



Contaminación microbiológica (coliformes fecales) de los suelos por el uso de aguas residuales de las pozas de retención Arunta, Tacna

Microbiological contamination (fecal coliforms) of soils due to the use of wastewater from the Arunta retention ponds, Tacna

^{1a*} José Antonio Flores Cano

^{1b} Alberto Savino Pacheco Pacheco

ARTÍCULO ORIGINAL

¹ Universidad Nacional Jorge Basadre Grohmann, Tacna, Perú.

Correspondencia:

*josefloinge@hotmail.com

^a ORCID: 0009-0002-9500-4436

^b ORCID: 0000-0002-5576-0547

Palabras clave: *Diseño hexagonal, Aguas residuales, Velocidad de contaminación del suelo.*

Keywords: *Hexagonal design, Wastewater, Soil contamination rate.*

Información adicional

Presentado: 22/08/2024

Aprobado: 15/10/2024

RESUMEN

Experimentalmente se evaluó la contaminación bacteriológica de los suelos de la zona de Arunta. Para la investigación se consideró como variables experimentales el tiempo (día) y la dosificación de agua residual de las pozas de Arunta (l/m²/día), que son causantes de la contaminación bacteriológica. Para la investigación experimental, con el objetivo de modelar la velocidad de contaminación bacteriológica, se utilizó el diseño hexagonal, en la Tabla 3 se plantean las condiciones experimentales de las variables y los resultados del incremento de contaminación de los suelos. Las aguas residuales utilizadas para regar en Arunta, con una alta contaminación 35 000 000 mg coliformes/l, dosificado de 3,00 a 6,00 litro/m²/día y por un tiempo que varía de 33,61 a 54,39 incrementa la contaminación bacteriológica de los suelos de 93,44% hasta 779,78%.

ABSTRACT

The bacteriological contamination of the soils in the Arunta area was evaluated experimentally. For the research, the experimental variables considered were time (day) and the dosage of wastewater from the Arunta ponds (l/m²/day), which are the cause of bacteriological contamination. For the experimental research in order to model the speed of bacteriological contamination, the hexagonal design was used. Table 3 presents the experimental conditions of the variables and the results of the increase in soil contamination. The wastewater used for irrigation in Arunta, with a high contamination of 35 000 000 mg coliforms/l, dosed from 3.00 to 6.00 liters/m²/day and for a time varying from 33.61 to 54.39, increases the bacteriological contamination of the soil from 93.44% to 779.78%.

INTRODUCCIÓN

Las aguas residuales de las pozas de retención Arunta son utilizadas por los agricultores de la zona para el cultivo de tunales y plantas de tallo largo. Estas pozas de retención son de alto riesgo potencial de contaminación para el suelo y el acuífero de la zona.

Pese a esta situación, actualmente no se tiene información documentada sobre el diseño de las aguas residuales de las pozas de retención Arunta, se desconoce el nivel de contaminación que generan y no se cuenta aún con estudios de investigación relacionado a la velocidad de contaminación de suelos por el uso de estas aguas residuales de las pozas de retención Arunta.

Como objetivo de investigación se planteó: “evaluar experimentalmente la velocidad de contaminación de los suelos, por el uso de aguas residuales de las pozas de retención Arunta”.

La Comisión Ambiental Regional de Tacna (CAR) (2005) “advirtió que los agricultores de la zona de Arunta utilizaban aguas residuales sin tratar, problema que no ha sido solucionado a la fecha” (p. 6).

A la fecha se cuenta con algunas publicaciones con problemáticas similares a esta investigación, que se detallan a continuación:

En investigaciones de cultivos realizadas en México y Colombia, utilizando aguas residuales que sobrepasan el límite de contenido de coliformes fecales, los autores reportan contaminación de suelos por la presencia de coliformes (Méndez *et al.*, 2000; Rascón *et al.*, 2008; Guadarrama & Galván, 2015; Fuccz-Gamboa, Gómez-Moreno, Cárdenas-Guzmán & Campos-Pinilla, 2007).

En las investigaciones realizadas en España, Ecuador y México, se indica que la contaminación fecal ha sido y sigue siendo el primer riesgo sanitario en el agua, por eso es importante su control (Andrades & Martínez, 2014; Izquierdo, 2018; Mejía, 2016).

En la investigación realizada por Hernández-Acosta *et al.* (2014) el objetivo fue “evaluar la concentración de coliformes fecales (en aguas residuales, suelo y plantas) y huevos de helminto (en aguas residuales) en el distrito de riego Tulancingo, concluyen la necesidad del tratamiento de las aguas residuales antes de emplearse para riego” (p. 90).

González-Fragozo *et al.*, (2020), indica que: “la presencia de coliformes en suelo y pastos, cuando se aplica riego con aguas residuales, no se debe únicamente a la carga microbiana del agua reutilizada, pues estos microorganismos llegan al suelo por distintas fuentes” (p. 7).

Otros investigadores en México, Colombia y Perú demostraron que el uso de agua residual en los cultivos, con el tiempo tienen efectos de degradación acumulada de los suelos (Cornejo Oviedo *et al.*, 2012; Murcia-Sarmiento *et al.*, 2014; Larios *et al.*, 2015).

MATERIAL Y MÉTODOS

Área de estudio y ubicación de puntos de muestreo

La recolección de las muestras fue de la siguiente manera:

- a. Monitoreo en la entrada y descarga de las pozas de retención de aguas residuales de Arunta: para efectuar el análisis bacteriológico de las aguas residuales. Punto de monitoreo: coordenadas UTM WGS84 19K 366963 mE; 7998928 mS
- b. Se tomó en la descarga de las pozas 1782 litros de aguas residuales: las que fueron trasladadas al laboratorio habilitado para las pruebas experimentales.
- c. Se muestrearon tierras sin contaminación de diferentes puntos del poligonal cercana a las pozas: se juntó 2,00 t de tierra, muestra sin contaminación y que fueron completamente homogenizadas.

Tabla 1

Poligonal de recolección de tierra no contaminada para el experimento

Vértice	Lado	Distancia (m)	Coordenada Este (m)	Coordenada norte (m)
A	A-B	286	366 688	7 998 875
B	B-C	622	366 837	7 998 627
C	C-D	293	366 290	7 998 347
D	D-A	557	366 159	7 998 705

Para la parte experimental, se construyeron nueve (9) cajas de madera iguales (largo: 1,20 m, ancho: 0,60 m y alto: 0,20m). Cada caja debe contener 150 kg de tierra, sumando un total de 1,5 t.

Figura 1

Zonas de muestreo de tierra no contaminada y AR para el experimento



Tabla 2

Caracterización del agua residual y del suelo no contaminado para el experimento

Caracterización del A.R. utilizada			Caracterización del suelo sin contaminar		
Parámetro	Contenido	Unidades	Parámetro	Contenido	Unidades
Coliformes	35 000 000	mg/l	Coliformes	18	NMP/100g

Nota. 1) Informe de ensayo de agua residual N.o 2-01994/19 - CERPER - Laboratorio de ensayo acreditado por INACAL - Registro N.o LE 003(Ministerio del Ambiente (MINAM), 2010)

a) Metodología de superficie respuesta (MSR)

La metodología de superficies de respuesta (MSR) es un conjunto de técnicas matemáticas estadísticas utilizadas en la solución de problemas operativos, en los que una variable respuesta de interés depende de varios factores independientes de carácter cuantitativo. El propósito de esta técnica es diseñar un conjunto de experimentos que proporcionen valores razonables de las variables respuestas, para luego determinar el modelo matemático que mejor se ajusta al proceso. El objetivo final es establecer los valores de los factores que optimizan el valor de la variable respuesta (Ayala & Pardo, 1995; Kuehl, 2001; Gutiérrez & De la Vara, 2016).

Tabla 3

Matriz del diseño hexagonal y resultados de la contaminación del suelo

N. °	Diseño hexagonal		Contaminación del suelo con:	
	Dosificación litro/m2/día	Tiempo día	Coliformes NMP/100g	Incremento contaminante (%)
1	6,00	44,00	4500	249,00
2	5,25	54,39	14000	776,78
3	3,75	54,39	1700	93,44
4	3,00	44,00	4500	249,00
5	3,75	33,61	1800	99,00
6	5,25	33,61	7800	432,33
7	4,50	44,00	4500	249,00
8	4,50	44,00	7800	432,33
9	4,50	44,00	1700	93,44

Nota. Adaptación al propuesto por Ayala y Pardo (1995) p. 195.

En esta investigación experimental se ha utilizado un modelo de segundo orden:

$$Y = \beta_0 + \sum_{i=1}^k \beta_i x_i + \sum_{i=1}^k \beta_{ii} x_i^2 + \sum_{i=1}^k \sum_{j=1}^k \beta_{ij} x_i x_j + \varepsilon$$

Donde:

Y = es la función respuesta

x_i, x_j = variables del proceso

β = valores de los parámetros

ε = error experimental.

b) Incremento de la contaminación microbiológica

Para determinar el incremento de cada factor contaminante del suelo se ha aplicado la siguiente ecuación:

$$\text{Incremento contaminante (\%)} = ((V_f - V_i) * 100 / V_i)$$

Donde:

V_i = contenido de contaminante en suelo sin contaminar

V_f = contenido de contaminante en suelo contaminado.

El incremento de coliformes fecales experimentalmente alcanzan hasta el 776,78%.

c) Evaluación del incremento de la contaminación del coliforme fecal (CF)

Variable dependiente : incremento de coliformes (%)

Variables independientes : dosificación de agua residual = AR (l/m²/día)

: tiempo de dosificación = t (día)

El modelo ajustado obtenido para el incremento de coliformes es:

$$\text{Incremento de coliformes (\%)} = 3224,95 - 344,089 * AR - 119,366 * t - 4,11407 * AR^2 + 0,874879 * t^2 + 11,2291 * AR * t$$

Tabla 4

Varianza de la correlación del incremento de coliformes (%)

Fuente	Suma de cuadrados	Gl	Cuadrado medio	Razón-F	Valor-P
Modelo	165985,	5	33197,0	0,43	0,8062
Residuo	229821,	3	76607,1		
Total (Corr.)	395806,	8			

Puesto que el valor-P (0,8062) en la Tabla ANOVA es mayor o igual que 0,05, no existe una relación estadísticamente significativa entre las variables con un nivel de confianza del 95,0%.

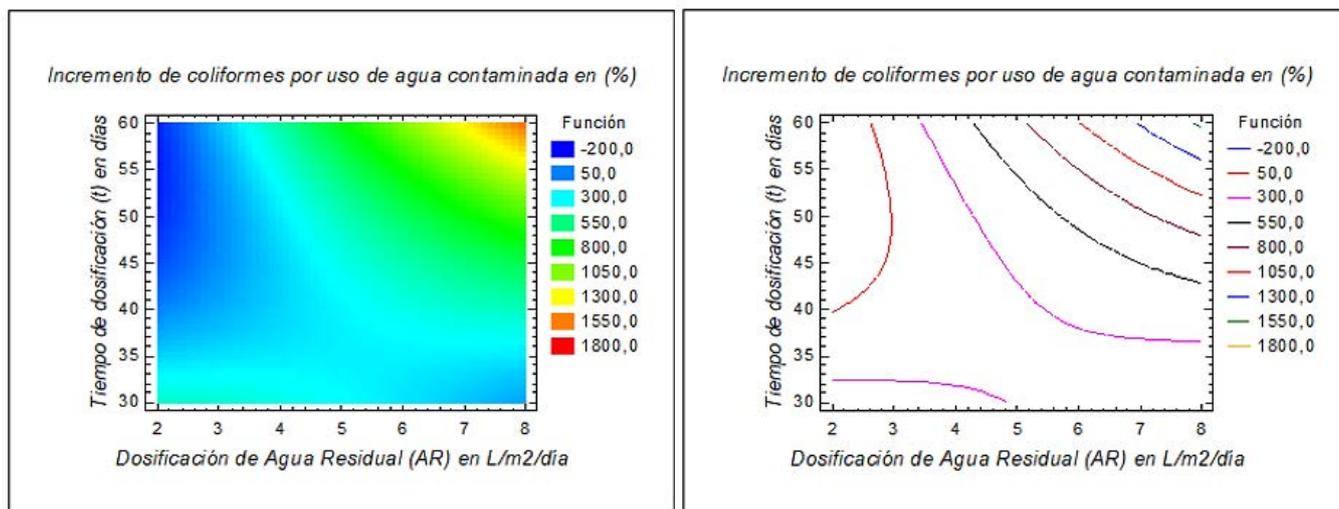
El estadístico R-Cuadrada indica que el modelo así ajustado explica 41,9359% de la variabilidad en incremento de coliformes.

El error estándar del estimado muestra que la desviación estándar de los residuos es 2,7678.

Estadísticamente no tiene explicación el incremento porcentual de los coliformes en el suelo en función del tiempo y dosificación de agua residual no tratada.

Figura 2

Diagrama de superficie y contorno del incremento de coliformes por el uso de AR no tratada



Nota. Elaborado con el software estadístico Statgraphics.

DISCUSIÓN

Los resultados obtenidos en esta investigación se contrastan.

En cuanto a la comparación de la contaminación microbiológica (coliformes) presente en los suelos después del riego, son altos en la evaluación de Hernández-Acosta *et al.* (2014) (1 x 10⁹ NMP/100 g) y en la de González-Fragozo *et al.*, (2020) (8200 NMP/100g). En esta investigación se obtuvo una contaminación de 4867 NMP/100 g.

Tabla 5

Cuadro comparativo del incremento de la contaminación microbiológica de suelos regados con aguas residuales maltratadas, ejecutadas por diferentes investigadores

	Unidades	Flores Cano	Hernández-Acosta <i>et al.</i>	González-Fragozo <i>et al.</i>
Lugar de contaminación		Arunta, Tacna, Perú	Tulancingo, Hidalgo México	Municipio de Agustín, Colombia
Agua residual utilizada	NMP/100 ml	3,5 x 10 ⁷	2 x 10 ¹⁰	1,6 x 10 ⁴
Suelo antes del riego	NMP/100 g	18		5600
Suelo después del riego	NMP/100 g	4867	1 x 10 ⁹	8200
Incremento contaminación	%	269,39		46,00%

CONCLUSIONES

En el agua residual no tratada de la descarga de las pozas de retención Arunta, que es utilizada por los agricultores de la zona para regar sus plantaciones, se observó que la concentración de los contaminantes supera en un 3499,9% de coliformes fecales a los LMP exigidos por el DS 002-2000-MINAM.

Experimentalmente, en este trabajo de investigación se ha demostrado que no se puede controlar la contaminación del suelo por coliformes fecales, en la etapa de regadío con estas aguas residuales no tratadas.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Andrades, M., & Martínez, E. (2014). *Fertilidad del suelo y parámetros que la definen*. Universidad de la Rioja-Servicio de Publicaciones., v3, 16–34. <http://dialnet.unirioja.es/servlet/libro?codigo=267902&info=resumen&idioma=SPA>
- Ayala, J., & Pardo, R. (1995). *Optimización por diseños experimentales, con aplicación en ingeniería* (Taller A&B (ed.); Primera).
- Comisión Ambiental Regional de Tacna. (2005). *Plan para la Gestión Integral de las aguas servidas en la Región Tacna*. Secretaría Técnica - Entidad Prestadora de Servicios de Saneamiento - EPS Tacna, Municipalidad Provincial de Tacna, 1-71.
- Cornejo Oviedo, F., López Herrera, M., Beltrán Hernández, R., Acevedo Sandoval, O., Lucho-Constantino, C., & Reyes Santamaría, M. (2012). Degradación del suelo en el Distrito de riego 003 Tula, Valle del Mezquital, Hidalgo, México. *Revista Científica UDO Agrícola*, 12(4), 873-880.
- Fuccz-Gamboa, J., Gómez-Moreno, R., Cárdenas-Guzmán, M., Campos-Pinilla, C. (2007). Comportamiento de coliformes fecales como indicadores bacterianos de contaminación fecal en diferentes mezclas de biosólido y estériles utilizados para la restauración ecológica de la cantera Soratama, Bogotá. *Universitas Scientiarum*, 12, 111-120. <https://revistas.javeriana.edu.co/index.php/scientiarium/article/view/4894>
- González-Fragozo, H. E., Zabaleta-Solano, C., Devia-González, J., Moya-Salinas, Y., & Afanador-Rico, O. (2020). Effect of irrigation with treated wastewater on microbiological quality of the soil and King Grass. *Revista U.D.C.A Actualidad and Divulgación Científica*, 23(2). <https://doi.org/10.31910/rudca.v23.n2.2020.1513>
- Guadarrama, M., & Galván, A. (2015). Impacto del uso de agua residual en la agricultura. *Revista Iberoamericana de las Ciencias Biológicas y Agropecuarias*, 4(7).
- Gutiérrez, H., & De la Vara, R. (2016). Análisis y diseño de experimentos. *Turkish Journal of Medical Sciences*, 46(5). <https://doi.org/10.3906/sag-1507-147>
- Hernández-Acosta, E., Quiñones-Aguilar, E. E., Cristóbal-Acevedo, D., & Rubiños-Panta, J. E. (2014). Calidad biológica de aguas residuales utilizadas para riego de cultivos forrajeros en Tulancingo, Hidalgo, México. *Revista Chapingo, Serie Ciencias Forestales y del Ambiente*, 20(1), 89-100. <https://doi.org/10.5154/r.rchscfa.2012.03.024>
- Izquierdo, J. J. (2018). *Contaminación de los suelos agrícolas provocados por el uso de los agroquímicos en la parroquia San Joaquín*. Universidad Politécnica Salesiana, 67. <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/14712/1/UPS-CT007228.pdf>
- Kuehl, R. (2001). Diseño de experimentos, principios estadísticos de diseño y análisis de investigación. *Technometrics*, 43(2). <https://doi.org/10.1198/tech.2001.s589>
- Larios, J. F., González, C., & Morales, Y. (2015). Aguas residuales y sus consecuencias en el desarrollo y la producción. *Revista de la Facultad de Ingeniería de la USIL*, 2, 9-25. <http://revistas.usil.edu.pe/index.php/syh/article/view/115>

- Mejía, D. (2016). *Contaminantes microbiológicos y metales pesados en cultivo de maíz forrajero (Zea mays L.) irrigado con aguas tratadas*. Universidad Autónoma Chapingo.
- Méndez, T., Rodríguez, L., & Palacios, S. (2000). Impacto del riego con aguas contaminadas, evaluado a través de la presencia de metales pesados en suelos. *Terra Latinoamericana*, 18(4), 277-288.
- Ministerio del Ambiente (2010). Límites Máximos Permisibles para los efluentes de Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales Domésticas o Municipales. *El Peruano*, 415675-415676.
- Murcia-Sarmiento, M. L., Calderón-Montoya, O. G., & Díaz-Ortiz, J. E. (2014). Impacto de aguas grises en propiedades físicas del suelo. *TecnoLógicas*, 17(32), 57. <https://doi.org/10.22430/22565337.204>
- Rascón, E., Peña, E., López, R., Cantú, M., & Narro, E. (2008). Impacto en algunas propiedades físicas del suelo por aplicación de aguas residuales. *Terra Latinoamericana*, 26(1), 69-74.