufour, Dommergues y Kha ^{1/} en otros suelos: la alternancia de períodos secos y húmedos a la vez que aumenta la sensibilidad de la materia orgánica fresca y de la humina a la oxidación microbiana, aumenta el grado de polimerización, por neoformación a partir de ácidos fúlvicos y húmicos, de ácidos húmicos grises, estables y resistentes a la biodegradación. En total aumenta la tasa relativa en fracciones estables de la materia orgánica residual del suelo. Es el balance de estas acciones, en sentido opuesto, el que determina la posición del equilibrio húmico.

^{1/} Nguyen Kha, Ph. Duchaufour: Etude comparative de l'évolution de la matière organique du sol en conditions tempérées et tropicales. *Pédologie* 19 (1): 49-64, 1969.
 Nguyen Kha, Y. Dommergues: Influence de l'hygrothermo-périodisme sur la stabilité de la matière organique du sol mesurée par respirométrie. *Science du sol* 1: 53-62, 1970.

Un estudio detallado de los dos procesos es indispensable en modelos tal como lo hicieron los autores, para establecer patrones de manejo que aseguren la conservación del potencial de fertilidad de los suelos volcánicos.

Cabe recordar que la evolución del alofán en arcillas cristalinas disminuye el poder sorptivo y permite la liberación de una gran parte de los compuestos energéticos fijados. La excepcional fertilidad, hoy vencida por sobre-explotación, de los suelos rojo-arcillosos se debería en parte a este fenómeno.

Ensayos factoriales en condiciones de laboratorio y también de campo mostraron la influencia que ejerce sobre la micropoblación un aporte de fertilizantes (figuras 2, 3, 4 y 5).

El N mineral generalmente no tiene efecto pues hace falta el C orgánico aprovechable que permitiría una inmovilización o una desnitrificación.

El N orgánico es mineralizado fácilmente y la nitrificación es activa. El proceso de amonificación no es frenado por niveles altos de aluminio, que atrasan la nitrificación.

El P mineral ejerce su influencia de desplazamiento de substratos energéticos del alofán a partir de niveles muy altos que no ocurren en el terreno sino micro-topográficamente. La actividad biológica lograda demuestra, sin embargo, la presencia de fuentes de energía teóricamente aprovechables pero difícilmente accesibles a los microbios bajo condiciones del campo.

El P orgánico ejerce el mismo efecto, aun reforzado por la liberación del C orgánico del substrato.

El C nativo mineraliza según una tasa reducida pero constante bajo condiciones de incubación óptimas, lo que traduce una regulación del sistema suelo a través del ciclo del C.

No ha de sorprender que incubaciones en anaerobiosis no llevan sino a una reducción desasimilativa de los nitratos poco activa en ausencia de suplementos del C aprovechable. Tampoco hay una fermentación que produzca ácidos grasos volátiles. Esto comprueba que en suelos de cenizas, los substratos energéticos no son disponibles, sino en pequeña cantidad, para los microbios.

Notamos que en ensayos de humificación y de mineralización controlada de la hojarasca de las especies significativas de la vegetación climática se destacó la posición singular del coigüe y de la acidez de sus extractos acuosos (cuadro 8). La fermentación, en condiciones de anoxibiosis, es limitada aquí por falta de N.

Ensayos de reactivación sucesiva demuestran que si el C efectivamente aprovechable es el mayor factor limitante en los ecosistemas climáticos, un aporte de N llega a ser indispensable en condiciones de cultivos.

En relación con el ambiente físico del suelo se hizo evidente una notable resistencia al frío de la micropoblación de los suelos ñadis, que bajo el clima actual no hielan: se trataría de una aptitud relictual.

La respuesta a un aporte de agua, del punto de marchitez permanente a la saturación mostró en todos casos en la prueba de respiración, incrementos de fuerte pendiente al principio, un amplio plateau antes de la humedad equivalente, un descenso lento luego de este nivel y un nuevo aumento con la saturación. Esto indica que el desecamiento ejerce una influencia nítida sobre la accesibilidad de los substratos energéticos ocluidos.

En la secuencia de los ñadis: bosque virgen climácico - pasto natural luego del desmonte y roce a fuego - cultivo, sólo ha sido estudiado exhaustivamente hasta el presente el bosque natural. El C es más limitante que el N, el aluminio presente no influye sobre ninguna actividad microbiana, los elementos N, P y minerales no salen del sistema. En cultivos, hay una salida de elementos entre los cuales el N tiene que ser repuesto, de preferencia en forma de urea o de NH_4 . El K y diferentes microelementos (B) también llegan a hacer falta.

Un aporte de NO_3 consume energía, ya escasa, para su reducción asimilativa y además es lixiviable. Un aporte de NH_4 , poco utilizado por los microbios que carecen de C, es almacenado por sorción en el complejo alofán. De ahí es liberado paulatinamente para proteosíntesis microbiana, nitrificación y absorción radicular.

Resulta que toda fertilización se debe hacer de acuerdo a un hondo conocimiento de la dinámica ecológica de las diferentes actividades microbianas, del "turn-over" del humus y de los elementos biógenos. Es aún más importante aquí, para una agricultura racional, que en suelos aluviales, puesto que la fase de inactividad se sitúa para los ñadis en invierno y para los trumaos más evolucionados en verano.

Los experimentos de percolación de suelo con extractos vegetales acuosos o con fracciones humificadas de tamaño molecular definido, se ampliarán en diseño factorial para entregar una visión de la posible evolución de los suelos de cenizas en función de los cambios en la naturaleza química, densidad y productividad estacional de la cobertura vegetal.

4.2 CONFRONTACION DE LA DINAMICA DE C-N-P EN SUELOS ALUVIALES Y EN SUELOS DERIVADOS DE CENIZAS VOLCANICAS

4.2.1 Ciclo del carbono

Existe un déficit efectivo y permanente en C aprovechable que limita la actividad microbiana en ambos grupos. Para los suelos aluviales estaría ligado a la forma de manejo:

- activación de la mineralización del C orgánico por riego, que también extiende el período favorable para el desarrollo de plantas a épocas de reposo en las condiciones climáticas mediterráneas.
- ausencia general de un aporte de C orgánico al campo cultivado.
- cultivos agotadores y monocultivos.

Para los suelos de cenizas, a pesar de estar presente en gran cantidad el C húmico lábil, es difícilmente aprovechable, siendo absorbido por el alofán.

En ambos casos, un aporte de compost o de formas orgánicas de otros elementos (N, P) logra una activación considerable de la respiración, es decir, de la actividad metabólica global de los microbios. En su forma mineral, el nitrógeno no influye sobre esta actividad, o a veces ejerce un papel depresivo. Esto indicaría que el elemento limitante es, en la actualidad y en todos casos, el carbono aprovechable.

La actividad biológica potencial es muy alta para los dos suelos. Los suelos aluviales de la Zona Central se encuentran en una ubicación climática muy favorable a la conservación de la reserva húmica; en el invierno, húmedo, predominan los procesos de humificación sobre aquellos de degradación, por causa de temperaturas relativamente bajas. Pero, en verano, en vez de la fase mediterránea de inactividad biológica, el cultivo con riego, junto a temperaturas relativamente altas, favorece procesos de deshumificación. Por eso una compensación, en forma de abono, devuelve con seguridad a estos suelos su nivel de fertilidad natural.

De aquí se desprende que quedaría por hacer un estudio detallado del efecto del riego sobre las actividades microbianas: caudal, frecuencia, calidad química, temperatura de las aguas que ejercen un papel fundamental sobre el balance húmico del suelo aluvial y la regulación del ciclo del nitrógeno. Un manejo adecuado del régimen de las aguas de riego contribuye a la conservación del humus.

Los suelos de cenizas pertenecen a ecosistemas complejos, a veces relictuales, muy estables y fuertemente regulados, bajo la cobertura vegetal de bosque climácico y de pasto permanente. El desmonte, la aradura y el drenaje excesivo inducen un balance hídrico negativo que tiende a modificar irreversiblemente el complejo alofán por desecamiento. Esto libera materia orgánica fácilmente aprovechable por los microbios, hasta el agotamiento, tal como ha ocurrido con ciertos suelos rojos arcillosos. Por otro lado, la gran biomasa que corresponde a la vegetación natural de los suelos de cenizas tiene una productividad en C orgánico que los desechos naturales de cultivos están lejos de compensar. La solución no consiste en tratar de disminuir las propiedades sorptivas del alofán, ni en desplazar el C sorbido, pero sí en aportar una dosis de C orgánico que se asemeje a la producción de la vegetación original. El aluminio no llega a ejercer un papel tóxico, siempre que alcance la cuantía de compuestos complejantes, esencialmente fúlvicos como se presentan en los suelos derivados de cenizas volcánicas.

4.2.2 Ciclo del nitrógeno

En todos los suelos que se analizaron se encontró que las funciones de amonificación y de nitrificación eran muy activas en relación a la tasa de N orgánico presente.

Para algunos suelos volcánicos estos resultados están en oposición a aquéllos obtenidos por autores que no consideraron la incidencia de procesos de inmovilización del N mineral en el transcurso de una mineralización activada por incubación ^{1/} o que usaron como medio de cultivo una solución salina ^{2/}. La ausencia selectiva de nitrificadores y nitratores traduciría, de hecho, un ciclo de N imperfecto lo que es rechazado por los experimentos aquí presentados sobre la dinámica del N en el suelo.

Numeraciones y actividad de gérmenes en medios sintéticos no corresponden a una meta ecológica, pues se obtienen resultados ajenos al habitat natural de los microbios.

^{1/} Rodríguez D.: Tesis Ing. Agr. Universidad de Concepción Chillán 1962. Hurtado R.: Tesis Ing. Agr. Universidad de Concepción, 1963.

^{2/} Longeri L.: 2º Congreso Latinoamericano Biología Suelos - Brasil, 1969.

La amonificación de N orgánico es muy rápida y activa, y la capacidad de nitrificación alta en los trumaos y ñadis. Niveles altos de aluminio no influyen sobre la amonificación pero deprimen la nitrificación. NH_4 es fuertemente sorbido e inmovilizado, pero es interesante notar que NH_4 , producido por amonificación de N orgánico o NH_4 recién aportado, queda disponible para los nitrificantes. La fluctuación estacional muy marcada de los nitratos acumulados se debe en parte a una modulación de fases de nitrificación y de proteosíntesis. Se estima que la alta respuesta de los cultivos a aportes de N mineral se debe a la competencia producida por la inmovilización microbiana del N orgánico natural mineralizado.

La reducción desasimilativa de los nitratos en condiciones de saturación, es poco activa en el campo por escasez de substratos energéticos aprovechables. Pero es una función potencialmente muy activa, lo que conviene recordar en la formulación de esquemas de abonadura de los ñadis (urea o amonio mejor que nitratos, que además son fácilmente lixiviados, o aporte de nitratos diferido en el tiempo en relación con aportes de P y de materia orgánica). La reducción asimilativa de los nitratos gasta energía aprovechable ya escasa que viene de la reserva húmica; esto también otorgaría preferencia a abonos amoniacales en los ñadis y trumaos.

El estudio detallado del ritmo anual de la acumulación potencial del N nítrico en suelos aluviales y vertisoles mostró una capacidad mínima a fines del invierno, no totalmente debida a la extracción por plantas y no causada mayormente por el proceso de inmovilización biológica. En los vertisoles, particularmente, existiría un ritmo intrínseco de las actividades microbianas (figura 1).

4.2.3 Ciclo del fósforo

No se hizo evidente un efecto sobre la actividad biológica global (respiración) ni sobre la dinámica del nitrógeno en los suelos aluviales que se experimentaron, lo que indicaría que el P no es elemento limitante para las actividades microbianas en este tipo de suelos.

Por el contrario, se observa un aumento del desprendimiento de CO_2 , es decir de la tasa de mineralización del C orgánico, cuando el suelo de cenizas recibe un aporte de P mineral. La dosis, a partir de la cual se logra este efecto, no tiene relación con una exigencia fisiológica de los microbios pero actúa a nivel físico-químico: desplaza C fácilmente aprovechable sorbido por el complejo alofán (figuras 2, 3, 4 y 5).

Además, un aporte masivo de P libera amonio que es rápidamente nitrificado.

En resumen, se hace evidente la estrecha interdependencia entre los 3 ciclos, de los cuales el del carbono tiene mayor incidencia sobre las actividades microbianas heterotróficas, que a su vez proveen en amonio los nitrificadores autótrofos.

4.3 RELACIONES CON LA CLASIFICACION -- RECONOCIMIENTO -- Y ESTUDIOS BASICOS DE SUELOS

Se considera como fundamental, en microbiología y bioquímica del suelo, el estudio de la materia orgánica en sus varias etapas de humificación y de biodegradación.

Con la elaboración del humus, la entropía del ecosistema disminuye, implicando que la complejidad aumenta y que una mayor cantidad de energía queda disponible para el funcionamiento del sistema mismo, o para su explotación. Pero cada salida debe ser compensada por un aporte de energía utilizable, si no la entropía aumenta en relación con la desorganización del sistema.

El humus es un reflejo de la historia del suelo. En su naturaleza integra los impactos del pasado, en forma generalmente atenuada, y la influencia del presente; funciona como una memoria, en términos bioquímicos, y la información así almacenada tiene una proyección sobre la evolución, la orientación de los procesos metabólicos.

Es un factor primordial de estabilidad y de regulación, al cual se dio particular atención en estos trabajos.

- Suelos aluviales: se destacan varios aspectos que dificultan la interpretación de la evolución de estos suelos:
 - la cobertura vegetal natural, climática, ha sido totalmente removida en el Valle Central. No existen, por eso, ecosistemas de referencia a partir de los cuales se pueden apreciar los efectos de las modificaciones antropogénicas sobre las microbiocenosis;
 - existe frecuentemente una salinización y cambios en la granulometría debido al riego. Esto está modificando considerablemente el micromedioambiente;
 - una compactación a cierta profundidad (pie de arado) por efecto de manejo (arados pesados a discos);
 - la tasa de humus ha ido bajando, debido a la explotación irracional. Esto se manifiesta en la desorganización de la estructura del suelo, lo que afecta las condiciones del microhabitat.

Sin embargo, el efecto de la incorporación de material humificado, al igual que la actividad de humificación de substratos aportados al suelo han evidenciado que los suelos aluviales responden a prácticas de conservación (cuadros 2, 9 y 10).

- Suelos derivados de cenizas volcánicas: en la cadena bioclimática de Chile, S-N, las condiciones de saturación permanente desaparecen, apareciendo, en cambio, períodos secos más y más largos. Fases de aireación y de desecamiento inducirían la evolución del gel mineral amorfo en formas criptocristalinas con atenuación y cambio en las propiedades específicas del coloide amorfo. Esta doble transformación está frenada por todas las causas que favorecen la permanencia de humedad y acidez. El efecto del macroclima se refuerza por condiciones de microclimas locales y condiciones topográficas en general. Así, los nadis han permanecido como formación intrazonal, estabilizada, fuertemente regulada y resistente a presiones exteriores al sistema.

El desecamiento, como ocurre naturalmente en los trumaos, o por drenaje excesivo de los nadis, conduce a una modificación del componente arcilloso, la que, por persistir parte de sus propiedades originales, contrarresta un poco una evolución que tendería a ser drástica. Simultáneamente, la capacidad de retención de agua y de intercambio iónico bajan fuertemente; la rehidratación se hace muy lenta o imposible y se forman complejos no, o muy difícilmente, dissociables entre el alofán y los coloides orgánicos. La insolubilización del componente orgánico, que es consecuencia de su adsorción por el alofán, conduce a una acumulación de ácidos húmicos mediante una polimerización catalítica.

Una biodegradación inmediata de los compuestos orgánicos solubles provenientes de la hojarasca en vías de descomposición es impedida, a pesar de un gran potencial metabólico microbiano, por la presencia de cationes que insolubilizan y complejan estos compuestos. En el medio ambiente muy ácido y permanentemente

húmedo de los ñadis, se comprobó que los complejos aluminio/ácidos fúlvicos permanecen solubles y que podrían así ser movilizados y participar en la formación del "fierrillo". Sería esto una manifestación de criptopodzolización superficial en andasoles, en el sentido de Duchaufour. ^{1/}

^{1/} Duchaufour Ph. y Souchier B.: Note sur un problème de classification. Podzolisation chimique et différenciation du profil. Pédologie (Gand) 15 (2): 143-158, 1965.

Capítulo 5

DESARROLLO PREVISTO DE LOS PROGRAMAS

Una primera fase de organización de las actividades del laboratorio consistió en ensayos exploratorios con metas diversificadas para abarcar un amplio rango de problemas y técnicas, en investigación básica y en ensayos de apoyo a otras líneas del Proyecto.

Ahora empieza un programa de investigación aplicada a los problemas de microbiología y de bioquímica del suelo que tengan más impacto, en un propósito de mejoramiento y aumento de la producción, e inquietud de conservación de recursos agrícolas y de fertilidad.

5.1 DINAMICA ESTACIONAL DE NITRIFICACION

Se llevará a cabo en el campo por segunda vez, un experimento que establezca y permita comparar el cambio estacional en la capacidad potencial y actual de acumulación de nitratos en suelos regados y de secano del Valle Central. El conocer esta dinámica permitirá hacer recomendaciones en cuanto a las fechas más apropiadas para aportar abonos nitrogenados.

Los procesos de amonificación y de nitrificación se estudiarán en detalle con la técnica de incubación bajo condiciones controladas y además por la técnica de percolación que permite el establecimiento de la población máxima posible de nitrificadores en un tipo dado de suelo, en una fecha dada, obteniéndose así no solamente índices de gran valor, sino curvas de actividad potencial.

A tal efecto columnas de suelo se percolarán con solución de nitratos, nitritos, amonio o amino-ácidos de concentración y de tasa de flujo determinadas para obtener un índice constante y característico de actividad. Resultados reproducibles son generalmente obtenidos si la columna de suelo es lixiviada antes del experimento, hasta que se varía con las estaciones. Se elimina así la interferencia de fases de inmovilización que enmascaran la marcha de la nitrificación.

5.2 INMOVILIZACION BIOLOGICA DE N MINERAL

La síntesis de protoplasma microbiano a partir de N mineral, es decir, el aumento numérico de la micropoblación, se manifiesta por un "peak" de actividad respiratoria. Este aumento es limitado, naturalmente, por la disponibilidad de material energético; en consecuencia se verifica una modulación de fases de mineralización y de proteosíntesis, regulada en parte por el patrón de movilización de recursos energéticos.

Así, la intensidad de este proceso permitirá establecer el cambio periódico en el nivel de C aprovechable, que regula primordialmente la actividad microbiana. Puesto que plantas superiores y microbios compiten por el N mineral, la inmovilización microbiana de N mineral es un factor importante en fertilidad. Se almacena una reserva de N orgánico que a su vez, induce un aumento de la reserva húmica.

Se investigará el efecto de abonos orgánicos de diferente susceptibilidad a la biodegradación.

5.3 REDUCCION DESASIMILATIVA DE LOS NITRATOS

Se pretenderá establecer con este ensayo "in vitro", mediante repetición en el transcurso del ciclo estacional, el nivel de todo el material energético aprovechable por los microbios, del cual depende directamente la actividad de desnitrificación en ausencia de O₂ atmosférico.

En esta actividad (respiración-nitratos) es utilizado el oxígeno combinado.

Un drenaje inadecuado o un manejo erróneo del riego conducen muy fácilmente a pérdidas de N en forma de gas. La magnitud del proceso depende de la cantidad de C aprovechable disponible. Así se hace evidente el enlace entre el ciclo del N y del C.

La tasa de desnitrificación en su evolución en el tiempo de la incubación y en el ciclo estacional, es un índice de gran significado.

5.4 PRODUCCION DE ACIDOS GRASOS VOLATILES

Procesos anaeróbicos (fermentación) pueden producirse como consecuencia de un mal drenaje o de riego inadecuado. Esta actividad también depende del nivel del material energético disponible para los microbios; ocurre a un nivel de óxido-reducción muy bajo en ausencia de N nítrico. La velocidad del proceso en el suelo sin o con aporte de C orgánico indica el grado de aprovechamiento del humus nativo o del material energético aportado.

5.5 ELABORACION DE COMPOST

Se hará partir de varios tipos de desechos de cultivos, en diseño factorial, para establecer normas de manejo que permitan obtener en el plazo más corto la tasa de humificación más alta. La calidad del producto se comprobará en ensayos de invernadero tanto en macetas como en parcelas, que proporcionarán también la dosis más adecuada para incorporarlo al suelo. Se experimentará además con basura, en el campo y en el laboratorio.

5.6 HUMIFICACION EN PARCELAS

En este ensayo se aportará al suelo paja molida y una fuente de N orgánico, en diseño factorial. El efecto global se traducirá en la producción vegetal (rotación: avena, maíz, papas) y en los procesos biológicos en el suelo que se medirán periódicamente (desprendimiento de CO₂ = mineralización del C orgánico; acumulación de nitratos = mineralización del N orgánico).

Se pretende saber si es posible lograr una reconstitución de la reserva húmica bajo las condiciones climáticas del Valle Central.

5.7 MINERALIZACION DEL C ORGANICO

La medición del desprendimiento de CO_2 bajo condiciones controladas se adoptará de manera general para determinar el nivel de actividad microbiana global. Ensayos de rotaciones cortas-largas, de aprovechamiento de fuentes de C, P, N orgánicos, de efectos de abonos y de manejo sobre la movilización del humus natural, de modulación ambiental (térmica e hídrica): PMP/Hum. y Hum. equiv./saturación.

5.8 ESTUDIOS DE MATERIA ORGANICA

- Se analizará el producto de los ensayos de humificación (compost vegetal, basura) antes de su incorporación al suelo, y se establecerá su valor fisiológico. Esto llevaría a la formulación de patrones de manejo y de uso adecuados.
- El humus del suelo, o sea la materia orgánica humificada en contacto con el coloide mineral del suelo e incorporada de manera homogénea en los suelos forestales y agrícolas, será analizado en detalle: extracción, fraccionamiento, caracterización de las propiedades. Se agregará de este modo un parámetro sumamente necesario para trabajos de correlación y que proporcionará un elemento fundamental para una visión genética en la distribución bioclimática y evolución de los suelos chilenos.

Capítulo 6

OBSERVACIONES Y RECOMENDACIONES

Conviene recordar que las actividades microbianas son elementos fundamentales de la fertilidad del suelo. Como la actividad heterotrófica microbiana depende directamente de una fuente de energía en el suelo, el ciclo del C reviste una importancia capital. Pero, considerando la estrecha interdependencia de los ciclos biogeoquímicos, el metabolismo del C está íntimamente ligado a los ciclos de N, P, S.

Las actividades microbianas equivalen a índices de diagnóstico del equilibrio dinámico del edafón: manejo, abonadura, uso de agua son adecuados cuando mantienen o aumentan la diversidad climática de la microbiocenosis. Esta se obtiene a través del mejoramiento de la calidad y del aumento de la tasa del humus del suelo.

Como línea futura de trabajo del laboratorio, recomendamos dos temas fundamentales:

- dinámica de la materia orgánica en el suelo (humus natural y compost) en relación con los factores del medio-ambiente: estudios de humificación y de mineralización, caracterización físico-química del humus, efecto sobre la producción vegetal, el control biológico de patógenos, la conservación del potencial de fertilidad.
- mecanismos del ciclo del N: dinámica estacional de movilización - inmovilización, en función de los factores que rigen la amonificación y la nitrificación.

El grado de aprovechabilidad de la materia húmica en el suelo tiene suma importancia en la activación de los ciclos de elementos; se refleja y se puede establecer a través de diferentes funciones:

- actividad global de respiración
- inmovilización del N mineral
- reducción desasimilativa de los nitratos, y
- formación de ácidos grasos volátiles

La materia orgánica que se aporta al suelo ha de tener un rango amplio de fracciones de diferente susceptibilidad a la biodegradación, de manera de no provocar un desequilibrio abrupto en el metabolismo. Al contrario, debe integrarse como activador del patrón de metabolismo climático del suelo, salvo en casos en los cuales una reorientación o activación específica parecen deseables.

Como base a las investigaciones en biología del suelo es indispensable adoptar una prospección de sucesión topográfica, cronológica u otra, que implique un aspecto dinámico. Esto no significa una dispersión, sino un estudio de evolución: se vislumbra a lo largo de la cadena, tendencias que permiten por extrapolación, prever la trayectoria más probable de evolución del sistema biológico, y por lo tanto detectar precozmente el efecto de las prácticas agrícolas.

Estudios de biología del suelo, por muy detallados que puedan ser, pero que abarcan solamente aspectos estáticos aislados en el espacio o en el tiempo, no llevan sino a una constelación de resultados, sin el enlace ordenado que contenga información relacionada con los mecanismos de funcionamiento y de regulación.

Por eso mismo se hace muy útil también la exploración de fenómenos biológicos a través de ensayos factoriales que llevan a detectar el orden de importancia de factores que tienen efectos limitantes o activantes.

La misma idea de dinámica se encuentra en ensayos que comparan una actividad actual y potencial "in situ" e "in vitro", un efecto de factores constantes o modulados que estudian las modificaciones microbiológicas a nivel de la rizósfera que acompañan las rotaciones de cultivos, y que establecen el impacto de la interacción de factores del ambiente: físicos, químicos, biológicos y de microclima.

En particular se puede resumir, para los dos tipos básicos de suelos que se estudian:

- Suelos aluviales: en la Zona Central, con excepción de los vertisoles, la tasa de humus es demasiado baja, como consecuencia de un manejo erróneo. El desequilibrio en la micropoblación se manifiesta en un empobrecimiento numérico de la microflora y, más grave aún, de especies. Lo cual significa menos antagonistas contra patógenos, más nematodos, modificaciones de la estructura del suelo, colonización microbiana de la raíz vegetal (rizósfera) deficiente, etc.

Conviene establecer las modificaciones positivas en calidad y cantidad del humus que inducen un manejo adecuado, una incorporación de compost, estiércol, abono verde, paja, un riego adaptado al terreno, un tipo de rotación idóneo.

Destacamos el daño cierto que causa un riego deficiente: forma de mojadura superficial que equivale a una restricción de los niveles utilizables en el perfil, estancamiento de agua (riego por pano tendido) en las partes bajas que induce una fermentación anaeróbica muy desfavorable (desnitrificación, acumulación de metabolitos tóxicos para plantas y microbios aeróbicos).

El efecto del riego, en la zona de clima mediterráneo, o sea de verano seco, equivale a una honda modificación en el microclima del suelo que pasa de semiárido a subhúmedo o húmedo, con frecuente oscilación entre el punto de marchitez y la saturación. Esto implica un reordenamiento profundo en el patrón del metabolismo del suelo. Es muy poco conocida la relación entre esta modulación de las actividades microbianas y la productividad de la vegetación superior.

Se postula que un aporte de compost bien elaborado evita la pérdida de tiempo, es decir, de producción que viene con el barbecho y asegura una más eficaz recuperación. Conviene comparar la evolución en ambos casos de las actividades microbianas.

- Suelos derivados de cenizas volcánicas: en la clasificación de los andasoles chilenos ha de intervenir el estudio detallado de las propiedades de la materia orgánica y de su dinámica. El patrón de distribución en clases de tamaño molecular del coloide orgánico refleja el impacto del desecamiento, natural o artificial (drenaje), y sus consecuencias agrológicas. Para conservar las propiedades del complejo alofán, conviene mantener la humedad (riego en verano), o por lo menos una cobertura vegetal.

Es preciso averiguar en diferentes trumacos, en qué medida un aporte de composte compensa la elevadísima dosis de P necesaria para lograr una activación microbiológica integral. Los resultados con compost de aserrín de coigüe en un suelo nadi son promisorios.

Conviene estudiar mucho más a fondo la biología y bioquímica de suelos de cenizas que todavía son muy poco conocidas. En particular, el ciclo del N presenta enigmas. Potencialmente la nitrificación es muy activa; sin embargo, se necesitan dosis muy altas de abono nitrogenado para lograr cosechas normales.

Son suelos con un alto potencial de fertilidad pero que exigen un manejo muy particular, para que no se repita la degradación que ha ocurrido con los suelos rojos arcillosos.

En lo que a la fijación simbiótica del N atmosférico se refiere, se considera que ensayos sistemáticos y el uso generalizado de inoculación no tienen sentido mientras que no se hayan llevado los suelos cultivados, particularmente aquéllos derivados de cenizas volcánicas, al nivel de abonadura (C-P-K-elementos menores, también N) que exige una agricultura racional, y no se hayan adoptado generalmente formas de manejo (rotaciones, uso de aguas) adecuadas.

Se averiguó, además, en numerosos puntos del país, que las leguminosas silvestres tienen nódulos eficientes. Esto indica que allá no hay, por principio, condiciones adversas para el desarrollo del género Rhizobium y que numerosas variedades se encuentran presentes en forma natural.

Quadro 1

CARACTERIZACION FISICO-QUIMICA DE LOS SUELOS ESTUDIADOS

	Suelos aluviales				Suelos derivados de cenizas					
	La Platina	Calera de Tango	Teno	La Estacada Vertisol	Bolsico Vertisol	Sta. Bárbara Trumao	Corcovado Rojo arc.	Huño-Huño Nadi 0-10 cm	15-25	25-40
Textura	Fr. arcillo-arenoso	Fr. arcillo-arenoso	Arc. arenoso	Fr. arcilloso	Arcilloso	Fr. arcilloso	Arcilloso	Fr. limoso	Fr. limoso	Fr. limoso
Arena)	49,1	47,7	51,8	42,9	34,2	40,7	28,5	54,7	54,5	57,6
Limo)	23,2	20,1	16,0	19,9	18,3	26,4	26,9	25,2	28,2	26,6
Arcilla)	27,7	32,2	32,2	37,2	47,5	32,9	44,6	20,1	17,3	15,8
pH 1:2,5 H ₂ O	8,36	8,0	6,4	7,2	7,5	6,1	5,6	4,8	4,5	4,9
CO ₃ = (CaCO ₃))	5,6	4,5	0	0	0	0	0	0	0	0
C org.)	1,13	1,61	1,54	2,32	2,45	14,4	6,20	17,9	12,4	10,7
Mat. org.)	1,95	2,77	2,64	4,00	4,21	24,8	10,7	30,8	21,3	18,4
N total)	0,11	0,13	0,2	0,24	0,22	0,82	0,42	1,12	0,86	0,77
C/N	10,6	12,4	7,3	9,7	11,1	17,5	14,7	15,9	14,4	13,8
N disponible Bremner:										
N min. inicial)	16,2	17,1	7,3	14,6	13,4	52,0	160,4	306,3	229,3	133,0
N min. final)	-	50,0	52,4	43,7	40,1	103,0	-	-	-	-
P aprov. Olsen) ppm	19,2	15,2	5,2	4,8	9,2	11,1	10,5	8,0	5,2	1,7
K aprov. (AcNH ₄ /Ii))	151,0	125,0	256,0	106,3	121,9	462,0	531,0	137,0	112,0	83,7
Cap. total interc.)	14,6	17,7	22,5	36,0	39,9	46,2	-	48,9	30,9	31,2
K+)	0,38	0,32	0,65	0,27	0,31	1,18	1,35	0,35	0,29	0,21
Na+) m.ec.%	0,61	0,55	0,74	0,23	0,66	0,11	0,07	0,20	0,64	0,31
Mg++)	13,56	16,83	1,81	9,65	4,63	4,25	3,87	1,62	1,12	0,87
Ca++)	120	100	12,00	21,3	32,85	16,75	8,0	2,50	1,50	1,25
% Sat. de bases			67,8	87,3	96,4	48,25	27,7	9,55	11,49	8,46
Cond. electr., extr. 1:5 mmhos	-	0,2	0,1	0,1	0,1	-	-	-	-	-
Hum. equiv.) % T. S.	22,2	20,2	28,2	23,9	33,1	81,2	33,8	124,3	120,0	106,2
P. M. Perm.)	9,9	9,9	14,8	12,2	18,6	31,0	25,0	37,3	36,4	37,3

Cuadro 2

DESPRENDIMIENTO ACUMULATIVO DE CO₂ Y ACUMULACION DE NITRATOS
(33 DIAS, 28° C, HUM. EQUIV.) EN UN SUELO ALUVIAL (LA PLATINA)

	T		C		N		C + N		Leguminosa						
	Si.	En.	Si.	En.	Si.	En.	Si.	En.	Si.	En.	Cos.				
1/ ppm C-(CO ₂)	83,0	46,0	104,0	386,0	202,0	197,0	128,0	72,0	92,0	484,0	290,0	191,0	80,0	55,0	92,0
2/ ppm N-(NO ₃) aireación activada	27,9	6,2	40,3	5,4	15,9	37,0	44,9	14,0	33,3	51,8	6,8	49,8	31,3	9,2	50,1
ppm N-(NO ₃) aireación periódica	17,9	5,5	4,5	1,2	22,1	2,8	35,5	21,7	8,9	6,6	37,0	8,9	26,4	16,2	4,4

1/ Tratamientos: T = testigo

C = carbono, 20 t/ha (paja molida)

N = nitrógeno, 0,4 t/ha (micelio de *Penicillium* compostado)

Leguminosa = trébol rosado (cortes reincorporados al suelo)

2/ Fechas:

Si = siembra, 25.9.69

En = encanado, 27.11.69

Cos = cosecha (avena), 4.2.70

Cuadro 3

MATERIA ORGANICA HUMIFICADA EN SUELOS ÑADI HUIÑO-HUIÑO Y TRUMAO SAN FABIAN, EXPRESADA EN PODER REDUCTOR

	1/ Ac. fúlvico	Ac. húmico	AF/AH	2/ Ac. fúlvico	2/ Ac. húmico
Ñadi 0-10 cm (bosque virgen)	5492	5052	1,09	3284	3021
" 15-25 "	3725	2082	1,79	3179	1776
" 25-40 "	2848	1698	1,68	2942	1753
Ñadi 0-10 cm (pasto natural)	3513	7191	0,49	1926	3942
" 0-10 cm (pantanos)	3190	5776	0,55	1595	2888
Trumao 0-10 cm (cultivado)	1937	2972	0,65	1345	2064

1/ ml de $KMnO_4$, por 100 g de suelo seco.

2/ Por 10 g de C orgánico.

Cuadro 4

DINAMICA ESTACIONAL DE LA DEGRADACION DE CELULOSA "IN SITU".
5 g DE PAPEL FILTRO/BOLSA DE MALLA NYLON ENTERRADA EN 3 NIVELES
DE UN SUELO NADI (HUIÑO-HUIÑO), EL 13.9.68

Fechas	Celulosa desaparecida, en %			Nivel freático (cm)
	0-10 cm	15-25	25-40	
16.11.68	10,3	7,8	4,5	73
3. 1.69	43,7	17,1	7,5	70
14. 2.69	60,1	39,5	23,9	90
23. 3.69	72,4	58,1	37,6	130
11. 5.69	80,4	62,6	41,0	48
6.11.69	81,2	66,9	44,1	70
1. 1.70	96,1	84,0	73,2	130
24. 2.70	98,1	95,0	83,3	150
nivel	0-10 cm	15-25	25-40	

El terreno estaba inundado (30 cm) durante julio-agosto 1969.

Cuadro 5

MINERALIZACIÓN DEL C ORGANICO, MEDIDA POR EL
DESPENDIMIENTO DE CO₂ ACUMULATIVO BAJO INCUBACION
A 28°C Y A LA HUMEDAD EQUIVALENTE DURANTE 60 DIAS,
DE 100 g DE HOJARASCA DEL BOSQUE NATURAL
ÑADI (HUIÑO-HUIÑO)

	aerobiosis		anaerobiosis (bajo N ₂)	
	g C	Tm	g C	Tm
<i>Laurelia sempervirens</i> (laural)	2,03	3,49	0,67	1,15
<i>Nothofagus dombeyi</i> (coigüe)	1,82	3,13	0,41	0,70
<i>Eucryphia cordifolia</i> (ulmo)	1,56	2,69	0,35	0,61
<i>Lomatia hirsuta</i> (radal)	1,46	2,52	0,39	0,67
<i>Drymis winteri</i> (canelo)	1,22	2,11	0,29	0,50

g C = gramos de carbono (del CO₂) por 100 g de hojarasca

Tm = tasa de mineralización

Cuadro 6

EFEECTO DEL P (16000 ppm) SOBRE LA RESPIRACION:
 mg DE C LIBERADO ADICIONALMENTE POR 100 g DE
 SUELO NADI Y TASA DE MINERALIZACION (*)
 INCUBACION DE 30 DIAS A 28°C Y A LA HUMEDAD EQUIVALENTE

	0-10 cm		15-25 cm		25-40 cm	
		(*)				
Serie (A) sin piruvato	178,8	(0,98)	174,1	(1,48)	148,9	(1,53)
Serie (B) con piruvato (1800 ppm C)	150,3	(0,82)	212,4	(1,81)	138,7	(1,43)
Serie (C) con piruvato (-15°/+28°)	174,2	(0,95)	241,2	(2,06)	149,0	(1,53)

Las cantidades que figuran en este cuadro corresponden al efecto de 0,45-0,75 g de piruvato, o sea para los tres niveles: de 1,2 a 1,5 g, de 2,5 a 3,4 g y de 2,1 a 2,3 g por 100 g de materia orgánica.

Cuadro 7

HUMIFICACION DEL ASERRIN DE COIGUE (OSORNO)
 PODER REDUCTOR DE LOS EXTRACTOS
 (PIROFOSFATO 5% Y NaOH 0,1 N)

	a	b	c	d	e
Acidos fúlvicos	1920 1/	255	900	780	1020
Acidos húmicos	640	540	1560	1630	2300
Total directo	2530	850	2550	2475	3485

1/ ml de tiosulfato por 100 g de material.

a: aserrín fresco

b: aserrín amontonado 6 meses

c: aserrín amontonado 2 años en parva (capa superior 0-30 cm)

d: aserrín amontonado 2 años en parva (capa inferior 40-70 cm)

e: aserrín amontonado 2 años bajo saturación

Quadro 8

PODER REDUCTOR DEL EXTRACTO ACUOSO, EN ml DE TIOSULFATO 0,1 N
 POR 100 g DE MATERIAL, Y PH DE LOS EXTRACTOS DE HOJARASCA
 DE COIGUE INCUBADA A 28°C A LA HUMEDAD EQUIVALENTE

	Extracto total	FSA 1/	FPA 2/	pH
Material inicial	4347	3501	523	4,1
Material incubado 10 días	4723	4231	493	4,0
Material incubado 20 días	1663	1452	121	3,5
Material incubado 60 días	1824	1600	226	4,2

- 1/ FSA: fracción soluble en ácido (ac. fúlvicos)
 2/ FPA: fracción precipitable en ácido (ac. húmicos)

Cuadro 9

SUELO ALUVIAL (LA PLATINA): PODER REDUCTOR,
 EN ml KMnO_4 N/10 POR 10 g DE SUELO, OCHO MESES
 DESPUES DE LA INCORPORACION DE C (PAJA)
 Y N ORGANICO (VER CUADRO 2)
 EXTRACCION POR PIRROFOSFATO 5% Y LUEGO POR NaOH 0,1 N

	T	C	N	C+N	Leguminosa
Acidos fúlvicos	15,4	20,2	17,2	19,6	14,0
Acidos húmicos	35,2	35,2	36,4	37,6	23,2

Cuadro 10

RENDIMIENTO, EN $\text{kg}/10 \text{ m}^2$, PROMEDIO
 (VER CUADROS 2 Y 9)

	T	C	N	C+N
Granos (avena)	0,845	0,569	0,725	0,543
Paja (avena)	12,375	8,261	17,956	10,023

Apéndice

BIBLIOGRAFIA

A. Trabajos publicados

- A. Urbina, E. San Martín y R. Schaefer La actividad metabólica de algunos grupos fisiológicos de microbios en suelos nadis de Chile (1) Mineralización del C y N orgánicos en condiciones de laboratorio. Agricultura Técnica 29 (4): 145-160, 1969.
- R. Schaefer, A. Urbina y E. San Martín Microbial activities as a mechanism of ecosystem regulation in the hydromorphic volcanic ash soils of Southern Chile. Panel on volcanic ash soils in Latin America, Turrialba, Costa Rica, B.6: 1-14, 1969.
- A. Silva y R. Schaefer Interacción entre materia orgánica y aluminio en un suelo hidromórfico derivado de cenizas volcánicas (Nadi, Sur de Chile). Turrialba (Costa Rica), 21 (2): 149-156, 1971.
- R. Schaefer Influencia del régimen hídrico sobre la actividad microbiana en suelos de zona árida. III Reunión de Riego y Drenaje, Tarapacá, 1970 (CORFO).
- R. Schaefer Microbial activity under seasonal conditions of drought in Mediterranean climates. Col. internac. PBI/U. Austral, Valdivia: origen y estructura de ecosistemas. Marzo 28-29, 1971. Ed. Springer, N.Y.
- N. Klenner, A. Urbina y R. Schaefer Ensayos sobre humificación bajo condiciones climáticas del Norte Chico (Chile). Congr. Internac. Zona Arida, Arica, Agosto, 23-28, 1971.
- N. Klenner y R. Schaefer Ensayos de elaboración de compost de aserrín (coigue) en la provincia de Osorno. XXII Jornadas Agronómicas de Chile, Temuco, 15-30 Nov., 1971.

B. Trabajos en preparación

- A. Urbina y R. Schaefer Dinámica estacional de la capacidad actual y potencial de acumulación de nitratos en suelos del Valle Central (Chile).
- A. Urbina y R. Schaefer Actividad microbiana y productividad vegetal en parcelas de humificación (Valle Central, Chile). Congreso ALAF, Asoc. Lat. Amer. Fitotécnica, México 1970.
- N. Klenner y R. Schaefer Humificación y mineralización de hojarasca: mecanismo de regulación en el ecosistema nadi (Sur de Chile).

E. San Martín y R. Schaefer Efecto de dilución, con diferentes materiales minerales, sobre la actividad microbiana global y la acumulación de nitratos en suelos derivados de cenizas volcánicas (Chile). Agri. Técnica, Chile.

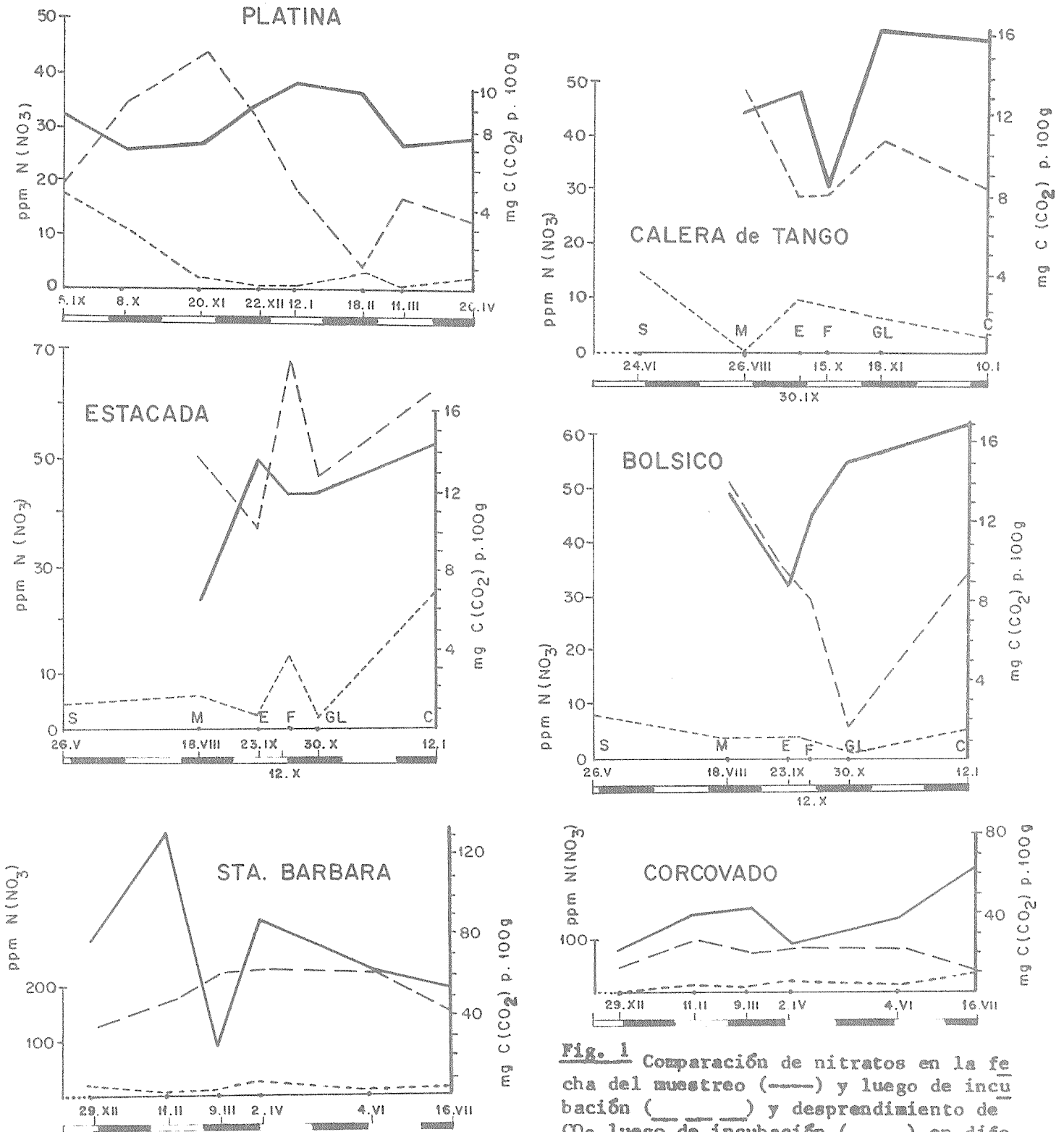


Fig. 1 Comparación de nitratos en la fecha del muestreo (—) y luego de incubación (---) y desprendimiento de CO₂ luego de incubación (---) en diferentes suelos: Aluviales (La Platina, Calera de Tango); Vertisoles (Estacada, Bolsico); Truños (Sta. Bárbara); y Rojos Arcillosos (Corcovado), muestreados en la época de siembra (S), de macolla (M), de encañado (E), de grano lechoso (GL) y de cosecha del trigo.

Condiciones de incubación: 33 días a 28°C y a la humedad equivalente.

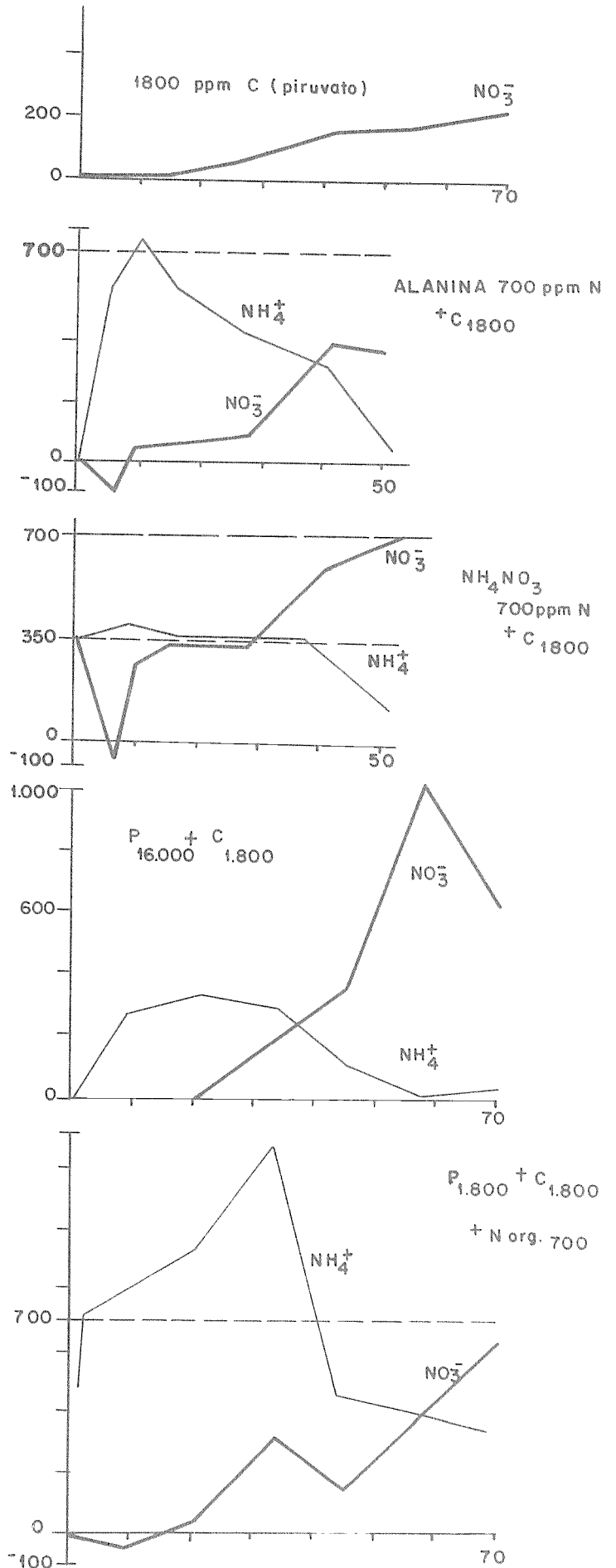
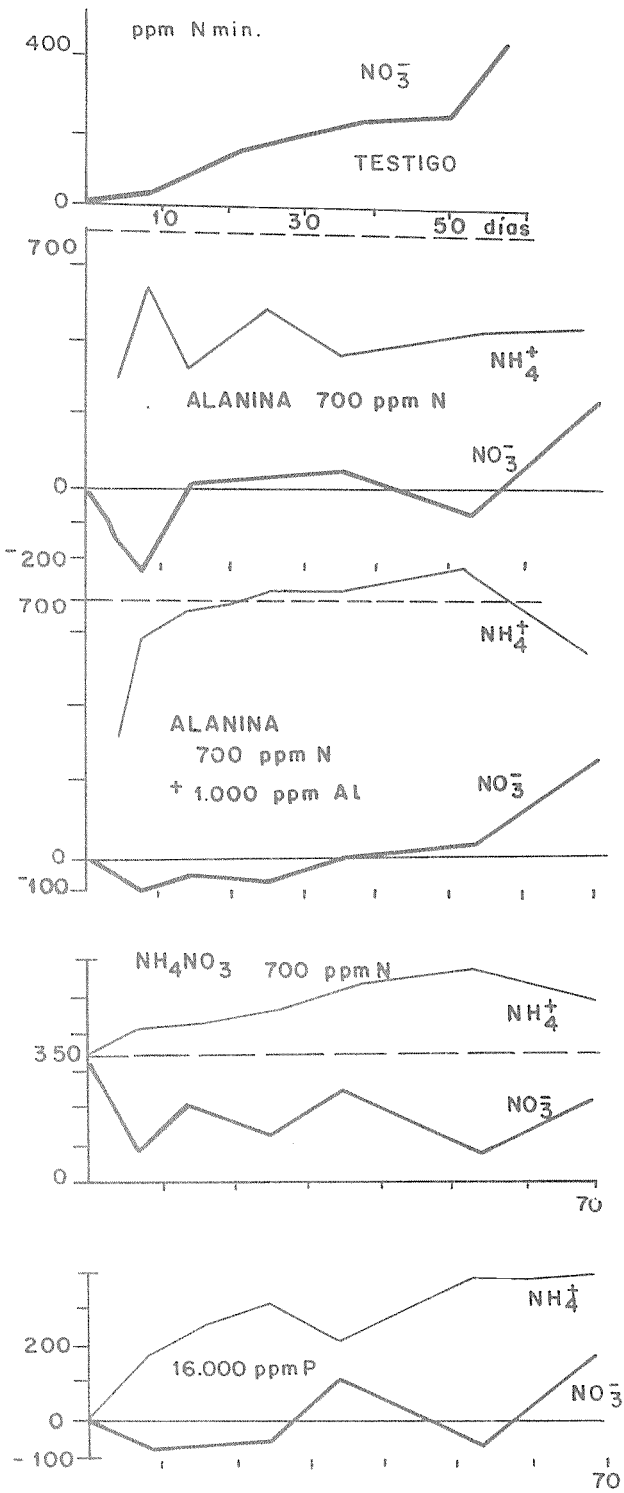


Fig. 2.- Dinámica del N amoniacal y nítrico en un suelo Nadi, Huiño-Huiño (0-10 cm), incubado bajo 28°C y a la humedad equivalente con diferentes tratamientos.
Fecha del ensayo: 15.IX.1969

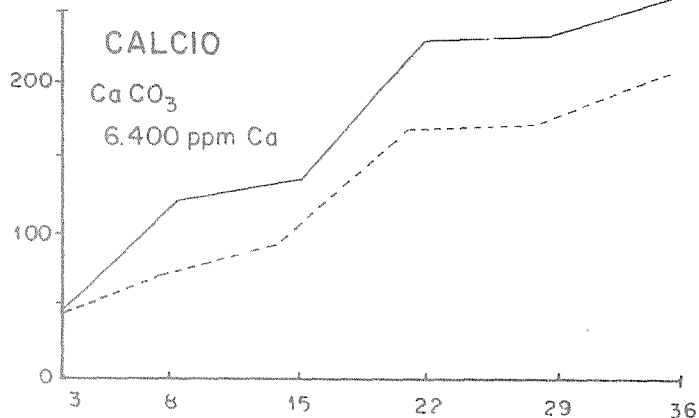
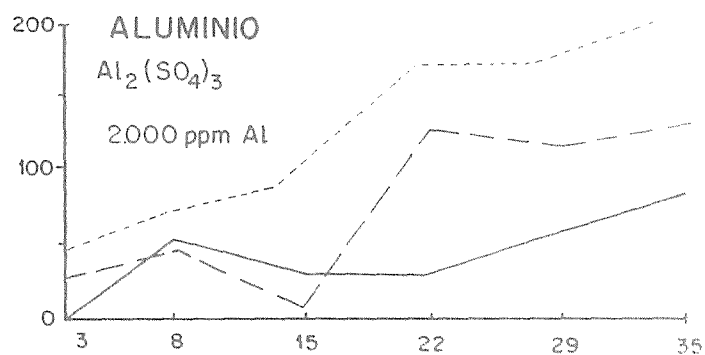
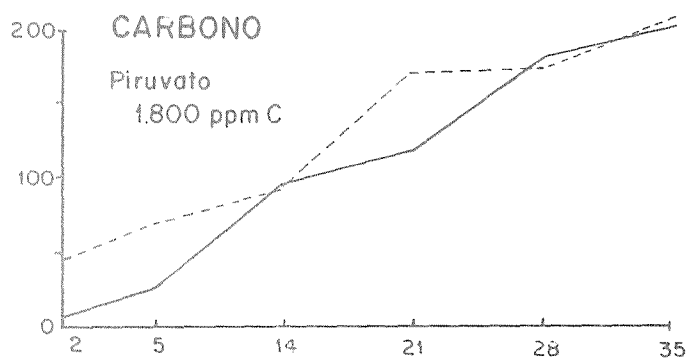
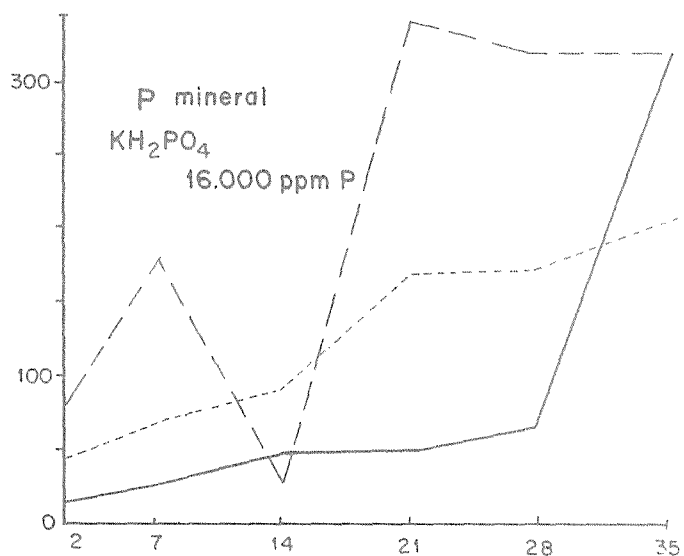
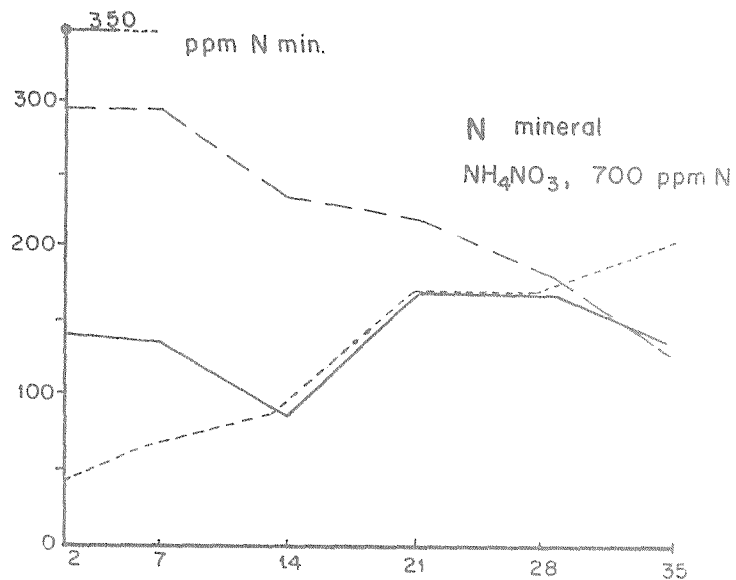
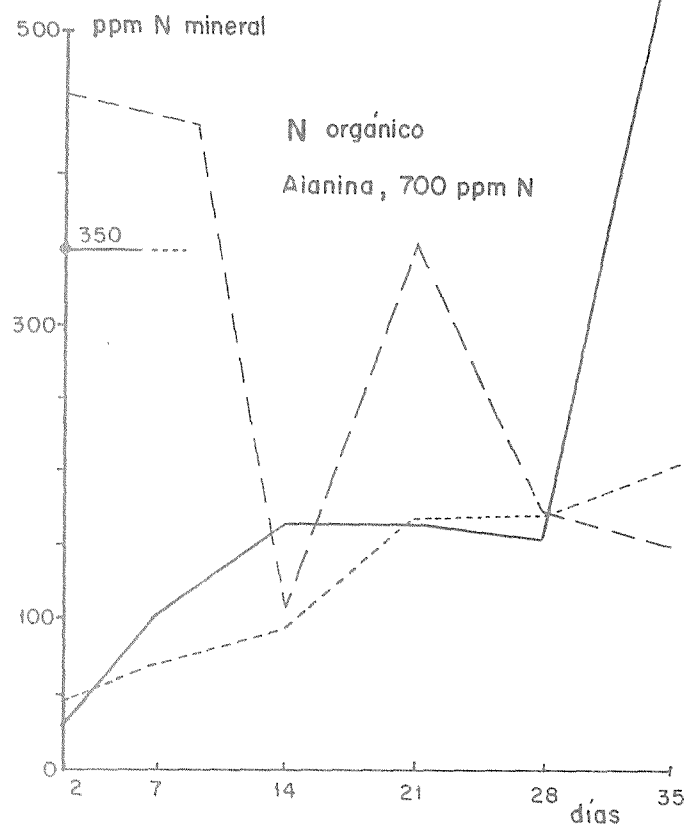


Fig. 3. Acumulación de nitrógeno amoniacal (---) y nítrico (—) en un suelo Trumao (Sta. Bárbara, 0-10cm) bajo diferentes tratamientos, e incubación a 28°C y hum. equivalente. Acumulación de nitrógeno nítrico en el testigo (—) es sobrepuesto en cada tratamiento. Acumulación de N amoniacal en el testigo no pasa de 4 ppm.

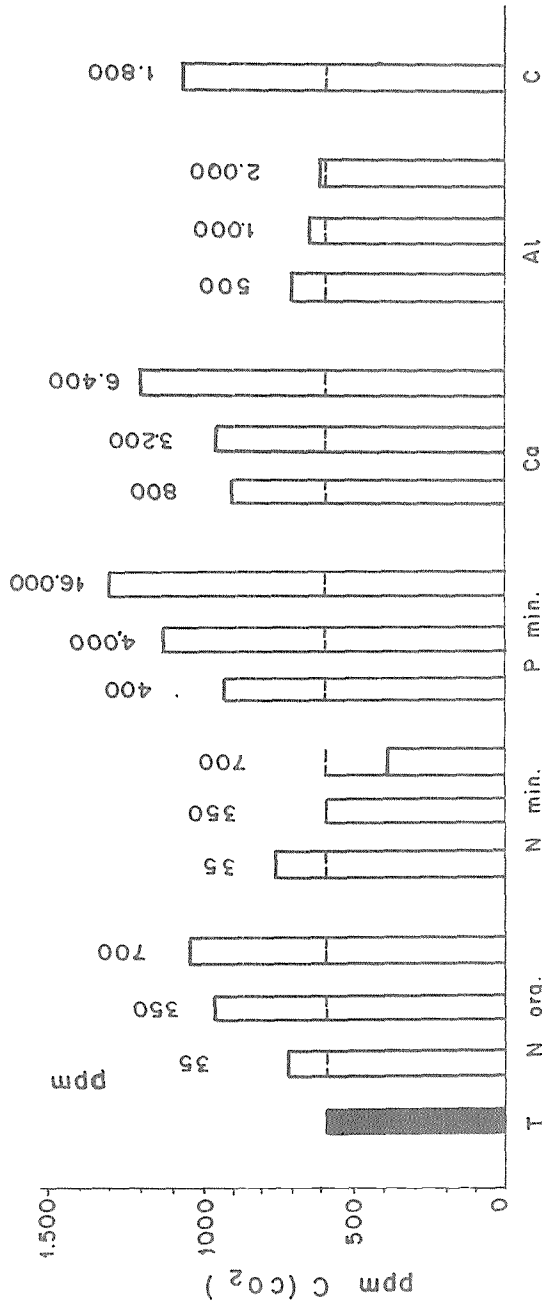


Fig. 4.- Desprendimiento acumulativo de CO₂ en suelo Trunso (Sta. Bárbara, 0-10 cm) incubado por 33 días a 28°C y a la hum. equivalente, bajo diferentes tratamientos: T: Testigo; N org.: Alanina; N min.:NH₄NO₃; P min.: KH₂PO₄; Ca: CaCO₃; Al: Al₂(SO₄)₃; C: piruvato de Na (dosis en ppm de elemento).

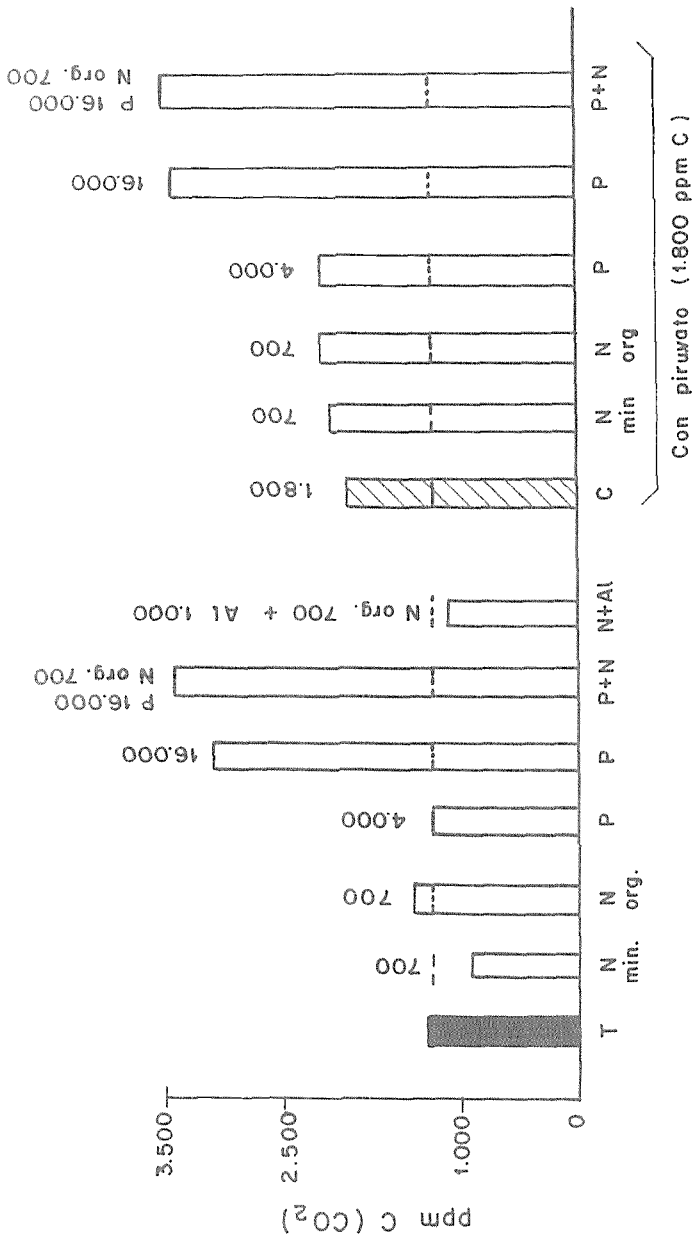


Fig. 5. Desprendimiento acumulativo de CO₂ en suelo Nadi (Huño-Huño, 0-10 cm) incubado por 30 días a 28°C y a la hum. equivalente, bajo diferentes tratamientos sin piruvato y con piruvato. T: Testigo, N org.: almina; N min.: NH₄NO₃; P min.: KH₂PO₄; Ca: CaCO₃; Al: Al₂(SO₄)₃; C: piruvato de Na (dosis en ppm de elemento)

