

## Efecto del uso de lodos provenientes de una planta de tratamiento de agua en el cultivo de *Oryza Sativa* (Arroz)

Alfredo Fernández Reyes<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Docente Universidad Nacional de Piura, [unpafr@hotmail.com](mailto:unpafr@hotmail.com)

Recibido: 06-07-2016

Aceptado:14-02-2016

### RESUMEN

El propósito de esta investigación fue determinar el efecto del uso de los lodos provenientes de la planta de tratamiento de agua de Curumuy-Piura, en el cultivo de arroz, para lo cual se dispuso de dos parcelas de terreno, una de prueba, a la cual se le añadió una cantidad de 6,67 litros de lodo por metro cuadrado, de la planta de tratamiento de agua en mención y otra parcela, considerada como blanco, sometiéndose ambas al mismo proceso de siembra, cultivo y cosecha, que permitió hacer la comparación correspondiente de los parámetros evaluados en la planta de arroz y el suelo, desde el mes de enero hasta la cosecha en el mes de mayo, tiempo en el cual, se realizaron muestreos periódicos de plantas de arroz, con la finalidad de someterlas a los análisis correspondientes para la determinación del contenido de aluminio, elemento representativo para esta evaluación, en razón a que está presente en cantidades considerables en el lodo y que podría estar generando efectos perjudiciales en la planta, así como también se recolectó muestras de suelo para ser evaluados en sus parámetros tales como: pH, conductividad, materia orgánica, fosforo asimilable, nitrógeno, potasio y calcáreas. Considerándose que el aluminio, era el metal más representativo al momento de comparar los resultados de ambos grupos de plantas evaluadas se procedió a realizar una evaluación puntual de este metal en las plantas de arroz. Para determinar la diferencia de acumulación de este metal en las diferentes zonas de la planta de arroz y considerando que no todos los órganos de la planta tienen la misma significación en la acumulación de los metales pesados, se dividió la planta en: raíz, tallo bajo, tallo alto y espiga, determinándose así el contenido promedio de aluminio igual a 0,0171 mg/g, 0,0161 mg/g, 0,0612 mg/g y 0,2435 mg/g, para la espiga, tallo alto, tallo bajo y raíz, respectivamente; así como también se determinó que la producción de arroz en la parcela de ensayo disminuyó en un 14,75% respecto a la producción en la parcela blanco-testigo, esto debido a la extracción y de aluminio en la planta de arroz, así mismo se determinó que el contenido promedio final de materia orgánica en el suelo era de 1,4 y pH promedio de los suelos era de 5,69, lo cual repercutió en el desarrollo de la planta y en su rendimiento productivo.

**Palabras clave:** Arroz, lodos, aluminio, cultivos.

### ABSTRACT

The purpose of this research was to determine the effect of the use of sludge from the treatment plant water Curumuy-Piura, in rice cultivation, for which he had two plots of land, one test, the sludge which was added in an amount of 6,67 liters of sludge per square meter, the water treatment plant and another parcel in question, considered as a target, both undergoing the same process of planting, growing and harvesting, which allowed make the appropriate comparison of the parameters evaluated in the rice plant and soil, from January until the harvest in May, at which time, periodic sampling of rice plants were conducted in order to submit to appropriate for the determination of aluminum content analysis element very representation for this assessment, because it comes to be present in considerable in the mud quantities and could be causing detrimental effects on plant and also was collected soil samples to be evaluated on parameters such as pH, conductivity, organic matter, assimilable phosphorus, nitrogen, potassium and lime. Considering that aluminum was the most representative when comparing the results of both groups of plants evaluated proceeded to make a timely assessment of this metal on metal rice plants. To determine the difference in accumulation of this metal in different parts of the rice plant and considering that not all organs of the plant have the same meaning in the accumulation of heavy metals, the plant was divided into: root, stem low, tall stem and stem (as appropriate), and determine the average aluminum content equal to 0,0171 mg / g, 0,0161 mg / g, 0,0612

mg / g and 0,2435 mg / g for the pin , tall stem, stem and root under, respectively; and it was also determined that rice production in the test plot decreased by 14,75% compared to production in the white-control plot, this due to the extraction and aluminum in the rice plant, so it is determined that the final average content of organic matter in the soil was 1,4 and average soil pH was 5,69, which affected the development of the plant, as well as its yield.

**Keywords:** Rice, sludge, aluminum, crops.

## I. INTRODUCCIÓN

El gran problema ambiental que presentan los suelos destinados a la siembra de arroz, considerado como una externalidad negativa, viene a ser la salinización progresiva, debido al monocultivo de esta planta, lo cual genera un agudo problema que daña la estructura del suelo al salinizar los suelos debido al exceso de agua y la falta de drenes en el manejo del cultivo. Este proceso es perjudicial debido a que genera suelos cada vez menos fértiles.

Según la publicación “Estudio de los costos de la desertificación y degradación de las tierras en el departamento de Piura (Perú)” (Morales & et al., 2013): por “degradación de las tierras” se entiende la reducción o la pérdida de la productividad biológica o económica y la complejidad de las tierras agrícolas de secano, las tierras de cultivo de regadío o las dehesas, los pastizales, los bosques y las tierras arboladas, ocasionada, en zonas áridas, semiáridas y subhúmedas secas, por los sistemas de utilización de la tierra o por un proceso o una combinación de procesos, incluidos los resultantes de actividades humanas y pautas de poblamiento, tales como: i) la erosión del suelo causada por el viento o el agua, ii) el deterioro de las propiedades físicas, químicas y biológicas o de las propiedades económicas del suelo, y iii) la pérdida duradera de vegetación natural.

Uno de los especialistas como el Dr. Ricardo Pineda Miliach opina (Pineda, 1999): “Los grandes volúmenes de agua que consume el arroz ya están empobreciendo los suelos, por efecto de las sales procedentes tanto del agua de riego, como la napa freática que asciende a la superficie ya que por cada metro cúbico de agua se incorpora al suelo medio kilo de sal que significa 10 toneladas métricas de sal en un hectárea de arroz”.

Precisamente por ser la raíz el órgano de absorción por excelencia, en ella se localizan la mayoría de las afectaciones (Schwarzerova & et al., 2002), es la vía por la cual se lleva a cabo el proceso de extracción de los metales hacia el interior de la planta. También se considera al pH como uno de los factores que más influyen en los niveles de los elementos metálicos detectados en las plantas, a tal punto de poder afirmar que en suelos ácidos el aluminio es el elemento que más influye negativamente sobre la producción de las cosechas, afectando más del 40 % de la agricultura mundial (Kochian, 1995).

La característica conocida de las plantas frente a la toxicidad por metales pesados es que su respuesta puede variar, dependiendo del grado de tolerancia que exhiba la especie en cuestión para algún metal específico y de la concentración en que se encuentre este elemento en el medio (Cobbett, 2000).

En el Caserío de Bocanegra, Provincia de Morropón, Departamento de Piura, el cultivo de arroz se viene desarrollando por décadas; existen zonas agrícolas en donde la rotación de cultivos no existe y se ha recurrido a diversos medios para abonar los campos agrícolas. El agricultor, actualmente está utilizando los lodos provenientes de la planta de tratamiento de aguas de Curumuy como abono; con la finalidad de mejorar las tierras agrícolas y volverlas aptas para el monocultivo del arroz. Es sabido que el lodo contiene altas concentraciones de material orgánico que la planta puede aprovechar; pero también es cierto que contiene diversos tipos de metales, entre los cuales, resalta la alta concentración del aluminio, metal que en concentraciones elevadas puede influenciar negativamente en el rendimiento de los cultivos. Por ello es relevante realizar un estudio orientado a comprobar y evaluar el efecto de este metal en el cultivo del arroz, lo cual permitirá la posibilidad del uso del mismo como una actuación planificada a largo plazo, con el objetivo de mejorar la calidad del suelo y su rendimiento, transformar un molesto residuo en un excelente recurso.

Fue la intención del trabajo de investigación presentar los aspectos relevantes del uso de los lodos provenientes de la Planta de tratamiento de aguas (superficiales) de Curumuy-Piura, en el cultivo de

arroz (*Oryza sativa*), con la finalidad de disminuir los impactos ambientales del monocultivo de arroz, propuesta que podría ser considerada dentro del manejo agrícola para la recuperación de los suelos y asegurar el desarrollo sostenible de la comunidad del caserío Bocanegra-Morropón-Piura, la Región Piura y nuestro País.

## II. MATERIAL Y MÉTODOS

### 2.1 OBJETO DE ESTUDIO

Para este estudio se consideró una parcela de ensayo ubicado en la zona de Caserío Bocanegra-Morropón, Piura, Perú, antes llamado Palo Blanco, o Guayaquil, ubicado exactamente en las faldas del grandioso cerro Maray, localizándose entre las coordenadas 5°10'48.8" a 5°11'00.3" latitud Sur y 79°56'32.6" a 79°56'36.3" longitud Oeste, a una altitud de 130 msnm, con una población de 174 pobladores (94 hombre y 80 mujeres), a 3 kilómetros de Morropón-Piura. Para llegar hay que cruzar el río La Gallega; Su clima es de trópico-seco en las partes bajas. En el invierno las temperaturas oscilan entre los 17°C y los 27 C°. Los veranos son más húmedos y reciben fuertes temperaturas que pueden sobre pasar los 38 C° entre los meses de enero, febrero y marzo, afectando su ubicación, en los tiempos de lluvia pues el río crece de tal manera que aísla al caserío.

**Tabla 1.** Tipo de cultivos del Caserío Bocanegra

Cultivo	%
Arroz	0,54
Otros	0,46
Total	100

Fuente: Censo Nacional Agropecuario, 2012

En el 2014, Piura representó el 5,2 por ciento de la producción agropecuaria nacional. La superficie agrícola departamental da cuenta del 4,5 por ciento del área agrícola total en el país.

Según los Censos Nacionales Agropecuarios de los años 1994 y 2012, el número de unidades agropecuarias se incrementó entre ambos años de referencia en 27,3 por ciento, siendo para el año 2012 de 145 282. En la región se dispone de 244 mil hectáreas de tierras de alta calidad.

Asimismo, Piura es una de las regiones con mayor infraestructura de riego en el país, al disponer de una capacidad de almacenamiento de agua de más de 760 millones de metros cúbicos en sus dos represas principales (Poechos y San Lorenzo). Entre los cultivos principales destacan el arroz, algodón, maíz amarillo duro, mango, uva, limón, plátano y caña de azúcar.

En el año 2014, Piura aportó el 12,3 por ciento de la producción nacional de arroz, por debajo de años previos, debido a que restricciones en el recurso hídrico conllevaron una caída significativa en las cosechas. Este producto representa varias ventajas para el agricultor, tales como amplio mercado interno, facilidad de almacenamiento, acceso al agua a bajo costo, acceso al financiamiento formal e informal y componente importante de su dieta alimentaria. En la campaña agrícola 2013-2014 se sembraron en Piura 43 062 hectáreas de este cereal, mientras que la producción en el año 2014 fue de 356 506 toneladas, lo que implicó una caída del 34,8 por ciento respecto del año previo, debido a una severa limitación en la disponibilidad de agua.

Según las estadísticas sectoriales del Instituto Nacional de Estadística e Informática (INEI, 2015), la producción de arroz cáscara en junio del 2015, se totalizó en 676,961 toneladas, es decir, aumentó en 49,4 por ciento respecto a similar mes del año anterior, por la mayor disponibilidad de recurso hídrico en los reservorios ubicados principalmente en la costa norte del país.

### 2.2 Medios

La información sobre el objeto de investigación fue obtenida de los registros de la Municipalidad Distrital de Morropón, Instituto Nacional de Estadística e Informática INEI y del Centro de Investigación y Promoción del Campesinado-CIPCA.

### 2.3 Métodos y técnicas

El estudio se planificó en 4 fases: caracterización del lodo, ubicación de las parcelas experimentales; elaboración del plan de siembra, cultivo y cosecha; y caracterización físico química de la planta de arroz.

a) Caracterización de lodo:

Análisis de absorción atómica del lodo que genera la planta de Tratamiento de Aguas superficiales de “Curumuy”-Piura, el mismo que representa en promedio el 0,693% de la masa de agua de captación del canal “Daniel Escobar”. Para la caracterización se tomaron muestras del colector de salida de lodos finales, las que descargan en la poza de recepción de lodos. El muestreo, se realizó, en diferentes fechas (durante el mes de enero del 2009), cuyos resultados se observan en la Tabla 2.

b) Ubicación de las parcelas experimentales:

Las parcelas se ubicaron en el Caserío de “Bocanegra” – Morropón – Piura, fueron dos parcelas, una experimental y la otra de blanco o testigo, ambas con una dimensión de 3,0 m x 3,0 m, procediéndose al acondicionamiento y preparación del suelo correspondientemente.

c) Plan de siembra, cultivo y cosecha:

- Se elaboró el programa de siembra de arroz en las parcelas (parcela de ensayo y parcela testigo), utilizando la técnica de “piquete”, (el 8 de Enero del 2009).
- Posterior a la siembra (el 19 de enero del 2009), se le adicionó a la parcela experimental, lodo de la Planta de tratamiento de Agua, de Curumuy-Piura, en una relación de 6,67 L de lodo/m<sup>2</sup> de suelo, al mismo tiempo que se elaboró el cronograma de muestreo periódico de las plantas de arroz, tanto en la parcela de ensayo, así como también, en la parcela blanco-testigo.

d) Caracterización físico química de la planta de arroz

- Se recolectaron muestras de plantas de arroz, las mismas que se seleccionaron de forma aleatoria durante los meses de febrero a mayo del 2009, recolectando una cantidad representativa de plantas de arroz en cada una de las parcelas a evaluar (parcela de ensayo y parcela blanco-testigo).
- Se realizaron análisis seccional de las muestras de plantas de arroz, esto en razón a que por referencias de estudios realizados, se indica que existe una diferencia de acumulación de los metales en las diferentes zonas a lo largo del tallo de la planta de arroz, debido a que no todos los órganos de la planta tienen la misma significación en la acumulación de los metales pesados, lo cual nos llevó a establecer sectores, tales como: raíz, tallo bajo, tallo alto y espiga (según el caso), para su análisis correspondiente.
- El análisis químico a las muestras de plantas de arroz, se realizó mediante el método de análisis instrumental de Absorción Atómica de acuerdo al “Standard Methods”, para cada uno de los metales, que significativamente perjudiciales que estarían presentes en la planta, es decir aluminio y cadmio, de la siguiente manera:
  - o Tratamiento de la muestra: Las diferentes muestras de plantas de arroz fueron previamente lavadas, cortadas en secciones correspondientes a: raíz, tallo bajo, tallo alto y espiga (según sea el caso) y secados a 60°C en la estufa hasta peso constante, cada una de ellas.
  - o Las muestras secas fueron luego sometidas a molienda y pesadas, se colocaron cantidades de 0,5 a 6 g de esta muestra en crisoles de porcelana previamente identificados y lavados con HCl 5 % y agua bidestilada.
  - o Se carbonizaron las muestras en flama hasta ausencia de humo.
  - o Se Calcinaron las muestras en una mufla a una temperatura de 600°C.
  - o Las cenizas obtenidas de la muestra fueron tratadas con aproximadamente 5 mL de HCl 20% v/v y filtradas, recogiendo el filtrado en un matraz de aforación de 25mL.

- Las muestras se transfirieron cada una de ellas a un recipiente de polipropileno con capacidad de 50 mL, previamente lavado con agua bidestilada y codificado respectivamente.
- Se preparó un blanco reactivo consistente en 5 mL de HCl 20% aforando a 25 mL con agua bidestilada.
- Determinación de Cadmio y Aluminio por espectrofotometría de absorción atómica: El equipo utilizado fue un espectrofotómetro de absorción atómica de flama provisto de lámparas de cátodos huecos para lecturas de cadmio y de aluminio, respectivamente, para luego de acuerdo a las indicaciones del manual de operación del fabricante. Se inició la configuración operacional del instrumento, así como del sistema de captura de datos, permitiendo un periodo no menor a 20 minutos para el calentamiento de las lámparas de cátodo hueco (Sadzawka & et al., 2007).
- Calibración: Se verificó la sensibilidad del instrumento con las soluciones estándares de cada elemento, preparadas en las concentraciones marcadas en el manual de operación. Se Ajustó el instrumento a cero con el blanco de calibración y soluciones estándares de menor a mayor concentración y se registró al menos tres réplicas de la absorbancia de cada uno. Se elaboró una curva de calibración leyendo o registrando los estándares del elemento y graficando absorbancia o altura del pico en función de la concentración.
- Determinación: Se introdujo el blanco de reactivos, las muestras a analizar y registrar los valores de absorbancia. Se debe analizar al menos un blanco de reactivos con cada grupo de muestras.
- Análisis estadístico:  
Se realizó un análisis de varianza y comparación de medias entre las muestras (Little & Hills, 1991).

### III. RESULTADOS

En la Tabla 2 se evidencia que el metal de mayor representatividad por su alto contenido en el lodo de Planta de Tratamiento de Agua Residuales (PTAR) de Curumuy, es el aluminio, encontrándose en un rango de 4,32 a 6,81 mg/L en las muestras evaluadas.

**Tabla 2.** Caracterización del lodo de la PTAR de Curumuy-Piura.

Muestra	pH	Densidad (g/mL)	Al (mg/L)	Fe (mg/L)	Cd (mg/L)	ST (g/L)	SST (g/L)
1	6,94	1,005	4,32	0,20	0,01	10,46	0,27
2	6,95	1,025	5,63	0,22	0,01	18,50	0,24
3	6,96	1,068	6,81	0,29	0,01	16,17	0,44
4	6,97	1,085	4,50	0,22	0,01	18,44	0,28
5	6,98	1,024	5,40	0,02	0,01	14,42	0,64

Fuente: Análisis realizados por Absorción Atómica-StandardsMethods-LMI.-UNT

Para evaluar la contaminación de los suelos por aluminio se procedió a caracterizar los suelos de la parcela testigo, Tabla 3. Encontrándose que el pH en la parcela testigo es relativamente neutra (6,4 en promedio), siendo 0,41 más ácido que el lodo residual.

**Tabla 3.** Caracterización de los Suelos de la Parcela de ensayo- Caserío Bocanegra- Morropón.

Muestra	Suelo sin lodo				
	M-01 (13/5/09)	M-02 (19/5/09)	M-03 (30/5/09)	M-04 (6/6/09)	M-05 (13/6/09)
pH	6,77	6,52	6,27	6,20	6,23
Conductividad Eléctrica dS/m.	0,55	0,60	0,63	0,60	0,61
Calcárea (CaCO <sub>3</sub> %)	0,23	0,22	0,22	0,20	0,23
Materia Orgánica (%)	1,03	1,01	1,03	1,02	1,01
Nitrógeno Total (%N)	0,05	0,02	0,05	0,048	0,027
Fósforo Asimilable (ppm P)	11,00	10,00	11,00	12,00	11,00
Potasio (ppm K)	138,00	139,00	141,00	140,00	138,00

También se evaluaron otros parámetros como la conductividad eléctrica, carbonato de calcio, materia orgánica y nitrógeno total tienen desviación estándar en los resultados de cero; mientras que para el fósforo asimilable y el potasio, la desviación no es significativa; 0,7 y 1,3, respectivamente.

Luego se prepararon los terrenos de cultivo con lodo, en las proporciones utilizados por los agricultores para el cultivo de arroz, procediéndose a caracterizar el suelo abonado; los resultados se muestran en la tabla 4.

**Tabla 4.** Caracterización de los Suelos después de adición de lodo.

Muestra	Suelo con lodo				
	M-01 (13/5/09)	M-02 (19/5/09)	M-03 (30/5/09)	M-04 (6/6/09)	M-05 (13/6/09)
pH	5,43	5,73	5,77	5,75	5,77
Conductividad Eléctrica dS/m.	0,56	0,62	0,66	0,67	0,70
Calcárea (CaCO <sub>3</sub> %)	0,23	0,23	0,24	0,23	0,23
Materia Orgánica (%)	1,48	1,36	1,29	1,38	1,47
Nitrógeno Total (%N)	0,05	0,05	0,05	0,48	0,47
Fósforo Asimilable (ppm P)	10,00	11,00	12,00	12,00	11,00
Potasio (ppm K)	138,0	140,00	141,00	141,00	139,00

Al comparar los resultados se tiene que la acidez del suelo aumenta en 0,71; el contenido de materia orgánica también se incrementa (0,38%), los demás parámetros permanecen relativamente constantes.

**Tabla 5.** Análisis de la planta de arroz en suelo Blanco-testigo.

Resultados promedios	Muestra	Peso muestra(g)	[Al] mg/g
M-1 (05-02-09)	Tallo alto	3,221	4,79
	Tallo bajo	4,5032	19,33
	Raíz	0,5952	25,81
M-2 (17-03-09)	Tallo alto	5,0727	1,16
	Tallo bajo	5,0187	4,55
	Raíz	0,9121	42,33
M-3 (25-04-09)	Espiga	5,0008	2,54
	Tallo alto	5,001	5,17

	Tallo bajo	5,0026	12,29
	Raíz	3,1221	22,12
M-4 (07-05-09)	Espiga	5,1883	6,98
	Tallo alto	5,172	5,25
	Tallo bajo	4,9973	10,02
	Raíz	5,1154	102,51
M-5 (29-05-09)	Espiga	4,1884	5,32
	Tallo alto arroz azotado	5,0139	13,95
	Tallo bajo arroz azotado	4,5771	14,49
	Raíz	3,1010	11,13

Fuente: Análisis realizados por Absorción Atómica-Standards Methods-LMI.-UNT.

La segunda parte del estudio consiste en determinar los efectos que el lodo tiene sobre la planta de arroz. El contenido de aluminio se analizó en tres zonas de la planta para evaluar la movilidad del aluminio (muestra 1 y muestra 2). A partir de la muestra 3, la planta tiene un mayor crecimiento y por tanto ha desarrollado la espiga, hecho que permite reportar datos del contenido de aluminio en la espiga.

El primer grupo de datos corresponde a la planta cultivada en la parcela testigo (Tabla 5), observándose que el mayor contenido de aluminio, en las muestras 1 y muestra 2, se encuentran en la raíz, en el resto de la planta no es significativo el contenido de aluminio. Posteriormente, en las demás muestras; el contenido de aluminio empieza a uniformizarse en toda la planta, llegando a rangos de 0,38 mg de Aluminio por 3 g de muestra a 1,08 mg de aluminio por 3 g de muestra (muestra 5).

La Tabla 6, presenta los resultados de los análisis de las plantas cultivadas en la parcela de ensayo. Al igual que en la tabla anterior en las muestras 1 y 2, el aluminio se concentra en la raíz; pero con mayor concentración (nueve veces mayor). También en las muestras del 3 al 5, las concentraciones se van uniformizando, llegando a valores 140 y 150 veces mayores en la zona de tallo bajo y raíz de la planta, respectivamente. Para el caso de la espiga y tallo alto las concentraciones aumentaron en el orden del 28 y 59 veces el valor de referencia.

**Tabla 6.** Análisis de la planta de arroz en suelo contaminado con lodo

Resultados promedios	Muestra	Peso muestra	[Al] mg/g
M-1 (05-02-09)	Tallo alto	3,915	14,0
	Tallo bajo	4,503	57,0
	Raíz	0,595	238,0
M-2 (17-03-09)	Tallo alto	5,073	3,0
	Tallo bajo	5,018	14,0
	Raíz	0,912	386,0
M-3 (25-04-09)	Espiga	5,000	8,0
	Tallo alto	2,392	14,0
	Tallo bajo	5,001	98,0
	Raíz	3,232	251,0
M-4 (07-05-09)	Espiga	5,153	25,0
	Tallo alto	5,051	3,8

	Tallo bajo	5,020	7,0
	Raíz	2,83	159,0
M-5 (29-05-09)	Espiga -arroz azotado	5,051	18,0
	Tallo alto -arroz azotado	2,720	45,0
	Tallo bajo-arroz azotado	2,878	131,0
	Raíz	3,241	184,0

Fuente: Análisis realizados por Absorción Atómica-Standards Methods-LML.-UNT

Al medirse los rendimientos del cultivo, Tabla 7, se tiene que la diferencia comparativa es del 14,76% en el rendimiento de ambas cosechas de arroz, entre la parcela blanco-testigo y parcela de ensayo.

**Tabla 7.** Porcentaje de Producción

Suelo	Rendimiento (Kg/m <sup>2</sup> )	Rendimiento (Ton/há.)	%Rendimiento (%)
Testigo	0,6302	6,302	100%
De ensayo (contaminado con lodo)	0,5372	5,372	85,24 %

Fuente: Elaboración propia.

Los niveles de toxicidad en las plantas por metales han sido determinados por el IPNI, quien informa que el rango óptimo están entre 15 y 18 mg/kg de tierra (ver Tabla 9).

**Tabla 8.** Rangos óptimos y niveles críticos para la incidencia de la toxicidad de Al, en arroz.

Etapas de Crecimiento.	Parte de la planta	Óptimo (mg. Kg-1)	Nivel crítico para la toxicidad (mg. Kg-1)
Macollamiento a inicio de la panoja.	Toda la planta	15-18	>100

Fuente: International Plant Nutrition Institute (IPNI, 1996)

#### IV. DISCUSIÓN

Los resultados del análisis del lodo, los resultados de las cinco muestras reportan que la concentración de aluminio (5.33 mg/L en promedio) es aproximadamente veinte veces mayor que la concentración del Fe y Cd (Tabla 2). Así mismo, se tiene que su pH es neutro (en un rango de 6,94 y 6,98).

Al analizar el efecto que el lodo tiene sobre el suelo de cultivo tenemos que acidifica ligeramente al terreno en aproximadamente 0,71 en promedio; la conductividad eléctrica y el porcentaje de CaCO<sub>3</sub> los incrementos no son significativos. Pero en el caso de la Materia Orgánica y Nitrógeno Total presentan el mayor incremento 39% y 18%, respectivamente. Estos resultados son coherentes con el contenido de Materia orgánica que contienen los lodos. Por tanto, los lodos de la Planta de Tratamiento de agua de Curumuy, contienen componentes benéficos para el suelo, como es el caso de la materia orgánica, pero la presencia por ejemplo del aluminio en él, constituye un componente perjudicial que afecta directamente a las plantas de arroz que se han cultivado en la parcela de ensayo, manifestándose en su morfología, anatomía y afectando entonces el exitoso desarrollo de la planta, así como también su rendimiento.

Para poder verificar esta alteración se hicieron análisis a las plantas de arroz en comparación las que habían sido también sembradas en la parcela blanco-testigo, de la misma edad, con el mismo cultivo, de una misma semilla y en un lugar colindante al de la siembra de ensayo.



Durante el cultivo en las dos parcelas designadas para esta investigación, se realizaron muestreos aleatorios de plantas de arroz, sometiéndolas luego a su preparación y posteriormente a su análisis por absorción atómica, encontrándose que la capacidad de acumulación del metal más representativo en la contaminación de la planta de arroz, el aluminio, era diferente.

Se verifico en los primeros meses, que la planta de arroz aparentemente no mostraba diferencia pero según pasaban los días se pudo notar un retardo en el crecimiento así como también en su estructura corporal. De acuerdo a la Tabla 6, tomando como referencia al aluminio, como el metal más significativo en esta contaminación de la planta de arroz, se tiene que en la zona de la raíz se mantiene con cantidades significativas, de 238,0; 386,0; 251,0; 159,0; 184,0 mg.Al/kg, a diferencia que en el tallo alto es de 14,0; 3,0; 14,0; 3,8; 45,0 mg Al/kg, respectivamente, como se observa en los Tablas 5 y 6, pero también se pudo observar que en la etapa de macollamiento a inicio de la panoja un contenido promedio de aluminio es de 102,84 mg. de Al por kilogramo, lo cual lo califica dentro de un nivel de toxicidad crítico (Dobermann & Fairhurst, 2000).

Teniendo en cuenta una investigación realizada por la FAO (Chaudhary & et al., 2013), donde se concluye que el Aluminio puede volver improductivos a suelos ácidos ( $\text{pH} < 5,5$ ); pero en suelos con  $\text{pH} > 7$  el Al se precipita y elimina su toxicidad. Por último, se verifico que el rendimiento se vio disminuido en un 14,75% (Tabla 9), resultado que confirma el efecto del aluminio sobre el cultivo de arroz (Berkelaar, 2001) en relación con el rendimiento de la parcela que no fue contaminada con lodo de la Planta de Tratamiento de agua residual de Curumuy.

## V. CONCLUSIONES

- Se comprobó que las plantas de arroz, de las parcelas sometidas a la contaminación con lodo, tienen una buena capacidad de captación de los metales pesados.
- El metal con mayor incidencia de la contaminación de las plantas de arroz, en este trabajo, es el aluminio.
- El suelo con pH promedio 6,2, se encuentra en los límites del efecto perjudicial del aluminio en el suelo y en el cultivo.
- Se verifico, durante el cultivo de las plantas de arroz, un retardo en su crecimiento.
- La planta de arroz, muestra un nivel crítico de toxicidad en la etapa de macollamiento a inicio de la panoja, con 102,84 mg. de Al por Kilogramo.
- El contenido de materia orgánica se vio fortalecido en un 0,376 más con respecto a la cantidad que presenta en suelo blanco-testigo.
- Se determinó una disminución en el rendimiento del producto de 14,75%, de las plantas de la parcela contaminada con lodo, respecto al rendimiento de las plantas de arroz de la parcela blanco-testigo.

## VI. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BERKELAAR, E. (2001). *Efecto del aluminio en suelos ácidos sobre el crecimiento de las plantas*. Colombia: Trillas.
- CHAUDHARY, R., & et al. (2013). *Guía para identificar las limitaciones de campo en la producción de arroz*. Roma: Servicio de Gestión de las Publicaciones Dirección de Información de la FAO.
- COBBETT, C. (2000). Phytochelatins and their roles in heavy metal detoxification. *Plant Physiology*. Vol. 123, 825-832.
- DOBERMANN, A., & FAIRHURST, T. (2000). *Arroz: Desórdenes Nutricionales y Manejo de Nutrientes*. Colección de Manuales de Campo. Georgia. EE.UU.: Plant Nutrition Institute.
- INEI. (14 de 78 de 2015). *Instituto Nacional de Estadística e Informática*. Obtenido de Estadísticas Sectoriales: <https://www.inei.gob.pe/estadisticas/indice-tematico/sector-statistics/>

- IPNI. (1996). *Informaciones Agronómicas. Volumen 01. N° 4*. Georgia. EE. UU.: International Plant Nutrition Institute.
- KOCHIAN, L. (1995). Cellular mechanism of aluminium toxicity and resistance in plants. *Annu. Rev. Plant. Physiol. Mol. Biol. Vol. 46*, 237-260.
- LITTLE, T., & HILLS, F. (1991). *Métodos estadísticos para la Investigación en la Agricultura*. México: Trillas.
- MORALES, C., & et al. (2013). *Estudio de los costos de la desertificación y degradación de las tierras en el departamento de Piura (Perú)*. Santiago de Chile: Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL).
- PINEDA, R. (1999). Cultivos de arroz. *Revista Agraria N°2. Centro Peruano de Estudios Sociales (CEPES)-Abril*, 14.
- SADZAWKA, R., & et al. (2007). *Métodos de análisis de tejidos vegetales. Segunda Edición*. Santiago de Chile: Instituto de Investigaciones Agropecuarias, Serie Actas INI N° 40.
- SCHWARZEROVA, K., & et al. (2002). Aluminium induced rapid changes in the microtubular cytoskeleton of tobacco cell lines. *Plant and Cell Physiology. Vol. 43. N° 2*, 207-216.