

# CARACTERIZACIÓN BACTERIOLÓGICA DE LOS RESIDUOS SÓLIDOS GENERADOS DENTRO DEL CAMPO DE LA UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE CHIRIQUÍ, PANAMÁ

**Virgilio Espinoza-Villarreal<sup>1</sup>**

Departamento de biología, Facultad de Ciencias Naturales y Exactas, Universidad Autónoma de Chiriquí, Panamá. email: virgilio.espinoza@unachi.ac.pa

## Resumen

La problemática de los residuos sólidos es un tema de importancia mundial debido a los impactos socioambientales y sanitarios que influyen de manera negativa en la calidad de vida de los ciudadanos y del ecosistema. Con base a esta realidad se pueden implementar una serie de estrategias que contemplan la investigación de microorganismos y su capacidad para biodegradar estos residuos. Se caracterizó la contaminación bacteriológica en los residuos sólidos generados dentro del campo central de la Universidad Autónoma de Chiriquí, Provincia de Chiriquí, Panamá. El estudio se clasificó con enfoque mixto, alcance descriptivo correlacional y diseño no experimental. La muestra correspondió a 306 bolsas de residuos sólidos recolectados en cinco sitios seleccionados al azar. Los métodos de análisis se dividieron en muestreo de campo y de laboratorio. Las técnicas que se utilizaron son cuarteo e identificación de enterobacterias presentes en estos residuos. Se obtuvo como resultados que la bacteria con mayor frecuencia fue *Klebsiella* sp. con el 33%, *Escherichia coli* 29%, *Enterobacter* sp. 19%, *Proteus vulgaris* 10%, en menor porcentaje *Pseudomonas* y *Acinetobacter* con el 5% cada una. Como conclusión se validó la hipótesis de investigación que establece que la carga bacteriológica no está influenciada por los parámetros físicos humedad, densidad y temperatura en los residuos sólidos universitarios.

**Palabras claves:** ambiente, carga bacteriológica, UNACHI, residuos sólidos, enterobacterias.

## Abstract

The problem of solid waste is an issue of global importance due to the socio-environmental and unsanitary conditions that influence negatively the quality of life of citizens and the ecosystem. The current reality forces to implement a kind of strategies that contemplate the investigation of microorganisms as well as their capacity to biodegrade these residues. Bacteriological contamination was characterized in the solid waste generated within the central field of the Autonomous University of Chiriquí, Province of Chiriquí, Panama. This study was classified with a mixed approach, correlational descriptive scope and non-experimental design. The sample corresponded to 306 bags of solid waste collected in five randomly places. The methods of analysis were divided into field and laboratory sampling. The techniques used were quartering and identification of enterobacteria present in these residues. It was obtained as results that the bacterium with more frequency was *Klebsiella* sp. with 33%, *Escherichia coli* 29%, *Enterobacter* sp. 19%, *Proteus vulgaris* 10%, in lower percentage *Pseudomonas* and *Acinetobacter* with 5% each. In conclusion, the research hypothesis that the bacteriological load is not influenced by the physical parameters humidity, density and temperature in university solid waste was validated.

Keywords: environmental, bacteriological load, UNACHI, solid waste, enterobacteria.

## INTRODUCCIÓN

Los países de América Latina han registrado un aumento exponencial de su población y se estima es 581 millones de habitantes (CEPAL, 2012). La existencia de nuevos patrones de consumo y el crecimiento económico ha llevado a un incremento en la producción de residuos sólidos por habitante, con un promedio regional de 0,92 Kg *per capita* o lo equivalente al promedio diario de  $5,3 \times 10^8$  Kg/día (PNUMA, 2010). Estos residuos sólidos representan un problema ambiental y sanitario debido a los efectos de la contaminación asociado a ellos sin un adecuado tratamiento y disposición, de los cuales se enlistan: emisión a la atmósfera de dioxinas y furanos, cambio en las propiedades fisicoquímicas y microbiológica del suelo, alteración de la calidad de las aguas superficiales y subterráneas (ríos y quebradas) y proliferación de microorganismos como vectores con riesgos de transmisión de patógenos (Terraza, 2009). Se documenta que los coliformes totales y fecales es un grupo de bacterias habitantes del tracto intestinal e igual encontrado en el suelo, es un claro indicador de contaminación fecal por excelencia y el de mejor parámetro de contaminación ambiental. Dentro de los coliformes fecales termotolerantes se encuentran: *Escherichia coli*, *Klebsiella sp.*, *Enterobacter sp.* y especies de *Pseudomonas sp* (Prescott et al., 2002).

En la República de Panamá para el año 2006, se generó en promedio 2 303 toneladas al día residuos sólidos (ANAM, 2009). En el mismo estudio, la disposición en el vertedero municipal de Cerro Patacón en los años 2003 al 2007 se calculó en promedio 445 996 toneladas/año o lo equivalente a 1 221,9 toneladas al día. A su vez al aumentar la población panameña y el inadecuado manejo de los residuos sólidos se observan una mayor incidencia de conflictos sociales provocada por la ineficiente recolección de residuos, la saturación de vertederos a cielo abierto y la volatilización de gases de efecto invernaderos producto de la combustión de estos. La falta de una cultura de la clasificación y su tratamiento conlleva a la disposición irregular de residuos y desechos de toda índole cerca de ríos y quebradas, la presencia de vectores de enfermedades que incrementan sus zonas de reproducción de mosquitos como *Aedes aegypty* vector del Virus dengue y *Anopheles sp.* transmisor del protozoario *Plasmodium sp.* agente etiológico de la malaria (Thiriom, 2003; Bueno & Jiménez, 2008).

En Chiriquí se localiza la sede central de la Universidad Autónoma de Chiriquí (UNACHI) con un sistema de aseo deficiente y con falta de un sistema de manejo y tratamiento. Se generan diariamente 79 Kg de residuos sólidos al día, lo que representan 1,74 toneladas por mes. La composición porcentual de estos residuos corresponde a 38,7 % papel y cartón, 33,1 % plásticos, 22,4 % orgánicos, 5,8 % vidrios y metales (Espinoza *et al.*, 2017).

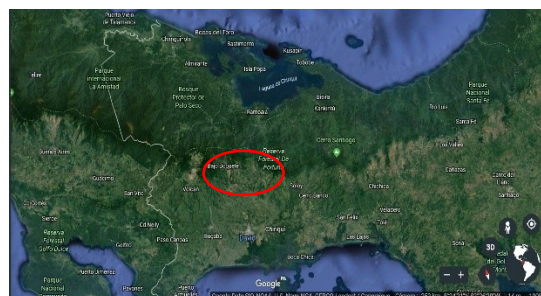
Las preguntas de investigación del estudio son: ¿Cuál es la caracterización bacteriológica de los residuos sólidos generados en el campo central de la UNACHI? ¿Qué especies de bacterias predominan en este ecosistema? ¿Existe correlación entre los parámetros físicos como la densidad y humedad de los residuos sólidos y la carga bacteriológica?

El objetivo del estudio fue caracterizar la contaminación bacteriológica de los residuos sólidos generados dentro del campo central de la Universidad Autónoma de Chiriquí, Distrito de David, Chiriquí, Panamá.

## MATERIALES Y MÉTODOS

- **Lugar de estudio:**

La Universidad Autónoma de Chiriquí está localizada en la Barriada El Cabrero ubicado en el distrito de David, provincia de Chiriquí, República de Panamá entre los 82° 26'59" LW y 8°25'53" LN. El Campo se encuentra a una altitud de 60 m snm y dispone de 9 hectáreas con 662 m de terreno. Las áreas verdes de la institución cuentan con una diversidad de plantas que sirven de reservorio natural a la fauna. A los márgenes de estas zonas se disponen los desechos sólidos que se generan, lo que, ha causado la degradación de los suelos por el desnivel del relieve y la Quebrada San Cristóbal (Espinoza *et al.* 2017).



**Figura 1.** Imagen satelital de la Universidad Autónoma de Chiriquí. (Google maps, 2017).

Las áreas de estudio comprenden los siguientes sitios seleccionados dentro del campo central de la UNACHI con base a lo descrito por Bustos (2012) que plantea los sitios: 1)

Humanidades 2) Ciencias Naturales y Exactas 3) Edificio de Cuatro Plantas, 4) Cafeterías, 5) Administración de Empresas y Contabilidad.

- **Tipos de Investigación**

El estudio es de enfoque mixto porque se miden variables cuantitativas y cualitativas dentro del estudio, b) el alcance es descriptivo-correlacional porque se describen las características del problema en el tiempo presente y comparando las relaciones de las variables del problema, c) el diseño es no experimental porque las variables no se manipulan en un diseño experimental puro si no que se miden, tal cual se presenta en el campo de estudio.

- **Población y muestra**

La cantidad promedio de bolsas con residuos sólidos que genera el campo central de la UNACHI se calculó en 1204 bolsas/ mes de 63 litros (Espinoza *et al.*2017). Con base a este dato se aplica la fórmula de estimación de la muestra (Van Belle *et al.* 2004).

El tamaño de la muestra para el estudio es:

$$n = Z^2 * N * p * q / E^2 * N - 1 + Z^2 * (p * q)$$

Dado que n= representa la muestra mínima; N= la población estimada.

Z<sup>2</sup>= valor de z 1,96 al 95% de confianza.

P=la probabilidad de medir un sujeto 0,5; q= la probabilidad de no medirlo 0,5.

E=error de estimación de 0,05.

$$n = (1.96)^2 * 1204 * 0.5 * 0.5 / (0.05)^2 * 1203 + 0.9604$$

$$n = 1156.3 / 3.9679$$

$$n = 291.41 * 5\% = 291.41 + 14.57 = 306 \text{ muestras de residuos sólidos.}$$

- **Tipo de muestreo**

El muestreo se considera aleatorio simple debido a que se rige por las normas de probabilidad y la unidad de análisis se mide una vez, sin repetición. Este muestreo es utilizado cuando la población de estudio no se divide en estratos o grupos de estudios. Para este caso solo se tomó de referencia los sitios generadores.

- **Selección de elementos muestrales**

Se tomaron muestras debidamente clasificadas por sitio generador según los parámetros físicos densidad y de cuarteo que se describen en las normas mexicanas. Además, con un hisopo estéril se tomaron muestra por triplicado de cada recipiente recolector de residuos

sólidos seleccionados al azar para la siembra en el Laboratorio de Microbiología y Parasitología de la UNACHI.

**a) Análisis de los parámetros físicos de los RSU:**

- Temperatura y el Peso volumétrico “in situ”

La temperatura y humedad se midieron en cada sitio de recolección mediante un higrotermómetro digital. La determinación de la densidad se realizó mediante la técnica descrita en las normas mexicanas NMX-AA-015-1985 (cuarteo) y NMX-AA-019-1985 (densidad), que consistió en medir la densidad de los residuos sólidos. Se empleó un tanque metálico con capacidad de 5 litros. Se pesó el tanque metálico sin residuos sólidos y se conoció su peso inicial y se llenó posteriormente con los residuos sólidos homogenizados de los sectores A y C del cuarteo, acomodándolos perfectamente dentro de los recipientes, teniendo cuidado de no presionar los residuos al colocarlos en el recipiente, con la finalidad de no alterar los datos de densidad que se obtendrían. De esta manera se obtuvo el peso de los residuos sólidos y se calculó el peso volumétrico “in situ” de los residuos mediante la siguiente fórmula:

$$Pv = p/V$$

En donde:

Pv= Peso volumétrico de los residuos sólidos, en kg/m<sup>3</sup>

p = Peso de los residuos sólidos (peso bruto menos tara), en kg

V = Volumen del recipiente, en m<sup>3</sup>

**b) Carga bacteriológica de RSU**

- Recuento de bacterias aerobias mesófilas:

Se recolectó con un hisopo estéril una capa de 2-3 cm de profundidad y área externa de 100 cm<sup>2</sup> de los tanques de residuos sólidos para cada sitio y se colocó en un frasco de vidrio con 10 mL de agua peptonada. Se agitó enérgicamente durante 2 a 3 minutos. Se depositó 1 mL a un tubo con 9 mL de agua peptonada y se mezcló bien, la concentración de (10<sup>-2</sup>) y se repitió la operación para obtener sucesivamente otras diluciones según el material analizado hasta alcanzar la dilución de 10<sup>-5</sup>. Se depositó 0,1 mL con una micropipeta de las tres últimas diluciones en placas petri de agar base y se distribuyó el inóculo con una varilla de vidrio

previamente flameada. Se incubó las placas petri invertidas a 35°C durante 48 horas. Se procedió a contar las colonias de las placas que presentan 30 a 300 y se multiplicó el número obtenido por la inversa de la dilución correspondiente y la inversa del volumen sembrado para obtener las ufc/cm<sup>2</sup> de recipiente.

- Recuento de Coliformes totales y fecales

Se preparó las diluciones de la muestra (10<sup>-1</sup> y 10<sup>-2</sup>) por alguno de los procedimientos descritos más atrás. Se sembró 0,1 mL de cada dilución en sendas placas de medio de cultivo y se incubó a 35°C durante 24 - 48 horas. Se realizó un conteo de las colonias de color púrpura con halo del mismo color y fluorescentes en agar McConkey-MK. De igual manera se utilizaron dos controles: una placa petri con exposición en un tiempo de 30 minutos al ambiente mientras se realiza el procedimiento de siembra y dejar otra placa sin sembrar como control de esterilidad.

Por último, se procederá al cálculo del Factor de Dilución y de UFC/cm<sup>2</sup> de RS:

FD= Peso o volumen de la muestra/ volumen del inóculo + volumen del diluyente.

UFC g de RS= No de colonias x 1/ factor de dilución x 1/ml del inóculo sembrado.

**c) Tinción e Identificación:**

- **Tinción de Gram**

La tinción de Gram se describe como una técnica que consiste en tomar con un asa una porción de cultivo bacteriano y se depositó sobre una gota de agua y hacer un extendido sobre un portaobjetos (Valencia, 2010). Dejar secar y fijar por calor. Ponerlo sobre un soporte y cubrirlo con una solución de violeta cristal. Luego de 1 minuto agregar solución de iodo. Después de 1 minuto, lavar con agua. Se decoloró con alcohol 96° y se lavó con agua y cubrir con una solución de safranina durante 1 minuto. Se lavó con agua y se secó. Se colocó una gota de aceite para inmersión. Se llevó el portaobjetos a la platina de un microscopio. Se observó a través del objetivo de bajo aumento (10x) y una vez enfocado el objeto mover el revólver para colocar el objetivo de inmersión en aceite (100x). Se levantó el condensador acercándolo a la platina. Se ajustó el enfoque mediante el tornillo micrométrico y se reguló la cantidad de luz por medio del diafragma. Las bacterias Gramnegativas se tiñen de rojo anaranjado y las Grampositivas adquieren color violeta.

#### **d) Aislamiento e Identificación de Bacterias Cultivables en RSU**

##### **• Aislamiento**

Se procedió a extraer alícuotas de 0,1 ml con una micropipeta para sembrar en agar base y McKonkey para su incubación en 24 a 48 horas. El líquido se extendió con una tasa de vidrio sobre la superficie de placas petri con agar base. Se dejó en reposo por 10 min a temperatura ambiente y se llevó a incubar de uno a dos días. Se colocó las placas petri en posición inversa. Luego se procedió a seleccionar las placas petri que presenten entre 30 a 300 colonias y se registró el promedio del número de unidades formadoras de colonias de hongos y bacterias por gramos de residuos sólidos. La identificación bioquímica de las colonias enterobacterias se utilizó las pruebas de IMVIC en tubos con rosca. IMVIC representa la batería de pruebas SIM (Sulfuro-Indol para movilidad), rojo de metilo-RM, Vogues-Proskauer-VP, Citrato y TSI (triple sugar iron). Se sembraron las colonias aisladas y seleccionadas con la punta de asa en cada una de las pruebas con dos réplicas cada una. En los tubos de la prueba citrato y TSI se estría en agar inclinado o pico de flauta. Los tubos con las pruebas bioquímicas se incuban a 24-48 horas para verificar los resultados. Al tubo del SIM se le añade dos gotas del reactivo de Kovac y se observó la formación del anillo rojo o rosado en algunas especies seleccionadas. Al tubo VP se le añade el reactivo vp1 que incluye el hidróxido de potasio al 40% y alfa naftol. En cambio, a la mitad del VP inoculado se le añade el rojo metilo como indicador de acidez.

##### **• Tratamiento de la información**

Las variables medibles de la investigación son carga bacteriológica (UFC/ml), tipo de residuos sólidos (Kg/día), temperatura (Celsius), humedad (%), tipo de residuos sólidos. Los datos de las variables se tabularon en una hoja de Microsoft Excel ® y se elaboró una base de datos con el software SPSS ® versión 20. Con base a los datos se procedió a elaborar cuadros y figuras para su discusión en la tesis. Se validó la hipótesis de investigación de los parámetros físicos con la carga microbiana mediante la aplicación de las pruebas de regresión lineal múltiple y ANOVA al 95 % de confianza. Y se determinó con base a esta prueba la ecuación del modelo de regresión. De no tener una bondad de ajuste significativo (R cuadrado) se procedió a estimar el modelo curvilíneo para definir el modelo de regresión lineal que se ajusta al comportamiento de estas variables.

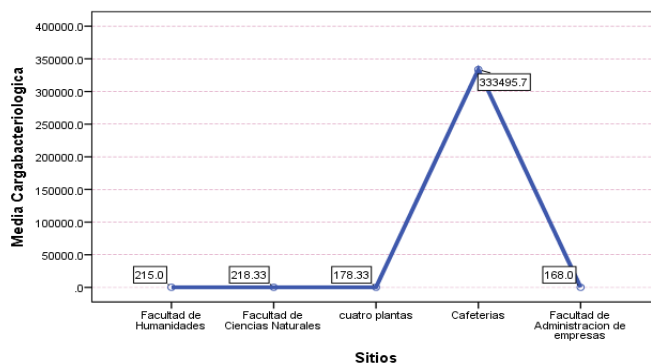
## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La temperatura de los residuos se obtuvo una media de 23,4 grados Celsius que se considera en rangos normales debido a las condiciones ambientales del sitio de muestreo. Esta temperatura en los procesos de degradación de residuos es un factor indispensable porque facilita o inhibe el crecimiento bacteriano. Al registrarse temperaturas próximas a 37 grados Celsius permite que las bacterias alcancen un nivel metabólico óptimo para su desarrollo en estos residuos. En cambio, si la temperatura se ubica en 4 grados Celsius, se inhibe el crecimiento de las bacterias (Alania & Pérez, 2017).

La humedad se estableció con una media de 89,2% que sugiere que existe una alta humedad por la acumulación de agua que se libera de la mezcla entre ellos. La humedad idónea para una biodegradación con predominio de la respiración aerobia se sitúa en el orden de 15 a 35%. Si se sitúa en valores inferiores al 10% desciende la actividad biológica general y el proceso se vuelve extremadamente lento y se originan malos olores (Robles, 2015). Otros estudios indican que la humedad óptima para el crecimiento microbiano en los residuos sólidos se encuentra entre el 50 y 70%. La actividad biológica decrece mucho cuando la humedad se encuentra por debajo del 30%. Por encima del 70% el agua desplaza el aire en los espacios libres existentes entre las partículas, se reduce por tanto la transferencia de oxígeno produciéndose la anaerobiosis (Robles, 2015).

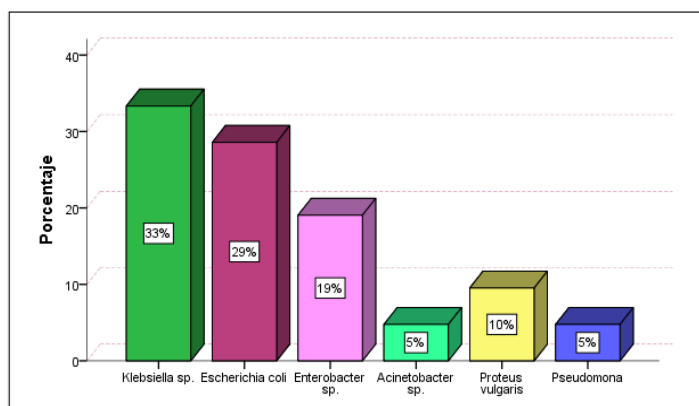
La carga bacteriológica de los residuos sólidos universitarios se registra con una media de 66855.067 UFC/ml y una media de 333495,7 UFC/ml para los residuos de las cafeterías, seguido para las facultades de humanidades con 215 UFC/ml y ciencias naturales con 218,3 UFC/ml. Se observó una menor carga para los residuos sólidos de cuatro plantas 178,3 UFC/ml y de la Facultad de administración de empresas con 168 UFC/ml. Esto sugiere que las cafeterías producen mayor cantidad de residuos orgánicos comparado al resto de las facultades y se puede asociar al contenido de volumen de materia orgánica y la humedad de estos residuos que facilita el crecimiento bacteriano. La carga bacteriológica de la mayoría de los sitios de estudios coincide con los resultados obtenidos por el CFC en Cochabamba de 107 a 300 UFC/ml a excepción de los generados en las cafeterías.





**Figura 2.** Media de las cargas bacteriológicas por sitio de estudio en UNACHI

La revisión científica evidencia que existe diferencias entre las cargas bacterianas de residuos domiciliarios y residuos sanitarios. Se comprobó la existencia de un mayor número de enterobacterias en los residuos domiciliarios dispuestos en vertederos comparado a los residuos sanitarios. Se encontró un número de colonias viables de coliformes entre  $3,4 \times 10^5$  y  $8,1 \times 10^7$  y de coliformes fecales entre  $1,5 \times 10^4$  y  $8,1 \times 10^6$  (Micucci *et al.* 2005). La carga bacteriana de la mayoría de los residuos sólidos domiciliarios es mayor a los de residuos sanitarios con reportes de entre (10 a 10.000 veces más) y de bacterias patógenas en los residuos domiciliarios. Esto sugiere que los coliformes habitan en los residuos sólidos con mayor presencia en los alimenticios y de higiene personal.



**Figura 3.** géneros de bacterias identificadas en residuos sólidos universitarios.

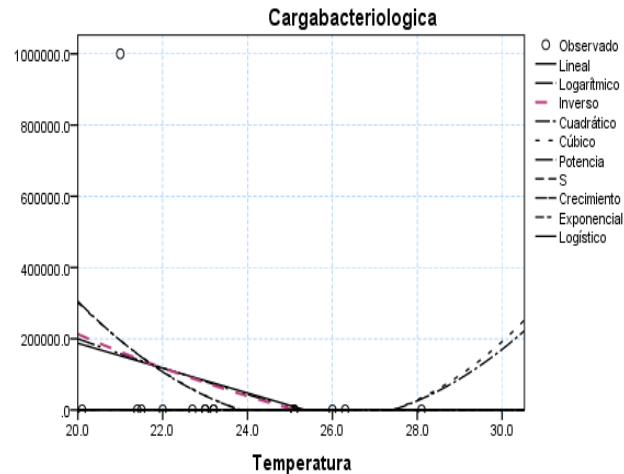
Se identificaron seis géneros de la familia enterobacteria, la bacteria con mayor frecuencia fue Klebsiella con el 33%, *Escherichia coli* con el 29%, Enterobacter con el 19%, *Proteus vulgaris* con el 10%, en menor porcentaje Pseudomonas y Acinetobacter con el 5% cada uno. Estos datos se relacionan a la presencia de bacterias que representan un riesgo de contaminación microbiana y puede exponer a los trabajadores manuales durante el proceso de recolección de residuos. Existen suficientes evidencias que relacionan el manejo de

residuos sólidos con los impactos sanitario y ambiental dentro del campo universitario. Actualmente se genera 54,2 kg/día de residuos orgánicos, inorgánicos e infecciosos que se disponen diariamente sin tratarse al vertedero municipal de David (Espinoza *et al.* 2017). Estos residuos junto a sus propiedades físicas proveen las condiciones necesarias para el desarrollo y crecimiento de microorganismos que alteren las propiedades biológicas del suelo, agua y aire lo cual puede originar efectos sobre la salud de los trabajadores y la comunidad universitaria. Las bacterias identificadas en estos residuos son microorganismos que pueden hacer contacto con la piel o aerotransportarse, los cuales pueden ocasionar una serie de perturbaciones físicas y biológicas (alergias, diarreas, irritación de la piel, ojos y membranas mucosas, trastornos gastrointestinales y respiratorias, etc.) que modifican las condiciones iniciales de salud de la persona (Vidal & Anticono, 2013). Además, la falta de un manejo adecuado y a la no aplicación de las medidas de higiene personal pueden ingresar por vía oral al ser humano incluso a la fauna del lugar. Esto puede ocasionar infecciones por el consumo de alimentos y agua sin haberse tratado. El cuadro sintomático más frecuente en los seres humanos son las intoxicaciones agudas y gastroenteritis por *E. coli* entre otras. El aislamiento de *E. coli* en los residuos sólidos es un indicador clave de contaminación fecal reciente, ya que puede prevalecer en forma aerobia y anaerobia facultativa en el tubo digestivo de la mayor parte de los mamíferos y encontrarse en el medio ambiente durante cierto tiempo.

Los resultados coinciden con los estudios de Mendoza (2018) detectó la presencia de *Escherichia coli*, y en menor porcentaje *Klebsiella pneumoniae*, *Proteus vulgaris*, *Pseudomona aeruginosa* en los Residuos sólidos a los márgenes del río Huatay en Perú. Además, Mendoza detectó la presencia de bacterias gram positivas como *S. aureus*, *Streptococcus* y levaduras como *Candida*. El estudio de Barreda (2016) detectó la presencia de bacterias como *E. coli*, *Klebsiella*, *Proteus* y *Enterococcus faecalis* lo que demuestra el alto grado de contaminación microbiana que existe en los residuos sólidos. Y en el proyecto de Ciudades focales en Cochabamba se encontró *Escherichia coli*, *Klebsiella* y *Enterobacter*. De éstos, solamente la *Escherichia coli* tiene una presencia garantizada en las heces humanas y de animales homeotérmicos de un 96 a 99% (CFC, 2009).

La correlación de la variable dependiente carga bacteriológica y los parámetros físicos es positiva R de Pearson 0,417, indica que existe una débil linealidad entre las variables en mención. La Bondad de ajuste del modelo de regresión lineal se determinó con el  $R^2 = 0.174$  que al multiplicarse x 100. Se registro que el 17,4% de la variabilidad de la carga bacteriológica es explicada por los parámetros físicos. Se sugiere que las variables fisicoquímicas no influyen significativamente en el comportamiento de las cargas bacteriológicas por tal motivo la ecuación del modelo de regresión lineal no es muy eficiente con respecto a la predicción del comportamiento de la carga bacteriológica en los residuos sólidos universitarios por tener un  $R^2$  menor de 0,70 (Blayr & Taylor, 2008). El crecimiento de las bacterias no depende de estos parámetros físicos para su proliferación, sino que dependen de otros factores como la cantidad de residuos orgánicos, tamaños de las partículas y la aireación disponible para su metabolismo. No obstante, se puede considerar que las temperaturas extremas inhiben el crecimiento de las bacterias permitiendo a las bacterias producir esporas para su supervivencia. La humedad excesiva conduce a la producción de malos olores y a la fermentación alcohólica por el metabolismo anaerobio, que en su caso no fue objeto de estudio. Estos resultados coinciden con los resultados de Jara *et al.* (2016) indica que los parámetros fisicoquímicos no son estadísticamente significativos para la producción de abonos orgánicos. Los residuos orgánicos y la concentración de nitrógeno contribuyen al crecimiento de las bacterias y dependen de la eficacia competitiva y la capacidad de supervivencia de los microorganismos (Escobar *et al.* 2012).

Al analizar los coeficientes, se determinó la ecuación del modelo de regresión lineal múltiple mediante la ecuación general descrita en Blayr & Taylor (2008). Que consiste en  $Y = \text{constante} + B_1X_1 + B_2X_2 + B_3X_3 + U_{ij}$ . Se sugiere reemplazar los datos de la columna B.  $Y = -924738.5 - 34151.2 T + 19006.5 H + 57448.3 D$ . Esta ecuación permite estimar el comportamiento de la carga bacteriológica comparando los tres parámetros físicos valorados dentro del campo universitario. Se registró que los modelos calculados para la relación temperatura y carga bacteriológica no son estadísticamente significativos ya que el R cuadrado es menor de 0,70 y la probabilidad de significancia es mayor de 0,05. Se sugiere que no existe una aproximación lineal entre las variables (ver fig.7). Ya que se observa una tendencia horizontal entre los datos medidos de cada variable.



**Figura 4.** Modelos curvilíneos de regresión para la Temperatura versus carga bacteriológica.

Sin embargo, los modelos cúbicos y cuadráticos son ligeramente superior al modelo de regresión múltiple de los tres parámetros físicos juntos analizados anteriormente.

## CONCLUSIONES

Con base a los resultados obtenidos se concluye que:

La carga bacteriológica dentro del campo central de la UNACHI, se sitúan con media de 333495,7 UFC/cm<sup>2</sup> para los residuos sólidos producidos en las cafeterías y se relacionan a la mayor producción de residuos orgánicos que facilitan los nutrientes adecuados para el crecimiento bacteriano.

De las muestras de residuos sólidos universitarios, se identificaron seies géneros de enterobacterias, la bacteria con mayor frecuencia fue *Klebsiella* con el 33%, *Escherichia coli* con 29%, *Enterobacter* con 19%, *Proteus vulgaris* 10%, en menor porcentaje *Pseudomonas* y *Acinetobacter* con el 5% cada uno. Estos datos se relacionan a la presencia de bacterias que representan un riesgo de contaminación microbiana, que exponen a los trabajadores manuales a adquirir una infección durante el proceso de recolección de residuos.

Se validó la hipótesis de investigación que establece que la carga bacteriológica no está influenciada por los parámetros físicos como humedad, densidad y temperatura en los residuos sólidos universitarios.

## AGRADECIMIENTOS

Agradecido de la colaboración y revisión del artículo por los profesores Luis González, Orlando Cáceres, María Catalina Espinosa y Amparo Castillo.

## BIBLIOGRAFIA

- Alania, Y. & Pérez, S. (2017). Efecto de la temperatura en el crecimiento de dos cepas ATCC de *Pseudomonas* sp. expuestas a polipropileno (tesis de grado). Universidad Cayetano Heredia, Perú.
- Autoridad Nacional del Ambiente-ANAM. (2014). *Informe GEO del estado del Ambiente*. Panama: Novo Arts.
- Autoridad Nacional del Ambiente-ANAM. (2009). Informe GEO del estado del Ambiente. Panamá, Novo Arts S. A.
- Acurio, G., Rossin, A., Teixeira, P. & Zepeda, F. (2005). *Diagnóstico de la situación del manejo de residuos sólidos municipales en américa latina y el caribe*. Washington, EUA: Banco Interamericano de Desarrollo.
- Barreda, W., (2016). Determinación del efecto del botadero de residuos sólidos sobre la salud de la población aledaña, Tacna, 2015 (*tesis de grado*). Universidad Nacional de San Agustín, Facultad de Ciencias biológicas, Perú.
- Blayr, C. & Taylor, R. (2008). *Bioestadística*. México: Prentice Hall.
- Bueno, R. & Jiménez, R. (2008). Malaria en España: Aspectos entomológicos y perspectivas de futuro. *Rev Esp Salud Pública*, 82 (5): 467-479.
- Bustos, D., Franco, C., Sanjur, B., González, L. y Espinoza, V. (2012). Valorización de los residuos sólidos generados en el campo central de la Universidad Autónoma de Chiriquí. Tesis de Licenciatura en Ciencias Ambientales y Recursos Naturales, Facultad de Ciencias Naturales y Exactas, Universidad Autónoma de Chiriquí, Panamá.
- Ciudades Focales de Cochabamba-CFC. (2009). Carga microbiológica presente en contenedores verdes, anaranjados y microbasurales de la ciudad de Cochabamba. Versión electrónica consultado el 10 de octubre de 2013, recuperado de: <http://www.sgab-bolivia.org/pdf/2CF-CBBA.EstudioMicrobiologicocontenedores.pdf>

- Comisión Económica para América Latina y el Caribe-CEPAL. (2012). Anuario estadístico de América Latina y el Caribe. Organización de las Naciones Unidas.
- Eco consultarías e Ingeniería-ECO. (2013). Estudio de Caracterización Física de Residuos Sólidos Municipales en la Ciudad de Huancayo. Recuperado de [www.nefco.org](http://www.nefco.org)
- Escobar, N. Delgado, J. Romero, N. (2012). Identificación de poblaciones microbianas en compost de residuos orgánicos de fincas cafeteras de Cundinamarca. *bol.cient.mus.hist.nat.* 16 (1): 75 – 88.
- Espinoza, V., Caballero, P. y González, L. (2009). Determinación de los indicadores de los residuos sólidos generados dentro del campo de la Universidad Autónoma de Chiriquí. Tesis de Licenciatura, Facultad de Ciencias Naturales y Exactas, Universidad Autónoma de Chiriquí, Panamá.
- Espinoza, V. (2014). Caracterización y composición de los residuos sólidos del distrito de Barú, Chiriquí. Informe del IV Encuentro Científico de la Universidad Autónoma de Chiriquí. 174-182.
- Espinoza, V., González, L., Guerra, P. & Franco, C. (2017). Determinación de un plan de manejo de residuos sólidos universitarios. *Rev. Acedlat.* 8 (1): 6-15.
- Hernández, S. Martínez, J. & Pérez, L. (2015). Bacterias hidrocarbonoclasticas biodegradantes de poliestireno expandido. *Revista Foresta Veracruzana*, 17 (2): 21-28.
- Jara, M., Salazar C., García, Y, Arteaga, Y., Rodríguez, Y. & Chafra, A. (2016). Parámetros fisicoquímicos y contenido de coliformes de un compost obtenido a partir de residuos orgánicos del Camal Frigorífico Riobamba. *Revista Amazónica Ciencia y Tecnología*, 5 (3):252-263.
- Mendoza, Y. (2018). Determinación de los agentes infecciosos presentes en los residuos sólidos en las riberas del río Huatanay y áreas aledañas a la institución educativa estatal n° 501187. Cusco (*Tesis doctoral*). Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa, Perú.
- Micucci, H., Jarne, A., Ferrarotti, N., Munitis, M. & Peruzzetto, C. (2005). Riesgos biológicos en desechos sólidos y líquidos domiciliarios, y de centros de atención primaria en salud. *Acta Bioquím Clín Latinoam*, 39 (1): 43-57.

- Organización Panamericana de la Salud-OPS. (2001). Análisis sectorial de los residuos sólidos de Panamá. Panamá: Ministerio de Salud.
- Prescott, L. Harley, J. Klein, D. (2002). Microbiology. Fifth edition. EUA: The McGraw-Hill.
- Programa de Naciones Unidas para el medio ambiente-PNUMA. (2010). Perspectivas del medio ambiente: América Latina y el Caribe GEO ALC-3. Panamá, Programa de Naciones Unidas del medio ambiente.
- Robles, M. (2015). Evaluación de parámetros de temperatura, ph y humedad para el proceso de compostaje en la planta de tratamiento de residuos sólidos orgánicos de la municipalidad provincial de Leoncio Prado (práctica profesional). Universidad Nacional Agraria de la Selva, Perú.
- Ruiz, M. (2012). Caracterización de residuos sólidos en la universidad iberoamericana, ciudad de México. *Rev. Int. Contam. Ambie.* 28 (1) 93-97.
- Sakurai, K. (2005). Método sencillo de análisis de residuos sólidos. Versión electrónica recuperado de <http://www.bvsde.paho.org>
- Saldaña, C., Hernández, P., Messina, S. & Pérez, J. (2013). Caracterización física de los residuos sólidos urbanos y el valor agregado de los materiales recuperables en el vertedero el iztete, de Tepic-Nayarit, México. *Rev. Int. Contam. Ambie.* 29 (3) 25-32.
- Sampieri, R., Fernández, C. & Batista, M. (2010). Metodología de Investigación. México: McGraw Hill.
- Sánchez, S; Marín, M; Mora, A. Pérez, L. & Yepes, M. (2012). Identificación de bacterias productoras de polihidroxicarboxilatos (PHAs) en suelos contaminados con desechos de fique. *Revista Colombiana de Biotecnología*, XIV, (2): 89-100.
- Secretaria de Comercio y Fomento Industrial-SECOFIN. Norma mexicana de proceso de Cuarteo de residuos sólidos municipales- NMX-AA-015-1985.
- Secretaria de Comercio y Fomento Industrial-SECOFIN. Norma mexicana de peso volumétrico de residuos sólidos municipales- NMX-AA-019-1985.
- Terraza, J. (2009). Manejo de residuos sólidos: Lineamientos estratégicos del Banco Interamericano de Desarrollo 2009-2013. New York-EUA, Banco Interamericano de Desarrollo.
- Thiriom, J. (2003). El mosquito *Aedes aegypti* y el dengue en México. México: Bayer S.A.

- Valencia, H. (2010). Manual de prácticas de microbiología de suelos. Bogotá, Colombia: Universidad Nacional de Colombia.
- Van Belle, G., Fisher, LL., Heagerty, P. y Lumley, T. 2004. Bioestadistics: a methodology for the health sciences. New Yersey, EUA: Jhon Wiley and Songs.
- Vidal, C. & Anticona, H. (2013). Estudio de la contaminación por la presencia de bacterias y hongos en la zona de lavado de las unidades recolectoras de residuos sólidos en la planta de transferencia de la empresa relima (Tesis de grado). Universidad Nacional de Ingeniería, Lima, Perú.