




Level of bacteriological contamination of the air in the wastewater treatment plant of the city of Celendín and surrounding areas

Villar-Araujo Mariela, Ing.¹; Díaz-Mori Darwin, Mg. Ing.¹; Sánchez-Peña Marco, Mg. Blgo.,^{1, 2}
¹Universidad Nacional de Cajamarca, Cajamarca, Perú, ²Universidad Privada del Norte, Cajamarca Perú.
mwillara15@unc.edu.pe, darwindiaz@unc.edu.pe, marco.sanchez@upn.pe

Abstract- Wastewater treatment plants represent an important source of aerobacteria, particularly parts with movement mechanisms and where there is forced aeration of wastewater (aeration tanks). Pumping and filtering operations favor the formation of bioparticles in the air (viruses, bacteria, fungi). The objective was to: Determine the level of bacteriological contamination of the air in the wastewater treatment plant of the city of Celendín. The plate sedimentation method was used, which consisted of exposing the petri dish to the outside for 5-10 minutes; plates with MacConkey and nutrient agar were used; 45 samples were collected in two times of the year (dry and rainy) at five monitoring stations; Measurements of relative humidity, wind direction and speed were made. As results, an average of 2101 UFC/m³ was obtained in the dry season and an average of 1349 UFC/m³ in the wet season; Station 02 located in the WWTP had a concentration of 3240 UFC/m³ and station 01, 500 meters from it, had the lowest concentration with 780 UFC/m³, indicating that the greater the location from the plant, the lower the concentration of microorganisms will be. , this due to the direction and speed of the wind; concluding that the level of bacteriological contamination of the air is very high, exceeding the standard proposed by the EUR 14988 standard (2000 UFC/m³), during dry season periods, unlike the rainy season, which was lower than specified.

Keywords: bacteriological contamination, relative humidity, wind speed and direction, colony forming units.

Resumen- Las plantas de tratamiento de aguas residuales representan una importante fuente de aerobacterias, en particular las partes con mecanismos de movimiento y donde exista aireación forzada de las aguas residuales (tanques de aireación). Las operaciones de bombeo y filtrado favorecen la formación de biopartículas en el aire (virus, bacterias, hongos). Se tuvo como objetivo: Determinar el nivel de contaminación bacteriológico del aire en la planta de tratamiento de aguas residuales de la ciudad de Celendín. Se utilizó el método de sedimentación en placa que consistió en exponer la placa Petri al exterior durante 5-10 minutos, se utilizó placas con agar MacConkey y nutritivo; se recolectaron 45 muestras en dos épocas del año (seca y lluvia) en cinco estaciones de monitoreo; se hicieron mediciones de humedad relativa, dirección y velocidad del viento. Como resultados se obtuvo un promedio de 2101 UFC/m³ en la época seca y un promedio de 1349 UFC/m³ en la época húmeda; la estación 02 ubicada en la PTAR tuvo una concentración de 3240 UFC/m³ y la estación 01 a 500 metros de la misma tuvo la menor concentración con 780 UFC/m³ indicando que a mayor distancia de ubicación de la planta menor será la concentración de microorganismos, esto debido a la dirección y velocidad del viento; concluyendo que el nivel de contaminación bacteriológica del aire es muy alto superando el estándar propuesto por la norma EUR 14988

(2000 UFC/m³), durante periodos de época seca, a diferencia de la época de lluvia, que fue menor a lo especificado.

Palabras clave: contaminación bacteriológica, humedad relativa, velocidad y dirección del viento, unidades formadoras de colonias.

I. INTRODUCCIÓN

La contaminación del aire exterior ha sido responsable de innumerables muertes a lo largo de los años, lo que representa aproximadamente 3,3 millones de muertes prematuras al año en todo el mundo [1]. La carga microbiana es capaz de crear estructuras especiales que le permite resistir, sobrevivir y propagarse en la atmósfera [2]. Los microorganismos transportados por el aire, como bacterias, esporas de hongos y patógenos, son componentes importantes directamente relacionados con la contaminación del aire [3]. Los estudios han demostrado que la presencia de microorganismos bacterianos en el aire puede causar enfermedades en plantas, animales y humanos; Así es: Staphylococcus aureus, Pseudomonas sp., Aspergillus sp. Fusarium sp. Como se mencionó anteriormente, a nivel mundial se han registrado enfermedades como asma, bronquitis, neumonía, que afecta principalmente las vías respiratorias y otras enfermedades como infecciones de la piel [4]. Las plantas de tratamiento de aguas residuales son una fuente importante de bioaerosoles, que no son más que microorganismos (bacterias, hongos, virus) que se dispersan en el aire bajo la influencia de factores climáticos como la dirección y velocidad del viento, etc., así como también las partes con mecanismos de movimiento y aireación forzada de las aguas residuales (tanques de aireación, RAFA, canaletas Parshall entre otros) [5]. Debido a la dirección y la velocidad del viento, las bacterias pueden transportarse rápidamente largas distancias en forma de bioaerosoles, lo que favorece mejor su propagación. La adecuada gestión de las plantas de tratamiento de aguas residuales debe garantizar, además de la protección del medio ambiente, la protección de los trabajadores de la planta y la de los moradores que habitan en sus alrededores, frente a la exposición a agentes microbianos. Para conseguir este objetivo es necesario identificar los riesgos asociados a esta exposición y sus posibles repercusiones, así se podrán establecer las medidas preventivas más adecuadas [6]. Debido a que la dirección de los vientos en la Planta de Tratamiento de aguas Residuales de la ciudad de Celendín se presenta de norte a sur, es que se puede afirmar que dicho factor

es determinante para el transporte de microorganismos (bacterias), los cuales son dirigidos hacia la ciudad de Celendín y los alrededores de la misma planta; también se puede ver que hace algún tiempo se ha ido mostrando deficiencia en su funcionamiento, por lo que se percibe olores desagradables, agua estancada y efluentes verdosos, y aunque se cuenta con personal de mantenimiento, las condiciones en el sitio no son las esperadas para una PTAR en operación, por ello se realizó un estudio sobre el nivel de contaminación bacteriológica del aire en la planta de tratamiento de aguas residuales de la ciudad de Celendín y sus alrededores; y debido a factores meteorológicos como la humedad relativa, dirección y velocidad del viento, los cuales son fundamentales para establecer su causa en su entorno y en la planta misma, se plantearon los siguientes objetivos: Determinar el nivel de contaminación bacteriológica del aire en la planta de tratamiento de aguas servidas de la ciudad de Celendín y zonas aledañas. Objetivos específicos: Determinar la concentración de microorganismos (bacterias) presentes en el aire de la planta de tratamiento de aguas residuales de la ciudad de Celendín y sus zonas aledañas en función de la humedad relativa, dirección y velocidad del viento; determinar los tipos de microorganismos (bacterias) colectados en la planta de tratamiento de aguas residuales de la ciudad de Celendín y sus zonas aledañas.

II. MATERIALES Y MÉTODOS

A. Descripción de los puntos de muestreo

La investigación se llevó a cabo en la planta de tratamiento de aguas residuales de la ciudad de Celendín y sus alrededores, ubicada en el norte de la ciudad con las coordenadas UTM: Este: 815435 m, Norte: 9241975 m, Altitud: 2605 m. Está

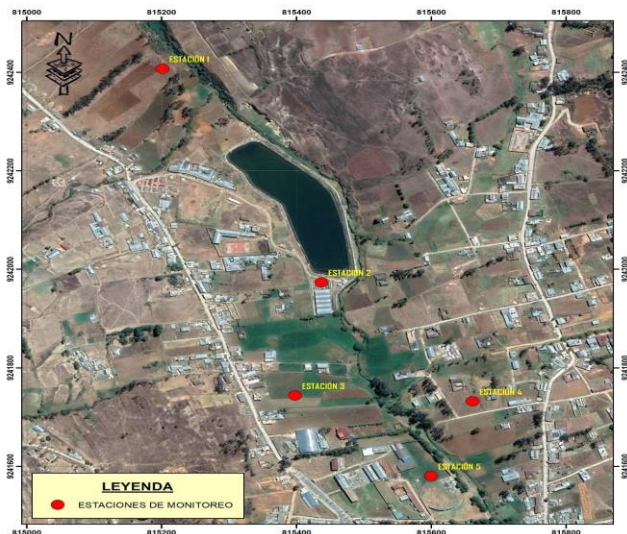


Figura 1. Mapa de ubicación del proyecto (PTAR Celendín).

ubicada en el barrio de Pallac, a 2,5 km de la plaza principal como se ve en la figura 1.

B. Método Estadístico utilizado

- Se utilizó el ANOVA, un método estadístico que permite descubrir si los resultados de una prueba son significativos, es decir, permiten determinar si es necesario rechazar o aceptar la hipótesis; se utiliza para comparar las varianzas entre las medias (o el promedio) de diferentes grupos. Una variedad de contextos lo utilizan para determinar si existe alguna diferencia entre las medias de los diferentes grupos [7].

C. Descripción de la Metodología

- Preparación del material: para preparar el material se esterilizó todo adecuadamente, los materiales utilizados (placas Petri, matraces, probetas, pipetas) fueron lavados y envueltos con papel beige completamente, se colocó torundas de algodón en la boquilla de los matraces y probetas para luego ser forrados con papel aluminio alrededor de ello asegurándolo con cinta adhesiva para mayor seguridad; se anotó la fecha de preparación; posteriormente se llevó a la estufa por 1 hora a 150 °C. Una vez concluida la esterilización se esperó unos 15 minutos que enfríe la estufa para poder retirar el material esterilizado.
- Preparación del medio de cultivo: para la obtención de bacterias en medios de cultivo se tiene el agar nutritivo para gram positivas y agar MacConkey para gramnegativas, siendo estos los medios selectivos para crecimiento de dichos microorganismos.
- Preparación de agar nutritivo: para obtener el agar nutritivo, se pesó y disolvió 14.72 g de polvo (AN) en 640 ml de agua destilada para un promedio de 32 placas Petri, dicha cantidad fue medida en una probeta y luego se procedió a verter en un matraz Erlenmeyer, se agitó hasta diluir por completo el medio tornándose de un color amarillo, se tapó con la torunda de algodón y luego se dejó reposar por 5 minutos. Después de preparar el medio, se llevó a esterilizar a la autoclave una vez alcanzado los 121 grados a 1,5 atmósferas, esterilizándose por 15 minutos, se retiró cuidadosamente y se dejó enfriar unos 15 minutos para pasar a distribuir en las placas Petri, un aproximado de 20 ml de agar nutritivo por cada placa [8].
- Preparación de agar MacConkey: para obtener el agar MacConkey, se pesó y disolvió 16 g de polvo (AM) en 320 ml de agua destilada para un promedio de 16 placas Petri, dicha cantidad fue medida en una probeta y luego se vertió en un matraz, se agitó hasta diluir por completo el medio tornándose de un color rojizo, se tapó con la torunda de algodón y luego se dejó reposar por 5 minutos. Después de preparar el medio, se llevó a esterilizar a la autoclave una vez alcanzado los 121 grados a 1,5 atmósferas, esterilizándose por 15 minutos, se retiró cuidadosamente y se dejó enfriar unos 15 minutos para pasar a distribuir en las placas Petri, un aproximado de 20 ml de agar MacConkey por cada placa. [9]. Una vez preparados los dos agares se sirvieron en las placas Petri con el mechero encendido al costado para evitar algún tipo de contaminante que haya podido ingresar, se esperó enfriar las placas servidas para luego colocarlas de forma

invertida dentro del cooler y de esta manera ser trasladadas al lugar de monitoreo.

- Método por sedimentación, exposición de las placas Petri: este método se basó en la colocación de las cajas de Petri con el respectivo medio de cultivo, las cuales permanecieron abiertas durante cinco minutos, permitiendo la precipitación de microorganismos [10], para no saturar y así poder realizar la evaluación de la concentración de bacterias satisfactoriamente; posteriormente se trasladó las muestras al Laboratorio de la Escuela Académico Profesional de Ingeniería Ambiental de la Universidad Nacional de Cajamarca en un cooler, seguidamente se las incubó a una temperatura de 37°C durante 48 horas, luego se reservaron las muestras para su posterior conteo de colonias expresado como unidades formadoras de colonias (UFC) [11], como se muestra en la figura 2.



Figura 2. Crecimiento de colonias en agar MacConkey y nutritivo.

D. Monitoreo en la PTAR Celendín.

- Se realizó el monitoreo llevando el cooler con las placas debidamente selladas, se colocó un soporte de madera en la Estación (E1) a 500 metros de la PTAR, donde se expuso 3 placas Petri, 2 con agar nutritivo y una con agar MacConkey durante 5 minutos al aire libre, en la mañana (6:00 a 8:00 AM), en la tarde (1:00 a 3:00 PM) y en la noche (6:00 a 8:00 PM), ver imagen en el anexo V.
- El soporte de madera se colocó de igual manera en las estaciones E2, E3, E4, E5 (entre el RAFA y la laguna de oxidación, a 100, 200 y 300 metros respectivamente), donde igualmente se expuso al aire libre a una altura de 1.5 metros 3 placas Petri, 2 con agar nutritivo y una con agar MacConkey en cada monitoreo, luego se las tapó codificadas correctamente y se las guardó en el cooler para ser trasladadas a la incubadora por 48 horas en el laboratorio de la escuela académica profesional de ingeniería ambiental de la sede Cajamarca (EAPIAC), ver ficha de campo en el anexo II.

E. Recuento de colonias.

- El número de organismos en este caso se basó en que cada uno desarrolló una colonia visible. Sin embargo, dado que la composición microbiana de la muestra no es del todo homogénea, es posible que la colonia se haya originado a

partir de un único microorganismo o de cientos de microorganismos, resultando en un número inferior al verdadero en este último caso. Esta es una condición necesaria y suficiente. A efectos de cálculo, la colonia se consideró entonces como una unidad formadora de colonias (UFC). [12]. Las unidades formadoras de colonias se contaron considerando las propiedades macroscópicas de las colonias como color, forma, bordes y apariencia [13].

- El recuento fue realizado en el Laboratorio de la EAPIAC con la ayuda del contador de colonias BC-50 de Biobase, para cada placa; cada una estuvo debidamente rotulada, luego se reemplazó en la fórmula obteniéndose el resultado en UFC/m³. Para la cuantificación de colonias se promedió los datos obtenidos entre 30 muestras de crecimiento seleccionadas, debido a que no hubo crecimiento en las 45 placas ubicadas en el monitoreo, contabilizadas entre placas de agar nutritivo y MacConkey, una placa por cada medio. Dicho procedimiento fue realizado con los datos de todas las estaciones monitoreadas en cada época.
- Se aplicó la fórmula de Omelyansky que estipula que en la superficie de una caja Petri con área de 100 cm² en 5 min, se asientan o depositan tantos microorganismos como están contenidos en 10 L de aire. Es decir, Omelyansky determinó que sobre una superficie de 100 cm² de una caja Petri con medio nutritivo denso, durante una exposición de 5 min, la cantidad de microbios que contiene 10 litros de aire se asienta [14], como se muestra en la fórmula 1.

Fórmula 1:

$$X = \left(\frac{\text{UFC}}{\text{m}^3} \right) = \frac{A \cdot 100 \cdot 1000 \cdot 5}{B \cdot 10 \cdot T} \quad X = \frac{\text{UFC} \cdot \text{cm}^2 \cdot L \cdot \text{min}}{\text{cm}^2 \cdot L \cdot \text{min}}$$

F. Tinción Gram:

- Se realizó tinción de Gram debido a que este método divide a las bacterias en dos grandes grupos, gram negativas y gram positivas, las cuales son necesarias para la clasificación y diferenciación de los microorganismos (bacterias), facilitando así su identificación [15].

G. Aislamiento de bacterias en nuevos medios.

- Se procedió a aislar las bacterias en nuevos medios para obtener cultivos puros por cada colonia, posterior al recuento de colonias realizado anteriormente.

H. Medición de los parámetros del viento.

- Para la medición de los parámetros del viento se utilizó un anemómetro que nos permitió obtener (dirección del viento, velocidad del viento, pH y temperatura),

III. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

- A. *Análisis del nivel de contaminación bacteriológica del aire de la PTAR con respecto a las épocas y distancias de monitoreo.*

- En la tabla 1 y la figura 3, se presentan los datos de las épocas de monitoreo donde la época de estiaje tiene un nivel de contaminación muy alto según lo que estipula la norma europea EUR 14988, con un promedio total de 2101 UFC/m³, por el contrario, la época de lluvia presentó un promedio total de 1349 UFC/m³ quedando por debajo de lo que establece la misma norma; existen registros que demuestran que la liberación de microorganismos se incrementan en días secos, conforme aumenta la temperatura y disminuye la velocidad del viento; a diferencia de la temporada de lluvia donde las precipitaciones pluviales atenúan grandes concentraciones de microorganismos en el aire [16], coincidiendo con los resultados de [17] época seca con un promedio de 2408 UFC/m³ y época de lluvia con un promedio de 1472 UFC/m³. Se puede apreciar también en la tabla 4 y la figura 7 que la estación 02 ubicada en la PTAR tuvo una concentración de 3240 UFC/m³ y la estación 01 a 500 metros de la PTAR tuvo la menor concentración con 780UFC/m³, resaltando así la diferencia e importancia que tienen las distancias de ubicación para la toma de muestras; seguido de la estación 3 a 100 m, estación 4 a 200 m y la estación 5 a 300 m de la misma, con promedios de 2904, 2014, 1568 UFC/m³ respectivamente, indicando que a mayor distancia de ubicación de la planta menor será la concentración de microorganismos, esto debido a la dirección y velocidad del viento según [18].

Tabla 1. UFC/m³ de las épocas de monitoreo y distancias a la PTAR.

ESTACIONES DE MONITOREO	ÉPOCA DE ESTIAJE			ÉPOCA DE LLUVIA			Nivel de contaminación
	FECHA: 25/08/22	FECHA: 12/09/22	FECHA: 28/09/22	FECHA: 25/10/22	FECHA: 12/11/22	FECHA: 28/11/22	
E - 1 (A 500 metros de la PTAR)	780	559	669	558	446	557	
E - 2 (PTAR)	3240	3130	3014	1678	1456	1676	
E - 3 (A 100 metros de la PTAR)	2904	3017	2795	1901	1231	1675	2000 UFC/m ³
E - 4 (A 200 metros de la PTAR)	2014	2125	2347	1791	1454	1565	
E - 5 (A 300 metros de la PTAR)	1568	1567	1789	1678	1122	1453	
PROMEDIO TOTAL DE ufc/m ³	2101	2080	2123	1521	1142	1385	
		2101			1349		2000 UFC/m ³ Muy alto

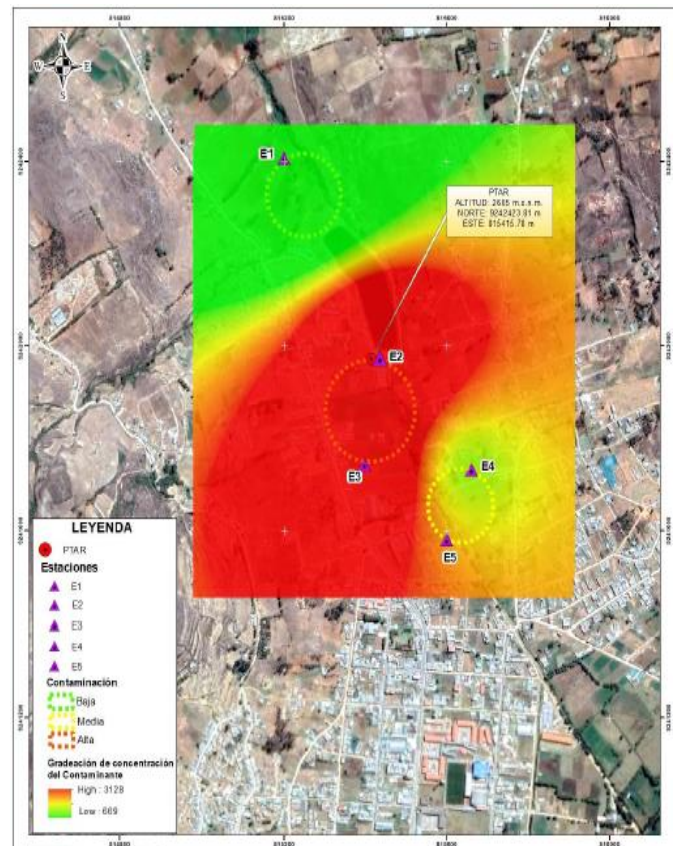


Figura 3. Mapa de calor con niveles de contaminación en las estaciones de monitoreo.

B. Microorganismos en el aire de la PTAR con respecto a la humedad relativa

- En la tabla 2 y la figura 4, se muestran los datos obtenidos en la época de estiaje con tres turnos diferentes de muestreo, observándose la relación que existe entre la humedad relativa y la cantidad de UFC/m³, en la noche se reportó el mayor porcentaje de humedad relativa con un promedio de 76.9 % con 2311 UFC/m³ superando el nivel de contaminación establecido por la norma, esto debido a que cuando aumenta la humedad relativa del aire aumenta el agua disponible para los microorganismos, lo cual ayuda a su proliferación; por lo tanto si la humedad relativa del aire decrece, disminuye el agua para los microorganismos, lo que causaría deshidratación y por consecuencia la inactivación de muchos de ellos [19] mostrándose así que a mayor humedad relativa mayor cantidad de UFC, coincidiendo con los resultados de [20], con 82% de humedad relativa obtuvo 3147 UFC/m³; y el menor porcentaje de humedad relativa se presentó en la tarde con un promedio de 46.9 % y 1879 UFC/m³ quedando por debajo de lo estipulado.

Tabla 2. Comparación de UFC/m³ según la humedad relativa en estiaje.

AGOSTO - SEPTIEMBRE 2022 (ESTIAJE)									
TURNOS DE MONITOREO	MONITOREOS - TURNOS								Nivel de contaminación
	25/08/2022		12/09/2022		28/09/2022		PROMEDIO		
	% HR	UFC/m ³	% HR	UFC/m ³	% HR	UFC/m ³	% HR	UFC/m ³	
MAÑANA 06:00 - 8:00 am	71.6	2145	78.6	2347	78.8	2413	76.3	2302	2000 UFC/m ³
TARDE 1:00 - 3:00 pm	48.3	1947	45.2	1746	47.1	1945	46.9	1879	
NOCHE 6:00 - 8:00 pm	88.6	2344	73.4	2245	68.6	2345	76.9	2311	

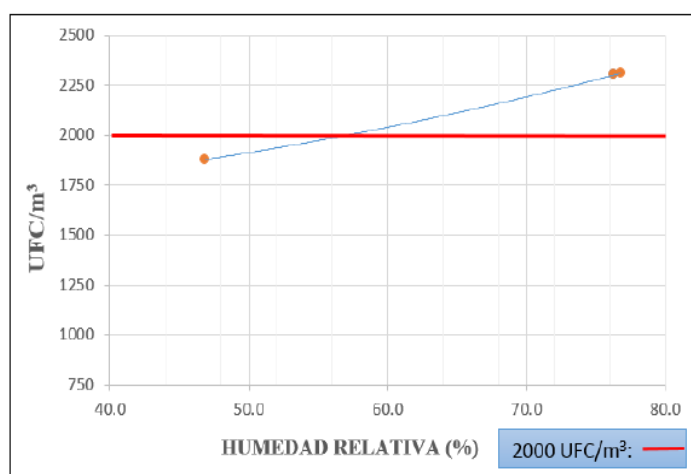


Figura 4. Promedio de UFC/m³ según la humedad relativa en época de estiaje.

- En la tabla 3 y figura 5, se muestran los datos obtenidos en la época de lluvia con tres turnos diferentes de muestreo, observándose la relación que existe entre la humedad relativa y la cantidad de UFC/m³, en donde se resalta que en la mañana se obtuvo 85.5 % de humedad relativa, siendo éste el resultado más alto con un total de 1409 UFC/m³, interpretándose que en dicha época hay mayor porcentaje de humedad relativa pero menor concentración de microorganismos, esto se debe a que durante el monitoreo se presentaron algunas precipitaciones pluviales que para el caso de los microorganismos, se sabe que la lluvia los elimina del aire, precipitándolos hacia el suelo donde se depositan y tienen menos posibilidades de tener contacto con la atmósfera [21] y se menciona que el turno con menor porcentaje de humedad relativa fue el de la tarde con un total de 57.1 % y 1119 UFC/m³, explicándose en este caso que a mayor humedad relativa hubo menor concentración de microorganismos.

Tabla 3. Comparación de UFC/m³ según la humedad relativa en época de lluvia.

OCTUBRE - NOVIEMBRE 2022 (LLUVIA)									
TURNOS DE MONITOREO	MONITOREOS - TURNOS								Nivel de contaminación
	25/10/2022		12/11/2022		28/11/2022		PROMEDIO		
	% HR	UFC/m ³	% HR	UFC/m ³	% HR	UFC/m ³	% HR	UFC/m ³	
MAÑANA	80.1	1677	86.1	1142	90.2	1408	85.5	1409	2000 UFC/m ³
TARDE	58.6	1143	55.4	1074	57.3	1139	57.1	1119	
NOCHE	80.1	1743	88.1	1210	83.4	1199	83.9	1384	

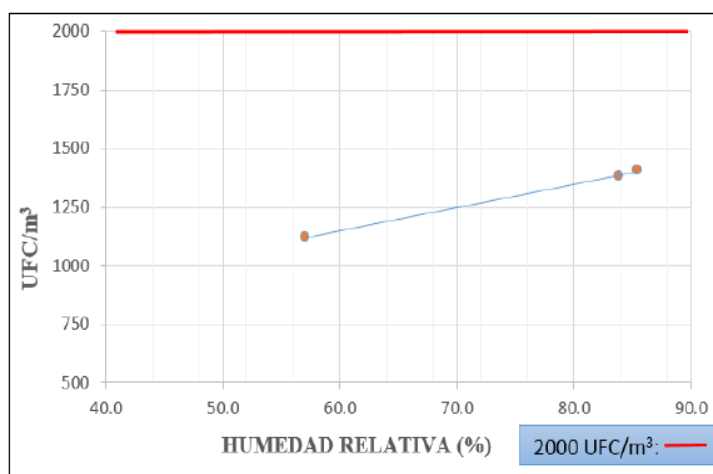


Figura 5. Promedio de UFC/m³ según la humedad relativa en época de lluvia.

C. Microorganismos en el aire de la PTAR con respecto a la velocidad del viento

- En la tabla 4 y la figura 6, se presentan los resultados obtenidos de la velocidad del viento con relación a la cantidad de UFC/m³ en época de estiaje, donde se observa que el promedio con menor velocidad se encuentra en el turno de la tarde con 1.1 m/s teniendo un total de 2402 UFC/m³, seguido de la noche con un promedio de 2.1 m/s teniendo un total de 2105 UFC/m³, ambos turnos sobrepasando el estándar, en el turno de la mañana el promedio fue de 2.2 m/s, teniendo un total de 1969 UFC/m³ quedando por debajo de lo establecido por la norma, esta variable climática es la que determina el tiempo de viaje de los contaminantes desde las fuentes hasta el receptor; velocidades de viento inferiores a 3,1m/s suele favorecer la acumulación de contaminantes atmosféricos; vientos débiles generan una mínima dispersión, por lo cual los microorganismos se concentran en mayor cantidad, mientras que vientos con fuertes velocidades proporcionan considerable dispersión y menos concentración de microorganismos [22].

Tabla 4. Comparación de UFC/m³ según la velocidad del viento en época de estiaje.

AGOSTO - SETIEMBRE 2022									
TURNOS DE MONITOREO	25/08/2022		12/09/2022		28/09/2022		PROMEDIO		Nivel de contaminación
	VV m/s	UFC/m ³	VV m/s	UFC/m ³	VV m/s	UFC/m ³	VV m/s	UFC/m ³	
MAÑANA	1.5	1947	2.7	1986	2.5	1975	2.2	1969	
TARDE	1.1	2345	0.9	2447	1.2	2413	1.1	2402	2000 UFC/m ³
NOCHE	2.7	1980	2.4	1924	1.1	2410	2.1	2105	

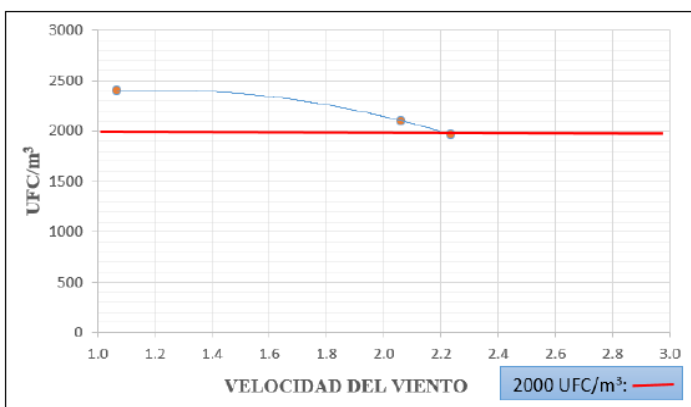


Figura 6. Promedio de UFC/m³ según la velocidad del viento en época de estiaje.

- En la tabla 5 y la figura 7, se plasma el promedio de los datos obtenidos en época de lluvia, donde se puede apreciar que el promedio con mayor velocidad del viento se presentó en el turno de la noche con un total de 4.3 m/s y un total de 1303 UFC/m³, siendo esta la menor concentración de microorganismos entre los tres turnos, seguido de la mañana con 4.2 m/s con un total de 1315 UFC/m³ y finalmente el turno tarde con una velocidad de 4 m/s igual a 1501 UFC/m³; se menciona que ninguno de los turnos monitoreados han superado el estándar establecido por la norma, debido a que se presentan promedios de velocidad mayores y constantes a diferencia de la época de estiaje, por lo que se puede decir que a mayor velocidad del viento menor será la concentración de microorganismos bacterianos en el aire; es aceptado que cuanto mayor sea la intensidad del viento, menor será la concentración de contaminación microbiológica en el medio ambiente. Esta asociación generalmente se confirma cuando la fuente está cerca del suelo [23], coincidiendo con los datos de [24] con una velocidad de 5m/s y un total de 950 UFC/m³.

Tabla 5. Comparación de UFC/m³ según la velocidad del viento en época de lluvia.

OCTUBRE - NOVIEMBRE 2022									
TURNOS DE MONITOREO	25/10/2022		12/11/2022		28/11/2022		PROMEDIO		Nivel de contaminación
	VV m/s	UFC/m ³	VV m/s	UFC/m ³	VV m/s	UFC/m ³	VV m/s	UFC/m ³	
MAÑANA	4.5	1200	3.9	1439	4.2	1306	4.2	1315	
TARDE	3.9	1448	3.8	1726	4.2	1330	4.0	1501	2000 UFC/m ³
NOCHE	4.9	900	3.5	1743	4.4	1265	4.3	1303	

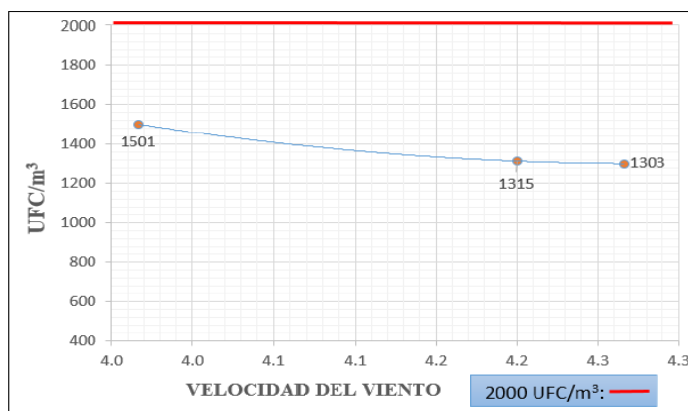


Figura 7. Promedio de UFC/m³ según la velocidad del viento en época de lluvia.

- *Microorganismos en el aire de la PTAR con respecto a la dirección del viento.*
- En la figura 8, se presenta la rosa de vientos de la época de estiaje, mostrando la dirección del viento predominante hacia el sureste (SE) de la PTAR, observando que las zonas más afectadas son las viviendas aledañas donde fueron ubicadas las estaciones de monitoreo, llegando hacia la Institución Educativa Pedro Ortiz Montoya, y parte del barrio Chacapampa, con una velocidad promedio de 1.8 m/s, con un resultado de 2158.6 UFC/m³, dónde [25] afirman que, si la dirección del viento es constante, la misma área está constantemente expuesta a un nivel alto de contaminación, coincidiendo con [26] que menciona que en el centro poblado de Palturo en mes de sequía hubo mayor concentración de microorganismos según la dirección del viento.

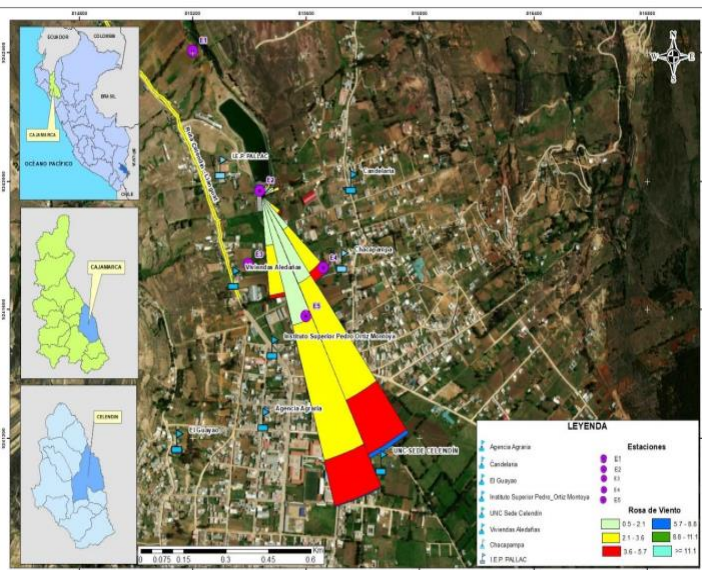


Figura 8. Rosa de vientos en época de estiaje.

- En la figura 9, se puede observar la rosa de vientos de la época de lluvia, mostrándose la dirección del viento predominante hacia el sureste (SE) de la PTAR, donde se puede apreciar que la dirección es la misma que en la época de estiaje y los lugares afectados son los mismos, con una velocidad promedio de 4.1 m/s, y un resultado de 1373 UFC/m³, pero en este caso la concentración de microorganismos es menor debido a la presencia de lluvias, las cuales limpian el proceso de dispersión en el aire, una buena lluvia puede tener un efecto limpiador del aire en un lugar; es por ello que la dirección del viento no afectó en su totalidad a las zonas aledañas a la planta de tratamiento de aguas residuales de la ciudad de Celendín, coincidiendo con los resultados de [27] que mencionan que la concentración de microorganismos monitoreada en los meses de época de lluvia fue menor a la de los meses de época seca según la dirección del viento.

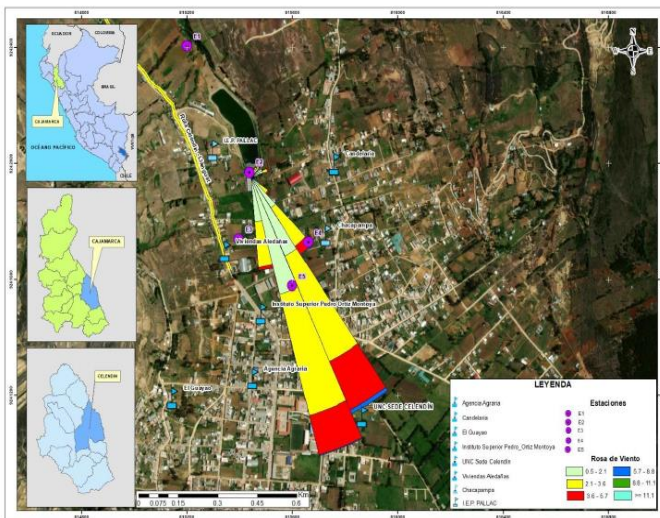


Figura 9. Rosa de vientos en época de lluvia.

- En la tabla 6, se muestra el análisis de la varianza para UFC en época de estiaje, observándose que el valor crítico para F (3.47804969) es menor al F calculado (180.490583) que muestra los datos del ANOVA, lo que expresa que existe diferencia significativa entre los datos obtenidos de las cinco estaciones de monitoreo, indicando una gran variabilidad entre dichas estaciones, es decir que las diferentes distancias de muestreo que se aplicó son importantes para saber el nivel de contaminación bacteriológico del aire en la PTAR y sus zonas aledañas, con un 95% de confiabilidad. El coeficiente de variabilidad es de 6.109874543% debido a que son muestras de campo, siendo este menor al 30% lo que indica que los datos de las muestras dentro de cada estación por repetición son relativamente homogéneos, por lo tanto, la media es representativa, especificando que los datos no se encuentran muy dispersos con relación a la media. En la tabla 11 se muestran los datos experimentales que se utilizaron para realizar el proceso de análisis de la varianza ANOVA.

Tabla 6. Análisis de la varianza ANOVA para UFC en época de estiaje.

Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	Probabilidad	Valor crítico para F
Entre grupos	11899094.4	4	2974773.6	180.490583	0.000000003	3.47804969
Dentro de los grupos	164816	10	16481.6			
Total	12063910.4	14				

$$\text{Coeficiente de variabilidad} = \sqrt{\text{Prom. de cuadrados dentro de los grupos} / \text{Prom. total de los datos}} * 100$$

$$\text{C.V.} = 6.109874543\%$$

- En la tabla 7, se muestra el análisis de la varianza para UFC en época de lluvia, observándose que el valor crítico para F (3.47804969) es menor al F calculado (13.5825592) que muestra los datos del ANOVA, lo que expresa que existe diferencia significativa entre los datos obtenidos de las cinco estaciones de monitoreo, indicando variabilidad entre dichas estaciones, es decir que las diferentes distancias de muestreo que se aplicó son importantes para saber el nivel de contaminación bacteriológico del aire en la PTAR y sus zonas aledañas, con un 95% de confiabilidad. El coeficiente de variabilidad es de 16.38169509% debido a que son muestras de campo, siendo este menor al 30% lo que indica que los datos de las muestras dentro de cada estación por repetición son relativamente homogéneos, por lo tanto, la media es representativa, en esta época los datos tampoco se encuentran muy dispersos con relación a la media, aunque si más dispersos en relación a la época de estiaje. En la tabla 13 se muestran los datos experimentales que se utilizaron para realizar el proceso de análisis de la varianza ANOVA.

Tabla 7. Análisis de la varianza ANOVA para UFC en época de lluvia.

Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	Probabilidad	Valor crítico para F
Entre grupos	2654854.267	4	663713.5667	13.5825592	0.000474050	3.47804969
Dentro de los grupos	488651.3333	10	48865.13333			
Total	3143505.6	14				

❖ Coeficiente de variabilidad = $\sqrt{\text{Prom. de cuadrados dentro de los grupos} / \text{Prom. total de los datos} * 100}$

C.V. = 16.38169509%

D. Tipos de microorganismos (bacterias) colectados en la PTAR y sus alrededores.

- La tabla 8 muestra las siete especies identificadas en las estaciones de monitoreo, especificando que *Escherichia coli* es una bacteria muy dañina para la salud humana, es el patógeno más aislado y puede causar infecciones y heridas del tracto urinario, neumonía, meningitis y septicemia [28] y como menciona [29] *E. coli* causa altos niveles de aire insalubre; para confirmar lo que ha mencionado [30] *Escherichia coli* 51.4%, lo que supone procedencia de saneamientos deficientes por heces al aire libre; *Bacillus spp.* y *Bacillus subtilis* son una bacteria que forma esporas aeróbicas que causan enfermedades en humanos y animales, se presentan en dos formas: ántrax cutáneo y ántrax por inhalación, el cutáneo es una infección de la piel causada por el contacto directo con la bacteria. *Serratia marcescens* corresponde a los bacilos gramnegativos de la familia Enterobacteriaceae.

Este microorganismo tiene una gran capacidad de supervivencia en condiciones hostiles y está implicado en infecciones del tracto respiratorio y urinario, meningitis, endocarditis e inflamación musculo esquelética; *Streptococcus spp.*, seguido de *Staphylococcus aureus*, siendo estas bacterias patógenas que pueden causar enfermedades de la piel, el tracto respiratorio superior y la cavidad oral [31]. *Staphylococcus aureus* sigue siendo una de las causas más comunes de infecciones virales y comunitarias, manifestando una carga alta de morbilidad y mortalidad [32]; *Rhodococcus sp.*, las infecciones por dicha bacteria se localizan principalmente en los pulmones, causando neumonía [33].

La infección también puede causar bacteriemia, artritis séptica, abscesos en órganos (se han descrito varios episodios de absceso cerebral), afectar a heridas e incluso al tracto urinario [34]. Una vez descritas todas las enfermedades causadas por las bacterias encontradas se puede afirmar que estas representan un riesgo para la salud humana y, por lo tanto, para los empleados y las personas que se encuentran a los alrededores de la planta de tratamiento de aguas residuales. En el anexo I se presenta el informe de identificación de bacterias en cada placa de monitoreo según

la época y fecha en la que se muestreó, emitido por el laboratorio de bio análisis InvBiomed de Cajamarca.

Tabla 8. Microorganismos (bacterias) encontradas en la PTAR y sus zonas aledañas.

BACTERIAS AEROBIAS IDENTIFICADAS	
MICROORGANISMO:	<i>Escherichia coli</i>
COLORACIÓN GRAM:	Bacilos Cortos Gram Negativos
MICROORGANISMO:	<i>Bacillus subtilis</i>
COLORACIÓN GRAM:	Bacilos Gram Positivos con endosporas
MICROORGANISMO:	<i>Rhodococcus sp</i>
COLORACIÓN GRAM:	Cocobacilos Gram Positivos
MICROORGANISMO:	<i>Bacillus spp.</i>
COLORACIÓN GRAM:	Bacilos Gram Positivos en cadenas
MICROORGANISMO:	<i>Serratia marcescens</i>
COLORACIÓN GRAM:	Bacilo Gram Negativo
MICROORGANISMO:	<i>Micrococcus sp</i>
COLORACIÓN GRAM:	Cocos Gram Positivos
MICROORGANISMO:	<i>Staphylococcus aureus</i>
COLORACIÓN GRAM:	Cocos Gram Positivos

IV. CONCLUSIONES

- El nivel de contaminación bacteriológico del aire de la PTAR y sus zonas aledañas, supera el estándar establecido por la norma europea 2000 UFC/m³, solo en la época de estiaje con un total de 2101 UFC/m³ a diferencia de la época de lluvia con un promedio total de 1349 UFC/m³; la estación 02 ubicada en la PTAR tuvo una concentración de 3240 UFC/m³ y la estación 01 a 500 metros de la misma tuvo la menor concentración con 780UFC/m³, indicando que a mayor distancia de ubicación de la planta menor será la concentración de microorganismos, esto debido a la dirección y velocidad del viento, estos resultados indican que existe un nivel de contaminación perjudicial tanto para los trabajadores de la planta como para las personas que viven en las zonas aledañas al lugar de estudio.
- La concentración de microorganismos en relación a la humedad relativa tiene un promedio mayor de 76.9 % y un total de 2311 UFC/m³ y un promedio menor de 46.9 % igual a 1879 UFC/m³ en la época de estiaje, demostrándose que a mayor humedad relativa mayor es la cantidad de agentes bacterianos, pero en la época de lluvia pasó algo diferente debido a que se presenta mayor humedad relativa con 85.5 % pero la cantidad de microorganismos es menor con un total de 1409 UFC/m³, concluyendo que en esta temporada la lluvia limpia el aire, por lo que la concentración de microorganismos es menor.
 - La concentración de microorganismos con relación a la velocidad del viento muestra que a menor velocidad del viento se presenta mayor cantidad de agentes bacterianos, en estiaje se tuvo un promedio de 1.1 m/s con 2402 UFC/m³, a diferencia de la época de lluvia donde la velocidad del viento fue mayor con un total de 4.3 m/s y con un total de 1303 UFC/m³ que no supera lo establecido por la norma,

cumpléndose que a mayor velocidad y constancia del viento menor será la concentración de UFC/m³.

- La mayor concentración de microorganismos según la dirección del viento predominante es al sureste (SE) de la PTAR, las zonas más afectadas son las viviendas aledañas donde fueron ubicaron las estaciones de monitoreo 2,3,4, y 5, llegando hacia la Institución Educativa Pedro Ortiz Montoya, parte del barrio Chacapampa, con una velocidad promedio de 1.8 m/s, y un resultado de 2158.6 UFC/m³ en estiaje, determinando que si la dirección del viento es constante, la misma zona está constantemente expuesta a un nivel alto de contaminación.
- Los tipos de microorganismos encontrados fueron siete, mencionando los siguientes: Escherichia coli (Bacilos Cortos Gram Negativos), Bacillus subtilis (Bacilos Gram Positivos con endoesporas), Rhodococcus sp (Cocobacilos Gram Positivos), Bacillus spp. (Bacilos Gram Positivos en cadenas), Serratia marcescens (Bacilo Gram Negativo), Micrococcus sp (Cocos Gram Positivos), Staphylococcus aureus (Cocos Gram Positivos).

AGRADECIMIENTOS

A mi asesor, Ing. M.Cs. Darwin Díaz Mori por su ayuda y asesoramiento brindado durante todo el trabajo realizado.

A mi coasesor, Blgo. M.Cs. Sánchez Peña Marco Alfredo, por su tiempo y paciencia para instruirme en cada proceso

Al ingeniero Efraín Humberto Quintanilla Castro por su ayuda incondicional y sus consejos constructivos durante la ejecución de la investigación

A Leticia, Ximena, Azucena, Chio, Yrma, Wilder, por el apoyo sincero en la ejecución del proyecto.

A los trabajadores de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales de la ciudad de Celendín por permitirme ingresar a las instalaciones de la misma para realizar mis actividades programadas

REFERENCIAS

- [1] Organización Panamericana de la Salud [OPS] (2018). Impactos de la contaminación del aire ambiental exterior en la salud. Oficina Regional para las Américas de la Organización Mundial de la Salud.
- [2] Méndez, C., Camacho, J., Echeverry, S. (2015). Identificación de bacterias y hongos en el aire de Neiva, Colombia. Revista Salud Pública. 17(5):728-737.
- [3] Vivas Saltos, H. T.; Calderón Pincay, J. M.; Delgado Moreira, M. I.; Abril Saltos, R. V. (2021). Caracterización microbiológica del aire en el casco urbano de Calceta, Manabí, Ecuador. *ING. Hidráulica y Ambiental*, VOL. XLII, No. 3
- [4] Méndez, C., Camacho, J., Echeverry, S. (2015). Identificación de bacterias y hongos en el aire de Neiva, Colombia. Revista Salud Pública. 17(5):728-737.
- [5] Yocupicio, L. (2018). Identificación y Cuantificación de Bioaerosoles generados en Sistemas de Tratamiento de Aguas Residuales. [Tesis de posgrado, Universidad Autónoma de Baja California].
- [6] Sánchez, M., Roig, A., Cayuela, M., Stentiford, E. (2006). Emisión de bioaerosoles asociada a la gestión de residuos orgánicos. Revista Ingeniería (10-1):39-47

- [7] Jambo, L., Mendoza, L. (2019). Evaluación de la Calidad Microbiológica del aire en el área de influencia de la Planta de Tratamiento de Residuos Sólidos de Cajamarca, en el periodo 2018 – 2019. [Tesis de pregrado, Universidad Privada del Norte].
- [8] Britania, (2015). Nutritivo Agar, Laboratorio de Britania, Argentina. Rev. 01. www.Britanialab.com
- [9] González, A. (2006). Calidad Bacteriológica en el aire del Centro Histórico de la Ciudad de Guadalajara, Jalisco, México. [Tesis de pregrado Universidad de Guadalajara].
- [10] González, A. (2006). Calidad Bacteriológica en el aire del Centro Histórico de la Ciudad de Guadalajara, Jalisco, México. [Tesis de pregrado Universidad de Guadalajara].
- [11] Mendoza, L., Jambo, L., Sánchez, M., y Velásquez, M. (2020). Evaluación de la calidad microbiológica del aire en el área de influencia de la planta de tratamiento de residuos sólidos de Cajamarca. [Tesis de pregrado, Universidad Privada del Norte].
- [12] González, E., Campo, M. (2016). Evaluación de bioaerosoles desde un relleno sanitario en el departamento del Atlántico. [Tesis de pregrado, Universidad de la Costa].
- [13] Acosta, P.; Zambrano, B. (2019). Evaluación del comportamiento de los bioaerosoles fúngicos en el área de influencia de la estación de calidad del aire ubicada en el parque Tres Ave María de Barranquilla, Atlántico. [Tesis de pregrado, Universidad de la Fuerzas Armadas CUC].
- [14] Quishpe Nasimba, J. P. (2021). Evaluación microbiológica de la calidad del aire en las áreas del Laboratorio de Microbiología del Hospital de Especialidades de las Fuerzas Armadas N°1. [Tesis de pregrado, Universidad de las Fuerzas Armadas].
- [15] Bastidas, Y. y Vaca, J. (2018). Caracterización de microorganismos con actividad antimicrobiana provenientes de suelos de los cantones Quito y Rumiñahui. [Tesis de pregrado, Universidad Politécnica Salesiana sede Quito].
- [16] De la Rosa, M., Mosso, M., Ullán, C. 2002. El aire: hábitat y medio de transmisión de microorganismos. Observatorio Medio Ambiental. Vol. 5 (2002): 375-402.
- [17] Jambo, L., Mendoza, L. (2019). Evaluación de la Calidad Microbiológica del aire en el área de influencia de la Planta de Tratamiento de Residuos Sólidos de Cajamarca, en el periodo 2018 – 2019. [Tesis de pregrado, Universidad Privada del Norte].
- [18] Esteban, M. (2015). Estudio de la dirección de vientos con fines para determinar el impacto de la calidad de aire en la ciudad de cerro de pasco-2014. [Tesis de posgrado, Universidad Nacional Daniel Alcides Carrión].
- [19] Pernilla Cardona, L. L. (2013). Determinación y comparación de la carga fúngica y bacteriana suspendida en el aire de 3 laboratorios microbiológicos ubicados en diferentes zonas del departamento de Guatemala. [Tesis de pregrado, Universidad de San Carlos de Guatemala].
- [20] Jambo, L., Mendoza, L. (2019). Evaluación de la Calidad Microbiológica del aire en el área de influencia de la Planta de Tratamiento de Residuos Sólidos de Cajamarca, en el periodo 2018 – 2019. [Tesis de pregrado, Universidad Privada del Norte].
- [21] Hurtado, L. (2015). Evaluación espacio-temporal de consorcios microbianos en la cuenca atmosférica de la ciudad de Tijuana, B. C. [Tesis de posgrado Universidad de Baja California].
- [22] Venegas, L. y Mazzeo, N. (2012). La velocidad del viento y la dispersión de Contaminantes en la atmósfera. [Tesis de posgrado, Universidad Tecnológica Nacional de Argentina].
- [23] Venegas, L. y Mazzeo, N. (2012). La velocidad del viento y la dispersión de Contaminantes en la atmósfera. [Tesis de posgrado, Universidad Tecnológica Nacional de Argentina].
- [24] González, E., Campo, M. (2016). Evaluación de bioaerosoles desde un relleno sanitario en el departamento del Atlántico. [Tesis de pregrado, Universidad de la Costa].
- [25] Venegas, L. y Mazzeo, N. (2012). La velocidad del viento y la dispersión de Contaminantes en la atmósfera. [Tesis de posgrado, Universidad Tecnológica Nacional de Argentina].
- [26] Jambo, L., Mendoza, L. (2019). Evaluación de la Calidad Microbiológica del aire en el área de influencia de la Planta de Tratamiento de Residuos Sólidos de Cajamarca, en el periodo 2018 – 2019. [Tesis de pregrado, Universidad Privada del Norte].

- [27] Jambo, L., Mendoza, L. (2019). Evaluación de la Calidad Microbiológica del aire en el área de influencia de la Planta de Tratamiento de Residuos Sólidos de Cajamarca, en el periodo 2018 – 2019. *[Tesis de pregrado, Universidad Privada del Norte]*
- [28] Castro, C. (2018). Caracterización de bioaerosoles después de una precipitación pluvial en relación con las infecciones respiratorias agudas en la ciudad de Ayacucho, 2018. *[Tesis de pregrado, Universidad César Vallejo]*.
- [29] Quishpe Nasimba, J. P. (2021). Evaluación microbiológica de la calidad del aire en las áreas del Laboratorio de Microbiología del Hospital de Especialidades de las Fuerzas Armadas N°1. *[Tesis de pregrado, Universidad de las Fuerzas Armadas]*.
- [30] Castro, C. (2018). Caracterización de bioaerosoles después de una precipitación pluvial en relación con las infecciones respiratorias agudas en la ciudad de Ayacucho, 2018. *[Tesis de pregrado, Universidad César Vallejo]*.
- [31] Yocupicio, L. (2018). Identificación y Cuantificación de Bioaerosoles generados en Sistemas de Tratamiento de Aguas Residuales. *[Tesis de posgrado, Universidad Autónoma de Baja California]*.
- [32] Yocupicio, L. (2018). Identificación y Cuantificación de Bioaerosoles generados en Sistemas de Tratamiento de Aguas Residuales. *[Tesis de posgrado, Universidad Autónoma de Baja California]*.
- [33] Pilares Ortega, L. O. (2014). Rhodococcus equi como patógeno humano: diagnóstico, interacción con células no fagocíticas y sensibilidad a antimicrobianos. *[Tesis de posgrado, Universidad de Cantabria Facultad de Medicina Departamento de Biología Molecular]*.
- [34] Pilares Ortega, L. O. (2014). Rhodococcus equi como patógeno humano: diagnóstico, interacción con células no fagocíticas y sensibilidad a antimicrobianos. *[Tesis de posgrado, Universidad de Cantabria Facultad de Medicina Departamento de Biología Molecular]*.