

Niveles de minerales en cultivos sembrados en suelos preparados con lodos de industrias lácteas

Yelitza García^{1*}, Obdulio Ferrer² y Merylín Marín²

¹Facultad Experimental de Ciencias.

²Instituto de Investigaciones Agronómicas, Facultad de Agronomía.
La Universidad del Zulia, Apartado 526. Maracaibo, Venezuela

Recibido: 03-11-97 Aceptado: 29-01-99

Resumen

Los lodos de las plantas de tratamiento de aguas servidas son un problema desde el punto de vista ambiental. Una solución a este problema es la aplicación de estos lodos al suelo como fertilizante, de tal modo que además de tener un menor impacto sobre el ambiente también tengan un impacto en el ahorro de dinero para los agricultores. En este estudio se utilizaron lodos del Complejo Lácteo San José C.A. y se sembraron plantas ornamentales de crecimiento rápido, *Ixora enana* (*Ixora* sp). Las plantas se sembraron en bolsas plásticas de 3 kg, a las que se le adicionaron mezclas suelo-lodo en las siguientes proporciones: 0, 20, 40, 60, 80 Tm de lodo/Ha. Los resultados mostraron diferencias significativas ($P < 0,05$) entre los tratamientos. El mejor crecimiento de la planta se observó cuando se emplearon 20 y 40 Tm de lodo/Ha. No hubo ninguna indicación de concentración mineral especialmente de metales pesados en las plantas. La composición química fue significativamente diferente ($P < 0,05$) dependiendo de la proporción de suelo-lodo usada para cultivar la misma. La composición química para las plantas de mejor crecimiento fue como sigue: N: 0,94-1,09% y 1,76-2,03%, K: 0,18-0,13% y 0,21-0,19%, Ca: 0,55-0,83% y 1,51-2,55%, Mg: 0,06-0,07% y 0,26-0,23%, Na: 0,10-0,10% y 0,11-0,21%, Fe: 1,39-1,84 ppm y 3,26-5,79 ppm, Mn: 0,31-0,50 ppm y 1,28-1,75 ppm, Zn: 0,31-0,50 ppm y 0,09-0,14 ppm, Cu: 0,13-0,17 ppm y 0,14-0,18 ppm, Al: 4,57-6,85 ppm y 1,61-1,70 ppm Cd: 0,02-0,03 ppm y 0,03-0,02 ppm, Pb: 0,16-0,22 ppm y 0,15-0,19 ppm, para tallos y hojas, respectivamente. El conocimiento de estos niveles de minerales en lodos y plantas podría ser de gran importancia a los agricultores y a las industrias lácteas.

Palabras clave: Concentración; espectrometría atómica; *Ixora enana* (*Ixora* sp); lodos residuales; minerales.

Levels of minerals in plants grown in soils prepared with sludge from dairy plant

Abstract

The sludges of treatment plants of waste water are a problem from the point of view of environmental pollution. A partial solution to this problem is to apply the sludge to soil as a fertilizer so that in addition to have less impact on the environment also has an impact on saving money to farmers. In this study dairy plant sludge from Complejo Lácteo San José, C.A was used to

* Autor para la correspondencia.

grow dwarf *Ixora* (*Ixora* sp), a fast growing ornamental plant. Plants were grown in plastic bags filled with 3 kg of soil-sludge blends to give 0, 20, 40, 60 y 80 Tm sludge/Ha. Results showed that a significant difference ($P < 0.05$) among treatments. Better plant growth was achieved when 20 and 40 Tm sludge/Ha were used. There was not any indication of mineral concentration, especially heavy metals, in the plant. Chemical composition of plants was significantly different ($P < 0.05$) from each other depending upon the sludge-soil proportion used to grow them. Chemical composition for the best growing plants was as follows: N: 0.94-1.09% y 1.76-2.03%, K: 0.18-0.13% y 0.21-0.19%, Ca: 0.55-0.83% y 1.51-2.55%, Mg: 0.06-0.07% y 0.26-0.23%, Na: 0.10-0.10% y 0.11-0.21%, Fe: 1.39-1.84 ppm y 3.26-5.79 ppm, Mn: 0.31-0.50 ppm y 1.28-1.75 ppm, Zn: 0.31-0.50 ppm y 0.09-0.14 ppm, Cu: 0.13-0.17 ppm y 0.14-0.18 ppm, Al: 4.57-6.85 ppm y 1.61-1.70 ppm, Cd: 0.02-0.03 ppm y 0.03-0.02 ppm, Pb: 0.16-0.22 ppm y 0.15-0.19 ppm, for stems and leaves, respectively. Knowledge of these levels of minerals in sludge and plant could be of major importance to farmers and to the dairy industry.

Key words: Dwarf *Ixora* (*Ixora* sp); minerals; sludge; spectroscopy of atomic absorption.

Introducción

Los lodos de las plantas de tratamiento de aguas servidas, se están constituyendo en un problema potencial, desde el punto de vista ambiental en cuanto a su disposición. La concentración de poblaciones y actividad industrial, principalmente en los grandes centros urbanos, han generado una gran cantidad de desechos líquidos provenientes de procesos de operaciones de transformación en la manufactura de cualquier producto, y del agua usada por la comunidad (1-6).

Con la aparición de Leyes y Reglamentos, tendentes a proteger los cuerpos de aguas naturales, las comunidades y las industrias se han visto en la necesidad de tratar sus aguas residuales, en este proceso se genera una gran cantidad de lodos residuales, a los cuales hay que buscarle una forma de disponerlos adecuadamente (7, 8).

La forma habitual de proceder a la disposición de los lodos residuales, ya sea incinerarlos o verterlos al mar, realmente se ha constituido en un serio problema para muchos países, los cuales en la búsqueda de una solución a éste, han encontrado que aplicando estos lodos residuales al suelo se han obtenido beneficios tanto de tipo ambiental como económico debido a que estos

lodos proporcionan material orgánico, mejoran la estructura del suelo, y ofrecen un gran potencial para el reciclaje de nutrientes (9-11).

La aplicación de lodos en los suelos no siempre es beneficiosa para el crecimiento de las plantas, debido a que la presencia de metales tóxicos en los lodos pueden acarrear problemas como son: inhibición en la germinación de la semilla, retardo en el crecimiento y toxicidad, entre otros (5, 7).

El problema principal, es que estos metales tóxicos pueden ser incorporados a las plantas y luego consumidos por animales y humanos. Por supuesto, todo esto tiene que ver con la forma de aplicación (6, 7, 9).

Hoy en día, la disposición de los lodos residuales provenientes de plantas de tratamiento de aguas residuales municipales e industriales está asociado con el objetivo primordial, de interés nacional, de mejorar la calidad ambiental. Sin embargo, su disposición se ha convertido en un problema difícil y costoso para los organismos oficiales encargados del control de la calidad del medio ambiente. Es por esto que la aplicación de los lodos residuales al suelo ha sido vista como una alternativa de manejar estos productos de desechos, que puede proporcionar un método ambientalmente aceptable (1, 3).

Los lodos residuales tienen un alto contenido de materia orgánica (50-60%), que contribuiría a un mejoramiento de las propiedades físicas y químicas de los suelos (1, 4), por lo tanto al calcular el valor económico de los lodos como fertilizantes, se puede concluir que su utilización agrícola sería un ahorro importante de nitrógeno, fósforo y potasio, de los fertilizantes comerciales en nuestro país. Teniendo presente estas consideraciones es posible sugerir que materiales como los lodos residuales no se deben desechar (2, 4, 12, 13).

Para la determinación de metales en muestras sólidas, hay diferentes métodos descritos por la literatura. Estos incluyen Espectrometría de Absorción Atómica con Vapor Frío, Espectrometría de Absorción Atómica con Horno de Grafito y Espectrometría de Absorción Atómica con Llama. La técnica de Absorción ó Emisión con llama es la más utilizada por su alta sensibilidad y por sus bajos costos operacionales (14-17).

Por lo antes expuesto, y por la poca información y experiencia que se tiene en Venezuela, en relación a la utilización de lodos en la agricultura, así como por los problemas para la disposición, es que el objetivo principal de este trabajo de investigación es efectuar una evaluación del contenido de minerales en cultivos sembrado en suelos preparados con lodos provenientes de industrias lácteas, con el propósito de atribuirle valor como fertilizante estudiando el efecto que produce la aplicación de diferentes dosis de lodo sobre el suelo y sobre el crecimiento de la planta *Ixora enana* (*Ixora* sp).

Materiales y Métodos

Equipos

Para la determinación de K, Ca, Mg, Na, Fe, Mn, Zn y Cu, las muestras se incineraron en una mufla a 550°C por 5h (Thermolyne Sybron Corporation Furnatrol I), y se usó la técnica de espectrofotometría de absorción atómica con llama utilizando un

equipo Perkin-Elmer, modelo 372. Para el Al, Cd y Pb las muestras fueron tratadas a reflujo para evitar pérdidas de estos metales ya que, son muy volátiles utilizando un equipo West Cortland Street 3737. La determinación se realizó por espectrofotometría de absorción atómica con llama (Perkin-Elmer modelo 460). Las condiciones instrumentales fueron optimizadas usando los materiales de referencia. Las fuentes de radiación fueron lámparas de cátodo hueco (mono-cátodo) (FAAS), usando los parámetros operacionales (corriente y apertura de "slit") recomendadas por los fabricantes de los espectrofotómetros.

Reactivos

Todos los reactivos químicos utilizados fueron de grado analítico o de pureza certificada. Las soluciones estándares de 1000 mg/L se prepararon a partir de los siguientes reactivos: CaCO₃ (Fisher Scientific), NaCl (Riedel-de Haën), MgO (Fisher Scientific), KCl (Riedel-de Haën), Zn (Merck), Cu (Merck), Mn (Merck), KH₂PO₄ (Fisher Scientific).

Los solventes utilizados fueron de alta pureza HNO₃ (Riedel-de Haën) y HCl (Riedel-de Haën). Para la determinación de microelementos (Fe, Mn, Zn, Cu), se preparó una solución matriz, para controlar las interferencias y los reactivos utilizados para su preparación fueron los siguientes: CaCO₃ (Fisher Scientific), MgO (Fisher Scientific), KCl (Riedel-de Haën), H₃PO₄ (Fisher Scientific), NaCl (Riedel-de Haën).

Muestreo

La toma de muestras de los lodos se realizó en la planta de tratamiento de las instalaciones del Complejo Lácteo San José C.A. situada en el Municipio Machiques del estado Zulia.

Las muestras se tomaron de las piscinas de secamiento de la planta de tratamiento. El muestreo se realizó de forma instantánea o puntual que consiste en una

muestra simple de desecho captada a un determinado tiempo. Estas fueron recolectadas a través de una pala se secaron y guardaron en bolsas plásticas, hasta el momento del análisis.

Las muestras de suelo que se utilizaron como control y para la mezcla fueron tomadas del vivero de La Universidad del Zulia, ubicada en la Ciudad Universitaria Antonio Borjas Romero, Maracaibo, Estado Zulia. El muestreo se realizó de forma instantánea o puntual, las muestras se guardaron en bolsas pequeñas plásticas hasta el momento del análisis.

Las muestras de las plantas de *Ixora* enana (*Ixora* sp) se recolectaron luego de tres (3) meses de crecimiento sometidas a los tratamientos estudiados donde se observó su desarrollo, altura y condiciones físicas de la planta, luego fueron cosechadas y divididas en hojas y tallos, guardadas en recipientes plásticos y refrigeradas hasta el momento del análisis.

Análisis de las muestras

La determinación de macroelementos, microelementos y metales tóxicos se realizó mediante la técnica de espectrofotometría de absorción atómica por llama (K, Ca, Mg, Na, Fe, Mn, Zn, Cu, Cd, Pb). Antes de la realización del análisis de cualquiera de los metales a objeto de estudio, el equipo se colocó en las condiciones estándar según el metal a analizar. Luego, se calibró: 1) con un patrón de cobre (4 mg/L) para ajustar el nebulizador y 2) la lectura de absorbancia (0,200) con la finalidad de alinear el haz de luz (18-24).

Las muestras fueron diluidas apropiadamente según la concentración del metal, generalmente se hacen diluciones 1:10, 1:100, 1:1000, para asegurar de que la lectura entre dentro del rango de la curva patrón. Se realizaron lecturas del blanco para cada análisis, y las muestras se leyeron directamente en concentración (ppm) (23).

Estudio de crecimiento

El estudio se llevó a cabo en el vivero de La Universidad del Zulia ubicada en la Ciudad Universitaria Antonio Borjas Romero, Maracaibo estado Zulia. Se emplearon bolsas plásticas de 3 kg a las que se le adicionaron las dosis de lodos correspondientes. Se realizaron (4) relaciones de suelo-lodo con el fin de determinar la proporción óptima necesaria, se realizaron 6 de cada proporción, en los cuales se sembraron plantas de *Ixora* enana (*Ixora* sp). Los tratamientos aplicados suelo-lodo fueron los siguientes: (20, 40, 60, 80 Tm de lodo/ha), simultáneamente se sembraron las plantas en suelos preparados de la manera tradicional para su desarrollo, estas plantas fueron tomadas como control o testigo, es decir, 0 Tm de lodo/ha. Se sembraron 6 plantas de *Ixora* enana (*Ixora* sp) por cada dosis incluyendo la del control, se regaron una vez por día a capacidad de campo. Las plantas fueron medidas en el momento de sembrarlas para llevar el control de crecimiento, se midieron una vez por mes hasta cumplir tres meses, se cosechó la parte aérea y se dividió en hojas y tallos, luego se trituraron, se guardaron en recipientes plásticos y se refrigeraron hasta el momento del análisis.

Resultados y Discusión

Características físico-químicas del lodo y del suelo

En la Tabla 1 se presentan los resultados obtenidos de la caracterización físico-química de los lodos residuales provenientes de la planta de tratamiento del Complejo Lácteo San José C.A. Uno de los valores importantes que se observa en dicha tabla es el pH neutro. Hernández (19) ha reportado que para no afectar negativamente al sistema biológico, al crecimiento de la planta y a la propia estructura del suelo, el pH del lodo a usar en suelos con fines agrícolas debe ser cercano a la neutralidad (pH=7,0); por lo tanto, el lodo utilizado para este trabajo de

Tabla 1
Características físico-químicas de lodo
proveniente del Complejo Lácteo San José C.A.

Parámetro	Valor
pH	7,20
Conductividad eléctrica	1817 mmhos/cm
Materia orgánica (M.O.)	58,86%
Nitrógeno (N)	3,87%
Fósforo (P)	3,27%
Potasio (K)	0,69%
Calcio (Ca)	15,16%
Magnesio (Mg)	0,30%
Sodio (Na)	0,82%
Hierro (Fe)	5,76 ppm
Manganeso (Mn)	2,70 ppm
Zinc (Zn)	0,49 ppm
Cobre (Cu)	0,62 ppm
Aluminio (Al)	20,20 ppm
Plomo (Pb)	0,80 ppm
Cadmio (Cd)	0,04 ppm

investigación cumple con el valor de pH adecuado para ser usado con fines agrícolas.

El valor de la conductividad eléctrica es alto, en comparación a los reportados en otras muestras de lodos (1, 2, 4, 11). Esto es indicativo de la presencia de altos contenidos de sales y/o compuestos hidrosolubles.

En la Tabla 1 podemos observar el alto contenido de macro y microelementos en el lodo, lo que lo hace desde el punto de vista agronómico un buen material para cubrir las deficiencias de materia orgánica, de macro y microelementos en suelos, también favorecido por su bajo costo, ya que el mismo se obtiene como desecho del tratamiento de aguas servidas solo se necesita transportarlo.

La caracterización físico-química del suelo utilizado muestra que éste contiene bajas cantidades de materia orgánica, nitró-

Tabla 2
Características físico-químicas del suelo
proveniente del vivero de La Universidad
del Zulia

Parámetro	Valor
pH	5,64
Conductividad eléctrica	256 mmhos/cm
Materia orgánica (M.O.)	14,21%
Nitrógeno (N)	0,70%
Fósforo (P)	1,52%
Potasio (K)	0,06%
Calcio (Ca)	0,27%
Magnesio (Mg)	0,14%
Sodio (Na)	0,06%
Hierro (Fe)	8,75 ppm
Manganeso (Mn)	2,96 ppm
Zinc (Zn)	0,95 ppm
Cobre (Cu)	0,05 ppm
Aluminio (Al)	20,34 ppm
Plomo (Pb)	0,29 ppm
Cadmio (Cd)	0,02 ppm

geno, fósforo, calcio, potasio y podemos generalizar que de casi todos los macro y microelementos (Tabla 2).

El pH en el suelo se encuentra por debajo de la neutralidad, la conductividad eléctrica es relativamente baja, lo cual nos indica la poca solubilidad de las sales y/o sustancias orgánicas que constituyen el suelo utilizado.

Niveles de minerales en tallos y hojas de *Ixora enana* (*Ixora sp*)

En las Tablas 3 y 4 se muestran las concentraciones de N y K, expresadas en porcentaje, presentes en el tallo y hojas de las plantas de *Ixora enana* (*Ixora sp*), se puede observar que el nitrógeno es superior en las hojas, el fósforo es superior en el tallo y el potasio es similar en ambos, esto tiene su

Tabla 3
Niveles en % de N y K en tallo de plantas de *Ixora enana* (*Ixora* sp)

Parámetro	Proporción (Tm/ha)*				
	0	20	40	60	80
N	0,31 ^a	0,94 ^b	1,09 ^c	1,25 ^d	1,51 ^e
K	0,01 ^a	0,18 ^b	0,13 ^c	0,23 ^d	0,27 ^e

*Medias con letras distintas en la misma fila son significativamente diferentes ($P < 0,05$).

Tabla 4
Niveles en % de N y K en hojas de plantas de *Ixora enana* (*Ixora* sp)

Parámetro	Proporción (Tm/ha)*				
	0	20	40	60	80
N	0,50 ^a	1,76 ^b	2,03 ^c	2,35 ^d	2,68 ^e
K	0,01 ^a	0,21 ^b	0,19 ^c	0,24 ^d	0,26 ^e

*Medias con letras distintas en la misma fila son significativamente diferentes ($P < 0,05$).

origen en el requerimiento del vegetal y en la movilidad de los iones a través del fluido vegetal; lo cual depende en gran medida del tamaño y carga del ion en cuestión.

Los valores de fósforo no se reportan debido a los altos niveles que se obtuvieron en las plantas en algunos casos, especialmente en el tallo en proporciones de suelo-lodo de 0, 20, 40, 60 y 80 Tm de lodo/ha (0,948-3,668) %, lo cual amerita de estudios posteriores más detallados.

Se determinó estadísticamente que existe diferencia significativa ($P < 0,05$) entre las concentraciones de N y K, en cada proporción. En el tratamiento control (0) las concentraciones de los elementos es menor debido a que, el suelo utilizado presenta deficiencia de materia orgánica y macro nutrientes, esto trajo como consecuencia que las plantas presentaran una coloración verde claro a amarilla de las hojas, aunque los tejidos estaban turgentes y vivos (12). La deficiencia de fósforo en las plantas retarda la división celular y hay menor crecimiento.

El nitrógeno promueve un rápido crecimiento con un mayor desarrollo de hojas y tallos de color verde oscuro. El fósforo es parte esencial de muchos glucofosfatos que

participan en la fotosíntesis, la respiración y otros procesos metabólicos, y también forma parte de nucleótidos (componentes del ARN y ADN) y de fosfolípidos presentes en las membranas. El potasio aumenta la síntesis y la translocación de carbohidratos estimulando con ello el engrosamiento de la pared celular y la resistencia del tallo.

En las Tablas 5 y 6 se muestra las cantidades de Ca, Mg y Na, expresados en porcentajes y se observa que el Ca y el Mg son superiores en las hojas y el Na es similar en ambos.

Las concentraciones de Ca y Mg en tallo estadísticamente mostró diferencias significativas ($P < 0,05$), en cada proporción. En el Na se determinó que no existe diferencia significativa ($P > 0,05$), entre las proporciones de 20 y 40 Tm/ha, el Ca en hojas estadísticamente mostró diferencias significativas ($P < 0,05$), en cada proporción, las concentraciones de Mg no mostró diferencia significativa ($P > 0,05$), entre las proporciones de 60 y 80 Tm/ha y en las concentraciones de Na se determinó estadísticamente que no existe diferencia significativa ($P > 0,05$) entre todas las proporciones.

Tabla 5
Niveles en % de Ca, Mg y Na en tallo de plantas de *Ixora* enana (*Ixora* sp)

Parámetro	Proporción (Tm/ha)*				
	0	20	40	60	80
Ca	0,10 ^a	0,55 ^b	0,83 ^c	0,95 ^d	1,18 ^e
Mg	0,04 ^a	0,06 ^b	0,07 ^c	0,09 ^d	0,10 ^e
Na	0,03 ^a	0,10 ^{bc}	0,10 ^{cb}	0,27 ^d	0,23 ^e

*Medias con letras distintas en la misma fila son significativamente diferentes (P < 0,05).

Tabla 6
Niveles en % de Ca, Mg y Na en hojas de plantas de *Ixora* enana (*Ixora* sp)

Parámetro	Proporción (Tm/ha)*				
	0	20	40	60	80
Ca	0,15 ^a	1,51 ^b	2,55 ^c	3,42 ^d	4,40 ^e
Mg	0,09 ^a	0,26 ^b	0,23 ^c	0,30 ^{de}	0,31 ^{ed}
Na	0,03 ^{ab}	0,11 ^{ba}	0,21 ^{cde}	0,19 ^{dce}	0,26 ^{ecd}

*Medias con letras distintas en la misma fila son significativamente diferentes (P < 0,05).

Tabla 7
Niveles en ppm de Fe, Mn, Zn y Cu en tallo de plantas de *Ixora* enana (*Ixora* sp)

Parámetro	Proporción (Tm/ha)*				
	0	20	40	60	80
Fe	1,13 ^a	1,39 ^b	1,84 ^c	2,74 ^d	3,19 ^e
Mn	0,16 ^a	0,31 ^b	0,50 ^c	0,77 ^d	0,97 ^e
Zn	0,21 ^a	0,31 ^b	0,50 ^c	0,70 ^d	0,89 ^e
Cu	0,03 ^a	0,13 ^b	0,17 ^c	0,15 ^d	0,19 ^e

*Medias con letras distintas en la misma fila son significativamente diferentes (P < 0,05).

Existe una correlación directa entre la disponibilidad del calcio y el valor del pH, hecho este explicable por el carácter básico del catión Ca⁺², esto indica que el lodo residual no sólo está actuando como un fertilizante sino que también juega el papel de un material encalador (11).

El magnesio es esencial además de su presencia en la clorofila porque se combina con el ATP y porque activa muchas enzimas necesarias en fotosíntesis, respiración y formación de ADN y ARN (13).

El contenido de Fe, Mn, Zn y Cu se muestra en las Tablas 7 y 8. Estadísticamente se determinó que existe diferencias significativas (P < 0,05) entre las concentraciones de estos elementos para cada proporción.

El hierro es esencial en las plantas debido a que forma parte de ciertas enzimas y numerosas proteínas que acarrean electrones durante la fotosíntesis y la respiración, también es catalizador de reacciones enzimáticas, como el caso de la formación de la clorofila (13). El manganeso tiene una fun-

Tabla 8
Niveles en ppm de Fe, Mn, Zn y Cu en hojas de plantas de *Ixora* enana (*Ixora* sp)

Parámetro	Proporción (Tm/ha)*				
	0	20	40	60	80
Fe	2,93 ^a	3,26 ^b	5,79 ^c	7,28 ^d	9,19 ^e
Mn	1,17 ^a	1,28 ^b	1,75 ^c	1,94 ^d	2,28 ^e
Zn	0,06 ^a	0,09 ^b	0,14 ^c	0,19 ^d	0,25 ^e
Cu	0,01 ^a	0,14 ^b	0,18 ^c	0,17 ^d	0,21 ^e

*Medias con letras distintas en la misma fila son significativamente diferentes (P < 0,05).

Tabla 9
Niveles en ppm de Metales Tóxicos Al, Cd y Pb en tallo de plantas de *Ixora* enana (*Ixora* sp)

Parámetro	Proporción (Tm/ha)*				
	0	20	40	60	80
Al	3,86 ^a	4,66 ^b	6,85 ^c	11,31 ^d	14,58 ^e
Cd	0,01 ^a	0,02 ^b	0,03 ^c	0,03 ^d	0,04 ^e
Pb	0,11 ^a	0,16 ^b	0,22 ^c	0,27 ^d	0,37 ^e

*Medias con letras distintas en la misma fila son significativamente diferentes (P < 0,05).

Tabla 10
Niveles en ppm de Metales Tóxicos Al, Cd y Pb en hojas de plantas de *Ixora* enana (*Ixora* sp).

Parámetro	Proporción (Tm/ha)*				
	0	20	40	60	80
Al	1,28 ^a	1,61 ^b	1,70 ^c	1,85 ^d	2,92 ^e
Cd	0,02 ^a	0,03 ^b	0,02 ^c	0,03 ^d	0,03 ^e
Pb	0,09 ^a	0,15 ^b	0,19 ^c	0,24 ^d	0,30 ^e

*Medias con letras distintas en la misma fila son significativamente diferentes (P < 0,05).

ción estructural en el sistema de membranas del cloroplasto y una de sus participaciones importantes es la disociación fotosintética de la molécula de H₂O (13). El zinc se requiere en las plantas para la producción de una hormona del crecimiento que se conoce como ácido indolacético; así como catalizador de otras numerosas reacciones enzimáticas. El cobre está presente en diversas enzimas o proteínas implicadas en los procesos de oxidación y reducción (13).

Los niveles promedios de metales tóxicos Al, Cd y Pb contenidos en tallos y hojas

de las plantas *Ixora* enana (*Ixora* sp) se muestra en las Tablas 9 y 10. Estos resultados nos indican que las concentraciones de estos elementos en las plantas están presentes en cantidades tan pequeñas que la adición de los lodos al suelo no presenta ningún riesgo de toxicidad a las plantas ni a los seres vivos (4, 19).

En las Tablas 9 y 10 podemos observar que la concentración de los metales tóxicos aumenta al incrementar la cantidad de lodo aplicado, estadísticamente se determinó que existe diferencias significativas

Tabla 11
Prueba de medias por mínimos cuadrados para el factor de estudio evaluación para la variable altura de plantas de *Ixora enana* (*Ixora sp*)

Evaluación (meses)	Altura (cm)*
0	9,3 ^d
1	11,1 ^c
2	13,4 ^b
3	15,8 ^a

*Medias con letras distintas en la misma fila son significativamente diferentes ($P < 0,05$).

Tabla 12
Variación del crecimiento de plantas de *Ixora enana* (*Ixora sp*)

Proporción (Tm/ha)	Evaluación (meses)	Altura (cm)
0	1	10,3
0	2	11,3
0	3	13,4
0	4	15,5
20	1	9,6
20	2	13,3
20	3	17,3
20	4	20,8
40	1	9,5
40	2	11,6
40	3	14,8
40	4	17,8
60	1	7,8
60	2	8,9
60	3	10,5
60	4	12,2
80	1	9,1
80	2	10,1
80	3	10,8
80	4	12,3

($P < 0,05$) entre las concentraciones de estos elementos para cada proporción.

Efecto de la proporción de lodo sobre el crecimiento de plantas de *Ixora enana* (*Ixora sp*)

Se realizó el control del crecimiento midiendo las plantas una vez por mes durante tres meses, en la Tabla 11 se observa que la edad determinó el aumento en altura durante el tiempo de la evaluación y que entre los valores promedios de cada evaluación se detectaron diferencias significativas ($P < 0,05$) entre éstas.

En la Tabla 12 se muestra la variación de la altura de plantas *Ixora enana* (*Ixora sp*) según la proporción en Tm/ha y la evaluación durante tres meses, podemos observar la diferencia que existe entre las plantas desde que se sembraron hasta el momento de cosecharlas.

Estos resultados nos indican que existe una diferencia significativa entre las plantas control y las tratadas con 20 y 40 Tm de lodo/ha, por lo tanto la utilización de los lodos provenientes de la industria láctea como fertilizante para las plantas *Ixora enana* (*Ixora sp*) arrojaron resultados satisfactorios, de esta manera se estaría resolviendo, el problema sobre el aislamiento y almacenaje de los lodos, que durante muchos años se ha venido presentando en muchos países.

La Tabla 13 presenta los resultados de la prueba de medias por mínimos cuadrados para la variable altura de las plantas *Ixora enana* (*Ixora sp*) creciendo en cada una de las mezclas suelo y lodo. Las proporciones suelo-lodo de 20 y 40 Tm/ha condujeron a crecimientos por encima al obtenido con suelo sin lodo, y las plantas sembradas con proporciones de lodo de 60 y 80 Tm/ha, presentaron un crecimiento por debajo al obtenido con suelo sin lodo. Esto indica, que a pesar de que los lodos residuales tienen un alto contenido de materia orgánica y nutrientes, que contribuirían a un mejoramiento de las propiedades físicas y químicas

Tabla 13
Prueba de medias por mínimos cuadrados para el factor de estudio proporción de lodo de la variable altura de plantas de *Ixora enana* (*Ixora sp*)

Proporción (Tm/ha)	Altura (cm)*
20	15,3 ^a
40	13,5 ^{ab}
0	12,7 ^{bc}
80	10,6 ^{cd}
60	9,9 ^d

*Medias con letras distintas en la misma fila son significativamente diferentes ($P < 0,05$).

de los suelos, es necesario conocer la concentración crítica de lodo que produce el más alto crecimiento. En las Tablas 12 y 13 se observa que las dosis de 20 y 40 Tm/ha son las que proporcionan mayores rendimientos mientras que con 60 y 80 Tm/ha ya hay efectos negativos, esto indica que un incremento continuo de cualquier elemento hasta un punto máximo produce una disminución en el crecimiento (13).

Todo lo anterior expuesto nos indica que las relaciones de mezcla de 20 y 40 Tm/ha son las adecuadas para el crecimiento de las plantas *Ixora enana* (*Ixora sp*). El conocimiento de esta concentración de lodo en el suelo, podría ser un ahorro importante de fertilizantes comerciales en nuestro país y una manera efectiva de disponer de los lodos lecheros.

Conclusiones

Las técnicas de absorción atómica utilizadas mostraron ser óptimas para los análisis de suelo, lodo residual y plantas debido a su alta sensibilidad.

La aplicación de los lodos residuales en este tipo de suelo cubre con los requerimientos mínimos de nutrientes para el crecimiento de la planta *Ixora enana* (*Ixora sp*).

El lodo residual contiene altas concentraciones de Ca por lo tanto, podría actuar en el suelo como un material encalador.

El contenido de macronutrientes y micronutrientes tanto en el suelo como en la planta aumenta con la dosis aplicada.

Los metales tóxicos en el suelo y las plantas están por debajo de los niveles establecidos como contaminantes.

Las relaciones de mezcla de 20 y 40 Tm/ha son las adecuadas para el crecimiento de las plantas *Ixora enana* (*Ixora sp*).

Las mezclas preparadas con 20 y 40 Tm/ha de lodo presentan condiciones satisfactorias para ser utilizadas con fines agrícolas.

Referencias Bibliográficas

1. HERNANDO S., DÍAZ-BURGOS M.A., POLO A. **Análisis en Edafología y Agrobiología** 48: 357-364, 1989.
2. HUE N.E., SUBASINGHE A.R. **Water, Air and Soil Pollution** 72: 265-283, 1994.
3. CHU L.M., WONG M.H. **Plant and Soil** 103: 191-197, 1987.
4. ELLIOT H.A., SINGER L.M. **Communications. In Soil Science and Plant Analysis** 19 (3): 345-354, 1988.
5. NEIOHEISEL T.W., HORNING W.B., AUSTERN B.M. **Journal of Water Pollution Control Federation** 60: 57-67, 1988.
6. CRITES R.W. **Environmental Science and Technology** 18: 140-145, 1984.
7. MAHAN K., FODERARO T., GARZA T., MARTINEZ R., MARONEY G., TRIVISONND M., WILLGINE E. **Analytical Chemistry** 59: 938-945, 1987.
8. MUNRO J., SNEDDON J. **Atomic Spectroscopy** 8(3): 92-95, 1987.
9. FORSTERNND L. **Journal of Water Pollution Control Federation** 56: 399-404, 1984.

10. SHEAFFER C.C., DECKER A.M., CHANEY R.L., DOUGLASS L.W. *Journal of Environmental Quality* 8(4): 455-459, 1979.
11. ACOSTA Y. Aplicación de los Lodos Provenientes de la Planta de Aguas Servidas (TAS) de Maraven-Cardón para el Mejoramiento del Suelo, La Universidad del Zulia, Maracaibo (Venezuela), 1995.
12. FOTH H. *Fundamentos de la Ciencia del Suelo*, Compañía Editorial S.A., México, pp. 351- 657, 1985.
13. SALISBURY F.B., ROSS C.W. *Fisiología Vegetal*, Grupo Editorial Iberoamericana, S.A., México, pp. 127-148, 1994.
14. COTTON A., WILKINSON G. *Química Inorgánica Avanzada*, Editorial Limusa, pp. 449-547, 1981.
15. STOCKER Y SEAGER. *Química Ambiental: Contaminación del Aire y del Agua*, Editorial Blumé, pp. 268-282, 1981.
16. PARRA O., ROMERO R. *Atomic Spectroscopy* 8(4): 105-108, 1987.
17. HAIG A., CHAU A.S. *Analytica Chimica Acta* 80: 61-66, 1975.
18. VEROES M., MADUEÑO C. Determinación de la Concentración de Mercurio, Plomo y Cadmio en Tejido Muscular de Ejemplares de "Palometa" Recolectados en la Zona del Lago de Maracaibo, La Universidad del Zulia, Maracaibo (Venezuela), 1979.
19. HERNÁNDEZ T., MORENO J.I., COSTA F. *Soil Science and Plant Nutrients* 37(2): 201-210, 1991.
20. DICKSON, T. *Química Enfoque Ecológico*. Editorial Limusa, 95-100, 1986.
21. NAVARRO J.A., PARRA O.E., GARCIA R.R., RODRIGEZ-ITURBE B., RUBIO D.P., ROMERO R.A. *Investigación Clínica* 29(1): 37-45, 1988.
22. HERRAIZ L. *Espectroscopía de Absorción Atómica*, Volumen I. Publicaciones Analíticas, pp. 294-320, 1980.
23. FERRER O. *Técnicas de análisis químico cuantitativo aplicadas a las ciencias agropecuarias*, Instituto de Investigaciones Agronómicas, Facultad de Agronomía, La Universidad del Zulia, 1993.
24. BEJARANO C. Determinación de Parámetros Físico Químicos para la Calidad de Agua. 51(9):27-32, 1989.