

21 Química

CARACTERIZACIÓN FÍSICOQUÍMICA DE MUESTRAS DE LODOS PROVENIENTE DE UNA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES URBANAS DE LA CIUDAD DE SAN LORENZO

1- INTRODUCCIÓN

Los lodos de depuradoras provienen generalmente de las Estaciones Depuradoras de Aguas residuales EDARs. Estos lodos de depuradoras pueden ser beneficiosos, pues contienen materia orgánica que son nutrientes esenciales para las plantas, que pueden ser reciclado para el uso de fertilizante y abono dado que mejoran la estabilidad estructural y otras características físicas y físico-químicas del suelo¹.

Las principales limitaciones que restringen el uso de los lodos como fertilizantes son la contaminación por agentes patógenos, la presencia de sustancias orgánicas tóxicas y el contenido de metales pesados. Entre los tratamientos sugeridos para la disminución del riesgo sanitario están el compostaje² y la irradiación³.

El aumento en el contenido de metales pesados por aplicación de estos lodos tratados en los suelos puede traducirse en una disminución de la actividad biológica y en una degradación del complejo de cambio, tanto orgánico como mineral⁴. Los elementos que con más frecuencia provocan problemas de toxicidad son el Pb, Cd, Hg, Cu, Zn, Ni y Fe. El movimiento descendente de los metales pesados, aún en pequeñas cantidades y muy lentamente, puede ir engrosando la concentración de los mismos en aguas subterráneas.

La utilización de los lodos de depuradora como fertilizante requiere de un estricto control de la cantidad de metales pesados que se aplican al suelo, calculables a través de la dosis que se agrega, de la composición del lodo y del destino que sufren estos metales en el suelo. Por ello la necesidad de conocer la concentración de metales pesados en los lodos de depuradora.

Durante las últimas dos décadas se han realizado estudios enfocados a la evaluación de los efectos de la aplicación de lodos residuales sobre las propiedades físicoquímicas de suelos

agrícolas, su influencia en el crecimiento de los cultivos y las interacciones en el sistema suelo planta¹⁰⁻¹⁵. En los últimos años los estudios se han encaminado a la realización de ensayos de sostenibilidad, recuperación y remediación de áreas degradadas y/o contaminadas¹⁶⁻²⁰.

OBJETIVO GENERAL

Determinar las características fisicoquímicas de los lodos de depuradora extraídos de una planta de tratamiento de aguas residuales en las diferentes etapas del proceso.

OBJETIVOS ESPECIFICOS

- Determinar las características fisicoquímicas de los lodos una depuradoras tales como las propiedades organolépticas, pH, alcalinidad, acidez, humedad, cenizas, contenidos de sólidos, contenidos de materia orgánica.
- Proponer alternativas para la posterior utilización de estos lodos analizados de dicha planta de tratamiento de aguas residuales.

MATERIALES Y METODOS

Este estudio es del tipo Transversal Descriptivo con componentes Analíticos

Localización del área de estudio y de los puntos de muestreo:

Las muestras de lodos se recolectaron en el predio de la Estación de Tratamiento de Aguas Residuales de la Ciudad de San Lorenzo pertenecientes a la Empresa de Servicios Sanitarios del Paraguay (Figura 1)



Figura 1. Sitio de muestreo. Planta de tratamiento de aguas residuales de la ESSAP S.A (San Lorenzo)

Toma y Preparación de las Muestras Estudiadas

Las muestras de lodos fueron recolectadas de la planta de tratamiento que se encuentra en el límite del barrio Santa María, a unos cien metros del arroyo San Lorenzo, con las coordenadas $25^{\circ}19'41.5''$ S y $57^{\circ}29'25.1''$ W. Dentro del predio se encuentra las tres lagunas de estabilización en funcionamiento, también posee un tanque séptico, un pozo de bombeo, una cámara de llegada a la laguna y una cámara de recolección del sistema.

Las muestras fueron tomadas durante las diferentes etapas del proceso de la depuración del agua con una draga, fueron muestreadas de las tres lagunas, tres puntos en la primera laguna inicio medio y final, y la segunda y tercer laguna un punto cada uno en medio de la laguna respectivamente, fueron recolectadas en bolsas de polietileno, se trasladaron al laboratorio donde se secaron bajo sombra a temperatura ambiente, se trituraron en un mortero de porcelana y se tamizaron en tamiz de una malla de 1.41 mm. Por último fueron conservadas a 4°C en oscuridad, hasta el momento de su análisis.

CARACTERIZACIÓN FÍSICOQUÍMICA DE LOS LODOS MUESTREADAS

Se describen los experimentos realizados para caracterizar físico químicamente las muestras de lodos extraídas de las lagunas de la planta de tratamiento de aguas residuales.

Se realizaron la caracterización de los siguientes parámetros:

pH DE LOS LODOS

Se pesaron 1 g de lodo en una balanza de precisión al 0,1mg y se colocaron en un vaso de precipitado de 250 mL, se agregaron 10 mL de agua destilada y se agitó mecánicamente por 5 minutos y se dejó reposar 10 minutos.

A continuación se ajustó el potenciómetro con las soluciones amortiguadoras correspondiente, pasados los 10 minutos, se midieron con el potenciómetro los pH correspondientes a cada punto de las muestras recolectadas.

Tabla 1. Criterios de evaluación

Categoría	Valor de pH
Fuertemente ácido	<5,0
Moderadamente ácido	5,1 - 6,5
Neutro	6,6 - 7,3
Medianamente alcalino	7,4 - 8,5
Fuertemente alcalino	8,5

HUMEDAD

Se pesó 1 g de muestra sobre una placa de Petri a peso constante, se colocaron las muestras dentro de la estufa a 80°C durante 24 horas. Posteriormente se sacaron las muestras y se colocaron dentro de un desecador para que se enfriara. Se pesaron la muestra con todo y placa. Por último se calcularon los porcentajes de humedad en los lodos por diferencia de pesos.

% Humedad del suelo = (Peso inicial – Peso final)/ Peso inicial * 100

CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA

Para la preparación de la pasta de saturación, se pesó 40 g de suelo seco y colocarlo en un recipiente de plástico. Se agregó agua destilada con la bureta y mezclar con la espátula hasta saturación. Se golpeó el recipiente con cuidado sobre la mesa de trabajo para asentar el suelo. La pasta estará lista cuando se observe un brillo en su superficie (formación de un espejo), esto no sucede en el caso de suelos con alto contenido de arcilla. Se anotó el volumen de agua gastado (ml).

Se dejó reposar la pasta durante una hora y comprobar a criterio su saturación. Se tapó el recipiente y dejarlo reposar por tres horas. Luego se colocó papel filtro sobre el embudo, humedecerlo con agua destilada, dejando drenar el exceso. Conectar el sistema de filtración al vacío. Por último se mezcló nuevamente la pasta y se colocó en el embudo, y aplicar vacío. Obtener un extracto de aproximadamente 50 ml.

Antes de usar el medidor de conductividad debe calibrarse con una solución estándar. Para esto se requirió de dos soluciones de KCl, 0.1 N y 0.01 N, con cada una se ajustó el equipo a la conductividad indicada en la **tabla 2**.

Tabla 2. Ajuste de conductividad en función de la solución de KCl.

Sol. Estándar de KCl	Conductividad eléctrica a
0,1 N	12,9 dS/m
0,01N	1,412 dS/m

Leer la conductividad eléctrica y la temperatura del extracto. Si la lectura se toma en μ mhos, transformar los resultados a mmhos o dS dividiendo entre 1 000. Si es necesario, hacer corrección consultando la tabla de factores de corrección para diferentes temperaturas (**tabla 3**), se multiplica el resultado de conductividad eléctrica por el valor correspondiente

Tabla 3 Factores de corrección de la conductividad eléctrica en función de la temperatura del extracto de saturación.

Temperatura °C	Factor de corrección	Temperatura °C	Factor de corrección
8	1,499	22	1,067

10	1,421	23	1,044
12	1,35	24	1,021
14	1,284	25	1,000
16	1,224	26	0,979
18	1,168	28	0,941
19	1,142	30	0,906
20	1,128	32	0,873
21	1,092	34	0,843

Para convertir la conductividad eléctrica en unidades de salinidad (**tabla 4**), se toma el valor de referencia de una solución de NaCl 0.05 N con una conductancia de 604 mmhos/cm a 25°C como el factor, que al multiplicarlo por la conductividad expresa la salinidad.

Salinidad = mhos / cm X 604.

Tabla 4. Criterios para evaluar la salinidad de un suelo, con base en su conductividad.

Categoría del suelo	Valor (mmhos/cm o dS/m)
No salino	0-2
Poco salino	2,1-4
Moderadamente salino	4,1-8
Muy salino	8,1-16
Extremadamente salino	>16

DETERMINACIÓN DE CALCIO

Se empleó el método volumétrico con EDTA y previa extracción del calcio con solución extractora

Se pesaron 20 g de la muestra en un vaso de precipitado, se agregaron 50 mL de la solución extractora y se sonicaron por 15 minutos, luego se tomó el sobrenadante en un tubo de ensayo y se centrifugo por 10 minutos a velocidad de 5.

A continuación se pasó por papel de filtro el sobrenadante en un Erlenmeyer.

Se le agregó 2 mL de carbonato de sodio + una pisco de indicador murexide y se tituló con EDTA 0,05 M (previamente estandarizado) hasta viraje purpura

DETERMINACION DE FOSFORO SOLUBLE

Se colocaron 1 gr de muestra previamente molida y seca en un tubo plástico con graduación, se agregaron aproximadamente 5 mL de solución extractora, se tapa y agita para homogeneizar la muestra, se llevó a volumen a un volumen de 10 mL con la solución extractora y agitó por un periodo de 1 minuto, se centrifugo a 400 rpm por aproximadamente 2 minutos.

Se transfirió 2 mL de la solución sobrenadante en un frasco plástico para desarrollo de color, se agregó 8 mL de agua destilada y 2 mL de reactivo mixto. Se midió la absorbancia transcurridos los 30 minutos a 880 nm y la cuantificación contra una curva de calibrado de entre 1 a 5ppm de Fósforo.

Se realizaron los análisis por triplicado, y un fortificado por cada muestra, además de un chequeo de curva para verificar la calibración y un blanco de reacción. Para el chequeo se utilizó el estándar de 3 ppm.

El fortificado de las muestras se preparó agregando el equivalente a 3 ppm de patrón de fosforo a la muestra seca, mezclándose bien antes de sus enrase con solución extractora.

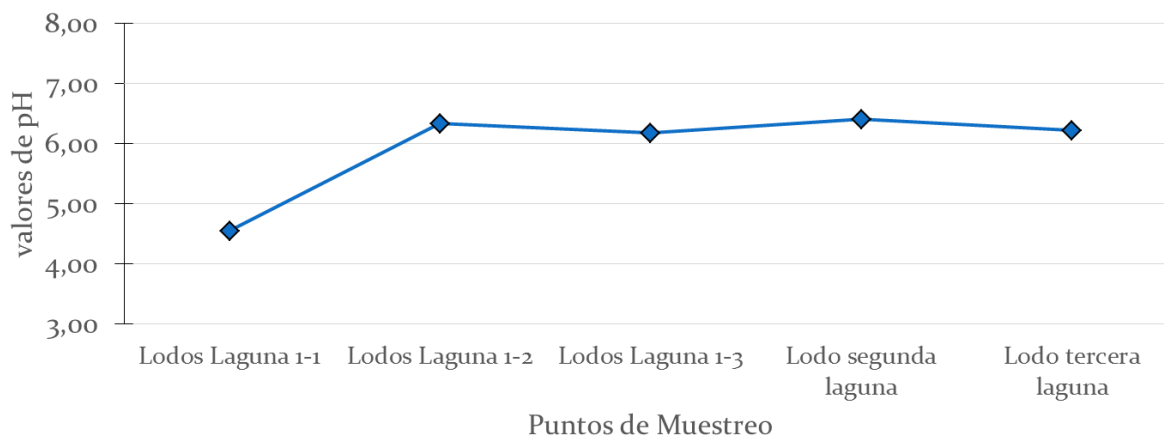
RESULTADOS Y DISCUSION

Determinación del pH

Los resultados de pH de los lodos muestreados de las lagunas de tratamientos de aguas residuales se muestran en la siguiente tabla.

Tabla 5. Resultados de pH de las muestras de lodos

	Determinación de pH			
	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3	Promedio
Lodos Laguna 1-1	4,5	4,53	4,6	4,5
Lodos Laguna 1-2	6,22	6,3	6,48	6,3
Lodos Laguna 1-3	5,98	6,24	6,3	6,2
Lodo segunda laguna	6,4	6,39	6,42	6,4
Lodo tercera laguna	5,8	6,32	6,53	6,2



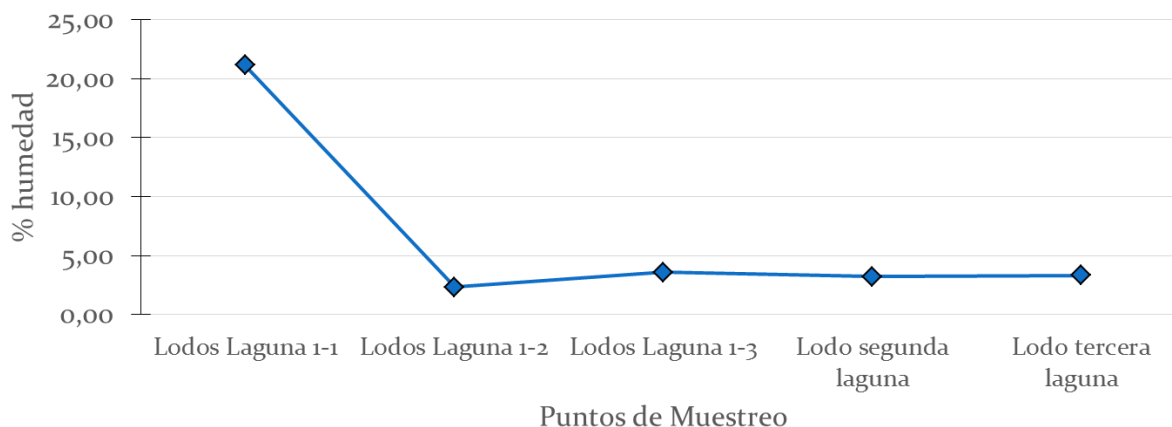
Como se puede apreciarse los lodos de la depuradora de las tres lagunas, son un tanto ácido, en la entrada misma de la primera laguna es aún más ácida probablemente al cambio del sedimentos continuos que han sufrido con el tiempo, esto puede justificar las actividades antropogénicas que han llevado a cabo a lo largo del tiempo con el hombre.

Determinación de Humedad

Mediante el secado de los lodos en estufa se determina su humedad. Para ello se sigue el procedimiento descrito anteriormente en los métodos utilizados. Los resultados para cada lodo en los diferentes puntos muestreados se observa en la **tabla 6**.

Tabla 6. Resultados de humedad de las muestras de lodos

	Humedad (%)		
	Muestra 1	Muestra 2	Promedio
Lodos Laguna 1-1	19,58	22,75	21,17
Lodos Laguna 1-2	2,67	2,02	2,35
Lodos Laguna 1-3	3,80	3,41	3,61
Lodo segunda laguna	3,41	3,04	3,23
Lodo tercera laguna	3,62	3,06	3,34



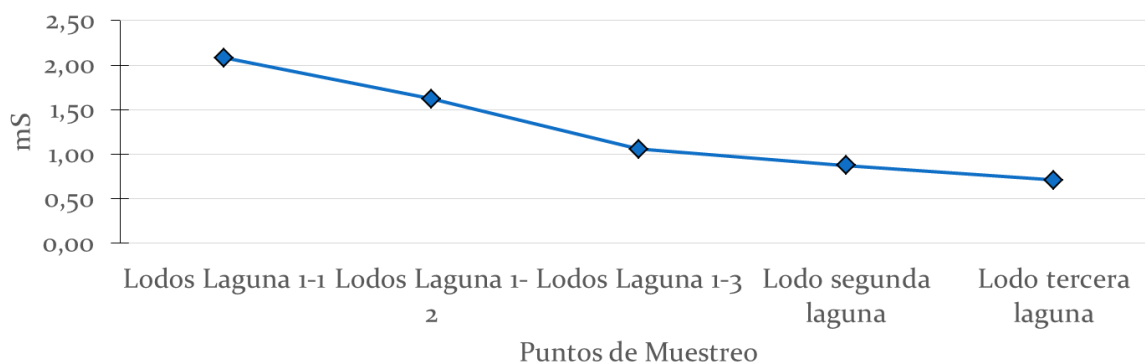
Los datos obtenidos los 5 lodos muestreados de los diferentes puntos de muestreos de la primera, segunda y tercera se pueden observar que el contenido de humedad es mucho mayor en el lodo de la laguna 1-1 (primer punto de muestreo), esto puede deberse a que no fue suficiente el secado a temperatura ambiente por lo que se pudo buscar otra alternativa como secado.

Conductividad eléctrica

Los resultados de la conductividad eléctrica de los lodos muestreados de las lagunas de tratamientos de aguas residuales se muestran en la siguiente tabla 7.

Tabla 7. Resultados de la conductividad eléctrica en las muestras de lodos

	Conductividad eléctrica (mS)			
	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3	Promedio
Lodos Laguna 1-1	2,03	2,05	2,17	2,08
Lodos Laguna 1-2	1,51	1,62	1,73	1,62
Lodos Laguna 1-3	1,00	1,10	1,07	1,06
Lodo segunda laguna	0,86	0,93	0,84	0,88
Lodo tercera laguna	0,69	0,65	0,79	0,71



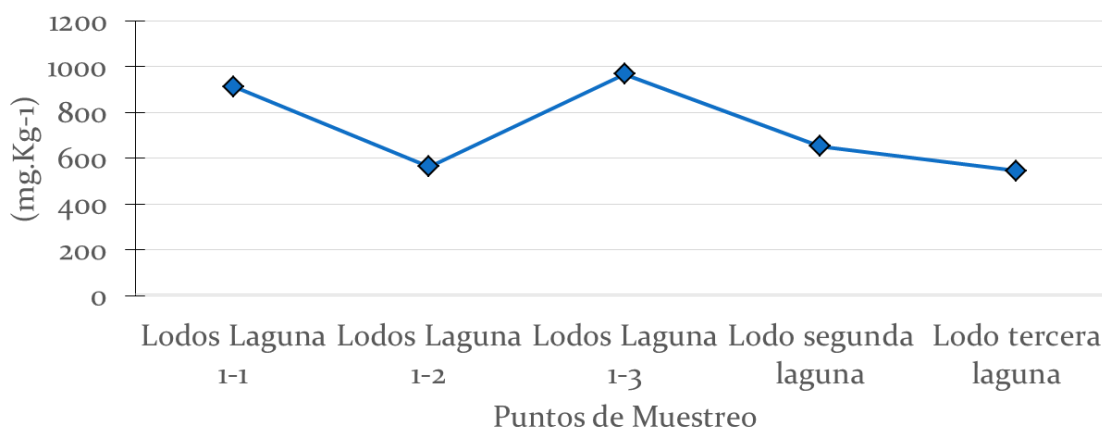
De acuerdo a los resultados obtenidos se pudo observar que una propiedad de las soluciones que se encuentra muy relacionada con el tipo y valencia de los iones presentes, sus concentraciones total y relativa, su movilidad, la temperatura del líquido y su contenido de sólidos disueltos. La determinación de la conductividad eléctrica nos permitió de forma indirecta de medir la salinidad del agua o extractos de lodos.

Determinación de calcio

Los resultados de la determinación de los lodos muestreados de las lagunas de tratamientos de aguas residuales se muestran en la siguiente tabla

Tabla 8. Resultados de la determinación de calcio en las muestras de lodos

Determinación de Calcio (mg.Kg ⁻¹)			
	Muestra 1	Muestra 2	Promedio
Lodos Laguna 1-1	731,00	1096,00	913,50
Lodos Laguna 1-2	547,50	578,90	563,20
Lodos Laguna 1-3	1054,05	880,80	967,42
Lodo segunda laguna	556,29	748,38	652,33
Lodo tercera laguna	519,83	571,56	545,70



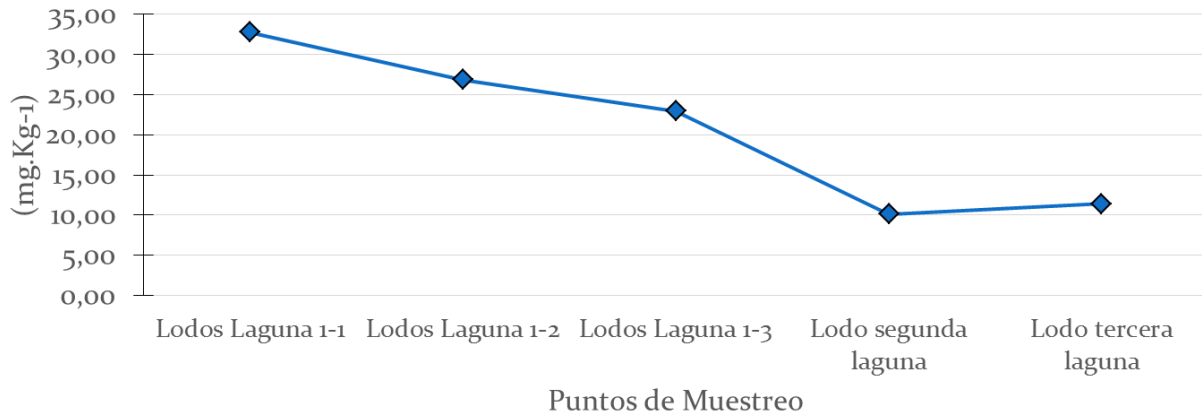
Los lodos de depuradora se caracterizan por su gran contenido de materia orgánica, así como una gran variedad de micronutrientes, en este caso el calcio que se observa que tiene una gran cantidad de la misma en los lodos muestreados de las tres lagunas. Este compuesto tiene un gran valor agronómico a la hora de enmendar los suelos con los mismos.

Determinación de fósforo soluble

A continuación se detallan los resultados obtenidos de fósforo soluble en las muestras de lodos muestreados de las lagunas de la planta de tratamiento de aguas residuales.

Tabla 9. Resultados de la determinación de fósforo soluble en las muestras de lodos

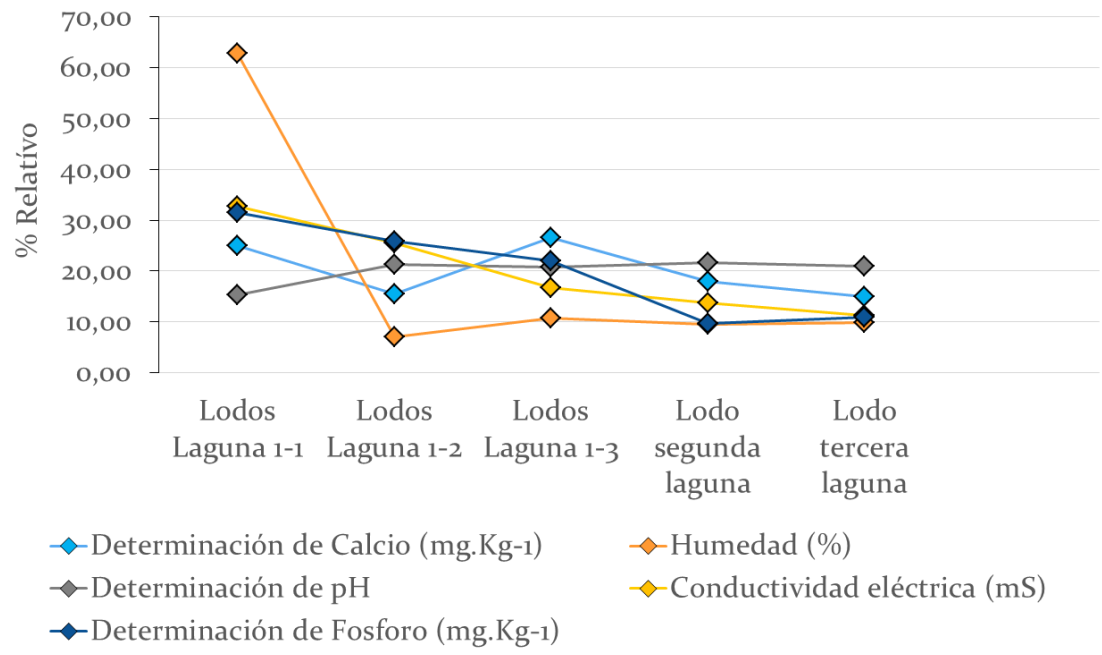
Determinación de Fosforo (mg.Kg-1)				
	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3	Promedio
Lodos Laguna 1-1	33,50	32,60	32,20	32,77
Lodos Laguna 1-2	26,85	28,05	25,74	26,88
Lodos Laguna 1-3	23,70	21,10	24,00	22,93
Lodo segunda laguna	10,46	10,46	9,43	10,12
Lodo tercera laguna	12,30	11,40	10,50	11,40



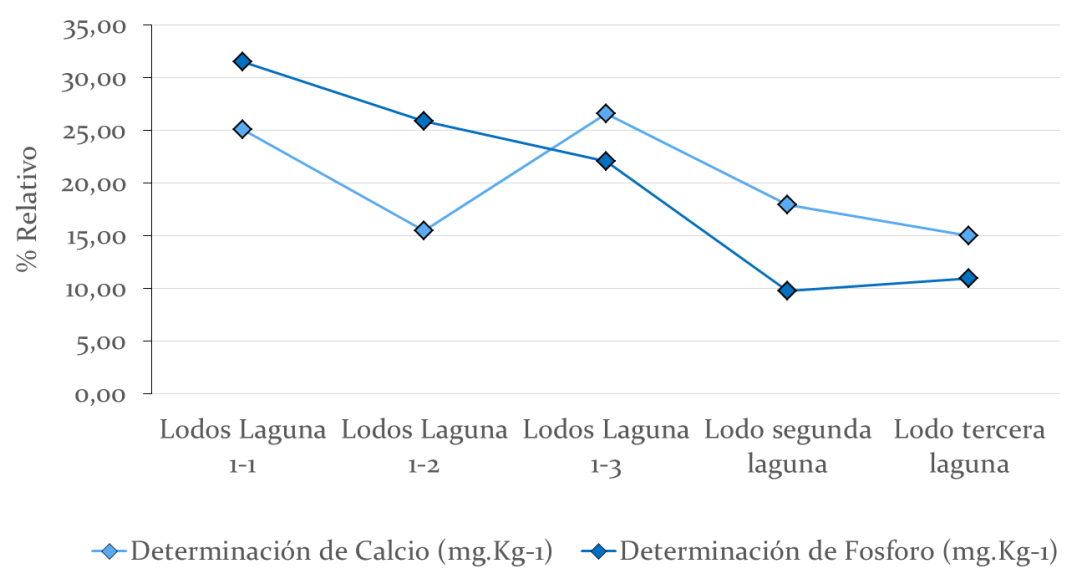
El fosforo es uno de los nutrientes energéticos que puede poseer un fertilizante, se puede observar de acuerdo a los resultados obtenidos que los lodos de la primera laguna contiene mayor contenido de fósforo, principalmente en el punto 1-1 que es el punto de entrada de los efluentes proveniente de la ciudad.

CORRELACION ENTRE RESULTADOS

Correlación entre parámetros



Correlación entre Nutrientes



CONCLUSIONES

EL trabajo de investigación desarrollada muestra que las actividades antropogénicas que realiza el hombre, tienen efectos directos sobre el contenido de nutrientes en los lodos de las lagunas de la planta de tratamiento de aguas residuales.

Como se sabe, la fertilidad de los suelos se garantiza con las concentraciones de ciertos parámetros fisicoquímicos como la materia orgánica, carbono orgánico, porcentaje de nitrógeno, capacidad de intercambio catiónico y las concentraciones de micronutrientes tales como hierro, sodio, magnesio, calcio, potasio, cobre, manganeso y fosforo

De acuerdo a todos los resultados obtenidos hasta ahora en nuestra investigación se ha podido confirmar que desde el Lodo de la Laguna 1 hasta la última laguna la carga de Fosforo, Calcio, Conductividad electrolítica (sales disueltas), son reducidos hasta su descarga final, el pH fue regulado desde la Laguna 1 hasta la última laguna (pH casi neutro).

Además como resultado preliminar se puede considerar a estos lodos como fertilizante por su contenido en Calcio y Fosforo principalmente en lodos de la Laguna 1.

Aun se encuentran en estudio los parámetros de contaminación (orgánica e inorgánica)

FINANCIAMIENTO

Este proyecto está siendo realizado gracias al financiamiento de la Dirección General de Investigación Científica y Tecnológica de la Universidad Nacional de Asunción y de la Facultad de Ciencias Exactas y Naturales - UNA.

AGRADECIMIENTOS

Al Departamento de Química la Facultad de Ciencias Exactas y Naturales de la UNA por el espacio designado para realizar esta tarea de investigación y al Ente Regulador de Servicios Sanitarios por proveer las muestras empleadas en este trabajo.

REFERENCIAS

- 1-** Rostagno C, Soseebee R. (1998). La aplicación de biosólidos en pastizales naturales: su efecto sobre algunas características del suelo superficial y de los sedimentos. Actas XVI Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo. pp 79.
- 2-** Costa F, García C, Hernández T, Polo A. (1996). Residuos orgánicos urbanos. Manejo y utilización. CSIC, Centro de Biología Aplicada del Segura. España. 181 pp.
- 3-** Graiño J, Magnavacca C. (1998). Sewage Sludge Irradiation Project in Argentina. In: Environmental Application of Ionizing Radiation. Cooper W et al, Ed. John Wiley & Sons. Washington, USA.
- 4-** Kabata Pendías A. (1995). Agricultural Problems Related to Excessive Trace Metal Contents of Soils. En: Heavy Metals. Ed: W. Salomons, U.Forstner, P.Mader. Springer-Verlag Berlin Heidelberg. pag. 3-18.
- 5-** McBride, M.B. (1995). Toxic metal accumulation from agricultural use of sludge: are USEPA regulations protective? Journal of Environmental Quality, 24: 5-18.
- 6-** Almas, E. and Singh, B.R. (2000). Phytoavailability of cadmium and zinc at different temperature and organic matter levels. Cost Action 837, Workshop. Phytoremediation 2000. State of the Art in Europe (An Intercontinental Comparison). Greece. pp: 47-48.
- 7-** Varanini, Z. and Pintón, R. (2000). Direct Versus Indirect Effects of Soil Humic Substances on Plant Growth and Nutrition. Pintón, Varanini and Nannipieri (Ed.)- The Rhizosphere. Marcel Dekker, Inc. pp: 141-150.
- 8-** Abollino, O., Aceto, M., Malandrino, M., Mentasti, E., Sarzanini, C., Barberis, R. (2002). Distribution and mobility of metals in contaminated sites. Chemometric investigation of pollutants profiles. Environmental Pollution 119: 177-193.
- 9-** McBride, M.B. (1995). Toxic metal accumulation from agricultural use of sludge: are USEPA regulations protective? Journal of Environmental Quality, 24: 5-18.
- 10-** Coker, E.G., Matthews, P.J. (1983). Metals in sewage sludge and their potential effects in agriculture. Water Science Technology 15: 209-225.

- 11-** Vlamis J., Willian, D.E. Corey, J.E., Page, A.L. y Ganje T.J. (1985). Zn and Cd uptake by barley in field plots fertilized seven years by urban and suburban sludge. *Soil Science*. 139: 81-87.
- 12-** Sastre-Conde, I; Alonso, J; Guerrero, A.M.; Pínula, P.; Cabezas, J.G., Lobo, M.C. (2003). Dinámica de nutrientes y metales pesados en cultivo de olivar con dos tipos de lodos residuales. En: *Control de la erosión y degradación del suelo*. R. Bienes y M.J. Marqués (Eds.). Instituto Madrileño de Investigación Agraria y Alimentaria. Madrid, pp: 303-307.
- 13-** Chaney, R.L. (1994). Trace metal movements. Soil-Plant system and bioavailability of biosolids-applied metals. In: *Sewage sludge: Land utilization and the environment*, SSSA. Miscellaneous Publication. Clapp, C.E., Larson, W.E., Dowdy R.H. (Eds.).
- 14-** Oberle, S.L., Keeney, D.R. (1994). Interaction of sewage sludge with soil-crop-water systems. In: *Sewage sludge land utilization and the environment*, SSSA. Miscellaneous Publication. Clapp, C.E., Larson, W.E., Dowdy, R.H. (Eds.).
- 15-** Hooda, P.S., McNulty, D., Alloway, B.J., Aitken, M.N. (1997). Plant availability of heavy metals in soils previously amended with applications of sewage sludge. *J. Sci. Food Agric.* 73: 446-454.
- 16-** Sopper, W.E. (1993). *Municipal Sludge use for Land Reclamation*. Lewis Publishers, Ann Arbor, MI. Varanini, Z. and Pintón, R. (2000). Direct Versus Indirect Effects of Soil Humic Substances on Plant Growth and Nutrition. Pintón, Valarini and Nannipieri (Ed.)- *The Rhizosphere*. Marcel Dekker, Inc. pp: 141-150.
- 17-** Kannavou, A., Chronopoulou-Serell, A. And Chronopoulos, J. (2000). Lead uptake by native mediterranean plants grown on the metalliferous soils of Lavrio-Attica, Greece. pp 116.
- 18-** Gil, F.J. ; de Andrés, E.F. ; Tenorio, J.L.; Martínez F., and Walter I. (2001). Sewage sludge effects on production of wild legume shrubs. *Bioprocessing of Solid Waste and Sludge*. <http://www.orbitonline.net/journal>, Vol. 1, N°4.

19- Brown, S.L., Henry, C., Chaney, H., Compton, H. and DeVolder, P. (2003). Using municipal biosolids in combination with other residuals to restore metal-contaminated mining áreas. Plant and Soil 249: 203-215.

20- Cabezas, J.G.; Alonso, J; Yébenes, L; Vicente, M.A. y Lobo, M.C. (2003). Aplicación de lodos residuales para la restauración de la cubierta vegetal en suelos degradados. En: Control de la erosión y degradación del suelo, R. Bienes y M.J. Marqués (Eds.). Instituto Madrileño de Investigación Agraria y Alimentaria. Madrid, pp. 279-282.