



Universidad de Chile

Facultad de Ciencias Químicas y Farmacéuticas
Departamento de Química Inorgánica y Analítica

**EFFECTO DE LA APLICACIÓN DE RESIDUOS
SÓLIDOS DE ALTO IMPACTO EN LA ACTIVIDAD
BIOLÓGICA DE SUELOS DE USO FORESTAL**

Memoria de título para optar al título de Bioquímico

Gonzalo Arturo Santander Hormazábal

Profesor Patrocinante

María Aguilera S.

Departamento de Química Analítica e Inorgánica

Profesores Directores

María Aguilera S.

Departamento de Química Analítica e Inorgánica

Gilda Borie B.

Departamento de Química Analítica e Inorgánica

Santiago de Chile

Enero de 2005

Con cariño
*A mis padres, Diego y Margarita
Y a mi hermana Paulina.*

*A mis profesoras Maria Aguilera y Gilda Borie
Por su constante apoyo y cariño
En todo momento.*

*A mis amigos del Laboratorio de Química y Bioquímica de Suelo
Cecilia, Hugo, Nilsa, Pamela y Valeska
Por todos los momentos gratos.*

ÍNDICE

Página

• Resumen	1
• Abstract	3
• Introducción	5
• Objetivos	9
• Materiales y Métodos	10
• Plan de Trabajo	15
• Resultados	
I. Experiencia en Terreno	18
I a. Propiedades Generales	18
I b. Actividad Dehidrogenasa	21
I c. Comparación Act. Dehidrogenasa con línea base	24
II. Experiencia Incubados	27
II a. Características Generales	27

II b.	Actividad Dehidrogenasa	27
II c.	Actividad Arilsulfatasa	30
II d.	Carbohidratos Totales	32
II e.	Humedad y pH	35
III.	Experiencia Micorriza y Fertilización	36
III a.	Ensayo Micorriza	36
III b.	Ensayo Fertilizante	37
•	Discusión	38
•	Conclusiones	49
•	Bibliografía	51
•	Anexos	54

RESUMEN

La determinación de las propiedades químicas y biológicas es un mecanismo útil para establecer un seguimiento de la calidad del suelo y ver los posibles efectos del manejo de este.

Una de las prácticas usuales en suelos es la adición de fertilizantes, entre los cuales podría estimarse la aplicación de biosólidos, de gran utilidad en terrenos forestales. Su uso es una práctica que se lleva a cabo en países desarrollados bajo estrictas normas ambientales. En Chile, la implementación de plantas de tratamiento de aguas servidas trae consigo una acumulación de biosólidos, los cuales tienen como destino los saturados vertederos del país. Por lo tanto el darle salida sustentable a estos residuos es algo necesario.

En este trabajo se estudió el efecto de la aplicación de biosólidos a suelos de uso forestal, para ello se determinará una serie de parámetros: % de Carbono, Capacidad de Retención de Agua, pH, Actividad Dehidrogenasa, Actividad Arilsulfatasa e Hidratos de Carbono Totales, los cuales serán comparados con suelos sin tratamiento y así determinar los posibles efectos del biosólido. El estudio comprende suelos de experiencias en terreno e incubados en el laboratorio.

Los resultados muestran que después de seis meses de aplicación de la 1º dosis de lodo en terreno, hay efectos de estos en la actividad dehidrogenasa, se observa aumento o en algunos casos una mantención de esta actividad, pero en ningún caso una disminución significativa, es decir, no tiene efectos tóxicos. En condiciones controladas (incubaciones) los efectos del lodo sobre la actividad dehidrogenasa son inmediatos, provocando un aumento de esta. En los suelos incubados, los Hidratos de Carbono Totales aumentan con respecto

a los testigos proporcionalmente a la dosis de lodo aplicado. La aplicación de lodo no varia la actividad Arilsulfatasa en los suelos incubados con respecto a los testigos. En los incubados, el pH de los suelos con lodo disminuye con respecto a los testigos, siendo la disminución más considerable a medida que aumenta la dosis. Existe una evidente correlación entre el nivel de actividad dehidrogenasa y los hidratos de carbono totales presentes.

La aplicación de micorrizas y la mezcla de micorrizas-fertilizante al suelo no afectan la actividad dehidrogenasa de estos. El fertilizante tiene efectos dispares en la actividad dehidrogenasa al ser aplicado a distintos predios: aumento, mantención y disminución.

ABSTRACT

The determination of chemical and biological properties is a useful mechanism to trace the quality of soil and see possible effects of soil management.

A common practice related to soil is fertilizer addition such as biosolid application, of great utility in timberland soils. This practice is carried about in developed countries under strict environmental regulations. In Chile, the setting up of wastewater treatment plants brings about accumulation of biosolids, which are eventually carried to saturated landfills. Thus, a sustainable use of these residues becomes of utmost necessity.

This study deals with the effects of applying biosolids to timberland soils. To this end, a series of parameters was determined: carbon percentage, water retention capacity, pH, dehydrogenase activity, arylsulfatase activity, and total carbohydrates, which were compared with nontreated soils so as to determine the possible biosolid effects. The study included field experience and laboratory-incubated soils. Another study included the effect of mycorrhiza and mycorrhiza-fertilizer on biological activity.

The results show that after six months of the first field sludge application, sludge effects were observed on dehydrogenase activity, sometimes an increase and in some cases the activity remained steady, but in no case a significant decrease was observed, that is, it has no toxic effects. Under controlled conditions (incubations), the effects of sludge on dehydrogenase activity are immediate, causing an increase in it. In incubated soils, total carbohydrates increase in relation to witnesses was proportional to the rate of applied sludge. Sludge application does no change arylsulfatase activity in

incubated soils compared with witnesses. In incubated soils, pH decreases in sludge-treated soils compared with witnesses, and the decrease is larger with increasing rate. There is a clear correlation between the level of dehydrogenase activity and total carbohydrates present.

The application of mycorrhiza and the mixture of mycorrhiza-fertilizer to soil does not affect soil dehydrogenase activity. Fertilizer has various effects on dehydrogenase activity when applied to different land lots: increase, steady activity and decrease.

INTRODUCCIÓN

El suelo es un sistema complejo, el cual desempeña ciertas funciones fundamentales:

1. es un medio de crecimiento de las plantas, ya que funciona como soporte físico y como reservorio de agua y nutrientes esenciales para ellas.
2. posee cierta capacidad de atenuar los efectos nocivos de contaminantes mediante procesos físicos, químicos y biológicos (1,2).

En el sistema edáfico la materia orgánica o humus se ubica principalmente en el horizonte superficial del suelo y juega un rol importante en el ecosistema por ser determinante en la calidad del sistema edáfico; definiendo calidad como: “La capacidad del suelo para funcionar dentro de un ecosistema sosteniendo la productividad biológica, manteniendo la calidad medioambiental y promoviendo la salud de animales, plantas y del propio hombre” (1,3,4). Dentro de la materia orgánica, la fracción biótica es fundamental, la cual está constituida por los microorganismos (biomasa) que son responsables de las reacciones bioquímicas que permiten la obtención de C, N, P y S libre, fuente de energía y nutrientes indispensables para el desarrollo de la vida.

La determinación de las propiedades químicas y biológicas son un mecanismo útil para establecer un seguimiento de la calidad del suelo y ver los posibles efectos de la manipulación de este (3-7). Se ha demostrado que la intervención del suelo afecta a los microorganismos, lo que conlleva una variación de estas propiedades (3-7), por lo que dominar las técnicas para determinar estos parámetros, especialmente biomasa y actividad enzimática, son de gran utilidad en el análisis del suelo, sin dejar de lado algunos parámetros físicos y químicos, los cuales son necesarios para tener una visión global del suelo.

Los últimos estudios utilizan la actividad enzimática y determinación de biomasa como principales indicadores de la actividad biológica debido a la correlación existente entre ellas y la materia orgánica presente, además de responder en forma inmediata frente a pequeños cambios del suelo, por lo tanto estos parámetros pueden ser utilizados como indicadores de la calidad del suelo (3-10,13,15,17).

La aplicación de biosólidos, llamados así a los residuos sólidos de plantas de tratamiento de aguas servidas, podría ser de gran utilidad tanto en terrenos agrícolas como forestales, esto se debe a que el principal aporte de estos residuos es su contenido en carbono, macro y micro nutrientes esenciales de lenta liberación: así los biosólidos son una fuente de energía que incrementan la población microbiana y sus actividades, por lo tanto se reactivan los ciclos biogeoquímicos (3,13). Esto los convierte en un buen fertilizante, además de mejorar la calidad de la materia orgánica debido al aporte que entrega a la estructura y estabilidad del suelo (6-8,15), de este modo ayuda a recuperarlos del uso intensivo dado por el hombre. Su uso es una práctica que se lleva a cabo en países desarrollados bajo estrictas normas ambientales que incluyen: control de nutrientes y patógenos, niveles de metales pesados, contenido de nitrógeno, xenobióticos, entre otros, las cuales están constantemente bajo revisiones y modificaciones (8,10,14-16).

Como se mencionó los biosólidos son ocupados en varios países con el fin de reciclar los elementos nutrientes y materia orgánica que poseen, pero hay que tener en consideración que cada suelo tiene sus propias características según su ubicación geográfica (pH, textura, % humedad, etc), también hay que tener en cuenta que los biosólidos que cada ciudad produce poseen distintos niveles de nutrientes, patógenos y metales pesados, lo que hace necesario que

cada región realice rigurosos estudios de los efectos de la aplicación de los biosólidos en la zona (1,6,7,11,13,15).

En general, los estudios realizados sobre los efectos de los biosólidos, en lo que se refiere a cambios en la materia orgánica y actividad biológica son alentadores, ya que tanto los niveles de materia orgánica, biomasa y de ciertas enzimas se ven aumentados tanto a corto como largo plazo (6-17). Estos cambios en la actividad biológica indican que tanto el número como la actividad de los microorganismos se ve beneficiada. Sin embargo, también se encuentran los riesgos que conlleva aplicar estos residuos al suelo: metales pesados, patógenos, xenobióticos y fitotóxicos (6,8,11,14,16), especialmente en suelo agrícola, ya que está estrechamente ligado con la cadena alimenticia del ser humano y por lo tanto una posible contaminación o enfermedades no se pueden descartar. Además se ha demostrado que ciertos tipos de lodos con poca maduración producen problemas en la germinación de semillas *in vitro* (11), pero a largo plazo favorecen la aparición de plantas nativas (12,13). Por eso se ha diversificado el destino de los biosólidos a usos menos riesgosos para la vida animal y al ser humano, por eso que la alternativa de aplicarlos a suelos forestales resulta un buen destino (8,13,19). Además la aplicación en estos sería beneficioso desde el punto de vista económico (8, 19), por que se ha demostrado que la aplicación de biosólidos en las dosis adecuadas favorece el crecimiento del diámetro en el tronco del pino radiata, lo que incrementa su valor al momento de ser comercializado (19).

En Chile, la implementación de plantas de tratamiento de aguas servidas avanza firmemente a lo largo del país, lo cual constituye un logro del punto de vista medioambiental, pero a su vez esto trae consigo una mayor producción y acumulación de biosólidos, los cuales tienen como destino los saturados vertederos del país. Por lo tanto el darle otra salida a estos residuos es algo

necesario, imitando lo que se hace en los países desarrollados, pero a su vez debemos tomar en cuenta las características de nuestros suelos y lodos producidos, principalmente con respecto a niveles de metales pesados y calidad del lodo, consecuentemente con esto el desarrollo de un acabado estudio relativo a los efectos de los biosólidos sobre el suelo, tanto a corto como a largo plazo, y todo lo que este sustenta es sumamente necesario para así implementar una norma de aplicación, con sólidas bases científicas, para evitar posibles efectos nocivos al ser humano y su hábitat.

Desde hace unos años el grupo de Química y Bioquímica de Suelos de la Facultad de Ciencias Químicas y Farmacéuticas junto a Ingeniería Forestal de la Facultad de Ciencias Forestales de la Universidad de Chile han comenzado a estudiar el efecto de los residuos sólidos de alto impacto en suelos de uso forestal utilizando la actividad biológica (biomasa y actividad enzimática) como uno de los principales indicadores de calidad de suelo con el fin de determinar la viabilidad de utilizar los residuos en este y el efecto que estos producirían en el entorno.

En este trabajo se determinaran parámetros físicos, químicos y bioquímicos de suelos tratados con biosólidos, los cuales serán comparados con suelos sin tratamiento y así determinar los posibles efectos del biosólido, esto será tanto a nivel de terreno como a nivel de laboratorio. Además, como ensayo adicional, se analizará el efecto que produce la aplicación de micorrizas y fertilizante, en la actividad biológica y otros parámetros del suelo.

OBJETIVO GENERAL

Estudiar y analizar las actividades biológicas de suelos, comparándolos con suelos modificados con residuos sólidos de alto impacto (biosólidos) con el fin de determinar el efecto de estos residuos en el suelo y también el efecto de fertilización biológica y química de suelos.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Determinar parámetros físicos, químicos y bioquímicos de suelos testigos y suelos modificados con lodo, para así establecer una comparación de ambos suelos.
- Determinar parámetros físicos, químicos y una cinética de actividades biológicas de suelos testigos y suelos incubados con lodo por 40 días, para así establecer una comparación de ambos suelos.
- Determinar y comparar actividades biológicas de suelos forestales de distintas calidades y topografías, que fueron sometidos a fertilización con micorrizas y micorrizas-fertilizante.

MATERIALES Y MÉTODOS

Suelos ensayo en terreno

- Los suelos a estudiar corresponden a predios forestales ubicados en tres regiones del país, los cuales fueron muestreados a dos profundidades: 0-10 y 10-20cm.

VII región, Forestal Bosques de Chile predio San Pedro.

- Rodal adulto (9 parcelas, nº 1-9)
- Rodal juvenil (15 parcelas, nº 10-24)

VI región, CONAF predio Tanumé.

- Rodal adulto (9 parcelas, nº 1-9)
- Rodal juvenil (15 parcelas, nº 10-24)

V región, predio Jaururo.

- Rodal adulto (9 parcelas, nº 1-9)

Suelos ensayo incubación

- Los suelos a incubar corresponden a suelos sin tratamiento de lodo muestreados el año 2003 de los predios mencionados anteriormente, seleccionados según % Carbono. Para este propósito se tomaron cantidades similares de suelo de tres parcelas distintas, por cada rodal y región, con los porcentajes de carbono más bajo, posteriormente fueron mezclados para ser utilizados en la incubación (total: 5 mezclas de suelo).

Lodos

- Los lodos provienen de plantas de tratamientos de aguas servidas ubicadas en:
 - Curicó VII región, sanitaria ESSBIO.
 - Rancagua VI región, sanitaria ESSEL.
 - Ligua V región, sanitaria ESVAL.

Suelos ensayo micorrizas y fertilizante en suelos con plantación de Sequoia.

- Estos suelos corresponden a suelos provenientes de Forestal Yelcho, Lanco X región. Divididos en suelos Lonco y suelos Voipir.

Micorrizas

- La micorriza utilizada corresponde al género *Glomus intraradices*, contenida en el producto Mikro-Vam de la empresa Mikro-Tec.

Fertilizante

- El fertilizante utilizado tiene la siguiente composición:
N: 16%, P (P₂O₅): 14%, K (K₂O): 5%, Ca (CaO): 4%, S: 5%, Mg (MgO): 4%, B: 2%, Zn: 0,5% y Cu: 0,25%.

Parámetros físicos y químicos

- 1. Humedad** por pérdida de peso a 105°C durante 2 horas.
- 2. Capacidad de Retención de Agua (CRA)**
 - a) Se pesa una placa filtrante de 50ml con 15g de suelo.
 - b) Se humecta el suelo hasta que la superficie se humedezca totalmente.
 - c) Se deja reposar hasta que se elimine el exceso de agua por lixiviación y se vuelve a pesar, el agua absorbida corresponde a la CRA. Se expresa como el porcentaje de agua retenida por 100g de suelo seco.
- 3. pH** determinado en un pHmetro, marca WTW microprocessor pH 537, en una suspensión 2:1 agua-suelo.
- 4. Textura** por el método de la pipeta (sin agente disgregante).
 - a) pesar 20g de suelo húmedo con una exactitud 0,01g
 - b) trasvasiar el suelo a una probeta de 1L.
 - c) Tapar la probeta y agitar bien.

- d) Colocar la probeta en el mesón y pipetear inmediatamente 20ml del centro de la probeta.(fracción < 50 μ m)
- e) Transferir la alícuota a un recipiente tarado, evaporar y secar toda la noche en estufa a 105°C.
- f) Sacar de la estufa, tapar y enfriar en desecador.
- g) A los 5 minutos, repetir el procedimiento desde el punto d (fracción <20 μ m).
- h) Y a las 5 horas y media, repetir el procedimiento desde el punto d (fracción <2 μ m).

4. Hidratos de Carbono Totales por el método adaptado por Aguilera M., Borie G., Milla P. y Peirano P. (20).

Procedimiento

- a) se toman 2g de suelo y se hidrolizan por 2 horas con 2ml de H₂SO₄ 25N a T° ambiente. Luego se diluye a H₂SO₄ 5N con 8ml de agua destilada y se deja por 14 horas a 50°C.
- b) el hidrolizado se neutraliza con NaOH 10N y el precipitado coloidal formado se centrifuga a 2500rpm x 15 minutos.
- c) Para determinar la cantidad de Hidratos de Carbono se colocan 10ml de solución de antrona (9,10-dihidro-9-oxoantraceno) al 1% en H₂SO₄(90%) en tubos de 30ml y sobre esta se agregan 2ml de la solución obtenida de la centrifugación, se homogeniza en un agitador de tubos y se calientan en un baño de agua a 90°C por 12 minutos.
- d) Se enfrían los tubos y el compuesto formado se determina leyendo su absorbancia en el espectrofotómetro ATI UNICAM UV/VIS Spectrometer UV2, a 625nm.

Curva de Calibración: se preparan soluciones patrones de glucosa de 25, 50, 75 y 100 μ g/ml.

Parámetros biológicos

- **Las actividades enzimáticas se determinarán como:**

1. Actividad de dehidrogenasas por el método de Aguilera S. M., Borie G., Rokov P. y Peirano P. (21).

Procedimiento.

- a) pesar 3 gramos exactos de suelo en un frasco pequeño de vidrio.
- b) agregar: 0,5ml de TTC (2,3,5-trifeniltetrazolio) al 3%p/v
50mg de Ca(OH)₂.
1,5ml de agua.
- c) incubar a 37°C por 24 horas.
- d) extraer el producto de la reacción (trifenilformazán) con metanol hasta que la pérdida de color lo indique.
- e) aforar los volúmenes extraídos a 50 o 100ml según sea necesario.
- f) leer en el espectrofotómetro ATI UNICAM UV/VIS Spectrometer UV2 a 480nm.

Curva de calibración: se prepara una solución de 100ppm de TFF (trifenilformazán) y a partir de esta se preparan soluciones de 4, 8 y 12 ppm

2. Actividad de Arilsulfatasas por medio del método de M. A. Tabatabai y J. M. Bremmer (22).

Procedimiento

- a) pesar 1 gramo de suelo en un matraz erlenmeyer
- b) agregar 4ml de buffer acetato 0,5M (pH 5,8), 0,25ml de tolueno y 1ml de solución p-nitrofenil sulfato 0,005M
- c) incubar a 37°C por 1 hora
- d) agregar al matraz 1ml de CaCl₂ 0,5M
4ml de NaOH 0,5M

e) filtrar la solución y leer la absorbancia del producto filtrado (p-nitrofenol) en el espectrofotómetro ATI UNICAM UV/VIS Spectrometer UV2 a 400nm.

Curva de Calibración: preparar una solución patrón de p-nitrofenol de 1mg/ml y a partir de esta se preparan soluciones de 10, 20, 30, 40 y 50 μg .

PLAN DE TRABAJO

I. Experiencia en terreno.

Análisis Químico y enzimático de suelos provenientes de los predios de la V, VI y VII región, a los cuales se les ha adicionado lodo en distintas dosis.

I a. Determinación de humedad : se determinará humedad según el método descrito, a las dos primeras profundidades de los suelos (0-10 y 10-20cm), mencionados en materiales y métodos.

I b. Determinación de Actividad Dehidrogenasa: se determinará la actividad dehidrogenasa (por duplicado) según el método descrito, a las dos primeras profundidades de los suelos (0-10 y 10-20cm), mencionados en materiales y métodos.

I c. Comparación de parámetros bioquímicos: los resultados de actividad dehidrogenasa de los distintos suelos tratados con lodos serán comparados con los resultados obtenidos el año 2003 (línea base).

II. Experiencia Incubados

Se prepararán incubaciones de suelo de las distintas regiones con sus lodos correspondientes, en condiciones controladas de temperatura y humedad con el fin de vislumbrar los posibles efectos del lodo a largo plazo sobre el suelo, tanto en parámetros químicos como bioquímicos.

II a. Preparación de mezclas de suelos para incubación: los suelos para este ensayo serán mezclados como se menciona en materiales y métodos, se les determinará humedad y CRA según el método descrito, luego cada mezcla será repartida en 3 partes iguales en frascos plásticos, se les aplicara la dosis

de lodo correspondiente a 400ppm de N y 800ppm de N, dejando uno como testigo (total: 15 frascos), para luego ajustar al 60% de la CRA , ser tapados con papel absorbente y dejados a 22°C. por 40 días aproximadamente.

II b. Determinación de Actividad Dehidrogenasa en incubados: se determinará la actividad dehidrogenasa, según el método descrito, a las incubaciones; 5 veces en intervalos de tiempo similares dentro 40 días aproximadamente de incubación, por duplicado, para así confeccionar una cinética a lo largo del periodo.

II c. Determinación de Actividad Arilsulfatasa en incubados: se determinará la actividad Arilsulfatasa, según el método descrito, a las incubaciones; 3 veces en intervalos de tiempo similares dentro 40 días aproximadamente de incubación, por duplicado, para así confeccionar una cinética a lo largo del periodo.

II d. Determinación de Carbohidratos totales en incubados: se determinaran los carbohidratos totales, según el método descrito, a las incubaciones, al inicio y al final de la incubación (en duplicado).

II e. Determinación de pH en incubados: se determinará el pH de las incubaciones según el método descrito, al final del período de incubación.

III. Experiencia Micorrizas y Fertilización

Se analizarán suelos mencionados en Materiales y Métodos los cuales han sido tratados con distintas dosis de fertilizante , micorrizas o ambos, para ver su posible efecto en la actividad enzimática.

III a. Ensayo micorrizas: se les determinará % de humedad y Actividad dehidrogenasa (en duplicado) a los suelos con plantación de sequoia, descritos en materiales y métodos, tratados con 3ml de micorrizas, 120g de fertilizante o ambos por planta.

III b. Ensayo fertilizante: se les determinará % de humedad y Actividad dehidrogenasa (en duplicado) a suelos con plantación de sequoia, mencionados en materiales y métodos, tratados con fertilizante en dosis crecientes (0, 30, 60, 90, 120, 150, 180, 210, 240, 270 y 300g/planta)

RESULTADOS

I. Experiencia en terreno.

I a. Propiedades generales de los suelos y lodos.

Para el estudio de los distintos suelos es necesario caracterizarlos determinando una serie de parámetros que en este caso serán: pH y % de humedad a las 2 primeras profundidades (0-10 y 10-20) y carbohidratos totales al nivel 0-10.

Tabla 1. Propiedades generales suelos San Pedro.

PREDIO San Pedro	PROFUNDIDAD				
	0-10	10-20	0-10	10-20	0-10
parcela	% humedad	% humedad	pH	PH	H. de C. total (mg/g ss)
parcela 1	15,8	17,3	5,4	5,7	13,7
parcela 2	20,8	18,8	5,7	5,9	6,20
parcela 3	19,2	17,4	6,0	6,4	5,80
parcela 4	17,9	16,7	5,7	5,4	15,6
parcela 5	17,1	20,6	5,5	5,7	1,70
parcela 6	17,3	17,7	6,0	5,3	6,90
parcela 7	22,9	18,5	5,5	5,6	18,5
parcela 8	20,0	20,4	5,8	5,4	6,90
parcela 9	16,1	16,7	nd	nd	10,1
parcela 10	20,5	21,4	6,0	5,7	5,90
parcela 11	18,6	18,6	nd	nd	6,70
parcela 12	18,5	17,6	6,2	6,0	4,60
parcela 13	15,4	15,6	5,8	4,7	6,30
parcela 14	19,0	21,9	nd	nd	4,00
parcela 15	16,4	18,1	nd	nd	11,3
parcela 16	19,7	18,7	6,2	5,5	2,60
parcela 17	20,4	20,1	5,5	5,4	4,80
parcela 18	22,3	16,6	5,8	5,7	6,00
parcela 19	26,2	19,7	6,0	5,4	8,00
parcela 20	21,8	19,9	nd	nd	3,90
parcela 21	17,0	18,4	5,6	5,5	5,70
parcela 22	21,1	22,2	6,1	6,0	9,40
parcela 23	19,9	19,3	nd	nd	5,50
parcela 24	19,4	19,6	nd	nd	5,80

H de C: Hidratos de carbono

ss: suelo seco

nd: no determinado

Tabla 2. Propiedades generales suelos Tanumé.

PREDIO Tanumé	PROFUNDIDAD				
	0-10	10-20	0-10	10-20	0-10
parcela	% humedad	% humedad	pH	pH	H. de C. total (mg/g ss)
parcela 4	10,8	10,7	5,1	5,1	2,00
parcela 5	9,90	10,2	5,8	5,2	4,90
parcela 8	9,10	11,3	5,1	4,9	3,90
parcela 9	12,7	11,5	5,3	5,4	7,30
parcela 10	9,30	11,4	5,6	5,1	3,20
parcela 13	10,1	10,9	5,6	5,5	5,70
parcela 16	11,7	11,7	5,5	5,4	4,90
parcela 17	14,1	11,0	5,6	5,3	9,60
parcela 18	11,6	12,0	6,2	6,1	4,40
parcela 21	11,6	12,8	5,8	5,6	4,20
parcela 23	14,5	13,5	6,7	6,6	11,3
parcela 24	12,7	12,0	6,0	5,8	5,90

H de C: Hidratos de carbono.

ss: suelo seco.

Tabla 3. Propiedades generales suelos Jaururo.

PREDIO Jaururo	PROFUNDIDAD				
	0-10	10-20	0-10	10-20	0-10
parcela	% humedad	% humedad	PH	pH	H. de C. total (mg/g ss)
parcela 1	8,5	nd	8,6	nd	nd
parcela 2	2,2	2,5	6,2	6,4	1,9
parcela 3	1,9	2,9	6,3	6,9	1,6
parcela 4	1,8	3,4	6,1	6,7	7,2
parcela 5	1,8	2,9	6,3	6,6	3,8
parcela 6	1,4	2,1	6,5	6,9	1,3
parcela 7	2,5	7,9	6,2	6,6	1,8
parcela 8	1,7	2,1	6,2	6,3	2,9
parcela 9	1,4	1,8	5,8	6,0	3,5

H de C: Hidratos de carbono

nd: no determinado

ss: suelo seco.

En general, se puede inferir de las 3 tablas anteriores que tanto el % de humedad como el pH prácticamente no varían entre las 2 primeras profundidades, notándose eso si una clara diferencia entre los suelos de la V región comparados con los de la VI y VII región en lo que a % de humedad se refiere.

Para los resultados de Hidratos de Carbono Totales encontramos niveles dispares dentro de un mismo predio, presentando los suelos de la V región niveles promedio más bajos que los de la región VI y VII.

Tabla 4. Textura de los suelos.

TEXTURA SUELOS

Predio	% arcilla <2um	% limo 2-20um	%limo 20-50um	% arena 50-2000um
San pedro Adulto	4,0	6,5	12,7	76,9
San pedro Juvenil	1,2	2,5	15,0	79,4
Tanumé Adulto	2,1	6,3	16,9	74,7
Tanumé Juvenil	0,7	3,0	20,7	75,9
Jaururo	1,9	13,7	38,7	43,2

Respecto a la textura, la tabla 4 nos muestra una similitud entre los suelos San Pedro y Tanumé predominando la arena en estos, quedando en la clasificación de Areno Franco (USDA, 1999). Con respecto al suelo Jaururo se observa un % similar de arena y limo (20-50µm), siendo clasificado como Franco Arenoso (USDA, 1999).

Debido a que el análisis de los suelos se basa en la aplicación de lodos sobre estos, es necesario analizar algunos parámetros de los lodos tales como: pH, % de humedad y carbohidratos totales.

Tabla 5. Caracterización de lodos.

Lodos	% humedad	pH	H. de C. Totales (mg/g)
V región	82,7	5,6	106
VI región	80,4	5,2	88.2
VII región	90,9	5,6	88.3

H. de C.: hidratos de carbono.

La tabla 5 nos muestra la similitud existente entre los lodos de la V y VI región en % de humedad, no así el lodo de la VII que posee un mayor % de humedad. El pH de la VI es levemente inferior.

I b. Actividad Biológica de los suelos tratados con lodos.

Actividad dehidrogenasa.

Para ver el efecto de la aplicación de lodos al suelo, después de 6 meses, sobre la actividad biológica, se determinó la actividad dehidrogenasa de estos en dos profundidades (0-10 y 10-20).

Tabla 6. Actividad Dehidrogenasa suelos San Pedro Juvenil.

DEHIDROGENASA SAN PEDRO JUVENIL

Parcela	Tratamiento	Profundidad 0-10			Profundidad 10-20		
		Conc. final (ppm)	Desv. std.	C.V.	Conc. final (ppm)	Desv. std.	C.V.
parcela 2	Testigo	1053	100	9,5	256	1	0,4
parcela 6	Testigo	834	41	4,9	415	47	11
parcela 14	Testigo	587	8	1,4	726	18	2,5
parcela 1	400 lodo	584	34	5,8	411	35	8,5
parcela 9	400 lodo	672	32	4,8	711	135	19
parcela 10	400 lodo	773	62	8,0	278	36	12
parcela 7	800 lodo	995	9	0,9	1133	16	1,4
parcela 12	800 lodo	386	20	5,2	600	68	11
parcela 13	800 lodo	759	8	1,1	340	3	0,9

400 lodo: dosis de lodo correspondiente a 400ppm de N.

800 lodo: dosis de lodo correspondiente a 800ppm de N.

Se puede notar que la actividad dehidrogenasa no sigue tendencia alguna por profundidad en estos suelos (tabla 6).

Tabla 7. Actividad Dehidrogenasa suelos San Pedro Adulto.

DEHIDROGENASA SAN PEDRO ADULTO

parcela	Tratamiento	Profundidad 0-10			Profundidad 10-20		
		Conc. final (ppm)	Desv. std.	C.V.	Conc. final (ppm)	Desv. Std.	C.V.
parcela 17	Testigo	627	10	1,6	227	7	3,1
parcela 21	Testigo	450	17	3,8	202	7	3,5
parcela 24	Testigo	521	45	8,6	702	51	7,3
parcela 16	400 lodo	750	94	12	106	2	1,9
parcela 18	400 lodo	1371	103	7,5	419	70	16
parcela 20	400 lodo	686	71	10	314	8	2,5
parcela 19	800 lodo	1327	39	2,9	324	38	11
parcela 22	800 lodo	473	18	3,8	891	17	1,9
parcela 23	800 lodo	524	14	2,7	184	15	8,2

400 lodo: dosis de lodo correspondiente a 400ppm de N.

800 lodo: dosis de lodo correspondiente a 800ppm de N.

En estos suelos (tabla 7) se puede observar una disminución del nivel de actividad de la enzima entre profundidades prácticamente en todas las parcelas.

Tabla 8. Actividad Dehidrogenasa suelos Tanumé Juvenil.

DEHIDROGENASA TANUME JUVENIL

Parcela	tratamiento	Profundidad 0-10			Profundidad 10-20		
		Conc. final (ppm)	Desv. std.	C.V.	Conc. final (ppm)	Desv. std.	C.V.
Parcela 1	Testigo	sin muestra	sin muestra	Sin muestra	sin muestra	sin muestra	sin muestra
Parcela 6	Testigo	sin muestra	sin muestra	Sin muestra	sin muestra	sin muestra	sin muestra
Parcela 14	Testigo	sin muestra	sin muestra	Sin muestra	sin muestra	sin muestra	sin muestra
Parcela 5	400 lodo	477	46	9,6	73	7	9,6
Parcela 9	400 lodo	882	10	1,1	483	71	14
Parcela 13	400 lodo	993	6	0,6	181	17	9,4
Parcela 4	800 lodo	186	3	1,6	15	1	6,7
Parcela 8	800 lodo	484	50	10	113	17	15
Parcela 10	800 lodo	412	70	17	118	9	7,6

400 lodo: dosis de lodo correspondiente a 400ppm de N.

800 lodo: dosis de lodo correspondiente a 800ppm de N.

En estos suelos (tabla 8) la disminución de la actividad dehidrogenasa es considerable entre las dos profundidades.

Tabla 9. Actividad Dehidrogenasa suelos Tanumé adulto.

DEHIDROGENASA TANUME ADULTO

Parcela	tratamiento	Profundidad 0-10			Profundidad 10-20		
		Conc. final (ppm)	Desv. std.	C.V.	Conc. final (ppm)	Desv. std.	C.V.
Parcela 19	Testigo	sin muestra	sin muestra	Sin muestra	sin muestra	sin muestra	sin muestra
Parcela 20	Testigo	sin muestra	sin muestra	Sin muestra	sin muestra	sin muestra	sin muestra
Parcela 22	Testigo	sin muestra	sin muestra	Sin muestra	sin muestra	sin muestra	sin muestra
Parcela 17	400 lodo	391	33	8,4	420	4	1,0
Parcela 21	400 lodo	606	77	12	512	36	7,0
Parcela 23	400 lodo	738	52	7,0	788	69	8,8
Parcela 16	800 lodo	166	9	5,4	147	5	3,4
Parcela 18	800 lodo	556	5	0,9	352	48	13
Parcela 24	800 lodo	694	29	4,2	517	33	6,4

400 lodo: dosis de lodo correspondiente a 400ppm de N.

800 lodo: dosis de lodo correspondiente a 800ppm de N.

En este caso (tabla 9) encontramos que la actividad de la enzima varia de forma aleatoria entre profundidades.

Tabla 10. Actividad Dehidrogenasa suelos Jaururo.

DEHIDROGENASA JAURURO

Parcela	tratamiento	Profundidad 0-10			Profundidad 10-20		
		Conc. final (ppm)	Desv. std.	C.V.	Conc. final (ppm)	Desv. std.	C.V.
parcela 2	testigo	221	1	0,5	96	6	6,3
parcela 6	testigo	217	15	6,9	12	2	16
parcela 8	testigo	90	3	3,3	17	0	0,0
parcela 1	400 lodo	11	0	0,0	0	0	0,0
parcela 4	400 lodo	343	26	7,6	42	8	19
parcela 5	400 lodo	97	2	2,1	50	10	20
parcela 3	800 lodo	248	8	3,2	92	8	8,7
parcela 7	800 lodo	308	1	0,3	9	0	0,0
parcela 9	800 lodo	904	48	5,3	23	0	0,0

400 lodo: dosis de lodo correspondiente a 400ppm de N.

800 lodo: dosis de lodo correspondiente a 800ppm de N.

En los suelos de la tabla 10 la enzima tiene una elevada actividad en la profundidad 0-10 con respecto a la 10-20.

I c. Comparación de actividad dehidrogenasa frente a la línea base (Profundidad 0-10).

Gráfico 1. Efecto del lodo en la actividad dehidrogenasa 6 meses después de la aplicación. Suelo San Pedro juvenil (tabla de datos en anexo 2).

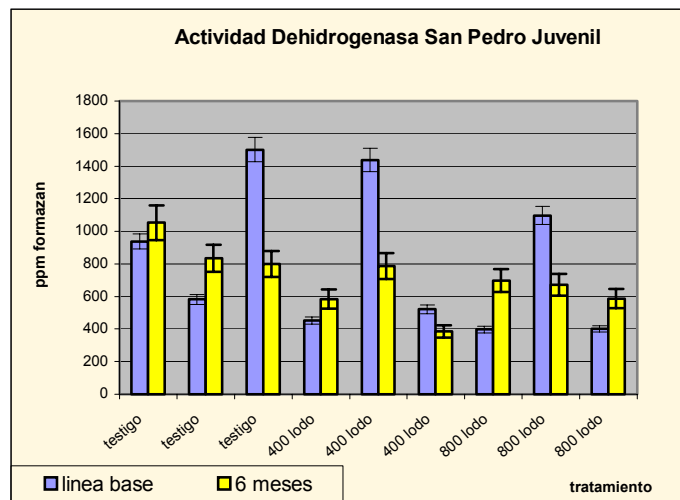
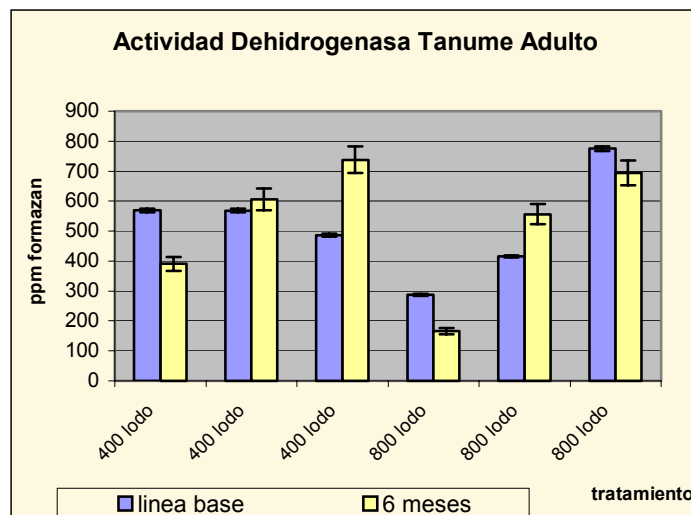


Gráfico 2. Efecto del lodo en la actividad dehidrogenasa 6 meses después de la aplicación. Suelo Tanumé Adulto (tabla en anexo 1).



A partir de estas comparaciones (Gráficos 1 y 2) no se puede concluir un posible efecto de lodo en estos suelos debido a variaciones positivas y negativas en todos los tratamientos, incluso en los testigos (San Pedro).

Gráfico 3. Efecto del lodo en la actividad de hidrogenasa 6 meses después de la aplicación. Suelos San Pedro Adulto (tabla anexo 2).

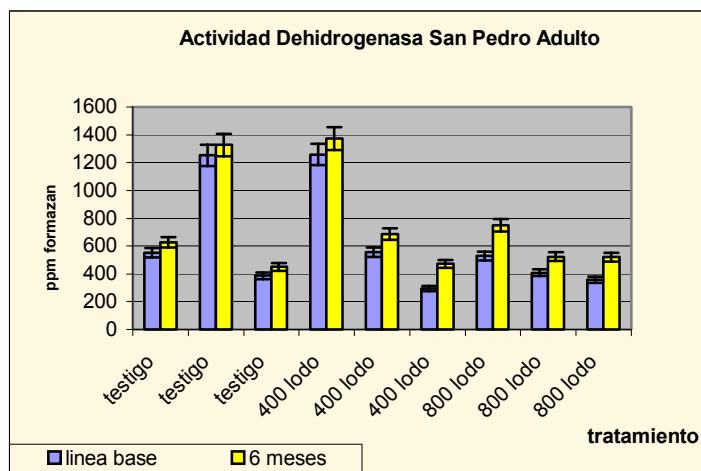
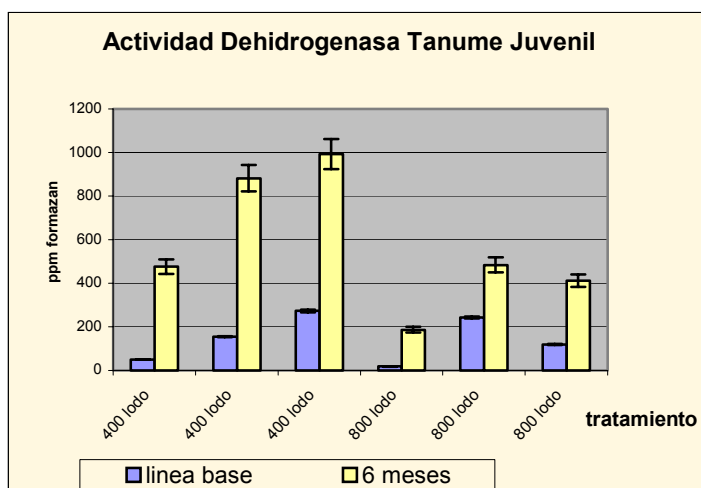
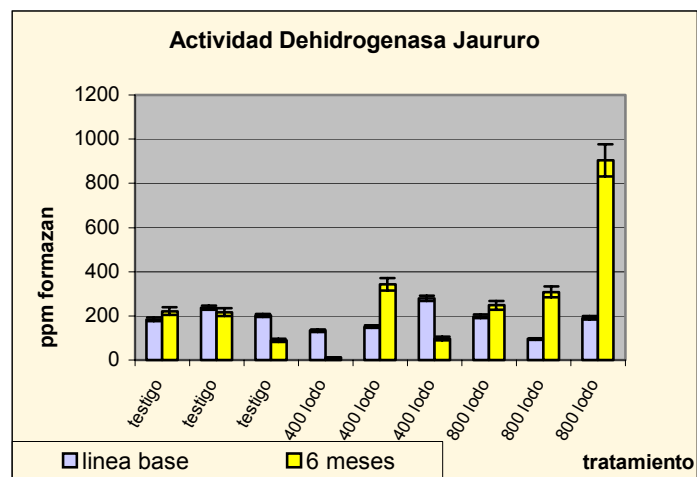


Gráfico 4. Efecto del lodo en la actividad de hidrogenasa 6 meses después de la aplicación. Suelos Tanumé Juvenil (tabla anexo 1).



En estos 2 casos (gráficos 3 y 4) la actividad de hidrogenasa aumenta en todos los suelos, pero este aumento es significativamente mayor en los suelos modificados con lodo (Tanumé Juvenil).

Gráfico 5. Efecto del lodo en la actividad de hidrogenasa 6 meses después de la aplicación. Suelos Jaururo (tabla anexo 3).



En estos suelos no se observa una variación en la actividad de los testigos, en los suelos con dosis lodo 400 no se observa una tendencia y en los suelos con dosis 800 se observan distintos grados de aumento de la actividad.

II. EXPERIENCIA INCUBADOS.

II a. Suelos incubados con distintas dosis de lodo.

Cada mezcla fue caracterizada antes de comenzar la incubación

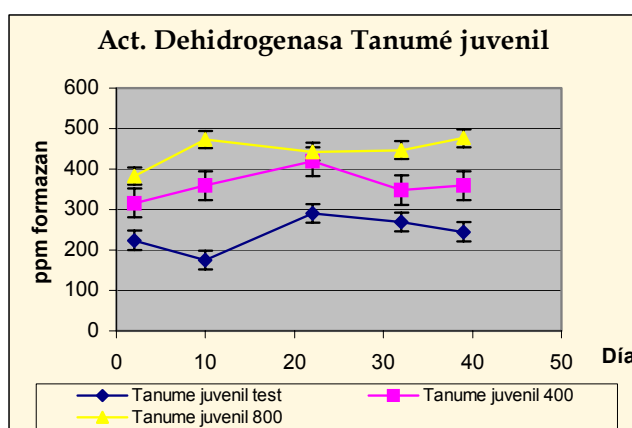
Tabla 11. % de humedad, pH y C.R.A. de las mezclas.

	% humedad	C.R.A.(gH ₂ O/100g s.s.)	PH
Jaururo	17,5	35,4	5,8
Tanumé Adulto	29,5	54,1	5,9
Tanumé Juvenil	20,2	42,2	5,4
San Pedro Adulto	28,0	64,9	6,0
San Pedro Juvenil	27,7	64,0	5,5

Como se menciona en el plan de trabajo, a cada incubación se le determinará una serie de parámetros químicos y bioquímicos, con el propósito de obtener una cinética dentro del periodo de incubación.

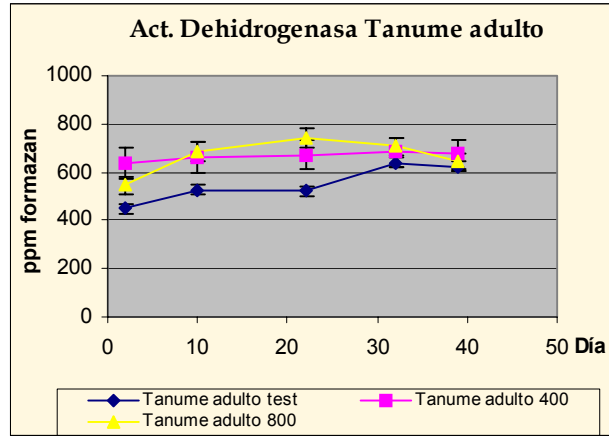
II b. Actividad de Dehidrogenasas: se determinó esta actividad en 5 intervalos de tiempo similares obteniendo los siguientes gráficos. (tabla de datos en anexo 4)

Gráfico 6. Actividad dehidrogenasa Tanumé Juvenil



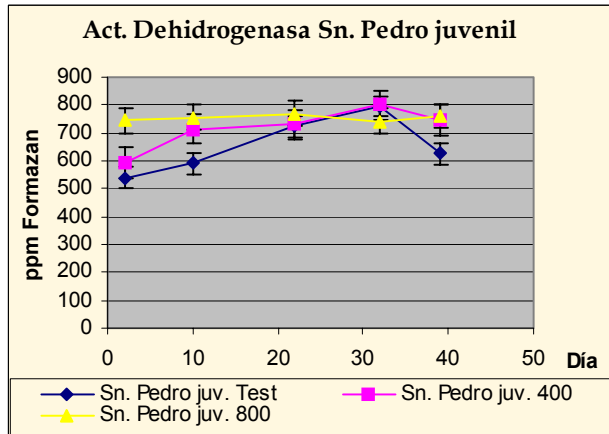
En el gráfico 6 encontramos un efecto inmediato en la actividad dehidrogenasa, el cual se mantiene en el tiempo y es dosis-dependiente.

Gráfico 7. Actividad dehidrogenasa Tanumé Adulto.



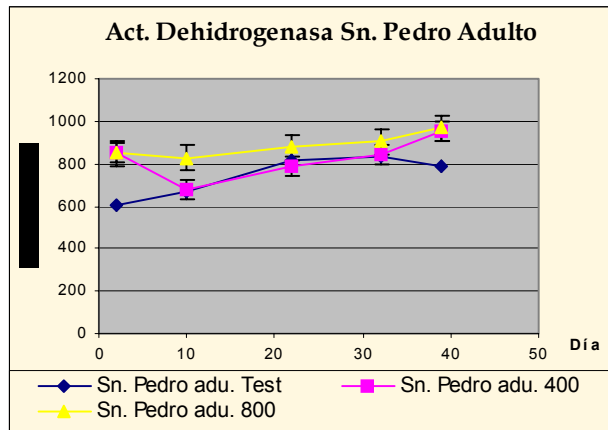
En esta incubación (grafico 7) se observa un efecto positivo e inmediato en la actividad dehidrogenasa, el cual como en el caso anterior se mantiene en el tiempo, pero no se observa una clara dosis-dependencia.

Gráfico 8. Actividad dehidrogenasa San Pedro Juvenil



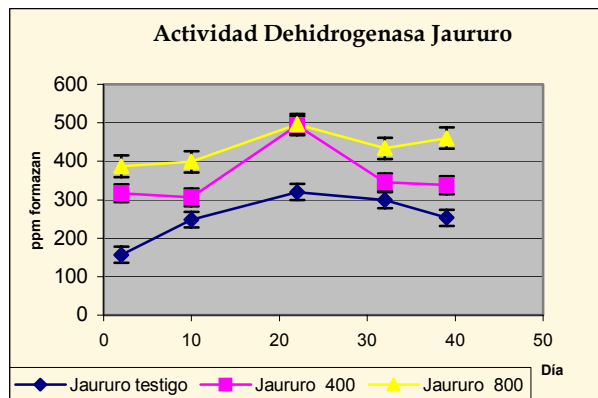
En este gráfico notamos un aumento inicial en la actividad enzimática de los suelos modificados con lodo, el cual en el caso de la dosis 800 se mantiene claramente, no así el suelo dosis 400 y el testigo que mantienen niveles fluctuantes.

Gráfico 9. Actividad dehidrogenasa San Pedro Adulto.



Al igual que en todas las incubaciones anteriores, el aumento inmediato en la actividad de la enzima es notorio y tal como ocurre en el suelo San Pedro juvenil, el efecto se mantiene en el suelo con la dosis 800 y el comportamiento de la enzima en el testigo y el suelo con dosis 400 es similar en un lapso de tiempo (10-30 días).

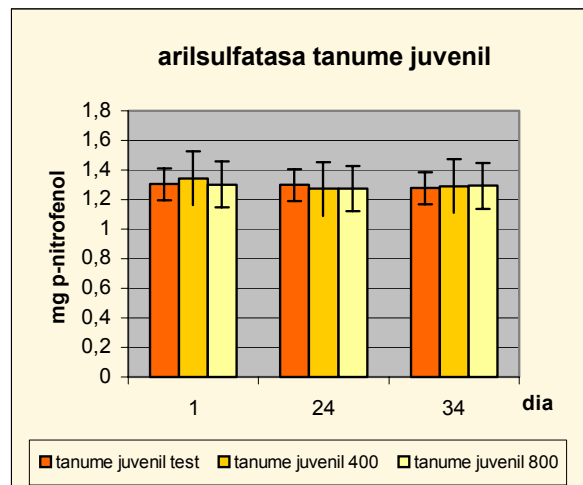
Gráfico 10. Actividad dehidrogenasa Jaururo.



En este caso se observa una clara dosis-dependencia del lodo en el efecto en la enzima al igual que en los suelos Tanumé juvenil (gráfico 6).

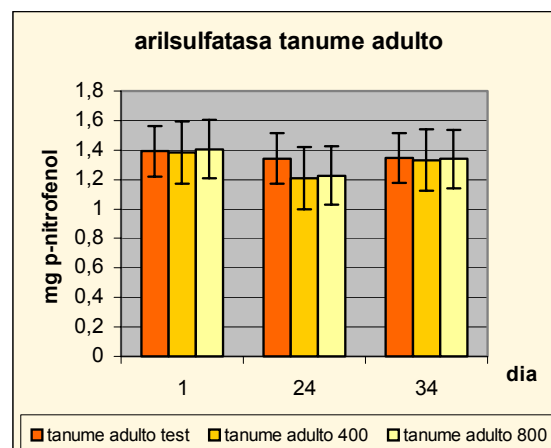
II c. Actividad de Arilsulfatasas: se determinó esta actividad en 3 intervalos de tiempo similares obteniendo los siguientes gráficos (tabla de datos en anexo 5).

Gráfico 11. Actividad Arilsulfatasa Tanumé Juvenil.



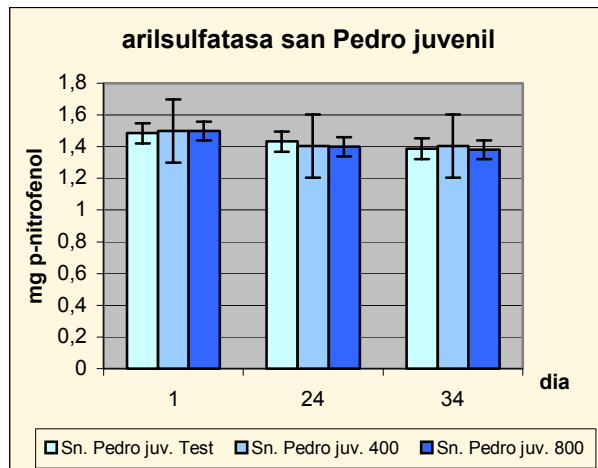
En este caso no se observa un cambio en la actividad de la enzima durante el tiempo de la incubación.

Gráfico 12. Actividad Arilsulfatasa Tanumé Adulto.



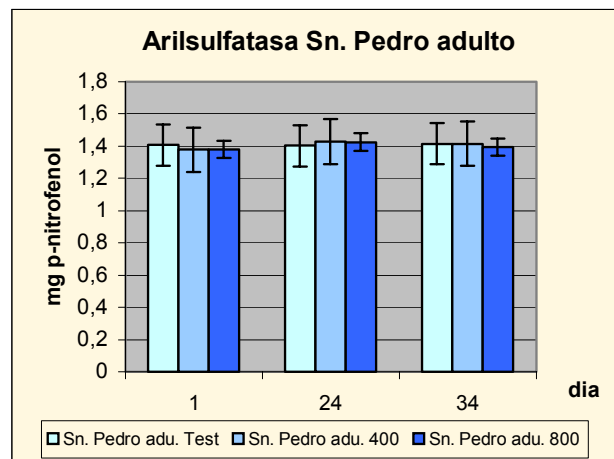
No hay cambios en la actividad.

Gráfico 13. Actividad Arilsulfatasa San Pedro Juvenil.



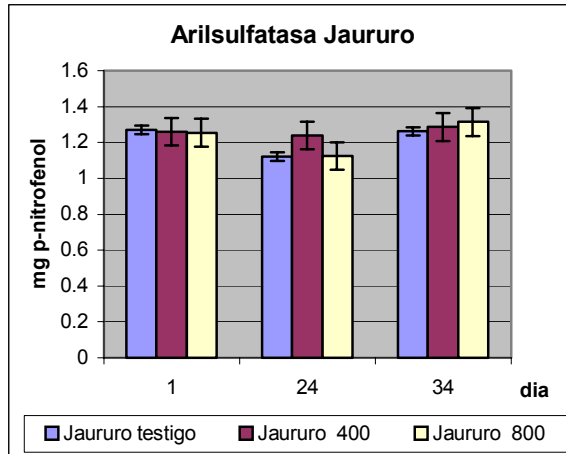
Al igual que en los anteriores no hay variación en el nivel de la enzima.

Gráfico 14. Actividad Arilsulfatasa San Pedro adulto.



No hay efecto del lodo sobre la actividad de la enzima.

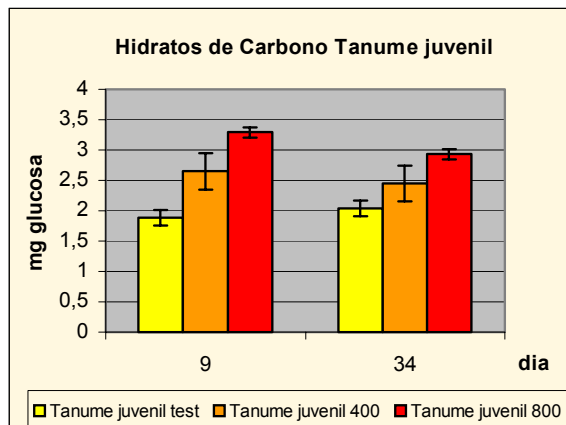
Gráfico 15. Actividad Arilsulfatasa Jaururo.



Tal como en todas las incubaciones, no hay cambios en la actividad Arilsulfatasa.

II d. Carbohidratos totales: se determinó este parámetro al inicio y al final de la incubación obteniendo los siguientes gráficos. (tabla de datos en anexo 6)

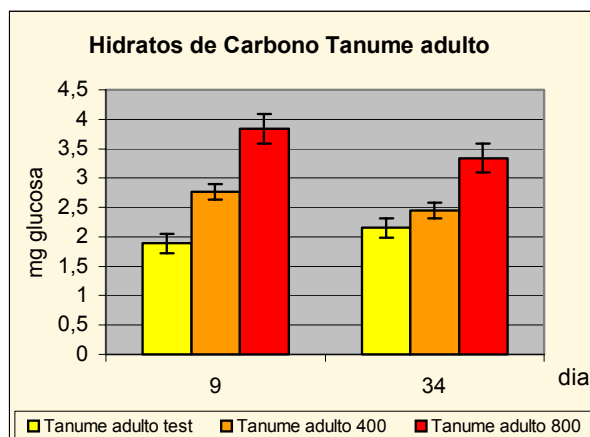
Gráfico 16. Carbohidratos totales Tanumé Juvenil



En el gráfico 16 se observa un aumento en el nivel de los Carbohidratos totales en los suelos modificados con respecto al testigo, el cual es dosis-

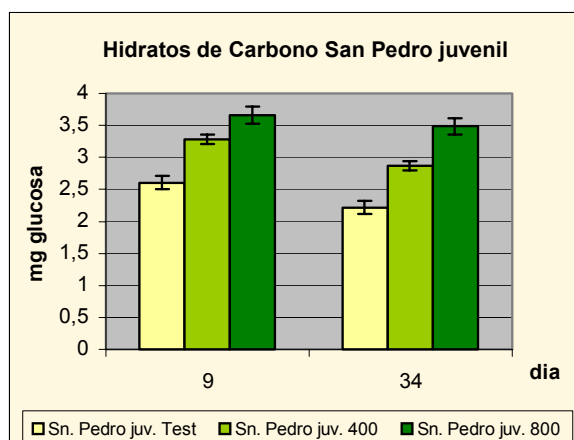
dependiente. También notamos que el nivel de los suelos incubados tiende a equilibrarse al final de la incubación frente al testigo.

Gráfico 17. Carbohidratos totales Tanumé Adulto



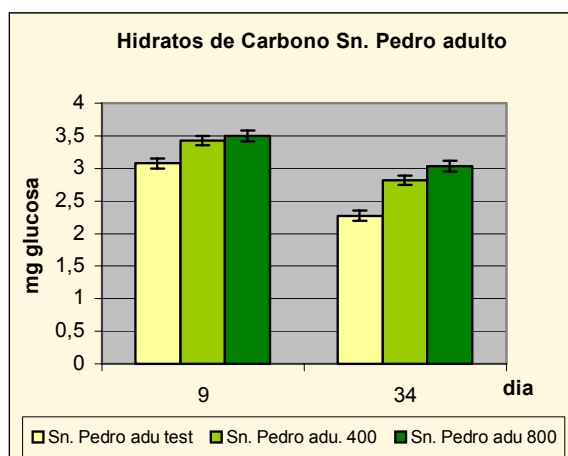
En este caso, el aumento en el nivel de los carbohidratos en los suelos modificados es más notorio que en suelo Tanumé juvenil, siendo también dosis-dependiente. Al final de la incubación se observa una disminución en el nivel de éstos.

Gráfico 18. Carbohidratos totales San Pedro Juvenil



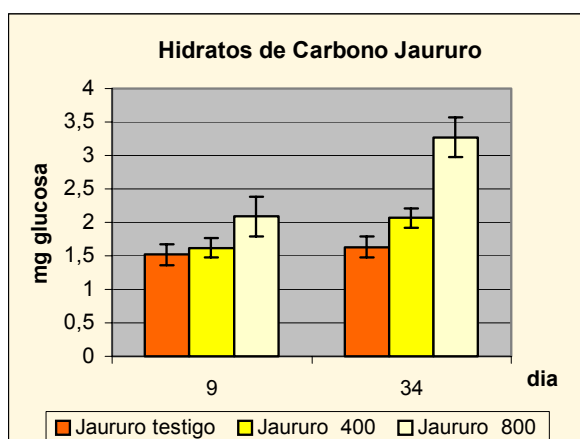
En estos suelos, inicialmente, el nivel de carbohidratos totales en los suelos modificados aumenta respecto al testigo, pero al final de la incubación todos tienden a disminuir proporcionalmente.

Gráfico 19. Carbohidratos totales San Pedro Adulto



Estos suelos siguen la misma tendencia que los suelos San Pedro juvenil según se observa en el gráfico 18.

Gráfico 20. Carbohidratos totales Jaururo



En estos suelos se observa un pequeño aumento en el nivel de carbohidratos totales en los suelos modificados con respecto al testigo, el cual aumenta de forma notoria al termino del periodo de incubación (dosis 800).

II e. Resultados de Humedad y pH al final de la incubación

Para el análisis de las actividades enzimáticas es necesario tomar en cuenta la humedad a la cual se encuentran las enzimas.

Tabla 12. % humedad incubados

	% humedad
Jaururo	17,5
Tanumé Adulto	29,5
Tanumé Juvenil	20,2
San Pedro Adulto	28,0
San Pedro Juvenil	27,7

Tabla 13. pH incubados.

pH incubados

	P _H		p _H		p _H
Tanumé juvenil testigo	4,7	San Pedro juvenil testigo	5,1	Jaururo testigo	5,6
Tanumé juvenil 400	4,7	San Pedro juvenil 400	4,5	Jaururo 400	4,9
Tanumé juvenil 800	4,8	San Pedro juvenil 800	4,4	Jaururo 800	3,9
Tanumé adulto testigo	5,6	San Pedro adulto testigo	5,8		
Tanumé adulto 400	5,0	San Pedro adulto 400	4,9		
Tanumé adulto 800	4,9	San Pedro adulto 800	4,6		

Principalmente la tabla 13 muestra que el pH tiende a disminuir a medida que la dosis de lodo aumenta a excepción de los suelos Tanumé juvenil, el cual se mantiene.

III. EXPERIENCIA MICORRIZAS Y FERTILIZACIÓN

III a. Ensayo Micorrizas.

En este ensayo se determinó % de humedad y actividad dehidrogenasa a suelos modificados con micorriza, fertilizante o ambos.

Tabla 14. % de humedad ensayo micorrizas.

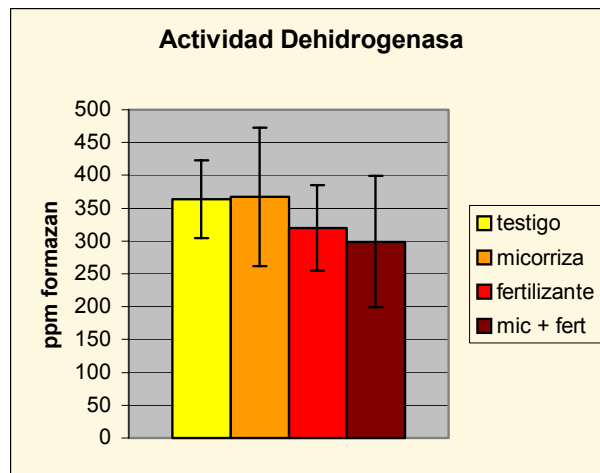
Muestra	% humedad	Muestra	% humedad	Muestra	% humedad	muestra	% humedad
micorriza M1	31,2	fertilizante M1	31,1	testigo M1	30,7	mic + fert M1	29,4
micorriza M2	32,4	fertilizante M2	32,8	testigo M2	28,3	mic + fert M2	30,8
micorriza M3	33,4	fertilizante M3	29,6	testigo M3	31,9	mic + fert M3	30,1

M: muestra

Mic: micorriza

Fert: fertilizante

Gráfico 21. Actividad Dehidrogenasa. Ensayo micorrizas.



En este gráfico de barras notamos que ninguno de los tratamientos aplicados al suelo tiene un efecto significativo en la actividad dehidrogenasa.

III b. Ensayo fertilizante.

En este ensayo se determinó Actividad Dehidrogenasa a suelos tratados con dosis crecientes de fertilizante.

Tabla 15. Actividad Dehidrogenasa y % de humedad.

DEHIDROGENASA TERRENO

muestra	tratamiento	% humedad	conc. final (ppm)	Desv std
lonco T1	Testigo	40,8	309	6
lonco T2	30g fertilizante	40,1	453	9
lonco T3	60g fertilizante	41,0	321	14
lonco T4	90g fertilizante	43,7	362	2
lonco T5	120g fertilizante	40,7	261	3
lonco T6	150g fertilizante	42,9	368	1
lonco T7	180g fertilizante	41,8	359	32
lonco T8	210g fertilizante	40,0	188	2
lonco T9	240g fertilizante	42,5	296	13
lonco T10	270g fertilizante	44,4	176	4
lonco T11	300g fertilizante	43,7	353	23
muestra	Tratamiento	% humedad	conc. final (ppm)	desv std
voipir T1	Testigo	38,0	357	29
voipir T2	30g fertilizante	38,7	484	13
voipir T3	60g fertilizante	40,6	506	13
voipir T4	90g fertilizante	40,6	515	11
voipir T5	120g fertilizante	39,1	543	43
voipir T6	150g fertilizante	41,8	473	45
voipir T7	180g fertilizante	40,6	478	7
voipir T8	210g fertilizante	37,8	427	62
voipir T9	240g fertilizante	42,0	585	29
voipir T10	270g fertilizante	41,6	407	1
voipir T11	300g fertilizante	41,5	641	27

En la tabla 15 observamos que la actividad dehidrogenasa se mantiene o disminuye con la aplicación de fertilizante en los suelos Lonco, pero aumenta en los suelos Voipir dentro de un rango similar para todas las dosis.

DISCUSIÓN

Actividad Dehidrogenasa.

Los resultados presentados en las tablas 6-10 muestran que la tendencia apunta a una disminución de la actividad dehidrogenasa a medida que aumenta la profundidad de la toma de muestra, característico de esta enzima (23,24), siendo más notoria en suelos que presentan un nivel más bajo de actividad en el nivel superficial.

En los últimos años, ha aumentado el interés por las enzimas del suelo ya que son un indicador de fertilidad de los mismos, debido a que reflejan varios factores tales como: clima, intensidad de uso, etc (1,3-5,18,25). Así también permite seguir los efectos que produce la aplicación de residuos orgánicos en el suelo (6-17), además de indicar la estabilidad de estos residuos (8,26). Por lo tanto, se infiere que son de gran utilidad a la hora de hacer una comparación de suelos a los cuales se les ha adicionado biosólidos, frente a suelos inalterados después de un periodo de tiempo.

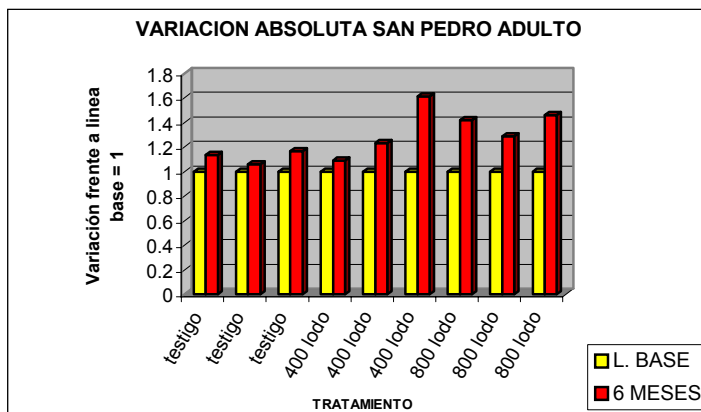
La oxidación biológica se produce por la actividad dehidrogenasa, siendo este sistema enzimático parte integral de los microorganismos, también se encuentran asociadas a componentes de suelo (23,24), lo cual es de gran utilidad para indicar la actividad microbiológica de éste. Esta actividad ha sido masivamente utilizada para comparar suelos naturales y cultivados, con diferentes cultivos o para evaluar la incorporación de residuos al suelo (5,10,11,15,17,18), siempre como indicador relativo debido a que es susceptible a muchos factores tales como: pH, clima, humedad, potencial redox, etc.(1,27,28)

Dentro de los resultados obtenidos, en suelos modificados en terreno encontramos algunos en los cuales el lodo no surtió un efecto claro en la actividad dehidrogenasa, debido a que se observan tanto variaciones positivas o negativas dentro de un mismo tratamiento comparado con la línea base (gráficos 1 y 2), lo que difiere de las publicaciones existentes, en las cuales se encuentra un efecto negativo (29) o como en la mayoría, un efecto positivo (3,10,11,13,15,16-18). Razones por la cual la actividad dehidrogenasa no siguió una tendencia clara pueden ser muchas, principalmente relacionadas al manejo del suelo antes de ser analizado.

Así como encontramos suelos modificados con lodo que no sufrieron un efecto marcado en su actividad dehidrogenasa, también hubo suelos en los cuales el aporte de lodo provocó un aumento en la actividad dehidrogenasa (gráficos 3-5) donde la dosis no influyó en el aumento, lo cual se ha observado en otro trabajo (16), pero el aumento es proporcional al nivel basal respectivo, siendo el aumento más significativo en suelos con un nivel basal bajo (200 ppm). Este aumento en la actividad concuerda con lo obtenido en una serie de publicaciones, en las cuales la dosis de lodo aumentó la Actividad Dehidrogenasa así como también una serie de parámetros biológicos que están relacionada con ésta, en especial biomasa (3,7,8,9,15).

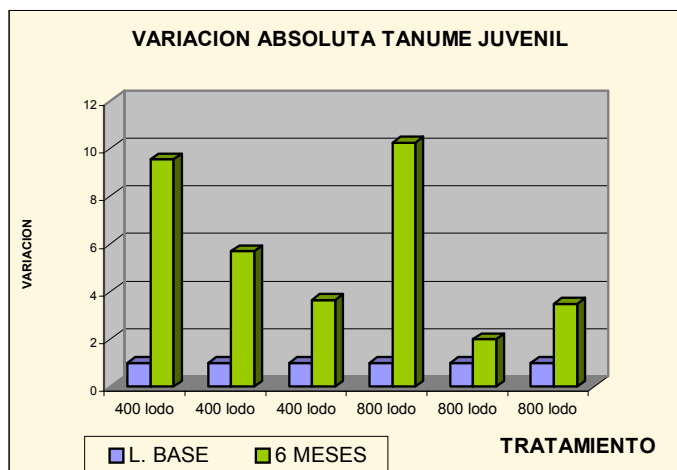
El aumento en las actividades dehidrogenasa se observan en los siguientes gráficos donde se mantiene la línea base igual a 1 y se compara frente a la nueva determinación 6 meses después

Gráfico 22. Variación Actividad Dehidrogenasa San Pedro Adulto (línea base igual a 1)



Notamos que en los suelos testigo la variante estacional influye en un leve aumento (10%) en la actividad de hidrogenasa con respecto al nivel basal, pero en los suelos con dosis de lodo el aumento en la actividad de hidrogenasa es de hasta un 60%, con respecto al nivel basal 6 meses atrás.

Gráfico 23. Variación Actividad Dehidrogenasa Tanumé Juvenil.



En estos suelos el aumento de la actividad de hidrogenasa va de dos hasta diez veces con respecto a la línea base.

Incubaciones.

El desarrollo de incubaciones de suelos con lodo es una excelente forma de observar el comportamiento de éstos, manteniendo bajo control una serie de parámetros, que de algún modo influyen en la actividad de las enzimas, por lo tanto se mantiene como variable solo la dosis de lodo.

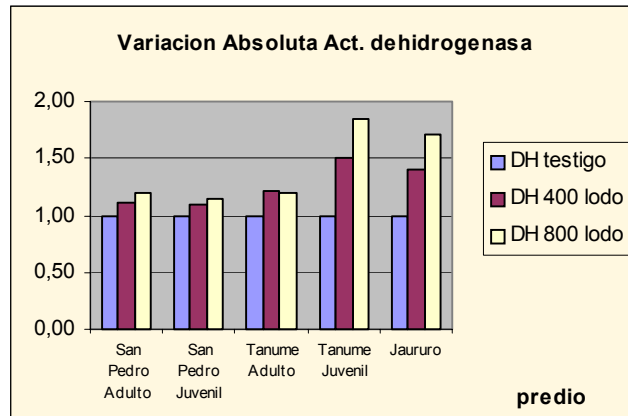
Actividad Dehidrogenasa.

La actividad dehidrogenasa se ve inmediatamente aumentada sin excepción en las incubaciones con dosis de lodo (gráficos 6-10), lo cual también concuerda con una serie de publicaciones (6,7,8,9,11). Este aumento inicial es significativamente dosis-dependiente.

El nivel de la actividad dehidrogenasa, a medida que transcurre el tiempo de incubación, solo los suelos con dosis 800 se mantienen constante en todas las incubaciones, es decir, no fluctúan considerablemente dentro del periodo de la incubación. Es interesante notar, que los suelos que mantienen los niveles de actividad dentro de un rango similar a lo largo de toda la incubación poseen el % de humedad y el nivel basal de actividad mas bajo (gráficos 6 y 10), no así los suelos que poseen niveles de actividad mas elevados, que tienen un comportamiento más fluctuante, donde los suelos con dosis 400 tienen niveles similares a los testigos, los cuales, además tienden a alcanzar el nivel de actividad mantenido en los suelos con dosis 800 (gráficos 7, 8 y 9).

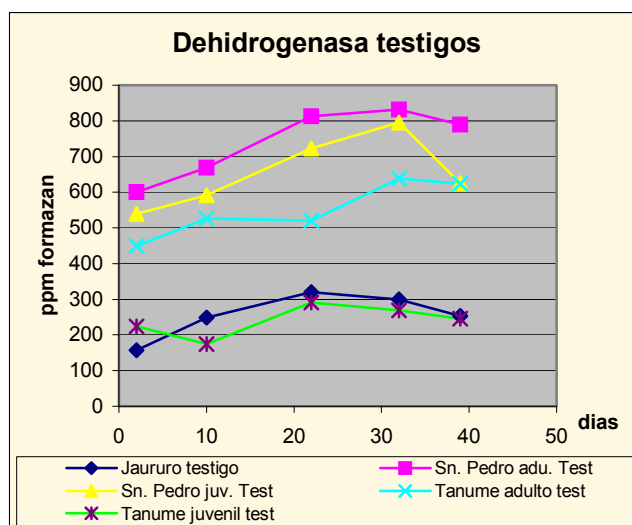
Lo dicho anteriormente se observa claramente en los siguientes gráficos.

Grafico 24. Variación actividad dehidrogenasa (frente a testigo = 1)



Tal como se observa en el grafico anterior el aumento más notorio y dependiente de la dosis se observa en los suelos Tanumé juvenil y Jaururo, los cuales poseen el % de humedad mas bajo (tabla 11) y el nivel de actividad basal mas bajo como se aprecia en el siguiente gráfico.

Grafico 25. Actividad dehidrogenasa testigos incubados.



Actividad Arilsulfatasa.

Las Arilsulfatasas son enzimas que catalizan la hidrólisis de ésteres de sulfato aromáticos ($R-O-SO_3^-$) a fenoles ($R-OH$) y sulfato (SO_4^{2-}). Esta enzima está ampliamente distribuida en el suelo y es importante para la movilización de SO_4^{2-} inorgánico (30,31). Además se ha utilizado como caracterizador para calidad de lodos (26), para el desarrollo de un factor de calidad de suelos (4) y como un actor principal en la mineralización de S en suelos forestales (25), todo esto nos llevó a utilizarla como indicador frente a la aplicación de lodo.

Los resultados de Arilsulfatasas en las incubaciones son indiscutibles, la adición de lodo a los suelos no afecta su actividad, además de mantener un rango similar todas las incubaciones (gráficos 11-15). Esto no debería sorprendernos ya que existen antecedentes de la mantención de la actividad de la enzima frente a la aplicación de lodos (10). Lo interesante de analizar es la gran actividad de la enzima, cuyos valores fluctúan de 1.2 a 1.4 mg/g p-nitrofenol, valores para los cuales no se encontraron antecedentes en incubaciones. Estos valores pueden ser efecto de las condiciones de incubación probablemente.

Hidratos de Carbono Totales.

Los hidratos de carbono corresponden a un sub-grupo de la materia orgánica constituidas por moléculas relativamente pequeñas, los que provienen de la descomposición de residuos orgánicos (20). Estos representan la fracción mas mineralizable de la materia orgánica, ya que son asimilables por los microorganismos, por lo tanto es reflejo de la actividad microbiana (1). Además estos carbohidratos mejoran la estabilidad de los suelos (32).

Todo esto, sumado al gran aporte de materia orgánica de los lodos, permite determinar su nivel en las incubaciones y así analizar el real aporte de los lodos al suelo en lo que a carbohidratos se refiere.

Los resultados obtenidos para los hidratos de carbono totales (gráficos 16-20) muestran el real aporte de los lodos al suelo, aumentando el nivel de éstos proporcionalmente a la dosis aplicada en el inicio de la incubación. Al término de la incubación los niveles tienden a disminuir, tanto en testigos como en suelos modificados con lodo, esto se puede deber a alguna condición de stress externa que predispone al consumo de estos carbohidratos por parte de los microorganismos o posiblemente al aumento de la demanda por incremento de la población de microorganismos.

pH.

Los resultados de pH obtenidos al final de la incubación (tabla 13) muestran un descenso de este, el cual es más pronunciado a medida que se aumenta la dosis.

Esto podría deberse a la generación de grupos ácidos por el proceso biológico frente al aporte de lodos y también al proceso de ciclado del N con formación de NH_4^+ .

Suelos Ensayo micorrizas.

Los resultados obtenidos del ensayo micorrizas (grafico 21) indican el nulo efecto de éstas sobre la actividad dehidrogenasa, esto puede deberse a que estos hongos solo activan su metabolismo cuando establecen asociación con las raíces de una planta (33). Los posibles motivos por los cuales no se obtuvo algún efecto del hongo sobre la enzima fue debido a que como la muestra se tomó a 30cm de la planta, y probablemente no alcanzó a tomar

suelo de la zona rizosférica, no se obtuvo hongo activo; otro posible motivo por el cual no se obtuvo algún efecto del hongo sobre la enzima fue el proceso de tamizado el cual elimina casi la totalidad de las raíces.

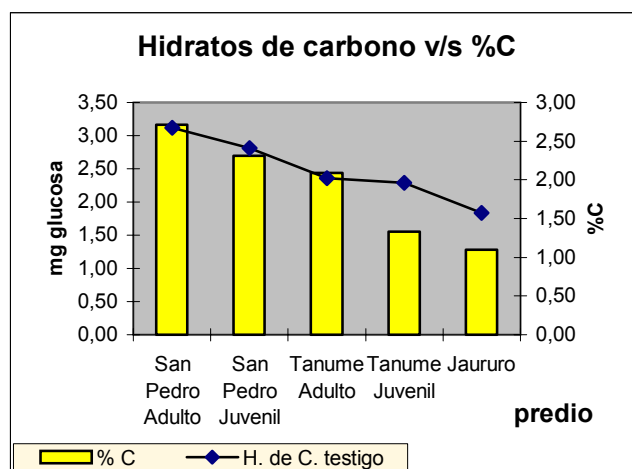
Tanto la aplicación del fertilizante como la aplicación de micorrizas y fertilizante juntos provocó una disminución de la actividad de la enzima, pero los resultados no fueron significativos (gráfico 21).

Suelos Ensayo Fertilizante.

En este caso los dos suelos sujetos a estudio tuvieron un comportamiento distinto frente a las dosis de fertilizante (tabla 15). En el caso de los suelos Lonco se produce la mantención y en algunas dosis la disminución de la actividad dehidrogenasa, independiente de la dosis de fertilizante con respecto al testigo, similar a lo ocurrido en algunas publicaciones (5,15). Lo contradictorio es lo sucedido en los suelos Voipir, en los cuales se produjo un aumento de la actividad, independiente de la dosis, con respecto al testigo.

Correlaciones entre parámetros.

Grafico 26. Hidratos de carbono frente a % de C



Al observar el gráfico notamos la relación de proporcionalidad existente entre el % de C y los Carbohidratos totales presentes, lo cual es esperable debido a que la proporción de Carbohidratos se mantiene dentro de un rango dependiendo del tipo de suelo (% de Carbono total)(20).

Actividad Dehidrogenasa frente a Carbohidratos Totales.

Grafico 27. Suelo San Pedro juvenil.

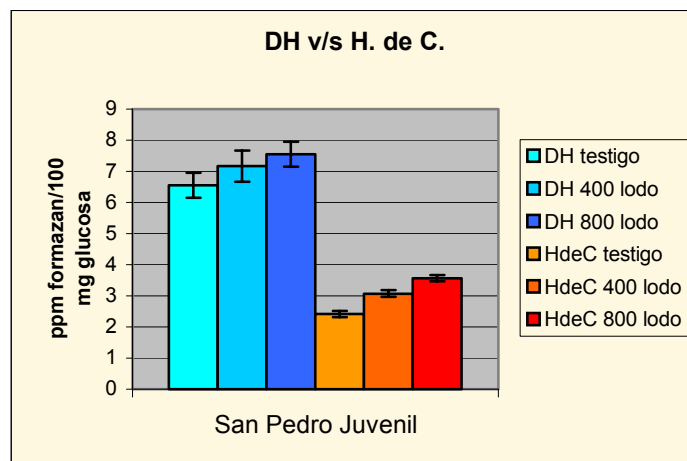


Grafico 28. Suelo San Pedro Adulto.

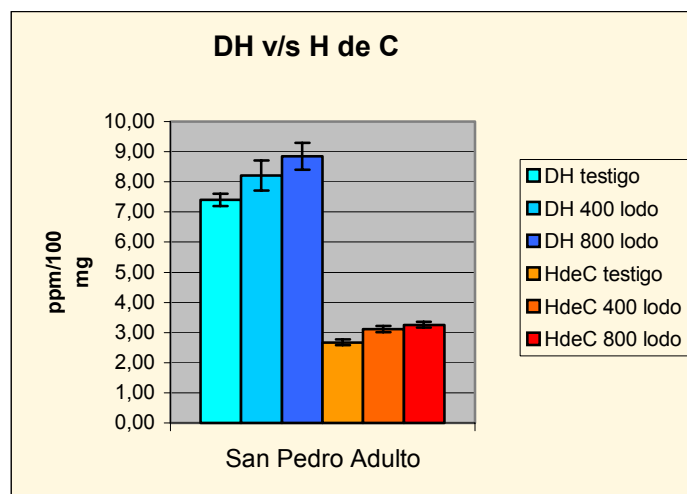


Gráfico 29. Suelo Tanumé Juvenil.

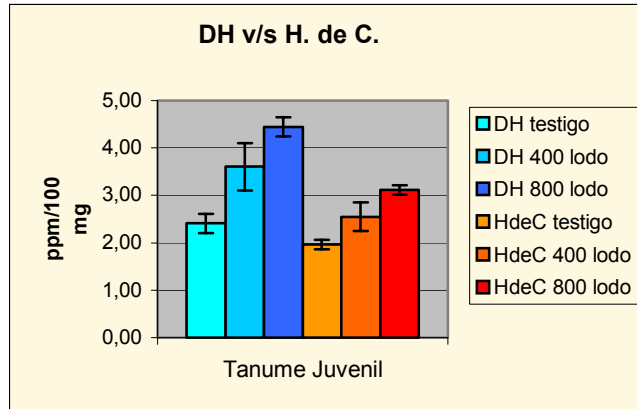


Gráfico 30. Suelo Tanumé Adulto.

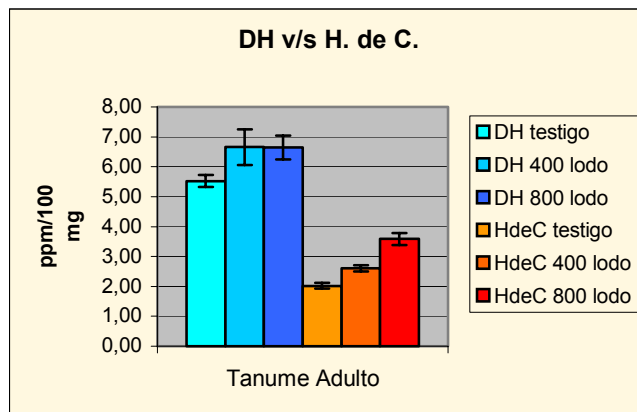
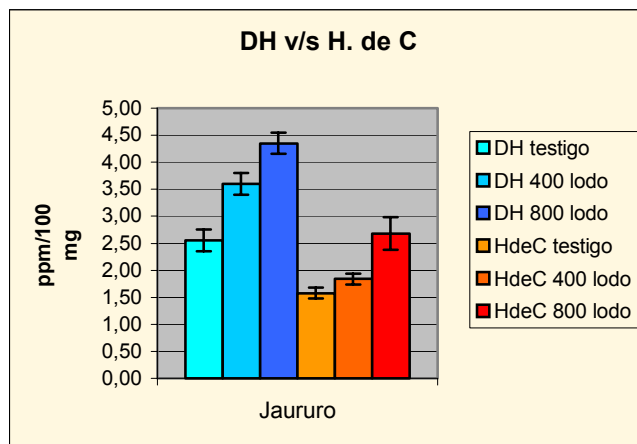


Gráfico 31. Suelo Jaururo.



La correlación existente entre estos dos parámetros es bastante notoria en todos los suelos. Esto es esperable si analizamos la función de la dehidrogenasa y el tipo de materia orgánica que representan los Carbohidratos. La dehidrogenasa está involucrada en el metabolismo microbiano, siendo una oxidoreductasa, esto significa que su función principal es el traspaso de protones, lo que simplemente significa que esta realizando el rompimiento de la materia orgánica presente apta para ser mineralizada (1,15,16) y los carbohidratos por su parte son la fracción mineralizable de la materia orgánica (1,3,6), esto indica que la enzima, a medida que le aportan sustrato (carbohidratos) en el lodo adicionado, aumenta su actividad.

CONCLUSIONES

En general, del presente trabajo se puede concluir que la aplicación de lodos en los suelos forestales no afecta de manera negativa el metabolismo de los microorganismos presentes en el suelo, debido a que después de seis meses de la aplicación en terreno de la 1º dosis de lodo, se aprecian los efectos de éstos en la actividad dehidrogenasa, observándose un aumento, el cual no es dosis-dependiente; o en algunos casos se aprecia una mantención de esta actividad, pero en ningún caso una disminución significativa.

En condiciones controladas, como lo fue la experiencia de incubación suelo-lodo, los efectos de este sobre la actividad dehidrogenasa son inmediatos, provocando un aumento de ésta, principalmente la dosis 800 con respecto al testigo. Este aumento es mantenido a lo largo de la incubación, especialmente en suelos con baja actividad (200ppm) y porcentaje de humedad menor al 10%. La aplicación de lodo no varía la actividad Arilsulfatasa en los suelos incubados con respecto a los testigos, eso sí, el nivel de la actividad es bastante alto comparado con lo descrito en las publicaciones citadas.

En las incubaciones, los Hidratos de Carbono Totales aumentan con respecto a los testigos proporcionalmente a la dosis de lodo aplicado, lo que da cuenta del importante aporte de materia orgánica de estos residuos en el suelo. En los incubados el pH de los suelos con lodo disminuye con respecto a los testigos, siendo la disminución más considerable a medida que aumenta la dosis. Finalmente, existe una evidente correlación entre el nivel de actividad dehidrogenasa y los hidratos de carbono totales presentes. De todas estas observaciones, obtenidas en condiciones controladas, se concluye que la conjunción de humedad y temperatura adecuadas, más la aplicación de un

enmendante como lo son los lodos o biosólidos da como resultado un aumento de la actividad microbiana, la cual a su vez mineraliza la materia orgánica aportada por los lodos, lo que finalmente se traduce en un aumento en la capacidad de los suelos.

La conclusión que se obtiene del ensayo con micorrizas y de la mezcla micorrizas-fertilizante aplicados al suelo es el nulo efecto de estas en la actividad dehidrogenasa.

Al igual que en el caso anterior, el fertilizante, aportado en distintas concentraciones, no tiene efectos en la actividad dehidrogenasa al ser aplicado a distintos predios, en algunos casos ocurrió aumento e incluso hubo disminución, pero esto no permite sacar una conclusión definitiva del efecto.

Este trabajo es un avance en el complejo estudio del efecto de los biosólidos en el suelo y del futuro reciclaje de estos residuos de manera sustentable. La capacidad de las enzimas como un indicador del estado del suelo puede ser una gran herramienta de seguimiento y control de la aplicación de biosólidos en los suelos forestales aptos del país. Los resultados de las incubaciones dan cuenta de un posible efecto positivo a largo plazo de los biosólidos en el suelo. Eso sí, hay que tener en cuenta que esto es solo el comienzo y que son necesarios muchos más estudios al respecto, y no solo científicos, sino que económicos y sociales, con el fin de llegar a un acuerdo sobre el futuro de los biosólidos en el país.

BIBLIOGRAFÍA.

1. García C. y Hernández M. T. "Investigación y Perspectivas de la Enzimología de Suelos en España". **2000**. CSIC Primera Edición.
2. Trasar-Cepeda C., Leirós M. C., Seoane S., Gil-Sotres F. "Limitations of Soil Enzymes as Indicators of Soil Pollution". **2000**. Soil Biol Biochem. 32:1867-1875.
3. Pascual J. A., García C., Hernández T., Moreno J. L., Ros M. "Soil Microbial Activity as a Biomarker of Degradation and Remediation Processes". **2000**. Soil Biol Biochem. 32:1877-1883.
4. Trasar-Cepeda C., Leirós M. C., Seoane S., Gil-Sotres F. "Towards a Biochemical Quality Index for Soils: An Expression Relating Several Biological and Biochemical Properties". **1999**. Biol Fertil Soils. 26:100-106.
5. Bolton Jr H., Elliot L. F., Papendick I., Bezdicsek D. F. "Soil Microbial Biomass and Selected Soil Enzyme Activities: Effect of Fertilization and Cropping Practices". **1985**. Soil Biol Biochem. 17:297-302.
6. García C., Hernández T., Costa F., Ceccanti B. "Biochemical Parameters in Soils Regenerated by the Addition of Organic Wastes". **1994**. Waste Manage Res. 12:457-466.
7. Pascual J. A., García C., Hernández T., Ayuso M. "Changes in the Microbial Activity of an Arid Soil Amended with Urban Organic Wastes" **1997**. Biol Fertil Soils. 24:429-434.
8. Sanchez-Monedero M. A., Mondini C., De Nobili M., Leita L., Roig A. "Land Application of Biosolids. Soil Response to Different Stabilization Degree of the Treated Organic Matter" **2004**. Waste Management. 24:325-332.
9. Bhattacharyya P., Pai R., Chakraborty A., Chakrabarti K. "Microbial Biomass and Activity in a Laterite Soil Amended with Municipal Solid Waste Compost". **2001**. J. Agron Crop Sci. 187:207-211.
10. Crecchio C., Curci M., Pizzigallo M., Ricciuti P., Ruggiero P. "Effects of municipal Solid Waste Compost Amendments on soil Enzyme Activities and Bacterial Genetic Diversity". **2004**. Soil Biol Biochem. 36:1595-1605.
11. Madejón E., Burgos P., Murillo J. M., Cabrera F. "Phytotoxicity of Organic Amendments on Activities of Selected Soil Enzymes". **2001**. Commun Soil Sci Plant Anal. 32:2227-2239.
12. Martinez F., Cuevas G., Calvo R., Walter L. "Biowaste Effects on Soil and Native Plants in a Semiarid Ecosystem". **2003**. J Environ Qual. 32:472-479.
13. Pascual J. A., García C., Hernández T. "Lasting Microbiological and Biochemical Effects of the Addition of Municipal Solid Waste to an Arid Soil". **1999**. Bio Fertil Soils. 30:1-6.

14. Korboulewsky N., Dupouyet S., Bonin G. "Environmental Risks of Applying Sewage Sludge Compost to Vineyards: Carbon, Heavy Metals, Nitrogen and Phosphorus Accumulation". **2002**. *J Environ Qual*. 31:1522-1527.
15. García-Gil J. C., Plaza C., Soler-Rovira P., Polo A. "Long-Term effects of Municipal Solid Waste Compost Application on soil Enzyme Activities and Microbial Biomass". **2000**. *Soil Biol Biochem*. 32:1907-1913.
16. Crecchio C., Curci M., Mininni R., Ricciuti P., Ruggiero P. "Short-Term Effects of Municipal solid Waste Compost Amendments on soil Carbon and Nitrogen content, some Enzyme Activities and Genetic Diversity" **2001**. *Biol Fertil Soils*. 34:311-318.
17. Brendecke J. W., Axelson R. D., Pepper I. L. "Soil Microbial Activity as an Indicator of Soil Fertility: Long-Term Effects of Municipal Sewage Sludge on an Arid Soil". **1993**. *Soil Biol Biochem*. 25:751-758.
18. García C., Hernandez T. "Biological and Biochemical Indicators in Derelict Soils Subject to Erosion" **1997**. *Soil Biol Biochem*. 29:171-177.
19. Kimberley M. O., Wang H., Wilks P. J., Fisher C. R., Magesan G. N. "Economic Analysis of Growth Response From a Pine Plantation forest Applied with Biosolids" **2004**. *For Ecol Manage*. 189:345-351.
20. Aguilera S. M., Borie G., Milla P., Peirano P. "Bioquímica de Suelos Derivados de Cenizas Volcánicas. VI. Determinación de Hidratos de Carbono" **1987**. *Agricultura Técnica*. 47:240-247.
21. Aguilera S. M., Borie G., Rokov P., Peirano P. "Bioquímica de Suelos Derivados de Cenizas Volcánicas. VII. Determinación de Dehidrogenasas". **1988**. *Agricultura Técnica*. 48:147-151.
22. Tabatabai M. A., Bremner J. M. "Arylsulfatase Activity of Soils". **1970**. *Soil Sci Soc Amer Proc*. 34:225-229.
23. Burns R. G. "Soil Enzymes". **1978**. Academic Press. U.S. Edition.
24. Burns R. G. "Enzyme Activity in soil: Location and a Possible Role in Microbial Ecology" **1982**. *Soil Biol Biochem*. 14:423-427.
25. Chen C. R., Condon L. M., Davis M. R., Sherlock R. R. "Effects of Land-use Change from Grassland to Forest on soil Sulfur and Arylsulfatase Activity in New Zealand". **2001**. *Aust J Soil Res*. 39:749-757.
26. Mondini C., Fornasier F., Sinicco T. "Enzymatic Activity as a Parameter for the Characterization of the Composting Process". **2004**. *Soil Biol Biochem*. 36:1587-1594.
27. Brezezinska M., Stepniowska Z., Stepniowski W. "Soil Oxygen Status and Dehydrogenase Activity". **1998**. *Soil Biol Biochem*. 30:1783-1790.
28. Camiña F., Trasar-Cepeda C., Gil-Sotres F., Leirós C. "Measurement of Dehydrogenase Activity in Acid Soils Rich in Organic Matter". **1998**. *Soil Biol Biochem*. 30:1005-1011.

29. Reddy G. B., Faza A. "Dehidrogenase Activity in Sludge Amended Soil". **1989**. Soil Biol Biochem. 21:p327.
30. Tabatabai M. A., Bremner J. M. "Factors Affecting Soil Arylsulphatase Activity" **1970**. Soil Sci Soc Amer Proc. 34:427-429.
31. Elsgaard L., Hastrup G., Eriksen J. "Measurement of Arylsulphatase Activity in Agricultural Soils Using a Simplified Assay". **2002**. Soil Biol Biochem. 34:79-82.
32. Sarig S., Roberson E., Firestone M. "Microbial Activity-soil Structure: Response to Saline Water Irrigation" **1993**. Soil Biol Biochem. 25:693-697.
33. Atlas R. M. and Bartha R. "Ecología Microbiana y Microbiología Ambiental". **2002**. Addison Wesley. 4º Edición.

Anexo 1. Dehidrogenasa Suelos Tanumé Comparativa en Terreno

DEHIDROGENASA TANUME JUVENIL

Parcela	tratamiento	PRIMERA DETERMINACION LINEA BASE			SEGUNDA DETERMINACION 1º DOSIS LODO		
		Conc. final (ppm)	Desv. Estd.	C.V.	Conc. final (ppm)	Desv. Estd.	C.V.
Parcela 1	testigo	92	2	2,5	sin muestra	sin muestra	sin muestra
Parcela 6	testigo	175	6	3,5	sin muestra	sin muestra	sin muestra
Parcela 14	testigo	61	1	2,0	sin muestra	sin muestra	sin muestra
Parcela 5	400 lodo	50	1	1,5	477	46	9,6
Parcela 9	400 lodo	155	8	4,9	882	10	1,1
Parcela 13	400 lodo	273	3	0,9	993	6	0,6
Parcela 4	800 lodo	18	1	2,8	186	3	1,6
Parcela 8	800 lodo	243	4	1,6	484	50	10
Parcela 10	800 lodo	118	1	1,1	412	70	17

DEHIDROGENASA TANUME ADULTO

Parcela	tratamiento	PRIMERA DETERMINACION LINEA BASE			SEGUNDA DETERMINACION 1º DOSIS LODO		
		Conc. final (ppm)	Desv. Estd.	C.V.	Conc. final (ppm)	Desv. Estd.	C.V.
Parcela 19	testigo	423	11	2,5	sin muestra	sin muestra	sin muestra
Parcela 20	testigo	707	13	1,9	sin muestra	sin muestra	sin muestra
Parcela 22	testigo	214	7	3,0	sin muestra	sin muestra	sin muestra
Parcela 17	400 lodo	569	0	0	391	33	8,4
Parcela 21	400 lodo	569	3	0,5	606	77	12
Parcela 23	400 lodo	486	16	3,3	738	52	7,0
Parcela 16	800 lodo	287	1	0,4	166	9	5,4
Parcela 18	800 lodo	415	6	1,5	556	5	0,9
Parcela 24	800 lodo	775	3	0,4	694	29	4,2

C.V. : coeficiente de variación

Anexo 2. Dehidrogenasa Suelos San Pedro Comparativa en Terreno

DEHIDROGENASA SAN PEDRO JUVENIL

parcela	tratamiento	PRIMERA DETERMINACIÓN LINEA BASE			SEGUNDA DETERMINACION 1º DOSIS LODO		
		Conc. final (ppm)	Desv. Estd.	C.V.	Conc. final (ppm)	Desv. Estd.	C.V.
parcela 2	testigo	938	93	9,9	1053	100	9,5
parcela 6	testigo	581	31	5,3	834	41	4,9
parcela 8	testigo	1501	12	0,8	800	31	3,9
parcela 1	400 lodo	453	81	18	584	34	5,8
parcela 3	400 lodo	1437	78	5,4	787	5	0,6
parcela 12	400 lodo	521	8	1,5	386	20	5,2
parcela 5	800 lodo	397	8	2,0	697	65	9,3
parcela 9	800 lodo	1097	70	6,4	672	32	4,8
parcela 14	800 lodo	402	6	1,4	587	8	1,4

DEHIDROGENASA SAN PEDRO ADULTO

parcela	tratamiento	PRIMERA DETERMINACIÓN LINEA BASE			SEGUNDA DETERMINACION 1º DOSIS LODO		
		Conc. final (ppm)	Desv. Estd.	C.V.	Conc. final (ppm)	Desv. Estd.	C.V.
parcela 17	testigo	551	104	19	627	10	1,6
parcela 19	testigo	1252	111	8,8	1327	39	2,9
parcela 21	testigo	386	23	5,9	450	17	3,8
parcela 18	400 lodo	1258	32	2,6	1371	103	7,5
parcela 20	400 lodo	557	28	5,1	686	71	10
parcela 22	400 lodo	294	3	0,9	473	18	3,8
parcela 16	800 lodo	529	28	5,2	750	94	12
parcela 23	800 lodo	408	17	4,3	524	14	2,7
parcela 24	800 lodo	357	3	0,8	521	45	8,6

C.V. : coeficiente de variación

Anexo 3. Dehidrogenasa Suelos Jaururo Comparativa en Terreno

DEHIDROGENASA JAURURO

		PRIMERA DETERMINACIÓN LINEA BASE			SEGUNDA DETERMINACION 1° DOSIS LODO		
parcela	tratamiento	Conc. final (ppm)	Desv. Estd.	C.V.	Conc. final (ppm)	Desv. Estd.	C.V.
parcela 2	testigo	184	7	3,7	221	1	0,5
parcela 6	testigo	237	4	1,5	217	15	6,9
parcela 8	testigo	202	12	6,1	90	3	3,3
parcela 1	400 lodo	133	8	6,0	11	0	0
parcela 4	400 lodo	151	12	7,9	343	26	7,6
parcela 5	400 lodo	279	17	6,2	97	2	2,1
parcela 3	800 lodo	198	6	3,1	248	8	3,2
parcela 7	800 lodo	96	5	5,7	308	1	0,3
parcela 9	800 lodo	191	4	2,0	904	48	5,3

C.V. : coeficiente de variación

Anexo 4. tabla Actividad Dehidrogenasa en suelos incubados

DEHIDROGENASA	1° Determinación				2° Determinación				3° Determinación			
	Conc. inicial	Conc. final (ppm)	Desv.Std.	C.V.	conc. inicial	Conc. final (ppm)	Desv.Std.	C.V.	conc. inicial	Conc. final (ppm)	Desv.Std.	% desv
Jaururo testigo 1	8,82	157	31	19	5,48	248	38	15	8,28	320	22	6,9
Jaururo testigo 2	6,68				6,79				7,52			
Jaururo 400 1	15,3	317	11	3,5	7,61	306	3,0	1,0	11,8	494	20	4,0
Jaururo 400 2	16,0				7,51				12,5			
Jaururo 800 1	20,1	387	28	7,2	11,2	399	78	19	12,2	496	4	0,8
Jaururo 800 2	18,1				8,50				12,3			
Sn. Pedro adu. Test 1	12,0	601	57	9,5	14,7	669	19	2,8	17,9	813	24	3,0
Sn. Pedro adu. Test 2	13,8				14,1				17,1			
Sn. Pedro adu. 400 1	17,4	854	66	7,7	13,6	674	57	8,5	18,3	785	93	11
Sn. Pedro adu. 400 2	19,4				15,4				15,5			
Sn. Pedro adu. 800 1	18,5	850	16	1,9	18,1	826	20	2,4	18,3	875	34	3,9
Sn. Pedro adu. 800 2	18,1				17,5				19,4			
Sn. Pedro juv. Test 1	12,2	540	35	6,5	13,8	592	67	11	16,4	723	50	6,9
Sn. Pedro juv. Test 2	11,1				11,8				14,9			
Sn. Pedro juv. 400 1	13,9	594	67	11	17,1	714	111	15	16,0	730	15	2,1
Sn. Pedro juv. 400 2	11,8				13,7				15,5			
Sn. Pedro juv. 800 1	16,6	744	35	4,7	15,7	755	44	5,8	16,6	769	1	0,1
Sn. Pedro juv. 800 2	15,5				17,0				16,6			
Tanume adulto test 1	10,0	450	12	2,7	12,1	527	13	2,5	12,4	521	44	8,4
Tanume adulto test 2	10,3				11,7				11,0			
Tanume adulto 400 1	13,7	637	43	6,8	13,0	662	121	18	15,2	672	1	0,1
Tanume adulto 400 2	15,1				16,9				15,2			
Tanume adulto 800 1	10,9	546	91	16	15,9	684	28	4,1	17,3	744	29	3,9
Tanume adulto 800 2	13,8				15,0				16,3			
Tanume juvenil test 1	4,69	224	40	17	4,53	175	20	11	6,67	291	17	5,8
Tanume juvenil test 2	6,04				3,85				7,23			
Tanume juvenil 400 1	7,86	316	18	5,7	8,21	359	22	6,1	8,99	419	62	14
Tanume juvenil 400 2	7,25				8,96				11,0			
Tanume juvenil 800 1	10,0	383	52	13	10,7	473	34	7,2	10,5	443	2	0,5
Tanume juvenil 800 2	8,28				11,8				10,6			

Parcela 400 : dosis de lodo equivalente a 400ppm de N

Parcela 800 : dosis de lodo equivalente a 800ppm de N

C.V. : coeficiente de variación

Anexo 4.1. continuación tabla actividad dehidrogenasa en suelos incubados

DEHIDROGENASA	4° Determinación				5° Determinación			
	conc. inicial	Conc. final (ppm)	Desv.Std.	C.V.	conc. inicial	Conc. final (ppm)	Desv.Std.	C.V.
Jaururo testigo 1	7,84	299	26	8,7	6,41	253	9	3,6
Jaururo testigo 2	6,94				6,09			
Jaururo 400 1	8,20	345	19	5,5	7,22	338	65	19
Jaururo 400 2	8,85				9,48			
Jaururo 800 1	9,61	434	64	14	10,9	460	23	5
Jaururo 800 2	11,8				11,7			
Sn. Pedro adu. Test 1	17,5	831	26	3,1	16,9	790	6	0,8
Sn. Pedro adu. Test 2	18,3				17,1			
Sn. Pedro adu. 400 1	18,3	841	10	1,2	20,6	950	6	0,6
Sn. Pedro adu. 400 2	17,9				20,4			
Sn. Pedro adu. 800 1	18,5	903	65	7,2	18,4	969	165	17
Sn. Pedro adu. 800 2	20,4				23,4			
Sn. Pedro juv. Test 1	17,5	795	23	2,9	13,3	625	13	2,1
Sn. Pedro juv. Test 2	16,8				13,7			
Sn. Pedro juv. 400 1	16,5	799	52	6,5	15,7	745	28	3,8
Sn. Pedro juv. 400 2	18,1				16,5			
Sn. Pedro juv. 800 1	14,9	743	76	10	17,4	761	64	8,4
Sn. Pedro juv. 800 2	17,2				15,5			
Tanume adulto test 1	14,1	639	22	3,4	13,8	624	15	2,4
Tanume adulto test 2	14,8				14,3			
Tanume adulto 400 1	15,2	683	16	2,3	13,2	675	129	19
Tanume adulto 400 2	15,7				17,3			
Tanume adulto 800 1	15,3	707	42	5,9	14,5	642	2	0,3
Tanume adulto 800 2	16,6				14,4			
Tanume juvenil test 1	6,27	269	9	3,3	5,34	245	31	12
Tanume juvenil test 2	6,57				6,38			
Tanume juvenil 400 1	7,33	348	58	16	8,26	359	19	5,3
Tanume juvenil 400 2	9,31				8,91			
Tanume juvenil 800 1	10,7	447	5	1,1	11,6	476	15	3,2
Tanume juvenil 800 2	10,6				11,1			

Parcela 400 : dosis de lodo equivalente a 400ppm de N

Parcela 800 : dosis de lodo equivalente a 800ppm de N

C.V. : coeficiente de variación

Anexo 5. tabla actividad arilsulfatasa en suelos incubados

ARILSULFATASA	1° Determinación				2° Determinación				3° Determinación			
	conc. inicial(ug)	Conc. final (mg)	Desv. Std	C.V	conc. inicial(ug)	Conc. final (mg)	Desv. Std.	C.V.	conc. inicial(ug)	Conc. final (mg)	Desv. Std.	C.V.
Jaururo testigo 1	104,7	1,27	0,001	0,1	92,29	1,12	0,003	0,3	51,97	1,26	0,003	0,2
Jaururo testigo 2	104,8				92,60				52,16			
Jaururo 400 1	104,5	1,25	0,012	1,0	101,5	1,23	0,009	0,7	53,08	1,28	0,002	0,2
Jaururo 400 2	103,1				102,6				52,97			
Jaururo 800 1	104,0	1,25	0,009	0,7	92,52	1,12	0,003	0,3	53,88	1,31	0,01	0,8
Jaururo 800 2	102,9				92,90				54,49			
Sn. Pedro adu. Test 1	99,70	1,40	0,031	2,2	100,9	1,40	0,001	0,1	50,78	1,41	0,006	0,4
Sn. Pedro adu. Test 2	102,9				101,0				51,09			
Sn. Pedro adu. 400 1	98,80	1,37	0,008	0,6	102,6	1,42	0,005	0,3	51,71	1,41	0,029	2,0
Sn. Pedro adu. 400 2	99,60				103,0				50,23			
Sn. Pedro adu. 800 1	99,20	1,37	0,002	0,1	102,1	1,42	0,01	0,7	50,14	1,39	0,004	0,3
Sn. Pedro adu. 800 2	99,40				103,1				50,36			
Sn. Pedro juv. Test 1	107,9	1,48	0,013	0,9	103,3	1,43	0,003	0,2	50,22	1,38	0,004	0,3
Sn. Pedro juv. Test 2	106,6				103,6				50,03			
Sn. Pedro juv. 400 1	108,5	1,49	0,004	0,3	100,8	1,40	0,013	0,9	49,48	1,40	0,047	3,3
Sn. Pedro juv. 400 2	108,1				102,1				51,88			
Sn. Pedro juv. 800 1	108,8	1,49	0,01	0,7	101,2	1,39	0,002	0,1	50,03	1,38	0,006	0,4
Sn. Pedro juv. 800 2	107,8				100,9				49,73			
Tanume adulto test 1	103,4	1,39	0,031	2,2	102,1	1,34	0,016	1,2	50,88	1,34	0,004	0,3
Tanume adulto test 2	106,7				100,4				50,67			
Tanume adulto 400 1	102,1	1,38	0,041	3,0	91,21	1,21	0,003	0,2	50,71	1,33	0,016	1,2
Tanume adulto 400 2	106,5				91,51				49,87			
Tanume adulto 800 1	103,5	1,40	0,049	3,5	93,14	1,22	0,011	0,9	50,61	1,33	0,004	0,3
Tanume adulto 800 2	108,7				91,98				50,42			
Tanume juvenil test 1	102,5	1,30	0,027	2,1	103,4	1,30	0,005	0,4	51,00	1,27	0	0
Tanume juvenil test 2	105,6				103,9				50,99			
Tanume juvenil 400 1	106,6	1,34	0,012	0,9	101,1	1,27	0,004	0,3	50,38	1,29	0,039	3,0
Tanume juvenil 400 2	107,9				101,6				52,58			
Tanume juvenil 800 1	105,3	1,30	0,026	2,0	101,0	1,27	0,009	0,7	51,90	1,29	0,012	0,9
Tanume juvenil 800 2	102,4				102,0				51,24			

Parcela 400 : dosis de lodo equivalente a 400ppm de N

Parcela 800 : dosis de lodo equivalente a 800ppm de N

C.V. : coeficiente de variación

Anexo 6. tabla hidratos de carbono totales en suelos incubados

H. de Carbono Totales	1º Determinación					2º Determinación				
	conc. inicial(ug)	conc final	Conc. final (mg)	Desv. Estd.	C.V.	conc. inicial(ug)	conc final	Conc. final (mg)	Desv. Estd.	C.V.
Jaururo testigo 1	8,21	1556	1,52	0,048	3,2	7,59	1439	1,62	0,266	16
Jaururo testigo 2	7,85	1489				9,58	1815			
Jaururo 400 1	8,39	1591	1,61	0,039	2,4	11,8	2242	2,06	0,253	12
Jaururo 400 2	8,68	1646				9,94	1884			
Jaururo 800 1	10,4	1980	2,08	0,152	7,3	15,6	2957	3,27	0,445	13
Jaururo 800 2	11,5	2195				18,9	3586			
Sn. Pedro adu. Test 1	14,0	3056	3,07	0,031	1,0	10,0	2181	2,27	0,125	5,5
Sn. Pedro adu. Test 2	14,2	3099				10,8	2357			
Sn. Pedro adu. 400 1	15,9	3453	3,42	0,037	1,1	12,6	2738	2,81	0,106	3,8
Sn. Pedro adu. 400 2	15,6	3401				13,3	2887			
Sn. Pedro adu. 800 1	16,5	3583	3,49	0,129	3,7	14,0	3056	3,03	0,038	1,3
Sn. Pedro adu. 800 2	15,6	3401				13,8	3002			
Sn. Pedro juv. Test 1	11,5	2505	2,60	0,138	5,3	10,0	2166	2,21	0,069	3,1
Sn. Pedro juv. Test 2	12,4	2700				10,4	2264			
Sn. Pedro juv. 400 1	14,8	3219	3,28	0,09	2,7	13,4	2903	2,86	0,053	1,8
Sn. Pedro juv. 400 2	15,4	3347				13,0	2829			
Sn. Pedro juv. 800 1	16,7	3622	3,65	0,05	1,4	15,4	3336	3,48	0,21	6,0
Sn. Pedro juv. 800 2	17,0	3693				16,8	3633			
Tanume adulto test 1	8,42	1743	1,88	0,204	10	9,97	2065	2,15	0,126	5,8
Tanume adulto test 2	9,81	2031				10,8	2243			
Tanume adulto 400 1	14,0	2901	2,76	0,195	7,1	12,0	2497	2,44	0,068	2,8
Tanume adulto 400 2	12,6	2625				11,6	2401			
Tanume adulto 800 1	20,1	4163	3,84	0,457	11	16,0	3312	3,34	0,039	1,2
Tanume adulto 800 2	16,9	3517				16,2	3367			
Tanume juvenil test 1	8,83	1730	1,88	0,225	11	10,5	2058	2,03	0,029	1,4
Tanume juvenil test 2	10,4	2048				10,2	2016			
Tanume juvenil 400 1	11,7	2310	2,65	0,48	18	11,6	2285	2,44	0,229	9,4
Tanume juvenil 400 2	15,2	2988				13,3	2609			
Tanume juvenil 800 1	16,4	3216	3,29	0,108	3,3	14,7	2888	2,93	0,06	2,0
Tanume juvenil 800 2	17,2	3369				15,1	2972			

Parcela 400 : dosis de lodo equivalente a 400ppm de N

Parcela 800 : dosis de lodo equivalente a 800ppm de N

C.V. : coeficiente de variación

Anexo 7. Tabla Actividad Dehidrogenasa ensayo micorriza.

DEHIDROGENASA

muestra	conc.inicial	conc.final	conc.final (ppm)	desv std	C.V.
micorriza M1	7,22	350	381	44	11,5
micorriza M1c	8,50	412			
micorriza M2	8,69	428	419	13	3,04
micorriza M2c	8,32	410			
micorriza M3	6,85	343	302	58	19,2
micorriza M3c	5,21	261			
fertilizante M1	9,09	440	431	13	3,12
fertilizante M1c	8,69	421			
fertilizante M2	6,42	319	308	16	5,29
fertilizante M2c	5,96	296			
fertilizante M3	4,50	214	222	11	4,79
fertilizante M3c	4,84	229			
testigo M1	8,10	390	371	27	7,24
testigo M1c	7,31	352			
testigo M2	9,56	445	425	28	6,66
testigo M2c	8,70	405			
testigo M3	6,23	305	296	13	4,55
testigo M3c	5,74	286			
mic + fert M1	3,37	159	170	15	8,76
mic + fert M1c	3,80	180			
mic + fert M2	6,04	281	253	40	15,9
mic + fert M2c	4,81	224			
mic + fert M3	10,0	493	476	25	5,20
mic + fert M3c	9,34	458			

Mn°: muestra n°

Mn°c: contramuestra n°

C.V. : coeficiente de variación