

**EFECTO DEL TRATAMIENTO DE LOS RESIDUOS  
DE EXPLOTACION EN EL SUELO  
Y EN EL CRECIMIENTO INICIAL DE *PINUS RADIATA* (\*)**

Samuel Francke Campaña(\*\*)

**RESUMEN**

En este estudio se evalúan los efectos de diferentes tratamientos de manejo y utilización de residuos de explotación en función de determinadas propiedades químicas del suelo, estado nutricional y crecimiento de plantaciones de *Pinus radiata*, en segunda rotación, durante el primer año de aplicación.

Los lugares de ensayo se ubican en la VIII Región del país (37° 30' Lat. Sur) en la zona de secano interior de Arenales, en suelos de topografía plana con texturas arenosas (Ensayo "Maquehua") y en la zona costera de Arauco, en suelos de topografía ondulada de texturas arcillosas. (Ensayo "La Colcha").

Los resultados de las variables analíticas edáficas, nutricionales y de crecimiento obtenidas, indican lo inadecuado de efectuar quemas controladas especialmente en suelos de texturas arenosas y su empleo como práctica definitiva en suelos de texturas arcillosas. En base a lo anterior, se recomienda el perfeccionamiento de la alternativa técnica de mantención de los residuos in situ (sin extracción de residuos y sin aplicación de quemas).

**ABSTRACT**

*The study evaluates the effects during the first year of application of different residues disposal and utilization treatments in relation to soil chemical properties, nutritional state and growth of second rotation Monterey Pine (*Pinus radiata* D. Don) plantations.*

*The experimental plots are located in the VIII Región (37° 30' S. Lat.) at the Central Valley (Maquehua site) and Arauco coastal plain (La Colcha site). Maquehua has flat topography and sandy soils; La Colcha is rolling and predominantly clay.*

*The results of the analysis of edaphic, nutritional and growth variables suggest that controlled burning is wholly inadequate on sandy soils; on clay soils the practice seems inadequate but could continue until better alternatives of in situ residue treatments are developed.*

---

(\*) Corresponde a la 2da. Parte del Proyecto "Efectos de los diferentes métodos de utilización y manejo de residuos de explotación en los rendimientos de la segunda rotación de Plantaciones de *Pinus radiata*" que desarrolla el Instituto Forestal, INFOR.

(\*\*) Dr. Ingeniero Forestal - CONAF - Santiago - Chile.

## INTRODUCCION

El empleo del fuego en nuestro país como herramienta para habilitar terrenos de forestación y reforestación, constituye una práctica habitual de ejecución. Anualmente se habilitan por este método alrededor de 71.500 ha.

La aplicación del fuego en forma de "quema prescrita" conlleva un riesgo en relación a la pérdida de productividad del sitio, no obstante se reducen riesgos de incendios forestales. Desde el punto de vista de los efectos en el suelo, la quema de residuos de explotación (hojarasca, ramas, cortezas, trozas, tocones, etc.) conduce en las superficies taladas a pérdidas por volatilización del carbono orgánico, nitrógeno y azufre. Por el contrario, elementos como fósforo, potasio, calcio y magnesio, permanecen sobre la superficie del suelo, aumentando su disponibilidad inicial, siendo susceptibles a procesos de lixiviación y escurrimiento superficial (Burschel P. y Huss J., 1987; Fassbender H., 1978 y Rehfuess K.E., 1981). Adicionalmente a esta forma de quemas se han desarrollado modalidades de "utilización intensiva" (extracción de troncos y ramas) en base al aprovechamiento de determinados diámetros económicos de utilización (> a 3 cm), los cuales son extraídos del sitio y se fraccionan posteriormente usándose como material combustible. En esta modalidad se acentúa la extracción de materia orgánica y elementos nutritivos.

En que medida y cuando ocurrirán deficiencias nutricionales con las modalidades enunciadas anteriormente u otras como "cosecha total", dependerá de las reservas disponibles y suministrables de los nutrientes en el suelo. En suelos francos ricos en bases, silicatos y materia orgánica, con un suministro permanente de nutrientes (potasio, calcio, magnesio y fósforo) proveniente de la mineralización y de formas orgánicas, potenciales pérdidas podrán ser atenuadas sin que la fertilidad del suelo sea afectada. En cambio, en suelos arenosos, pedregosos, pobres en bases, silicatos y materia orgánica, podría ocurrir una considerable disminución de las reservas nutritivas suministrables y disponibles, de tal modo que fertilizaciones de equilibrio u otra forma de corrección tenga que aplicarse regularmente. La tendencia actual de dejar en la superficie talada del bosque los residuos de explotación ("alternativa conservadora") tiene un efecto de cubierta tipo Mulch que minimiza procesos erosivos, influye en el microclima en la cercanía del suelo, favoreciendo el régimen térmico e hídrico de éste y elevando las reservas húmicas, con el consiguiente beneficio para los árboles que conforman la reforestación.

A través del presente estudio se pretende evaluar los efectos ocasionados en el suelo por la aplicación de diferentes métodos de utilización y manejo de residuos de explotación forestal. Se considera además la evaluación de los efectos de los diferentes tratamientos aplicados en el estado nutricional y crecimiento de las plantaciones. Se evalúan los cambios transcurridos durante el primer año de su aplicación, en dos lugares de ensayo de la VIII Región del país, que corresponden a sitios forestales de crecimiento y suelos extremos para la especie *Pinus radiata*, como los que presentan la zona de Arenales y la zona de Arauco.

**MATERIAL Y METODO****Material**

En la realización del presente estudio se seleccionaron 2 lugares pertenecientes a las empresas Forestal Mininco S.A. (Ensayo "Maquehua") y Empresa Forestal Arauco Ltda. (Ensayo "La Colcha"). Para la selección de lugares de ensayo se consideraron suelos representativos del crecimiento de la especie utilizando como criterios predominantes la clase textural del suelo y material de origen. Los antecedentes generales y edafoclimáticos principales de los lugares de ensayo se consignan en cuadro N° 1.

**CUADRO 1****ANTECEDENTES GENERALES Y EDAFOCLIMATICOS - LUGARES DE ENSAYO**

Nombre predio ensayo	Región	Provincia	Comuna	Nombre Serie de Suelos	Material de Origen	Clase Textural Sup/Sub-superf.	Clase Prof.	Topografía	Antecedentes ppt. mm	Tº Med. °C
Maquehua	VIII	Bío-Bío	Los Angeles	Coreo	Arenas Andesíticas Basálticas.	A/A	Profundos (1.5m).	Plana	1285	13,8
La Colcha	VIII	Arauco	Curanilahue	Colico	Sedimentos Marinos Metamorficos.	a/a	Profundos (2 m).	Ondulada.	1493	12,6

A: Arenosas

a: Arcillosas.

**METODO****Diseño Experimental - Tratamientos**

En los predios seleccionados como lugares de ensayo, se contemplaron diversos métodos de utilización de residuos de explotación forestal, considerándose los tratamientos indicados en Cuadro N° 2.



## CUADRO 2

## TRATAMIENTOS APLICADOS - AREAS DE ENSAYO

Nº Tratamiento.	Tipo de Explotación	Tipo de Quema	Técnica Encendido	Ordenamiento Desechos	Superficie Parcelas (n = 3) Ha.
T - 1	Tradicional	Controlada	Fuego de retroceso.	Arrumados	0,09
T - 2	Tradicional	Controlada	Fuego de retroceso.	Dispersos	0,09
T - 3	Tradicional	Controlada	Fuego frontal	Dispersos	0,09
T - 4	Tradicional	Controlada	Fuego flancos	Dispersos	0,09
T - 5	Conservadora	Sin Quemadas		Dispersos	0,09
T - 6	*Intensiva	Sin Quemadas		Dispersos	0,09

(\*) Extracción de residuos de explotación con diámetros superiores a 3 cm.

### Muestreo y Análisis en Laboratorio

- Muestreo de suelos y variables analizadas

La prospección edáfica se efectuó en los lugares de ensayo (2) y tratamientos (6) y número de parcelas por tratamiento (3) en base a la obtención de 3 muestras compuestas por parcela y según profundidades de muestreo y secuencia temporal de muestreo que se resumen en Cuadro 3.



## CUADRO 3

## SECUENCIA TEMPORAL DE MUESTREO Y VARIABLES ANALITICAS DE SUELOS CONTEMPLADAS EN EL ESTUDIO

Nº de Muestreo	Etapa de Muestreo	Profundidad del Muestreo	Variables Edáficas Analíticas
Primero	Pre-tratamiento (15 días antes)	0 - 5 cm. 5 - 10 cm. 10 - 20 cm.	Mat. orgánica, pH, NPK, disponible. Ca y Mg Intercambiable Densidad aparente método cilindro.
Segundo	Post-tratamiento (15 días después)	0 - 5 cm.	Mat. orgánica, pH, NPK, disponible, Ca y Mg intercambiable.
Tercero	Post-tratamiento (90 días después)	0 - 5 cm.	Mat. orgánica, pH, NPK Ca y Mg intercambiable.
Cuarto	Post-tratamiento (180 días después)	0 - 5 cm. 5 - 10 cm. 10 - 20 cm.	Mat. orgánica, pH, NPK Ca y Mg intercambiable
Quinto	Post-tratamiento (360 días después)	Orgánico 0 - 5 cm. 5 - 10 cm. 10 - 20 cm	Mat. orgánica, pH, NPK Ca y Mg intercambiable

- Muestreo de plantas y variables analizadas.

Al cabo de un año de aplicación de los tratamientos se efectuó el primer control del estado nutricional y primer control dasométrico de variables de estado de rodal. Estos controles se efectuaron paralelamente al quinto muestreo de suelos.

El control del estado nutricional se efectuó a través del muestreo foliar de 10 árboles bien desarrollados de cada parcela de 30 x 30 m., en el tercio superior de la copa y en acículas de crecimiento del año, habiéndose obtenido, en cada repetición del tratamiento, 3 muestras compuestas que se analizaron en el laboratorio separadamente para los macronutrientes (N, P, K, Ca, Mg) y micronutrientes (Mn, Fe, Zn, Cu y B).

El control dasométrico se efectuó en cada predio y tratamiento en parcelas de 30 x 30 m, con tres repeticiones por tratamiento, habiéndose realizado la medición de 64 árboles para las siguientes variables: altura total, diámetro altura del cuello y porcentaje de prendimiento o sobrevivencia por parcela.

En el Laboratorio de la Facultad de Agronomía de la Universidad Católica y Laboratorio Agro-Lab fueron realizadas las determinaciones analíticas de suelos y foliar en base a métodos analíticos de rutina.

### **Análisis de los resultados**

Se comparan las variaciones que experimentan los contenidos de las variables adálicas consideradas en el estudio, en cada uno de los tratamientos, desde antes de su aplicación y en el transcurso de 4 mediciones posteriores a las quemas y se evalúan los efectos que estas variaciones tienen en los niveles nutricionales de las plantas de *Pinus radiata*, al analizar los valores obtenidos del análisis foliar.

Además, se evalúa el efecto de los distintos tratamientos aplicados en el desarrollo de la plantación.

## **RESULTADOS**

### **Efecto Sobre el Suelo**

#### **Reacción del suelo (pH)**

En el ensayo "Maquehua" (Fig. 1a) se registran durante los primeros seis meses desde la aplicación de los tratamientos, incrementos de 0,6 unidades de pH, variando los rangos en la estrata superficial del suelo de moderadamente a débilmente ácidos (5,6 - 6,3); luego decrecen levemente al término del primer año de evaluación. Aún cuando en el ensayo "La Colcha" (Fig. 1b) ocurren incrementos de 0,5 unidades de pH hasta el primer trimestre, ellos fluctúan en ese período en un rango de pH moderadamente ácido (5,1 - 5,6). Posteriormente, los tratamientos sometidos a quema, presentan las mayores reducciones, con valores de pH similares e inferiores a los registrados inicialmente. El mayor grado de acidificación de suelo, exhibido especialmente en las variantes con quema del ensayo "La Colcha", podría estar asociado a las mayores precipitaciones del área de Arauco (1500 mm) que en condiciones de mayor inclinación del terreno (15%) posibilitaría una mayor pérdida de nutrientes por escurrimiento superficial, en comparación con el área de arenales, con precipitaciones medias anuales del orden de 1200 mm, en suelos de topografía plana. También influye la falta de una cubierta húmica estable, que impide en gran medida, procesos de lavado del suelo.

FIGURA 1a

GRADIENTE VERTICAL Y VARIACION TEMPORAL DE LOS VALORES DE pH DE LOS TRATAMIENTOS APLICADOS ENSAYO MAQUEHUA

PH - MAQUEHUA

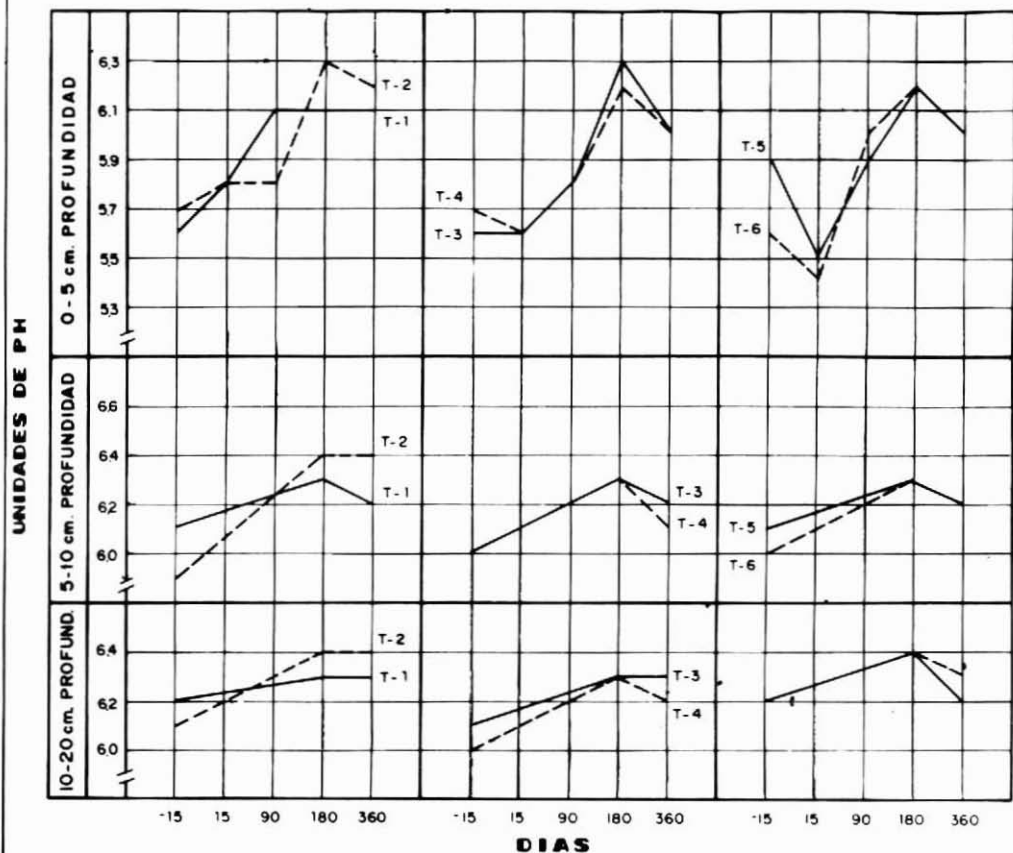
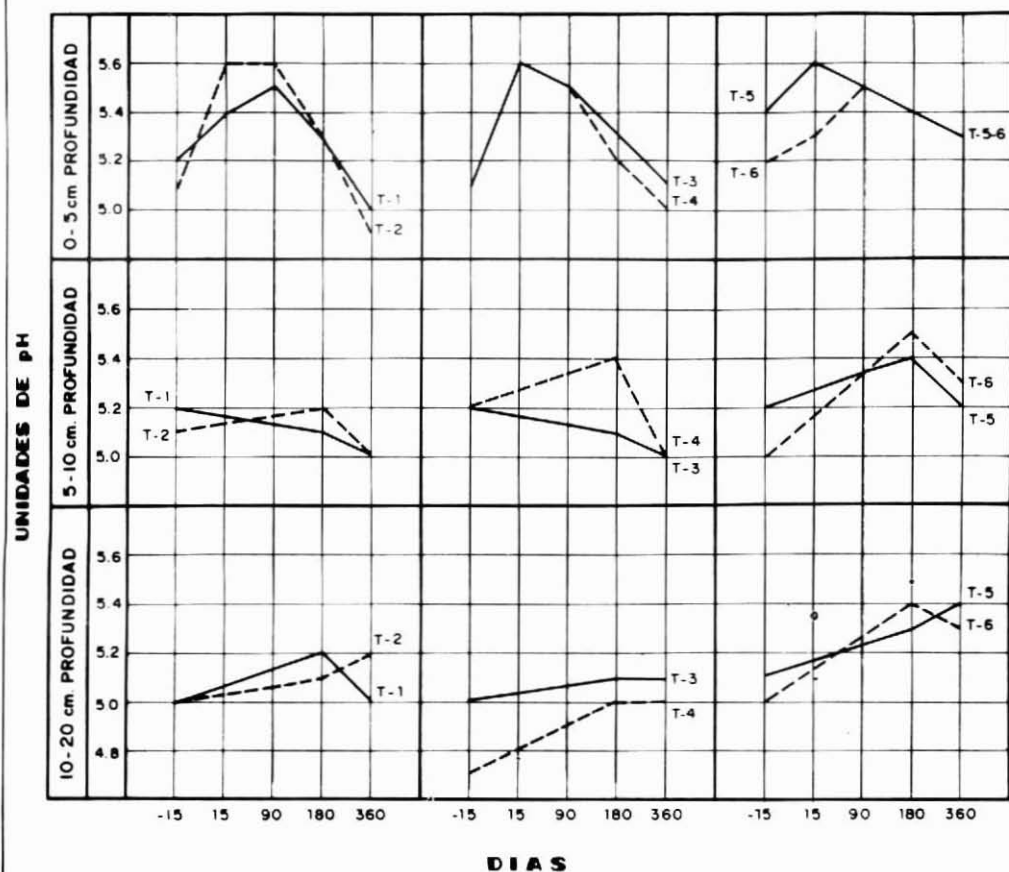


FIGURA 1b

GRADIENTE VERTICAL Y VARIACION TEMPORAL DE LOS VALORES  
DE pH DE LOS TRATAMIENTOS APLICADOS  
ENSAYO LA COLCHA

## pH-LA COLCHA





### Contenidos (%) y Cantidades de Materia Orgánica (ton/ha)

En "Maquehua" (Fig. 2a) al comparar los contenidos de materia orgánica de los tratamientos que incluyen variantes de quema (T-1a T-4) con los de aquellos que no las incluyen (T-5 y T-6), se obtiene en éstos últimos después de su aplicación inmediata y hasta el término del primer año de observación, contenidos de materia orgánica superiores, lo que indicaría a priori la conveniencia de no quemar en suelos de texturas arenosas sometidos a mayores procesos de lixiviación, considerando además los tenores iniciales bajos (1-3%) de materia orgánica.

En el ensayo "La Colcha" (Fig. 2b) con tenores moderadamente altos de materia orgánica (mayor a 5%), se registran en los tratamientos T-1, T-2, T-4 incrementos considerables (2,5 a 7%) respecto de los contenidos iniciales (30 días después de ejecución de las variantes indicadas), para luego disminuir en la etapa intermedia y aumentar hacia la etapa final de este estudio. En cambio, el T-3 y aquellos tratamientos que no contemplan quemar (T-5 y T-6, exhiben una tendencia gradual ascendente, lo que evidenciaría que al no quemar residuos de explotación es posible alcanzar una tasa de descomposición gradual de la materia orgánica de contenidos similares a los registrados con variantes de quemar (excepción T-2).

Al efectuar un análisis de las cantidades de materia acumulada en el suelo mineral (0-20 cm) del ensayo "Maquehua" (Fig. 3a) se observan severas disminuciones en las variantes de quemar controladas (T-2, T-3 y T-4) y variantes de extracción de residuos (T-6). Se evidencian de esta forma los efectos negativos del fuego y la extracción manual de residuos. Una menor disminución registran las cantidades de materia orgánica del Tratamiento T-1 (residuos apilados con fuego de retroceso) en donde aparentemente la acción del fuego tendría una menor incidencia. En el tratamiento T-5 (sin quema) se producen variaciones debido a tasas graduales de descomposición de los residuos de explotación acumulados in situ (sin astillar).

La respuesta que se obtiene en el Ensayo "La Colcha" (Fig. 3b) contrasta a lo observado en suelos arenosos del Ensayo "Maquehua". En el ensayo "La Colcha", de texturas superficiales finas (arcillosas), se produce un aumento progresivo al comparar los valores analíticos iniciales con los registrados en las etapas intermedias y finales. Las cantidades de materia orgánica acumuladas durante la primera rotación son descompuestas aceleradamente por la acción del fuego (T-1 a T-4) y gradualmente en los tratamiento sin quema (T-5 y T-6) ocurriendo un mayor grado de acumulación de materia orgánica bajo condiciones texturales superficiales finas (Ensayo La Colcha) en comparación con texturas superficiales gruesas (Ensayo Maquehua), predominando en ellas procesos de lixiviación en relación a procesos de escurrimiento superficial.

Los procesos de mineralización acelerados de la materia orgánica inducidos por las variantes de quemar (T-1 a T-4) no permiten contar inicialmente con una cubierta húmica estable que, por su efecto tipo mulch, minimiza procesos erosivos y aumenta la retención de la humedad del suelo superficial.

### Contenidos (%) y Cantidades (kg/ha) de nitrógeno disponible

Las curvas de nitrógeno disponible (forma nítrica), tienen un comportamiento similar

FIGURA 2a

GRADIENTE VERTICAL Y VARIACION TEMPORAL DE LOS CONTENIDOS DE MATERIA ORGANICA (%) DE LOS TRATAMIENTOS APLICADOS ENSAYO MAQUEHUA

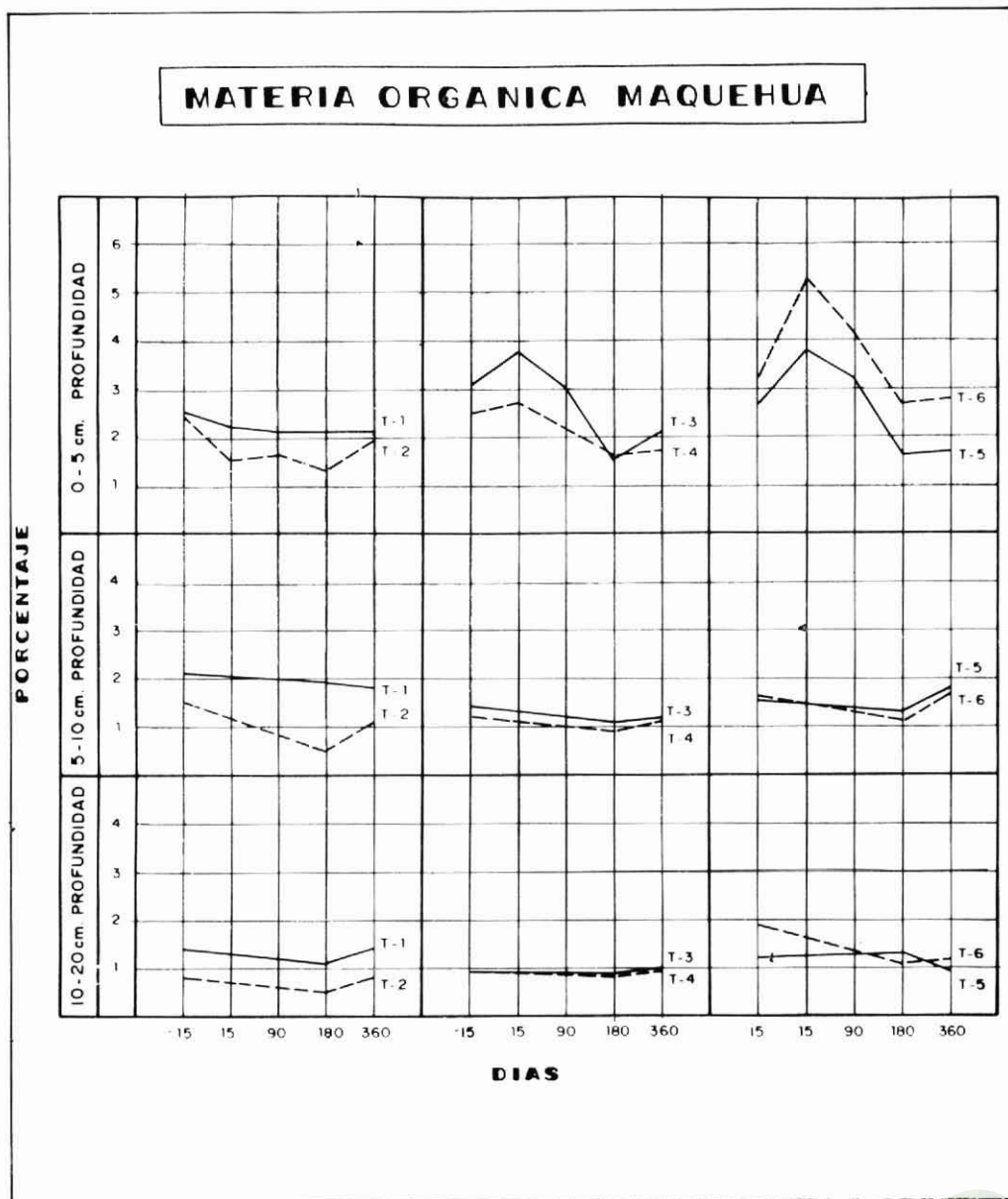


FIGURA 2b

GRADIENTE VERTICAL Y VARIACION TEMPORAL DE LOS CONTENIDOS DE MATERIA ORGANICA (%) DE LOS TRATAMIENTOS APLICADOS ENSAYO LA COLCHA

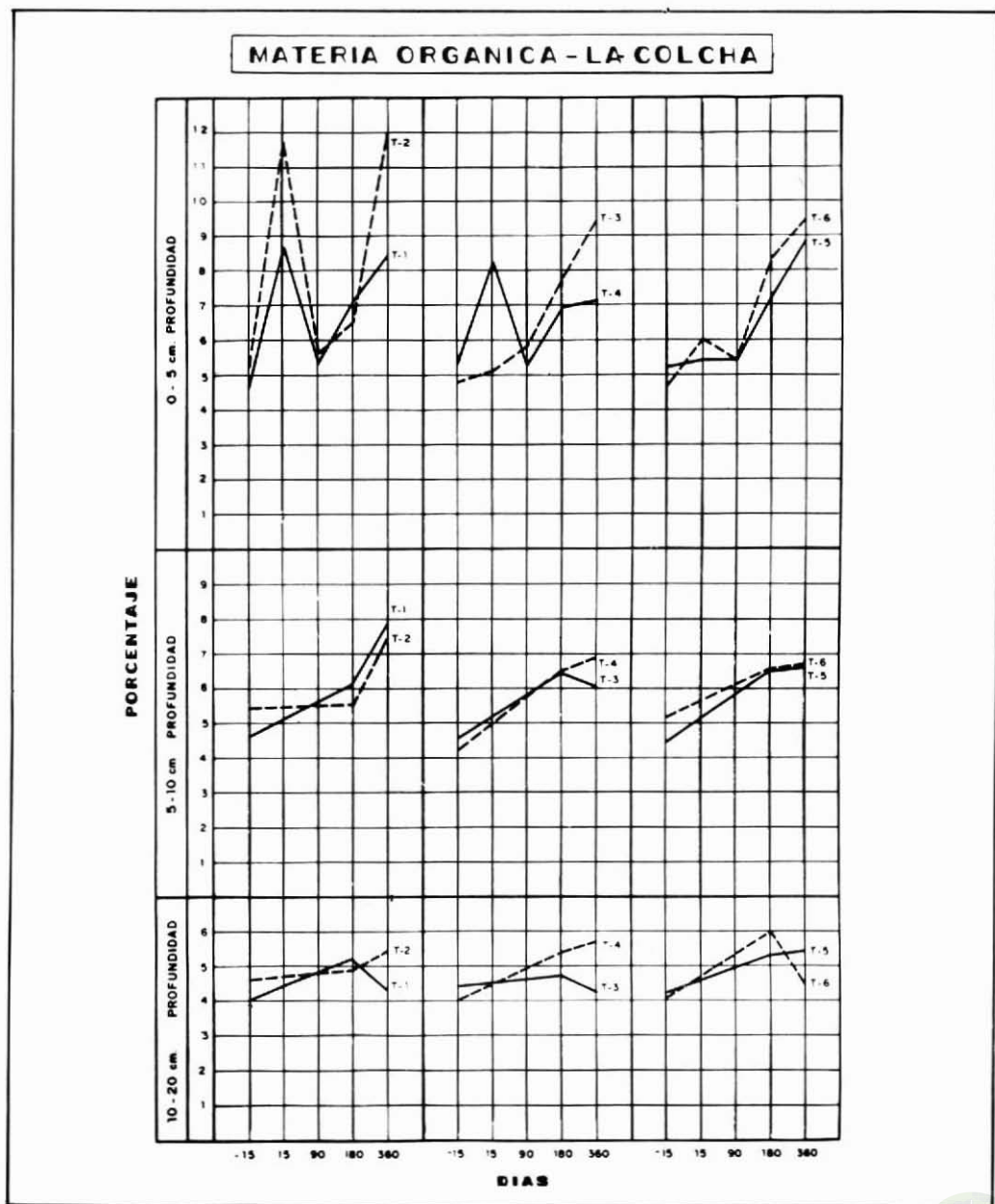


FIGURA 3a

ESTIMACION DE LA CANTIDAD DE MATERIA ORGANICA (Ton/Ha)  
ACUMULADA EN EL SUELO MINERAL (0-20 cm) SEGUN EPOCA DE  
MUESTREO DE LOS TRATAMIENTOS APLICADOS  
ENSAYO MAQUEHUA

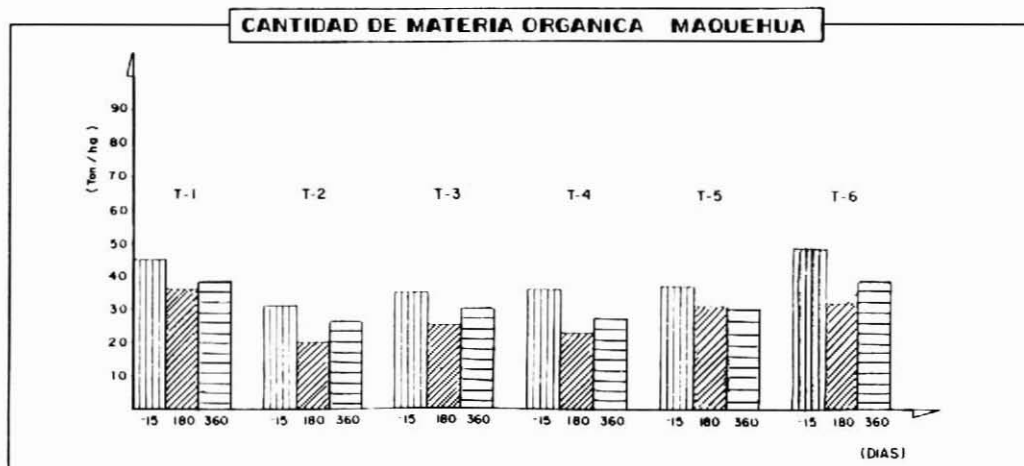
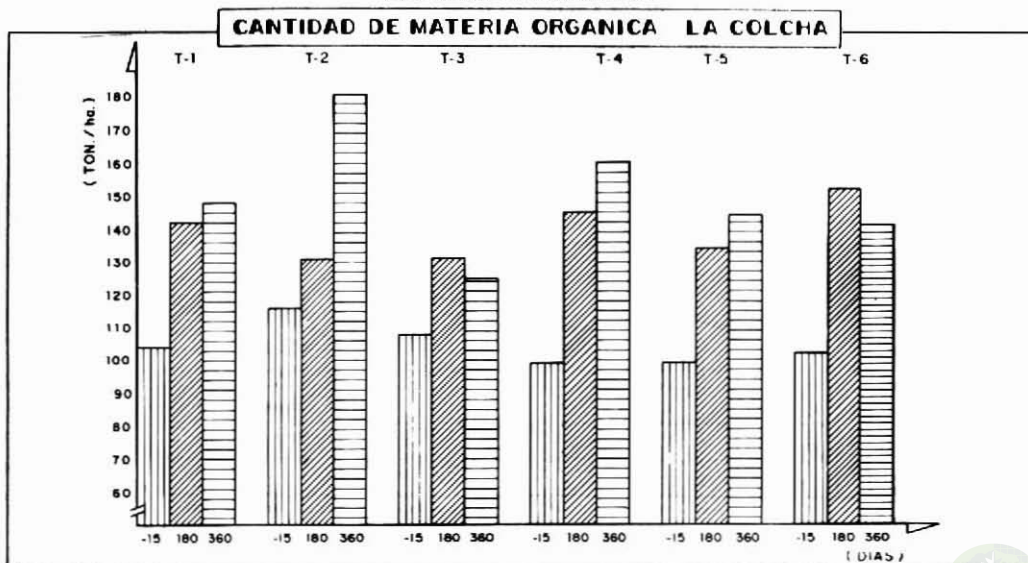


FIGURA 3b

ESTIMACION DE LA CANTIDAD DE MATERIA ORGANICA (Ton/Ha)  
ACUMULADA EN EL SUELO MINERAL (0-20 cm.) DE LOS TRATAMIENTOS  
APLICADOS SEGUN EPOCA DE MUESTREO  
ENSAYO LA COLCHA





en relación a su variación estacional en los Ensayos “Maquehua” (Fig. 4a) y “La Colcha” (Fig. 4b).

En su etapa inicial todos los tratamientos aplicados experimentan un considerable aumento en sus contenidos de N, los que decrecen hacia la etapa intermedia a valores inferiores a los registrados inicialmente. Hacia la evaluación final se registran incrementos en todas las variantes de estudio, lo que podría estar en directa relación con los incrementos de materia orgánica registrados en el período de muestreo Otoño-Invierno.

Las cantidades de nitrógeno del ensayo “Maquehua” (Fig. 5a) exhiben, entre la etapa inicial e intermedia, una reducción en todos los tratamientos afectos a quemas (T-1 a T-4), debido en parte a pérdidas por volatilización del elemento. Sin embargo, las mayores pérdidas por mineralización aceleradas corresponden al tratamiento que contempla extracción de residuos (T-6), y se observan los menores descensos en aquel tratamiento donde no se aplican quemas (T-5). En general estas variaciones podrían corresponder a una mayor demanda del elemento en la época de Primavera-Verano y/o lixiviación en profundidad durante las lluvias invernales, al no estar la nueva plantación, especialmente en los sectores quemados, en condiciones de absorber el excedente nutricional ofrecido. Hacia la etapa final se observan los mayores incrementos porcentuales en el T-5 (sin quema), registrándose en los otros tratamientos variaciones porcentuales menores. En términos absolutos se acumulan en esta etapa las mayores cantidades de N disponible/ha. en los tratamientos T-1 y T-5.

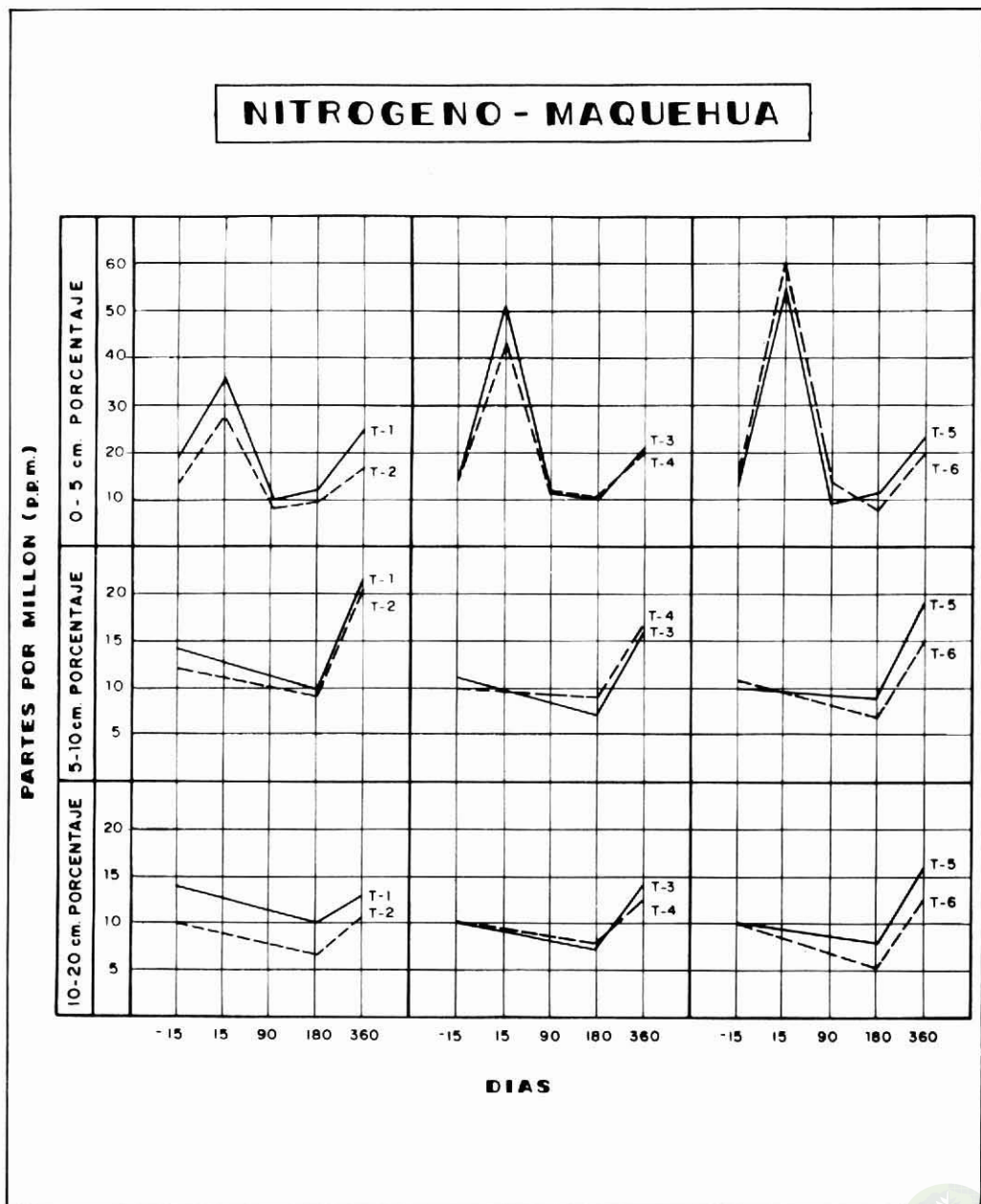
Las cantidades de nitrógeno del Ensayo “La Colcha” (Fig. 5b) presentan también reducciones hacia la etapa intermedia. Estas ocurren en forma mínima en los tratamientos T-1 y T-2, y se acentúan en los tratamientos afectados por el fuego (T-3 y T-4) y en los tratamientos T-5 y T-6 (sin quema) debido al menor grado de mineralización del nitrógeno de su forma total disponible en función de la descomposición de la materia orgánica. Hacia la etapa final aumentan las cantidades de nitrógeno en este ensayo a niveles considerablemente superiores a los que se alcanzan en Maquehua. La alta capacidad de respuesta del sitio de Arauco en relación al sitio de arenales para este elemento estaría dada probablemente por menores grados de lixiviación en profundidad, menores grados de volatilización y mayor potencial de suministro de nitrógeno del sitio.

### **Contenidos (ppm) y cantidades (kg/ha) de fósforo disponible**

Los suelos de texturas arenosas del Ensayo “Maquehua” registran contenidos muy elevados de fósforo disponible, lo que se fundamenta en su formación a partir de un material de origen de cenizas andesítico basálticas. La aplicación de diversas modalidades de quemas (Fig. 6a), produce un fuerte aumento debido a la descomposición acelerada de la materia orgánica inducida por el fuego, liberando diversos compuestos fosfatados. Hacia la etapa intermedia y final presentan estos tratamientos tendencias diversas, registrándose contenidos superiores a los correspondientes al inicio del ensayo. En cambio, los contenidos de fósforo disponible en los tratamientos sin quemas (T-5 y T-6) se elevarían en forma moderada con una tasa de mineralización gradual más lenta respecto al nitrógeno, lo que asociado a un menor grado de movilidad favorece una mayor acumulación en superficie. Al comparar los valores analíticos del Ensayo “La Colcha” de la etapa inicial respecto de la etapa final considerada para este estudio, se observan ligeros incrementos en las modalidades que incluyen quemas. En aquellas variantes sin aplicación de quemas (T-5 y T-6), los incrementos son considerablemente mayores al término del primer año de aplicación, lo que evidenciaría que con tasas graduales de mineralización del fósforo se disminuyen pérdidas por sublimación gaseosa, minimizándose además procesos de lixiviación y escurrimiento.

FIGURA 4a

GRADIENTE VERTICAL Y VARIACION TEMPORAL DE LOS CONTENIDOS DE NITROGENO DISPONIBLE (ppm) DE LOS TRATAMIENTOS APLICADOS. ENSAYO MAQUEHUA



**FIGURA 4b**  
**GRADIENTE VERTICAL Y VARIACION TEMPORAL DE LOS**  
**CONTENIDOS DE NITROGENO DISPONIBLE (ppm) DE LOS**  
**TRATAMIENTOS APLICADOS. ENSAYO LA COLCHA**

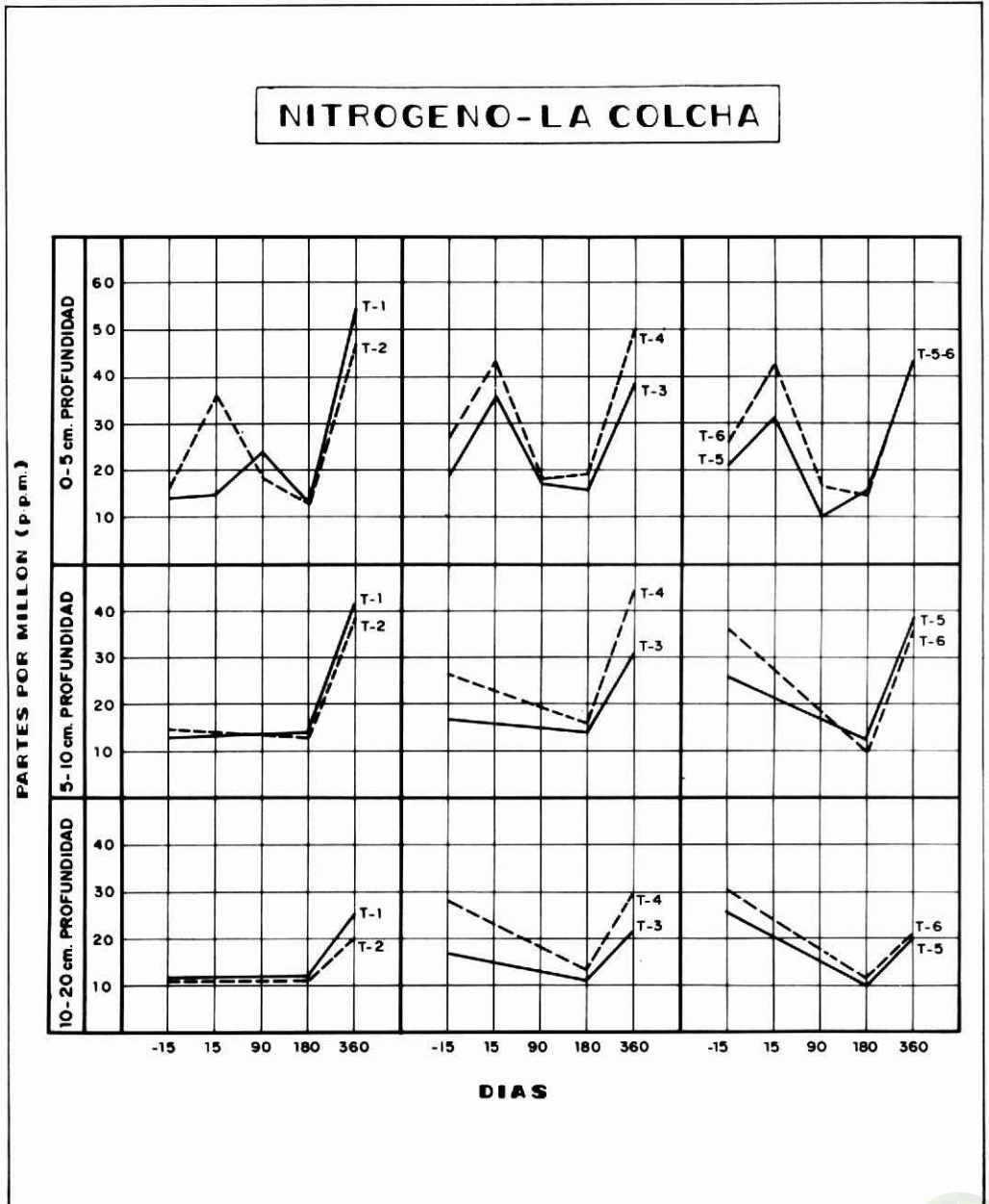


FIGURA 5a

ESTIMACION DE LA CANTIDAD DE NITROGENO (Kg/ha)  
ACUMULADO EN EL SUELO MINERAL (0-20 cm) DE LOS  
TRATAMIENTOS APLICADOS SEGUN EPOCA DE MUESTREO  
ENSAYO MAQUEHUA

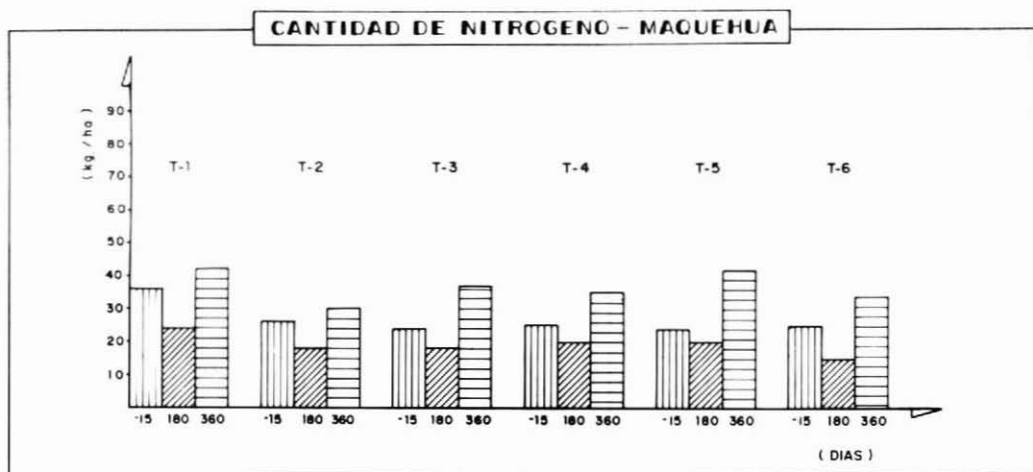


FIGURA 5b

ESTIMACION DE LA CANTIDAD DE NITROGENO (Kg/ha)  
ACUMULADO EN EL SUELO MINERAL (0-20 cm) DE LOS  
TRATAMIENTOS APLICADOS SEGUN EPOCA DE MUESTREO  
ENSAYO LA COLCHA

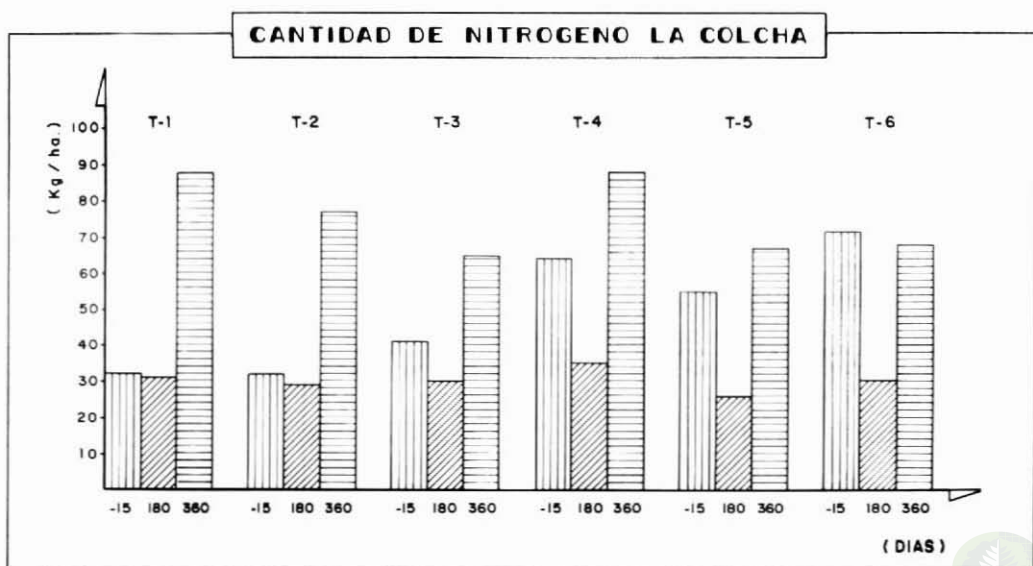




FIGURA 6a

GRADIENTE VERTICAL Y VARIACION TEMPORAL DE LOS  
CONTENIDOS DE FOSFORO DISPONIBLE (ppm) DE LOS  
TRATAMIENTOS APLICADOS. ENSAYO MAQUEHUA

P - MAQUEHUA

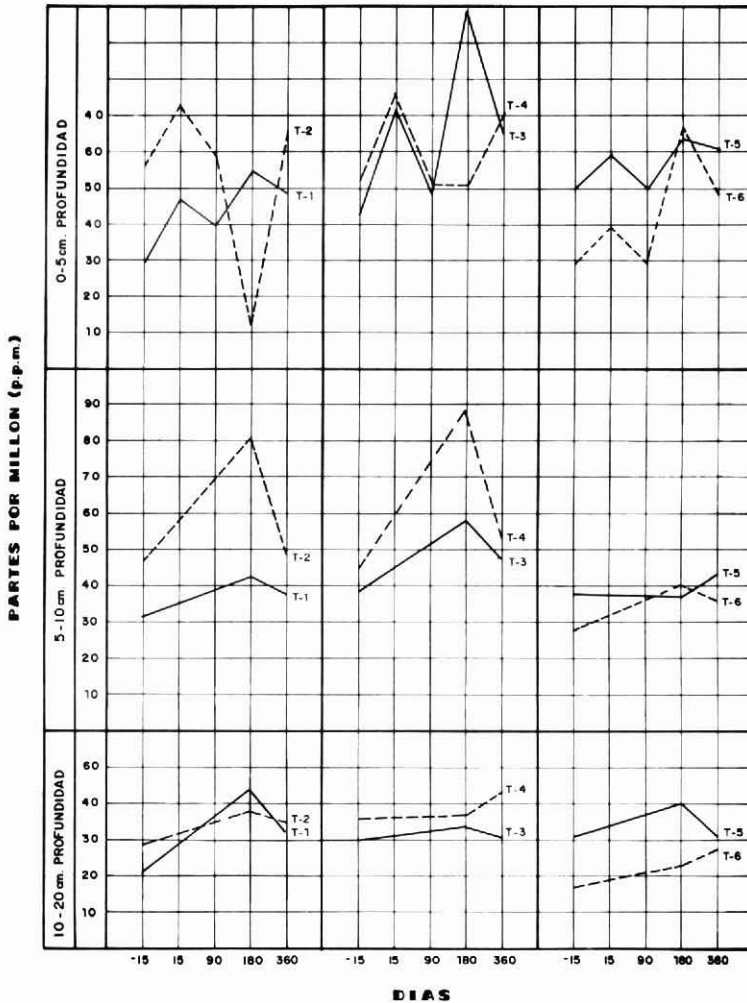


FIGURA 6b

GRADIENTE VERTICAL Y VARIACION TEMPORAL DE LOS  
CONTENIDOS DE FOSFORO DISPONIBLE (ppm) DE LOS  
TRATAMIENTOS APLICADOS. ENSAYO LA COLCHA

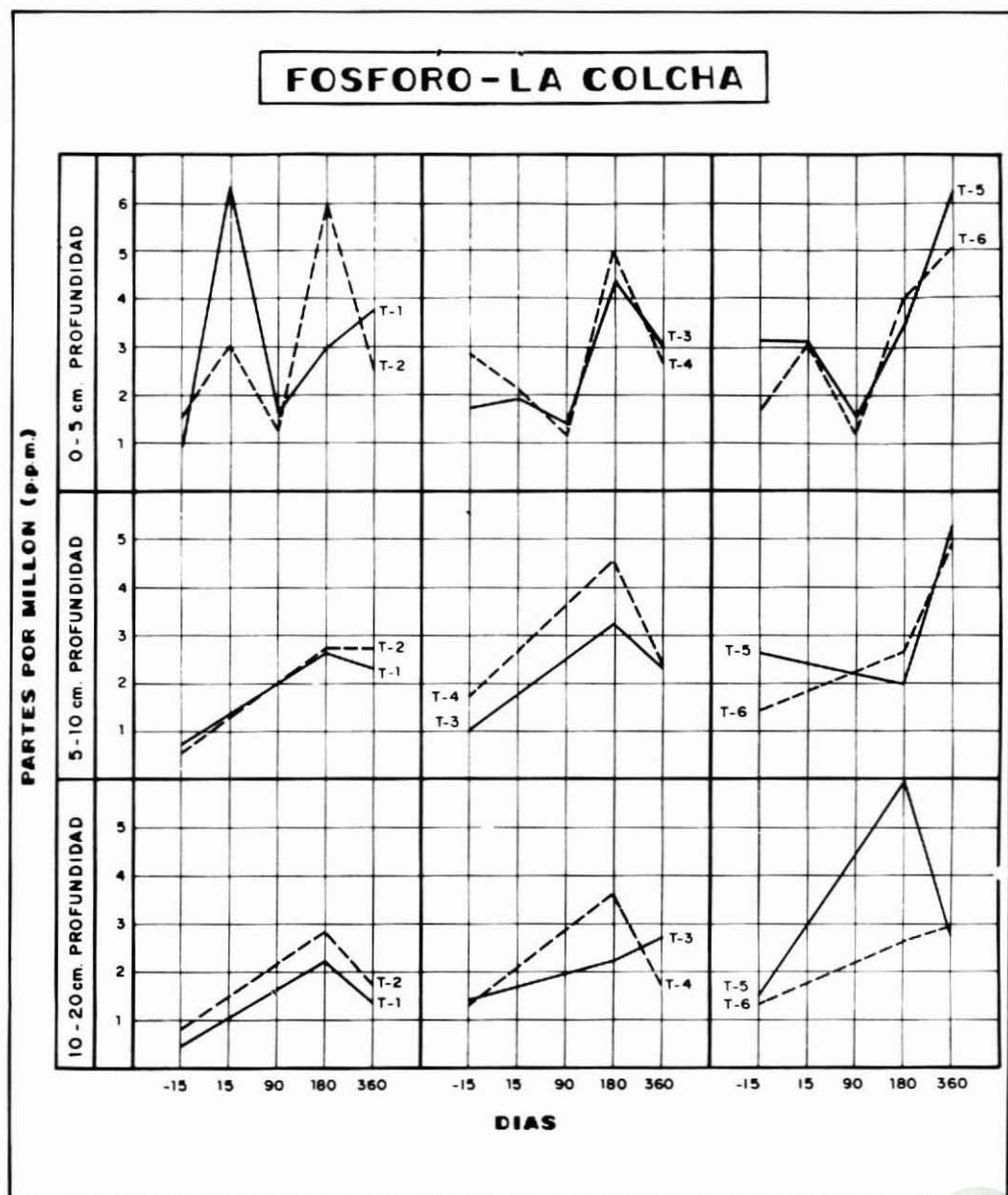


FIGURA 7a

ESTIMACION DE LA CANTIDAD DE FOSFORO (Kg/Ha) ACUMULADO EN EL SUELO MINERAL (0-20 cm) DE LOS TRATAMIENTOS APLICADOS SEGUN EPOCA DE MUESTREO. ENSAYO MAQUEHUA

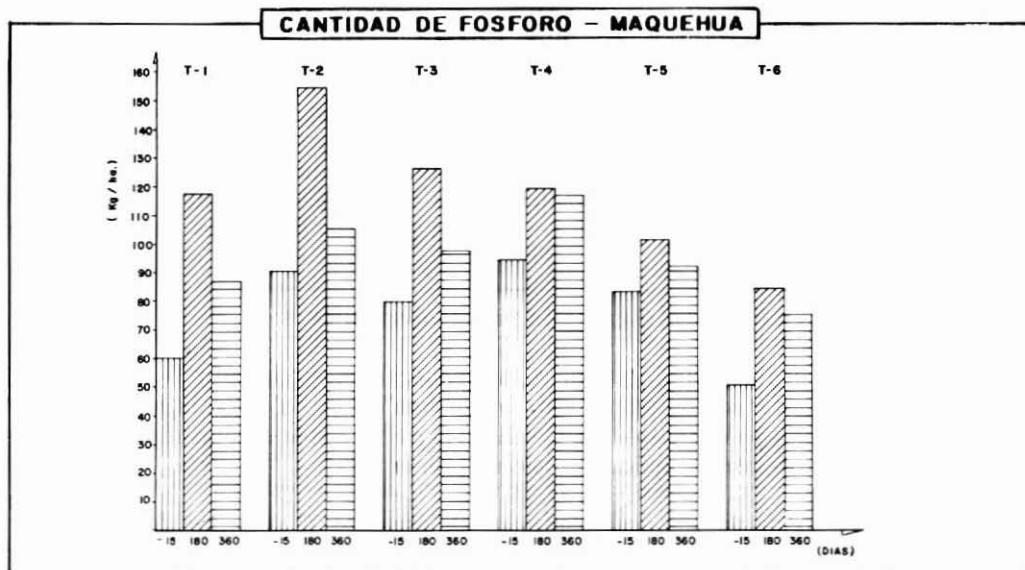
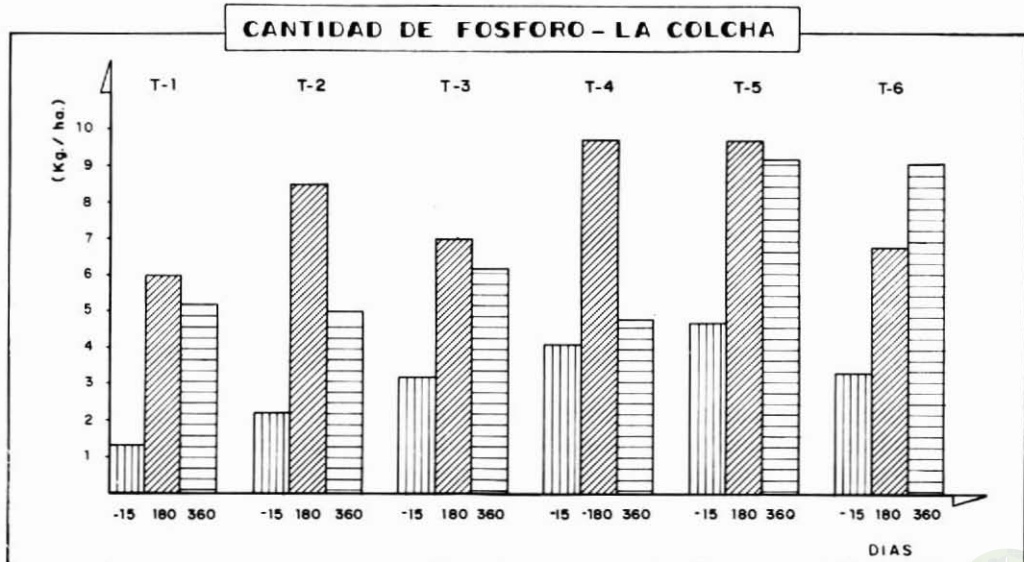


FIGURA 7b

ESTIMACION DE LA CANTIDAD DE FOSFORO (Kg/Ha) ACUMULADO EN EL SUELO MINERAL (0-20 cm) DE LOS TRATAMIENTOS APLICADOS SEGUN EPOCA DE MUESTREO. ENSAYO LA COLCHA



En los ensayos “Maquehua” (fig. 7a) y “La Colcha” (Fig. 7b) las cantidades iniciales de fósforo registran aumentos significativos en las modalidades con quema (T-1 a T-4) y tienden a decrecer considerablemente respecto de la fase intermedia, en la etapa final. En el ensayo “Maquehua” presentan esas variantes las mayores reducciones, lo que podría indicar la ocurrencia de pérdidas de la fracción disponible del fósforo bajo texturas arenosas en ausencia de cubiertas húmicas estables.

También se ven negativamente afectados los tratamientos que incluyen quemas controladas en el ensayo “La Colcha”, más aún si se consideran los bajos niveles iniciales. En cambio, los tratamientos no afectos a quemas, en ambos ensayos, especialmente el tratamiento T-5 (sin quemas y sin extracción de residuos), experimentan aumentos progresivos en función del grado de mineralización gradual de los compuestos fosfatados a partir de la transformación de la materia orgánica, entre otros procesos biológicos que transcurren paralelamente.

### **Contenidos (ppm) y cantidades (kg/ha) de potasio disponible**

La disponibilidad de potasio presenta una reducción marcada entre la etapa inicial y final en todos los tratamientos del ensayo “Maquehua” (Fig. 8a) y en la mayoría de los tratamientos aplicados en el ensayo “La Colcha” (Fig. 8b), con la excepción de los tratamientos T-1 y T-2 en su fase de aplicación inicial (primer mes).

Las cantidades de potasio acumuladas en los primeros 20 cms., tienden a reducirse severamente en el ensayo “Maquehua” (Fig. 9a) entre la dotación nutricional inicial y final en todos los tratamientos que incluyen variantes de quema (T-1 a T-4), con leves incrementos en la evaluación final de los tratamientos que no contemplan quemas (T-5 y T-6).

Las cantidades de potasio en el ensayo “La Colcha” (Fig. 9b) se reducen gradualmente entre la etapa inicial y final en los tratamientos T-2 a T-5, registrándose un progresivo aumento en el tratamiento T-6.

Considerando que este elemento no experimenta pérdidas por volatilización, es altamente probable que por su alta movilidad sea lixiviado en profundidad, siendo este proceso favorecido en las texturas arenosas del ensayo “Maquehua”. En el ensayo “La Colcha”, de texturas finas (arcillosas), es probable que las pérdidas se deban, en parte, a escurrimiento superficial de las cenizas del suelo y procesos de lixiviación.

### **Contenidos de Calcio y Magnesio intercambiable**

Los valores analíticos de calcio intercambiable experimentan una tendencia generalizada a la reducción durante el primer año de aplicación de los tratamientos del ensayo “Maquehua” (Fig. 10a), sin que existan diferencias importantes entre los tratamientos.

Las curvas de respuesta del ensayo “La Colcha” (Fig. 10b), muestran claramente el efecto inicial de la aplicación de quemas controladas, experimentando los contenidos una reducción hacia las etapas intermedias y finales, debido probablemente a fluctuaciones estacionales del catión Calcio. En cambio, los niveles de calcio intercambiable de ensayo “Maquehua” exhiben una disminución general debido probablemente a procesos de lixiviación.



FIGURA 8a

GRADIENTE VERTICAL Y VARIACION TEMPORAL DE LOS  
CONTENIDOS DE POTASIO DISPONIBLE (ppm) DE LOS  
TRATAMIENTOS APLICADOS. ENSAYO MAQUEHUA

### POTASIO-MAQUEHUA

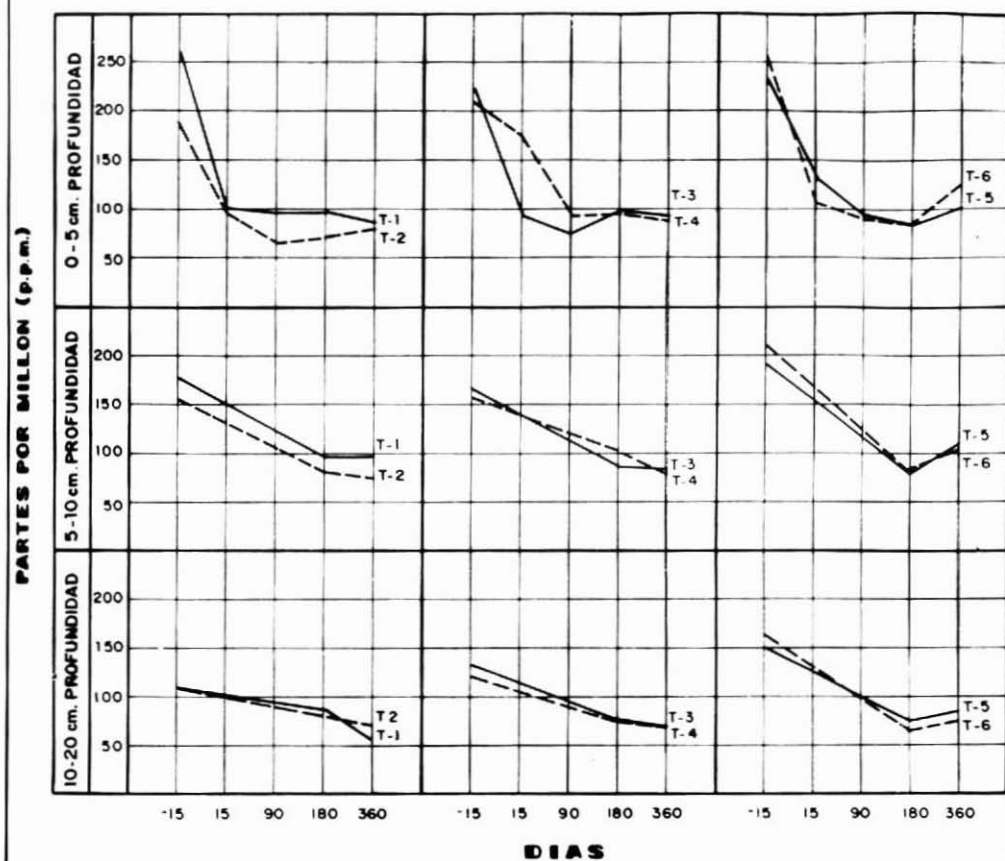


FIGURA 8b

GRADIENTE VERTICAL Y VARIACION TEMPORAL DE LOS CONTENIDOS DE POTASIO DISPONIBLE (ppm) DE LOS TRATAMIENTOS APLICADOS. ENSAYO LA COLCHA

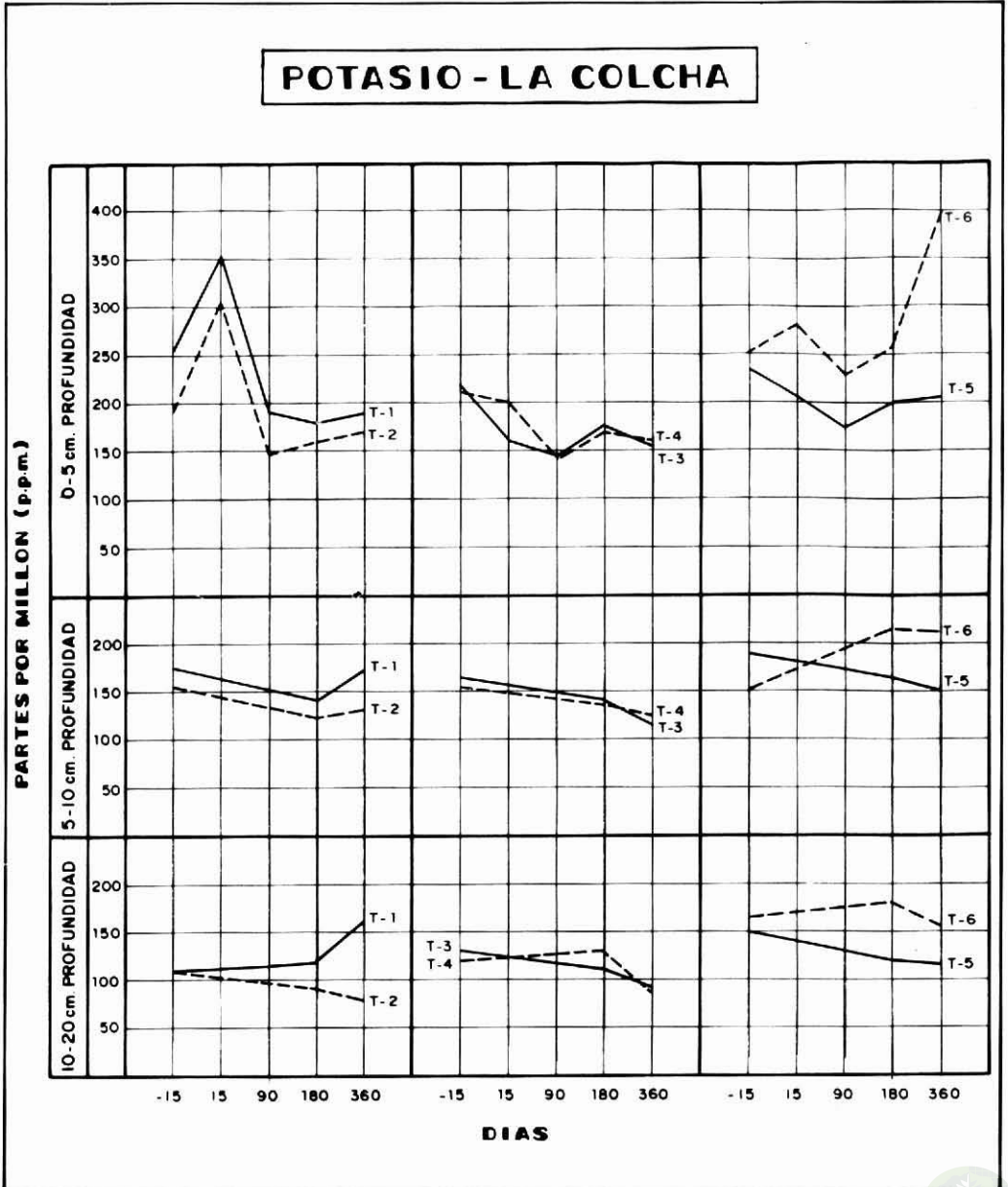


FIGURA 9a

ESTIMACION DE LA CANTIDAD DE POTASIO (Kg/Ha) ACUMULADO EN EL SUELO MINERAL (0-20 cm) DE LOS TRATAMIENTOS APLICADOS SEGUN EPOCA DE MUESTREO. ENSAYO MAQUEHUA

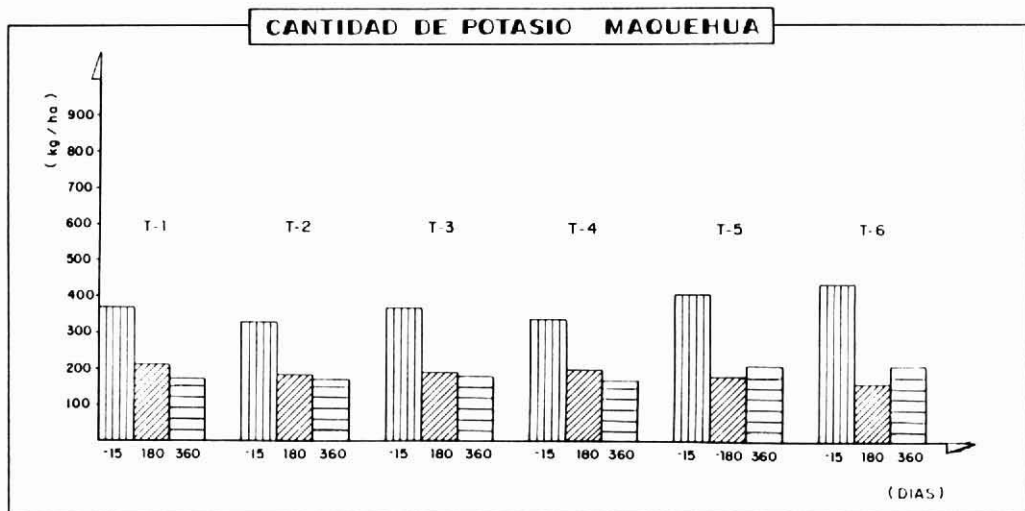


FIGURA 9b

ESTIMACION DE LA CANTIDAD DE POTASIO (Kg/Ha) ACUMULADO EN EL SUELO MINERAL (0-20 cm) DE LOS TRATAMIENTOS APLICADOS SEGUN EPOCA DE MUESTREO. ENSAYO LA COLCHA

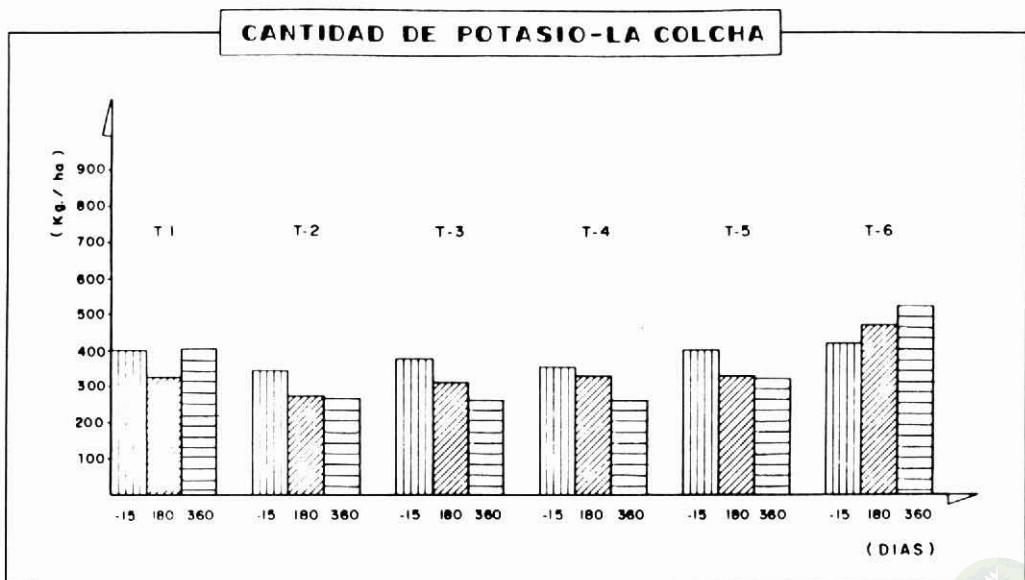


FIGURA 10a

GRADIENTE VERTICAL Y VARIACION TEMPORAL DE LOS  
CONTENIDOS DE CALCIO Y MAGNESIO INTERCAMBIABLE  
(m.eq./100g) DE LOS TRATAMIENTOS APLICADOS  
ENSAYO MAQUEHUA

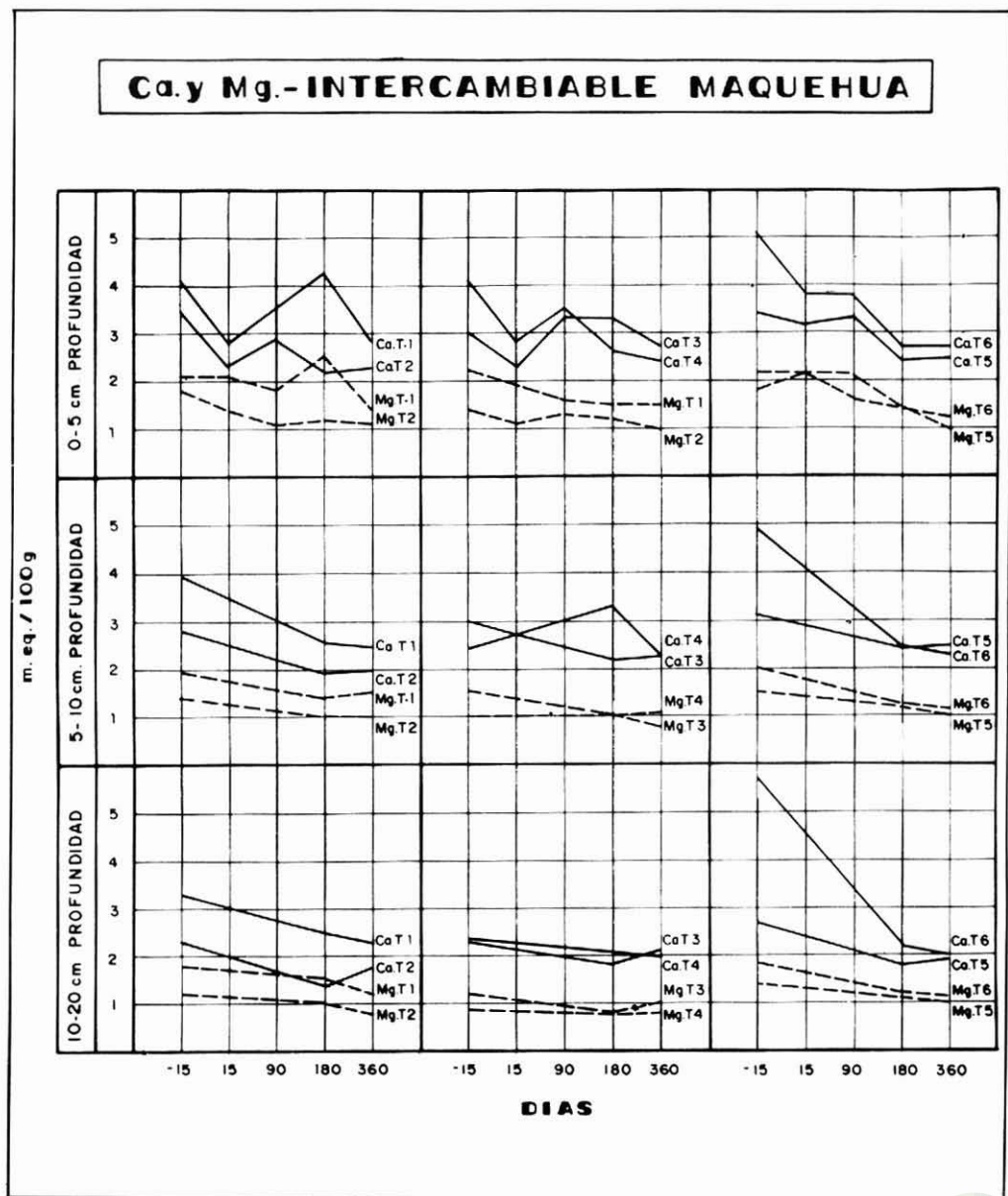
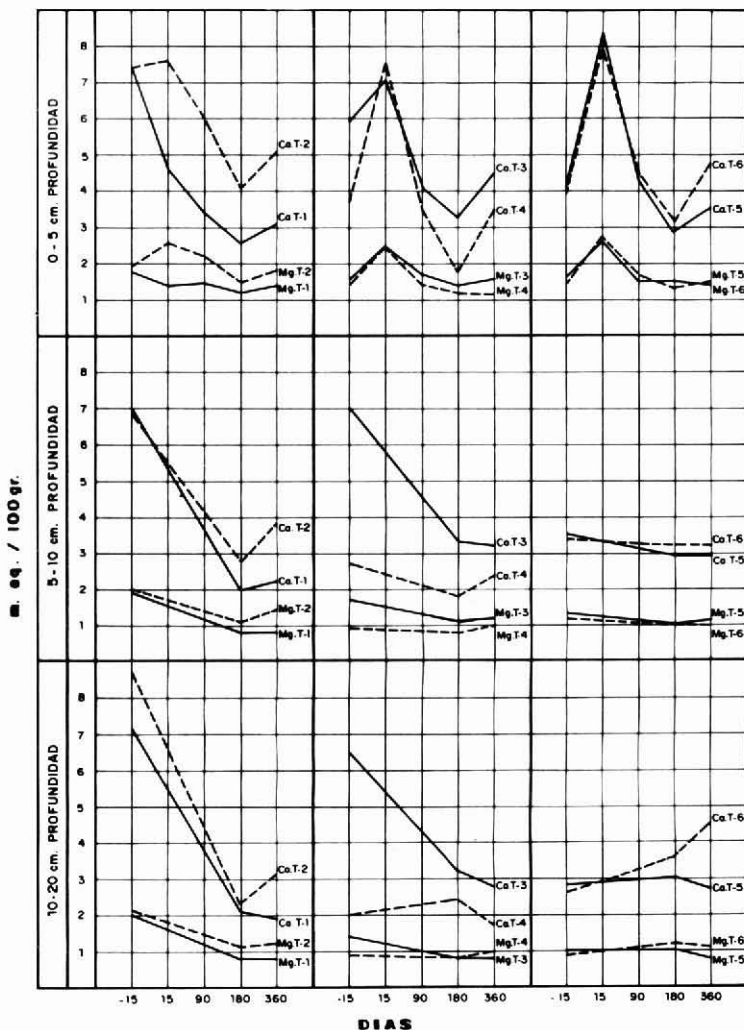




FIGURA 10b

**GRADIENTE VERTICAL Y VARIACION TEMPORAL DE LOS  
CONTENIDOS DE CALCIO Y MAGNESIO INTERCAMBIABLE  
(m.eq./100g) DE LOS TRATAMIENTOS APLICADOS  
ENSAYO LA COLCHA**

**Ca. y Mg. INTERCAMBIABLE - LA COLCHA**



Los contenidos de magnesio intercambiable del ensayo "Maquehua" (Fig. 10a), registran una disminución gradual generalizada durante el período de estudio considerado. Las curvas de respuesta de los contenidos de magnesio intercambiable del ensayo "La Colcha" (Fig. 10b), registran, en cambio, moderados aumentos iniciales en las diversas variantes de análisis, para luego decrecer gradualmente hacia la etapa final observada. En general la tendencia a la disminución exhibida por estos cationes ( $Ca^{++}$  y  $Mg^{++}$ ) está en directa relación con la textura del suelo de los ensayos.

## EFECTO SOBRE LAS PLANTAS

### Estado nutricional

La evaluación de posibles efectos de los tratamientos en los niveles nutricionales al término del primer año de aplicación en base a la comparación respecto de valores críticos de análisis foliar *Pinus radiata*, recomendados y recopilados por ADAMS (1974) y WILL (1983) para Nueva Zelanda, con los resultados analíticos obtenidos en los ensayos "Maquehua" y "La Colcha", se presentan separadamente para macro- y micro- nutrientes en las tablas 1a, 1b y 2a, 2b, respectivamente.

TABLA 1a

VALORES ANALITICOS FOLIARES MEDIOS DEL ESTADO NUTRICIONAL  
DE MACROELEMENTOS DE N, P, K, Ca Y Mg.  
ENSAYO MAQUEHUA. (PRIMER CONTROL FOLIAR)

Tratamiento	Macroelemento (%)				
	N	P	K	Ca	Mg
T-1	2.34	0.19	0.56	0.34	0.21
T-2	2.52	0.19	0.54	0.40	0.20
T-3	2.26	0.21	0.57	0.38	0.19
T-4	2.37	0.19	0.53	0.42	0.20
T-5	2.41	0.21	0.58	0.33	0.19
T-6	2.11	0.19	0.54	0.40	0.19

TABLA 1b

VALORES ANALITICOS FOLIARES MEDIOS DEL ESTADO NUTRICIONAL DE MACROELEMENTOS DE N, P, K, Ca Y Mg. ENSAYO LA COLCHA. (PRIMER CONTROL FOLIAR)

Tratamiento	Macroelemento (%)				
	N	P	K	Ca	Mg
T-1	2.37	0.16	0.78	0.29	0.10
T-2	2.21	0.16	0.86	0.24	0.09
T-3	2.44	0.16	0.75	0.23	0.09
T-4	2.23	0.15	0.83	0.24	0.09
T-5	2.35	0.17	0.80	0.26	0.10
T-6	2.51	0.17	0.70	0.27	0.10

TABLA 2a

VALORES ANALITICOS FOLIARES MEDIOS DEL ESTADO NUTRICIONAL DE MICROELEMENTOS DE Zn, Mn, Fe, Cu, B ENSAYO MAQUEHUA. (PRIMER CONTROL FOLIAR)

Tratamiento	Microelementos (ppm)				
	Zn	Mn	Fe	Cu	B
T-1	36	142	102	5	13
T-2	32	145	106	6	9
T-3	37	137	86	5	8
T-4	35	183	98	5	9
T-5	36	176	64	5	12
T-6	39	177	75	6	11

TABLA 2b

**VALORES ANALITICOS FOLIARES MEDIOS DEL ESTADO  
NUTRICIONAL DE MICROELEMENTOS DE Zn, Mn, Fe, Cu, B  
ENSAYO LA COLCHA. (PRIMER CONTROL FOLIAR)**

Tratamiento	Microelementos (ppm)				
	Zn	Mn	Fe	Cu	B
T-1	19	301	110	8	15
T-2	22	301	122	8	16
T-3	19	296	162	8	16
T-4	27	266	141	8	15
T-5	21	317	95	8	14
T-6	21	329	110	7	14

En general puede señalarse que hasta el primer año de aplicación de los tratamientos las plantas establecidas y evaluadas a través de análisis foliar presentan un nivel nutricional adecuado en los macronutrientes N, P, K, Ca y Mg en ambos ensayos (ver tablas 1a y 1b), presentándose variaciones mínimas entre tratamientos. Excepcionalmente se presentan en el ensayo "La Colcha" niveles de magnesio intermedios y/o deficitarios (menor a 0,10%), especialmente en los tratamientos afectos a quemas (T-2, T-3 y T-4).

Los valores analíticos medios de los micronutrientes Zn, Mn, Fe, Cu y B, presentan, en ambos ensayos, (ver tabla 2a y 2b) niveles nutricionales adecuados, con leves variaciones entre tratamientos al comparar los niveles foliares de los respectivos elementos indicados. En el ensayo "Maquehua" (tabla 2b) se registran niveles foliares de Boro marginales a deficientes (8-12 ppm) en los tratamientos afectos a quema T-2, T-3 y T-4, ubicándose en cambio los tratamientos sin aplicación de quemas (T-5 y T-6) y quemas en retroceso (T-1) en rangos nutricionales adecuados.

Es probable que las diferentes modalidades de quema (T1 a T-4) hayan provocado una sobre oferta de algunos nutrientes, pero también indujeron a otros, por arrastre de cenizas y lixiviación, a rangos foliares intermedios o deficitarios.

El estado nutricional actual obtenido en ambos ensayos hace necesario continuar con prospecciones foliares, con una periodicidad a lo menos semestral, con el objeto de visualizar los efectos de la aplicación de los tratamientos en el mediano y largo plazo.



TABLA 3a

VARIABLES DE ESTADO DE LA PLANTACION. ENSAYO MAQUEHUA  
(PRIMER CONTROL DASOMETRICO)

Variable	TRATAMIENTO						
	T1	T2	T3	T4	T5	T6	X
Altura (m)							
Promedio	0.38	0.49	0.49	0.44	0.72	0.74	0.54
Varianza	0.0007	0.0006	0.0003	0.0008	0.042	0.0065	0.0264
Diam. cuello (cm)							
Promedio	0.79	1.01	0.98	0.93	0.85	0.75	0.88
Varianza	0.0025	0.0057	0.0010	0.0028	0.127	0.0065	0.0134
Sobrevivencia (Nº/plan/par)							
Promedio	93.3	98.7	100.0	98.7	98.0	94.7	97.7

TABLA 3b

VARIABLES DE ESTADO DE RODAL. ENSAYO LA COLCHA  
(PRIMER CONTROL DASOMETRICO)

Variable	TRATAMIENTO						
	T1	T2	T3	T4	T5	T6	X
Altura (m)							
Promedio	0.75	0.91	0.77	0.76	0.69	0.74	0.77
Varianza	0.0025	0.0127	0.002	0.0057	0.013	0.017	0.078
Diam. cuello (cm)							
Promedio	1.78	2.07	1.92	1.90	1.53	1.76	1.82
Varianza	0.30	0.130	0.002	0.043	0.026	0.012	0.058
Sobrevivencia (Nº/plan/par)							
Promedio	97.7	100.0	95.3	98.3	81.7	90.7	93.9

## Crecimiento

Los resultados correspondientes al primer control dasométrico anual para las variables de estado de rodal (altura total y diámetro de cuello) y porcentaje de sobrevivencia media, se presentan en las tablas 3a y 3b. Este control se efectuó junto con el control foliar anual y la quinta evaluación de suelos.

### - Altura (m)

En el ensayo “Maquehua”, los tratamientos que contemplan diversas variantes de quemas controladas (T-1 a T-4), presentan valores inferiores de altura media respecto de aquellas que no incluyen ningún tipo de quemas, con diferencias de altura aproximadamente de 0,3 m. Probablemente esta disminución del crecimiento en áreas quemadas de la zona de arenales esté relacionado con intensivos procesos de lixiviación de algunos nutrientes considerando la falta de una cubierta húmica estable y con deficiencias nutricionales de Boro, especialmente en los tratamientos T-2, T-3 y T-4.

En cambio, la curva de respuesta de crecimiento en altura del ensayo “La Colcha” presenta valores similares entre tratamientos, con excepción del tratamiento T-2, que registra los mayores valores de altura obtenidos.

Al comparar las alturas medias de los tratamientos con aplicaciones de quema (T-1 a T-4), del sitio de calidad superior de la zona de Arauco, con las de Arenaless, se observan diferencias que corresponden al doble del crecimiento. Si se comparan los valores “testigos” (T-5), se observan variaciones mínimas entre las alturas medias de ambas localidades, lo cual es particularmente relevante para la mantención de la productividad del sitio en la zona de arenales.

### - Diámetro de cuello (cm)

En el ensayo “Maquehua” los tratamientos sometidos a quemas (T-2 a T-4) registran los mayores crecimientos en diámetro. El tratamiento (T-5) alcanza valores aproximados al promedio general de los tratamientos aplicados. Las variaciones entre tratamientos para esta variable son mínimas (25 cm).

En el ensayo “La Colcha” los valores de crecimiento en diámetro de cuello también experimentan incrementos en los tratamientos que contemplan quemas (T-2 a T-4) y en menor grado los tratamientos T-1 y T-6, respecto del tratamiento sin quema (T-5). Las diferencias máximas en crecimiento entre tratamientos son del orden de 0,5 cm.

### - Porcentaje de sobrevivencia o prendimiento (%)

La sobrevivencia registrada refleja el buen prendimiento alcanzado en todos los tratamientos aplicados de ambos ensayos, con porcentajes que superan el 95%. Excepcionalmente el tratamiento T-5 (sin quema y con residuos de explotación acumulados en bruto), del ensayo “La Colcha” registra una disminución del procedimiento cercana al 20%, lo que podría indicar que la acumulación de residuos en bruto (sin astillar y esparcir y/o incorporar homogéneamente en el suelo) estarían incidiendo en el establecimiento de la plantación en suelos de textura superficial arcillosa, lo que se refleja además en bajos crecimientos en diámetro y altura.

En el ensayo "Maquehua" los residuos de explotación depositados en bruto (T-5) influyen, en cambio, en forma mínima en los porcentajes de sobrevivencia, considerando los crecimientos alcanzados por las variables altura y diámetro.

Se deberá continuar anualmente con mediciones de crecimiento de estas variables para evaluar su comportamiento futuro.

## CONCLUSIONES (PRIMER AÑO DE APLICACION)

### Efectos Sobre el Suelo

#### - pH (reacción del suelo)

Los tratamientos de quema en suelos de texturas arenosas, disminuyen la acidez de suelo desde 5,6 hasta 6,3 pH (0 - 5 cm), observándose ligeros aumentos de los valores de pH hasta los 20 cm de profundidad. En cambio, en suelos de textura arcillosa los efectos de las quemas prescritas producen una variación transitoria en el pH, de 5,1 a 5,6, para luego aumentar la acidez del suelo a niveles de pH similares o inferiores a los iniciales.

#### - Materia orgánica

A través de la aplicación de las modalidades de quema ocurre una rápida transformación u oxidación de nutrientes contenidos en la materia orgánica. En suelos arcillosos ocurren aumentos de la materia orgánica en los horizontes minerales analizados, debido probablemente a la compensación de pérdidas de horizonte orgánico ("Mantillo"), por movimientos de los coloides quemados hacia el suelo subsuperficial. En cambio, en suelos arenosos se producen severas disminuciones al comparar los resultados de las evaluaciones iniciales y finales de este estudio.

#### - Nutrientes disponibles e intercambiables

La aplicación de quemas prescritas induce en suelos arenosos y arcillosos a procesos de mineralización acelerada en la materia orgánica, lo que se traduce en incrementos inmediatos de las disponibilidades de los elementos de fósforo y nitrógeno. Este último presenta reducciones hacia la etapa intermedia del estudio.

En cambio, la aplicación de quemas provoca una disminución de la disponibilidad de potasio, especialmente en suelos arenosos, supuestamente a causa de su rápida lixiviación.

En suelos de texturas arcillosas los contenidos de calcio y magnesio intercambiable muestran incrementos después de la aplicación de quemas, pero posteriormente se reducen sus contenidos. En cambio, en suelos arenosos ocurre una disminución generalizada.

### Efecto Sobre el Estado Nutricional

Aún cuando los niveles foliares de macro y micronutrientes en general son satisfactorios, los resultados preliminares indican que las quemas podrían afectar los niveles de Boro (suelos arenosos) y Magnesio (Arauco).



### **Efecto Sobre el Crecimiento**

En suelos arcillosos la aplicación de quemas prescritas influyen favorablemente en las variables de crecimiento de altura y diámetro. En cambio, en suelos arenosos los crecimientos en altura fueron afectados negativamente.

### **Recomendaciones Silviculturales**

La aplicación de quemas controladas no es recomendable en suelos de texturas arenosas considerando aspectos de conservación de nutrientes del suelo, crecimiento y estado nutricional. En tanto que la aplicación de quemas controladas en suelos de textura arcillosa, mejoran algunas propiedades químicas del suelo, aún cuando deterioran otras. Su aplicación se concibe como una práctica a ejecutar transitoriamente mientras se prueban otras modalidades de utilización de residuos de explotación, tendientes tanto a mantener la fertilidad del suelo como la productividad del sitio forestal en su conjunto, considerando que representan un capital nutricional que debe permanecer en el sistema.

### **NUEVOS ESTUDIOS**

Considerando la diversidad de resultados obtenidos según las localidades de ensayo y que la extrapolación de resultados es sólo posible de realizar en condiciones edafo-climáticas y topográficas similares, se hace altamente recomendable al continuar con estudios de algunas variantes de quemas controladas y otras modalidades de tratamientos de residuos de explotación en suelos de otras clases texturales, material generador y bajo condiciones preestablecidas de inclinación del terreno.

### **AGRADECIMIENTOS**

La realización de la presente publicación se encuentra enmarcada en el proyecto de mantención de la productividad del sitio. En este proyecto han participado los Ingenieros Forestales del INFOR, en especial los señores José Antonio Prado, Sergio Aguirre, e Ingenieros Forestales de la Universidad de Chile, Sres. Jorge Toro y Guillermo Julio.

Este proyecto cuenta con el co-financiamiento y aportes de las siguientes empresas forestales: Bosques de Chile, Forestal Arauco Ltda., Forestal Río Vergara S.A., Forestal Mininco S.A., Forestal Cholguán y Forestal Tornagaleones.



**BIBLIOGRAFIA**

1. BURSCHEL, P. HUSS, J. 1987. Grundriss des Waldbaus. Pareys Studentexte Nr. 49, Hamburg Berlin, W. Germany. 352 p.
2. FASSBENDER, H. 1978. Química de Suelos. Instituto Interamericano de Ciencias Agrícolas. San José, Costa Rica, 398 p.
3. ICONA. 1989. Técnicas para defenderse contra incendios forestales. Monografía 24. Icona. Madrid.
4. JULIO, G. 1988. Análisis de Técnicas de quemas en la eliminación de desechos de explotaciones de Pino radiata, Revista INFOR ciencias e Investigaciones Forestal Vol. 2, Nº 3. 27 - 44.
5. KUNZ, M., AGUIRRE, S., PETERS, R. PRADO, J.A. 1985. Efectos de la utilización de las plantaciones de Pino insigne en la mantención de la productividad del sitio. Simp. Pinus radiata - Investigación en Chile, Fac. Ciencias Forestales, Universidad Austral de Chile, Valdivia. Tomo I: 177 - 197.
6. MOBLEY, H. JACKSON, R., BALMER W., RUZISLA, E., HOUGH, W. 1973. Guide for Prescribed Fire in Southern Forest. USDA, for. Serv. Atlanta, Georgia 40 p.
7. TORO, J., ALVAREZ S. 1985. Aspectos nutricionales del Pino radiata en relación al uso del sitio. Actas Simposio Pinus radiata - Investigación en Chile. Fac. de Ciencias Forestales, Universidad Austral de Chile, Valdivia Tomo I: 152 - 162.
8. WELLS, C.G., CAMPBELL, R.E., DEBANO, L.F. 1979. Effects of Fire on Soil. USDA Forest Service, Gen. Techn. Rep. WO-7 Washington.

