

UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA
FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS
ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INGENIERÍA
AMBIENTAL



TESIS

Nivel de contaminación bacteriológica del aire en la planta de tratamiento de aguas residuales de la ciudad de Celendín y zonas aledañas.

Para obtener el título profesional de:

INGENIERO AMBIENTAL

Presentado por la bachiller:

VILLAR ARAUJO MARIELA ALEXANDRA.

Asesor:

Ing. M.Cs. DÍAZ MORI EDGAR DARWIN.

Coasesor:

Blgo. M.Cs. SÁNCHEZ PEÑA MARCO ALFREDO.

CAJAMARCA – PERÚ

2024



UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA
“NORTE DE LA UNIVERSIDAD PERUANA”
FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS

CONSTANCIA DE ANTIPLAGIO URKUND DE TESIS SUSTENTADA

El que suscribe, Ing. MCs. Edgar Darwin Díaz Mori, en calidad de asesor de la tesis “NIVEL DE CONTAMINACIÓN BACTERIOLÓGICA DEL AIRE EN LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DE LA CIUDAD DE CELENDÍN Y ZONAS ALEDAÑAS”.

CERTIFICA

Se ha realizado al revisión antiplagio URKUND del informe de tesis sustentada, titulada “NIVEL DE CONTAMINACIÓN BACTERIOLÓGICA DEL AIRE EN LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DE LA CIUDAD DE CELENDÍN Y ZONAS ALEDAÑAS”, presentada por la bachiller MARIELA ALEXANDRA VILLAR ARAUJO, identificada con DNI N° 72882551 y habiendo sometido el documento de informe final al software antiplagio autorizado, obteniéndose un porcentaje de 2% de similitud.

Se expide el presente documento, de acuerdo a la Ley, para los fines que el interesado crea conveniente.

Celendín, 21 de agosto del 2023

Atentamente

Ing. MCs. Edgar Darwin Díaz Mori

ASESOR



UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA
"NORTE DE LA UNIVERSIDAD PERUANA"
Fundada por Ley N° 14015, del 13 de febrero de 1962
FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS
Secretaría Académica



ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS

En la ciudad de Celendín, a los ocho días del mes de febrero del año dos mil veinticuatro, se reunieron en el Aula 102 de la Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental - Sede Celendín, los miembros del Jurado, designados según Resolución de Consejo de Facultad N° 525-2023-FCA-UNC, de fecha 18 de diciembre del 2023, con la finalidad de evaluar la sustentación de la TESIS titulada: "NIVEL DE CONTAMINACIÓN BACTERIOLÓGICA DEL AIRE EN LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DE LA CIUDAD DE CELENDÍN Y ZONAS ALEDAÑAS", realizada por la Bachiller MARIELA ALEXANDRA VILLAR ARAUJO para optar el Título Profesional de INGENIERO AMBIENTAL.

A las once horas y cinco minutos, de acuerdo a lo establecido en el Reglamento Interno para la Obtención de Título Profesional de la Facultad de Ciencias Agrarias de la Universidad Nacional de Cajamarca, el Presidente del Jurado dio por iniciado el Acto de Sustentación, luego de concluida la exposición, los miembros del Jurado procedieron a la formulación de preguntas y posterior deliberación. Acto seguido, el Presidente del Jurado anunció la aprobación por unanimidad, con el calificativo de dieciséis (16); por tanto, la Bachiller queda expedita para proceder con los trámites que conlleven a la obtención del Título Profesional de INGENIERO AMBIENTAL.

A las doce horas y treinta y cinco minutos del mismo día, el Presidente del Jurado dio por concluido el Acto de Sustentación.


Ing. M. Cs. Giovana Ernestina Chávez Horna
PRESIDENTE


Ing. M. Sc. Manuel Roberto Roncal Rabanal
SECRETARIO


Ing. M. Cs. Adolfo Máximo López Aylas
VOCAL


Ing. M. Cs. Edgar Darwin Díaz Mori
ASESOR

COPYRIGHT © 2024 by
MARIELA ALEXANDRA VILLAR ARAUJO
Todos los derechos reservados

DEDICATORIA:

A mis padres Yrma Araujo Cáceres y Julio Villar Muñoz, por apoyarme de todas las formas posibles, por su empeño y dedicación para conmigo.

A Ximena Villar Araujo por sus consejos de perseverancia y apoyo emocional.

A Mayra del Carmen y Julio Jesús Villar Araujo por apoyarme en cada paso a seguir en mi vida académica.

A Adriel y Liam Regalado Villar, a Dieguito y Ángel Villar Abanto, por ser mi alegría y motivo de desarrollo personal.

A mis demás familiares y amigos que de alguna manera han sido parte de mi crecimiento profesional para cumplir mis anhelos.

AGRADECIMIENTO

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

CONTENIDO

DEDICATORIA:	v
AGRADECIMIENTO	vi
RESUMEN	xii
ABSTRACT	xiii
CAPÍTULO I	1
INTRODUCCIÓN	1
CAPÍTULO II	4
REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA	4
2.1. Antecedentes	4
2.2. Bases teóricas	9
2.2.1. <i>El origen de los microorganismos</i>	9
2.2.2. <i>Bacterias</i>	10
2.2.3. <i>Patógenos relevantes en salud humana</i>	10
2.2.4. <i>Bioaerosoles</i>	11
2.2.5. <i>La relación entre la atmósfera y los bioaerosoles</i>	11
2.2.6. <i>Influencia de parámetros meteorológicos</i>	12
2.2.7. <i>Infecciones respiratorias bacterianas</i>	13
2.2.8. <i>Norma OS.090</i>	13
2.2.9. <i>Protocolo de monitoreo de aire</i>	13
2.2.10. <i>Norma de comparación para nivel de contaminación bacteriana</i>	14
2.3. Definición de términos básicos	14
2.3.1. <i>Unidades formadoras de colonias</i>	14
2.3.2. <i>Dirección del viento</i>	15
2.3.3. <i>Velocidad del viento</i>	15
2.3.4. <i>Humedad relativa</i>	15
CAPÍTULO III	16
MATERIALES Y MÉTODOS	16
3.1. Ubicación del área de estudio	16
3.2. Descripción de los puntos de muestreo	16
3.3. Método Estadístico utilizado	21
3.4. Materiales	21

3.4.1. <i>Materiales de campo</i>	21
3.4.2. <i>Materiales y equipos de laboratorio</i>	21
3.5. Descripción de la Metodología	22
3.5.1. <i>Preparación del material</i>	22
3.5.2. <i>Preparación del medio de cultivo</i>	22
3.5.3. <i>Método por sedimentación, exposición de las placas petri</i>	24
3.5.4. <i>Monitoreo en la PTAR Celendín</i>	25
3.5.5. <i>Recuento de colonias</i>	25
3.5.6. <i>Tinción Gram</i> :	28
3.5.7. <i>Aislamiento de bacterias en nuevos medios</i>	29
3.5.9. <i>Medición de los parámetros del viento</i>	31
CAPÍTULO IV	32
RESULTADOS Y DISCUSIÓN	32
4.1. Microorganismos en el aire de la PTAR con respecto a la humedad relativa	35
4.2. Microorganismos en el aire de la PTAR con respecto a la velocidad del viento.....	38
4.3. Microorganismos en el aire de la PTAR con respecto a la dirección del viento.	41
4.4. Tipos de microorganismos (bacterias) colectados en la PTAR y sus alrededores.....	45
CAPÍTULO V	48
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	48
5.1. Conclusiones	48
5.2. Recomendaciones.....	49
CAPÍTULO VI.....	51
REFERENCIAS.....	51
CAPÍTULO VII	57
ANEXOS	57
ANEXO I. Informe emitido por el laboratorio clínico de bio análisis InvBiomed de Cajamarca.	58
ANEXO II. Fichas de campo del monitoreo en la planta de tratamiento de aguas residuales de la ciudad de Celendín.	64
ANEXO III. Fotografías de la batería bioquímica (Prueba de indol, manitol, citrato, etc)	66
ANEXO IV. Fotografías de la preparación del material de monitoreo en el laboratorio de la EAPIAC.	67
ANEXO V. Monitoreo en la planta de tratamiento de aguas residuales de la ciudad de Celendín.	70

ANEXO VI. Metodología de tinción de gram para bacterias gram positivas y gram negativas en el laboratorio de la EAPIAC.....	72
ANEXO VII. Cuadro de temperatura en épocas de estiaje y lluvia.....	75
ANEXO VIII. Resultados del monitoreo de los meses de agosto y setiembre, (estiaje).	76
ANEXO IX. Resultados del monitoreo de los meses de octubre y noviembre (lluvia).....	78
ANEXO X. Mapa de cercos vivos para contrarrestar dispersión de bacterias en la PTAR y zonas aledañas.	80

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Niveles de contaminación por agentes bacterianos en el aire.	14
Tabla 2 Coordenadas georreferenciadas de las estaciones.	18
Tabla 3 Esquema de muestreo bacteriológico en tiempo de estiaje y lluvia.	18
Tabla 4 Datos promedio del conteo de colonias en cada estación y fecha de monitoreo.	26
Tabla 5 UFC/m ³ de las épocas de monitoreo y distancias a la PTAR.	33
Tabla 6 Comparación de UFC/m ³ según la humedad relativa en estiaje.	35
Tabla 7 Comparación de UFC/m ³ según la humedad relativa en época de lluvia.	37
Tabla 8 Comparación de UFC/m ³ según la velocidad del viento en época de estiaje.	39
Tabla 9 Comparación de UFC/m ³ según la velocidad del viento en época de lluvia.	40
Tabla 10 Análisis de la varianza ANOVA para UFC en época de estiaje	44
Tabla 11 Datos experimentales en estiaje para la tabla ANOVA	44
Tabla 12 Análisis de la varianza ANOVA para UFC en época de lluvia	45
Tabla 13 Datos experimentales en estiaje para la tabla ANOVA	45
Tabla 14 Microorganismos (bacterias) encontradas en la PTAR y sus zonas aledañas.	47
Tabla 15 Primera ficha de campo.	64
Tabla 16 Segunda ficha de campo.	64
Tabla 17 Tercera ficha de campo.	64
Tabla 18 Cuarta ficha de campo.	65
Tabla 19 Quinta ficha de campo.	65
Tabla 20 Sexta ficha de campo.	65
Tabla 21 Temperatura en tiempo de estiaje.	75
Tabla 22 Temperatura en tiempo de lluvia.	75
Tabla 23 Primera repetición.	76
Tabla 24 Segunda repetición.	76
Tabla 25 Tercera repetición	77
Tabla 26 Cuarta repetición.	78
Tabla 27 Quinta repetición.	78
Tabla 28 Sexta repetición.	79

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Mapa de ubicación del proyecto (PTAR Celendín).	17
Figura 2 Mapa de las estaciones monitoreadas en la PTAR.	19
Figura 3 Rosa de vientos - velocidad y dirección del viento.	20
Figura 4 Rosa de vientos superpuesta en la PTAR Celendín.	20
Figura 5 Crecimiento de colonias en agar MacConkey y nutritivo.	24
Figura 6 Bacteria Escherichia coli.	30
Figura 7 Bacteria Bacillus spp.	30
Figura 8 Bacteria Bacillus subtilis.	30
Figura 9 Bacteria Micrococcus sp.	30
Figura 10 Bacteria Serratia Marcensces.	30
Figura 11 Mapa de calor con niveles de contaminación en las estaciones de monitoreo.	34
Figura 12 Promedio de UFC/m ³ según la humedad relativa en época de estiaje.	36
Figura 13 Promedio de UFC/m ³ según la humedad relativa en época de lluvia.	37
Figura 14 Promedio de UFC/m ³ según la velocidad del viento en época de estiaje.	39
Figura 15 Promedio de UFC/m ³ según la velocidad del viento en época de lluvia.	41
Figura 16 Rosa de vientos en época de estiaje.	42
Figura 17 Rosa de vientos en época de lluvia.	43
Figura 18 Procesos bioquímicos para la identificación de bacterias.	66
Figura 19 Medios con Agares Nutritivo y MacConkey codificados con las muestras.	66
Figura 20 Envoltura de placas Petri, probeta y matraces con papel beige para su esterilización.	67
Figura 21 Colocando el material en la autoclave para su esterilización.	67
Figura 22 Materiales (placas Petri, probeta y matraces) esterilizados.	68
Figura 23 Agares Nutritivo y MacConkey.	68
Figura 24 Placas con medios de agar Nutritivo y MacConkey preparado para el monitoreo.	69
Figura 25 Equipo utilizado para el conteo de colonias.	69
Figura 26 Exposición de las placas Petri al aire libre en la estación E2 entre los RAFA.	70
Figura 27 Exposición de las placas Petri al aire libre en la estación E3 a 100 metros de la PTAR.	70
Figura 28 Toma de datos de la velocidad y dirección del viento con el anemómetro en la PTAR y la estación E3.	71
Figura 29 Codificación de las placas Petri para su posterior identificación.	71
Figura 30 Proceso de tinción de gram con violeta de genciana, lugol, etc.	72
Figura 31 Lavado de la placa con un chorro de agua para seguir el proceso de tinción.	72
Figura 32 Resiembra de colonias para su posterior identificación.	73
Figura 33 Bacterias gram positivas y gram negativas.	73
Figura 34 Conteo de colonias en la placa Petri expuesta al aire en la PTAR.	74
Figura 35 Crecimiento de bacterias en placas con agar Nutritivo y Agar MacConkey.	74

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.

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.

CAPÍTULO 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 (Liu et al., citado por la OPS, 2018, p. 15). La carga microbiana es capaz de crear estructuras especiales que le permite resistir, sobrevivir y propagarse en la atmósfera (Méndez et al., 2015, p. 26). Los microorganismos transportados por el aire, como bacterias, esporas de hongos y patógenos, son componentes importantes directamente relacionados con la contaminación del aire. (Mao et al. 2019 citado por Vivas et al., 2021, p. 30)

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. (Méndez et al., 2015, p. 729)

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). (Sánchez et al., 2007, citado de Yocupicio 2018, p. 58)

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 es por ello que se planteó la siguiente interrogante: ¿Cuál es el nivel de contaminación bacteriológica del aire en la planta de tratamiento de aguas residuales de la ciudad de Celendín y zonas aledañas?

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. (Gerardi y Zimmerman, 2005, citado por Sánchez et al., 2007, p.38)

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.

Teniendo como hipótesis, el nivel de contaminación bacteriológico del aire en la planta de tratamiento de aguas residuales de la ciudad de Celendín y zonas aledañas es muy alto y supera el estándar de comparación propuesto por la Comisión de las Comunidades Europeas, EUR 14988 (2000 UFC/m³)

CAPÍTULO II

REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

2.1. Antecedentes

Jambo y Mendoza (2019) demostraron la contaminación microbiológica del aire en la planta de tratamiento de residuos sólidos de la ciudad de Cajamarca en el período 2018 – 2019. En dos meses de investigación se tomaron un total de 90 muestras en tres turnos en cinco estaciones de medición, teniendo en cuenta las zonas de impacto directo e indirecto, así como mediciones de la proporción de humedad relativa, dirección y velocidad del viento. En septiembre de 2018 se obtuvo un promedio general de 2408 UFC/m³ y en marzo de 2019 un promedio general de 1472 UFC/m³. Se puede afirmar que la norma de calidad propuesta por la Administración de Seguridad y Salud Ocupacional (OSHA, 2001) fue sobrepasada en el mes de septiembre con un valor límite de 2000 UFC/m³. (p.7)

Chuquilín y Rojas (2020) realizaron un monitoreo del aire interior del mercado central de Cajamarca – 2020, con el fin de detectar contaminación microbiana en dicho lugar. Se establecieron cinco puntos dentro del mercado, divididos en P-1 (carne), P-2 (jugo), P-3 (fruta), P-4 (menús y ceviche) y P-5 (artesanía y abarrotés). La norma española (UNE 100012) enumera los estándares de calidad del aire interior con un límite de 800 UFC/m³. Se obtuvo como resultado global medio 806 UFC/m³

en cinco días de seguimiento. Destacando que los datos obtenidos superan el estándar de calidad de la norma UNE 100012. (p.8)

Mansilla Valles (2019) analizó la calidad microbiológica del aire y superficies en interiores del comedor de la Universidad Nacional Agraria de la selva – Tingo María realizó tres muestreos en los meses de junio, agosto y octubre a las 13:00 horas. En el comedor se detectó e identificó contaminación del aire por microorganismos que fueron: *Enterobacter agglomerans*, *Staphylococcus* sp., donde *Staphylococcus* sp. resultó ser la más patogénica. En el comedor se encontraron un total de 8 tipos de bacterias, los cuales son: *Enterobacter agglomerans*, *Enterobacter hafnia*, *Enterobacter* sp, *Klebsiella pneumoniae*, *Proteus morganii*, *Serratia marcescens*, *Staphylococcus* sp, *Lactobacillus* sp. (p.1)

Castro Arostegui (2018) evaluó las propiedades de los bioaerosoles presentes en el aire de la ciudad de Ayacucho; se realizó el método de sedimentación en placas con medios de cultivo como agar nutritivo (bacterias) y Sabouraud (hongos y levaduras). Para las investigaciones microbiológicas se tomaron muestras en tres puntos de la ciudad a diferentes horas del día (9:40, 10:35 y 11:35 de la mañana). El porcentaje promedio de los morfotipos bacterianos aislados con mayor prevalencia en las tres áreas de estudio fue de 18,5% de los géneros *Staphylococcus* y 51,4% de *Escherichia coli*, lo que supone procedencia de saneamientos deficientes por heces en el aire libre. (p.5)

Hurtado Ayala (2015) evaluó el espacio temporal de consorcios microbianos en la cuenca atmosférica de la ciudad de Tijuana, B. C. composición biológica de la calidad del aire, tomó muestras colectadas por impacto con el analizador de aire Millipore M Air T, incubadas y contadas como unidades formadoras de colonias (UFC) bacterias vivas del género y especie, identificación y prueba de bacterias

patógenas en el aire. Los niveles medios de contaminación microbiana en el aire variaron desde un mínimo de 230 ± 130 UFC/m³ en el sitio de la playa de referencia hasta un promedio de 4100 ± 1689 UFC/m³ en el río Tijuana. (p.1)

Gonzales y Campo (2016) determinaron la concentración de bioaerosoles desde un relleno sanitario en el departamento del Atlántico, realizando seis campañas de monitoreo en cuatro puntos en diferentes etapas de tratamiento (celda activa: 1, balsa de lixiviado: 1 y celdas pasivas: 2). Se utilizó un impactador en cascada de 6 etapas, operando durante 5 minutos a un caudal de 28,3 L/min y colocado a una altura de 1,5 m con dos medios: Plate Count Agar para bacterias y Sabouraud Agar para hongos. Se registraron condiciones meteorológicas utilizando el anemómetro KESTREL 4500. La media geométrica máxima para aerobacterias fue de 850.18 UFC/m³ después del mediodía en la cámara activa, mientras que para aerosoles en hongos aparecieron en la mañana en la estación entre las balsas de lixiviación, con una concentración de 382.09 UFC/m³. (p.7)

Yocupicio Yocupicio (2018) identificó bioaerosoles en una planta de tratamiento de aguas residuales convencional en la ciudad de Tijuana. Se realizaron una serie de muestreos en dos plantas de tratamiento de aguas residuales en la ciudad de Tijuana, las muestras se recogieron por impactación usando un instrumento M Air T, las cuales se incubaron inmediatamente para los recuentos posteriores de unidades formadoras de colonias (UFC). El rango medio de UFC/m³ estuvo entre 51653 y 119575. La especie dominante detectada durante el muestreo fue *Shigella* sp., seguida de *Staphylococcus aureus* y *Streptococcus* sp. Las concentraciones más altas de bioaerosoles se encontraron en el proceso de tamizado, durante la compactación de lodos y en el reactor anaeróbico de flujo ascendente. (p.9)

Marcillo García et al. (2021) identificaron las bacterias presentes en el aire del taller de procesos cárnicos de la ESPAM MFL, para posteriormente determinar los posibles riesgos a la salud del personal que labora en dicho lugar. Se realizaron 2 muestreos en siete áreas del taller, según el método de sedimentación por gravedad, el tiempo y el manejo del medio de cultivo Plate Count Agar. La mayor carga microbiana se localizó en el despacho ($2,5 \times 10^2$ UFC/m³) e ingreso de materia prima ($2,7 \times 10^2$ UFC/m³). Se estableció el grado de contaminación del taller, dando como resultado: contaminado en el primer muestreo (1024 UFC/m³) y poco contaminado en el segundo (662 UFC/m³). La identificación de bacterias se efectuó mediante el Agar cristal violeta-rojo neutro-bilid-glucosa para bacterias Gram negativas (*Enterobacteriaceae*), permitiendo observar la presencia de *Enterobacter aeroneges* en los siguientes puntos: ingreso de materia prima y almacenamiento de hielo. Las placas petrifilm staph express para Gram positivas (*Staphylococcaceae*) revelaron la inexistencia de dicho microorganismo. Por medio de la revisión bibliográfica, se determinó que la bacteria encontrada provoca enfermedades como: infección del tracto urinario, diarrea aguda, etc (p.12)

Silva Mateus (2018) buscó determinar la calidad microbiológica de los ambientes en 14 laboratorios de la Universidad de Santander, mediante la identificación de microorganismos, empleando el método de sedimentación en placa, empleando medios de cultivo como Agar Baird Parker, Cetrimide, Chromocult, SPC y Sabouraud para la identificación de *Staphylococcus aureus*, *Pseudomonas spp*, coliformes, aerobios mesófilos, etc. Se evidenció un alto crecimiento de UFC, como hallazgo significativo se resalta la presencia de *Staphylococcus aureus* en más del 50% de los laboratorios, en cuanto a Coliformes se evidenció crecimiento de al menos 1 unidad formadora de colonia en el 70% de los laboratorios. La temperatura y humedad

relativa se encontraban en los niveles adecuados según la normativa en todos los laboratorios. (p.6)

Pernilla Cardona (2013) evaluó el impacto de la contaminación microbiológica del aire exterior sobre el ambiente interior ocupacional de laboratorios de instituciones públicas ubicadas en la ciudad de Guatemala y Bárcenas, se realizó muestreos aereobiológicos durante nueve meses del aire interior y exterior de tres laboratorios microbiológicos; posterior a los muestreos se hizo la evaluación cuantitativa de carga fúngica y bacteriana suspendida en el aire obteniéndose: 790 UFC/m³ y 950 UFC/m³ para la contaminación bacteriana interior y exterior respectivamente; Según la literatura consultada los resultados anteriores pueden considerarse un riesgo para la salud ocupacional. (p. 4-5)

Vivas et al. (2021) caracterizaron microbiológicamente el aire en el casco urbano de Calceta-Manabí en diferentes horas y días. Se establecieron 12 puntos de recolección de datos, el muestreo se realizó durante julio del 2019; se empleó el método de sedimentación en cajas de Petri para la recolección de muestras. Para bacterias se colocó agar nutriente y para hongos agar de extracto de malta. Las cajas Petri fueron colocadas abiertas a una altura de 1,50 m del suelo durante 30 minutos. Se encontró que existe alta concentración bacteriana en los puntos cercanos al mercado central; y menor concentración fúngica. Existe diferencia significativa en la frecuencia de monitoreo, donde la concentración media de UFC/m³ y UPC/m³ es mayor en los fines de semana. (p.29)

Borrego et. al (2008) determinaron la concentración microbiana en el aire de dos depósitos del Archivo Nacional de Cuba, para el aislamiento se emplearon placas de Petri expuestas según la metodología de Omeliansky. Se obtuvieron concentraciones microbianas elevadas en los dos locales y en particular, las de

bacterias fueron significativamente elevados. El género *Aspergillus* predominó en la Fototeca, en tanto, en el depósito 11 fue *Cladosporium*; dentro de *Aspergillus* las especies *A. fumigatus* y *A. flavus* fueron predominantes en ambos depósitos. Se evidenció que los hongos aislados son capaces de producir enfermedades a las personas. Dentro de las bacterias Gram positivas se aislaron los géneros *Staphylococcus*, *Streptococcus*, *Corynebacterium*, *Bacillus* y *Streptomyces* y entre las Gram negativas *Serratia*, *Enterobacter* y *Hafnia*. Se reportan por primera vez en Cuba en ambientes de archivos la presencia de los géneros *Enterobacter* y *Hafnia*. De ellos, *Enterobacter* puede constituir un riesgo significativo para la salud. Mientras que la mayoría de los géneros bacterianos aislados puede afectar a la salud del personal, solo *Bacillus* y *Streptomyces* pueden atacar el papel en condiciones de humedad elevadas.

(p.2)

2.2. Bases teóricas

2.2.1. El origen de los microorganismos

Muchos microorganismos que viven en la hidrósfera y la litósfera se encuentran en el aire. Estos son microbios alóctonos derivados del suelo, el agua y las criaturas que habitan estos entornos. Los microorganismos ingresan a la atmósfera a través del movimiento del aire y los seres vivos. Las esporas y los microorganismos vegetativos a menudo se liberan a la atmósfera como bioaerosoles, que pueden formarse por muchas razones: lluvia, movimiento del agua en ríos y mares, tratamiento de aguas residuales, riego por aspersión, aire acondicionado o secreciones respiratorias de humanos y animales. (Atlas y Bartha, 2002, citado por De la Rosa et al., 2002, p.383)

2.2.2. Bacterias

Por definición, las bacterias son microorganismos unicelulares que se reproducen por fisión binaria, también llamada bipartición. En general, su tamaño es menor que el de una célula eucariota típica (por ejemplo, $0,5 \times 2 \mu\text{m}$ en *Escherichia coli*). (Apella y Araujo, s.f., p.35)

2.2.3. Patógenos relevantes en salud humana

Según Musto Aguilar (2013) muchas de los microorganismos son en toda circunstancia patógenas para el ser humano, es decir su presencia en el organismo desencadena una serie de procesos que llevan insatisfactoriamente al desarrollo de enfermedades. Su entrada directa son las partes mucosas o salivales para lograr invadir nuestro organismo. Entre algunos patógenos existentes tenemos:

2.2.3.1. Cocos grampositivos

Los *cocos grampositivos* son bacterias nutricionalmente poco exigentes; crece en agar sangre como colonias blancas o grises ($>0,5 \text{ mm}$) rodeadas de una zona de beta hemólisis producida por dos hemolisinas, las estreptolisinas S y O. (Lopardo Cisneros, s.f., p.12)

2.2.3.2. *Staphylococcus aureus*

Staphylococcus aureus es un microorganismo que se encuentra ampliamente diseminado en el ambiente ya que posee características particulares de virulencia y resistencia contra antibióticos, por su particularidad es considerada un grave problema de salud, asimismo, *S. aureus* tiene características genéticas que le han permitido convertirse en una de las bacterias más importantes y en causar enfermedades que son transmitidas en la atmósfera. (Zendejas et al., 2014, p.129)

2.2.3.3. *Micrococcus sp*

Micrococcus sp. son bacterias con células esféricas que se pueden agrupar en pares, tétradas o irregularmente. Las colonias están pigmentadas. Son estrictamente aeróbicos, tienen un metabolismo respiratorio con poca o ninguna producción de ácido y crecen bien en medios simples. (Benavides y Hermida, 2008, p.93)

2.2.3.4. *Escherichia coli*

Escherichia coli es un bacilo gramnegativo, anaerobio facultativo, de la familia Enterobacteriaceae, phylum Escherichia. Esta bacteria coloniza el intestino humano a las pocas horas del nacimiento y se considera un microorganismo de la flora normal, pero existen cepas que pueden ser patógenas y causar lesiones que producen diferentes manifestaciones clínicas, entre ellas la diarrea. (Guadalupe Rodríguez, 2002, p.465)

2.2.4. *Bioaerosoles*

Si definimos los bioaerosoles, podemos decir que son partículas microscópicas suspendidas en el aire y por tanto de origen biológico o que pueden afectar al ser humano y provocar algún tipo de alergia, toxicidad o infección. (Sánchez et al., 2006, p.40)

2.2.5. *La relación entre la atmósfera y los bioaerosoles*

En cuanto a la relación entre la atmósfera y los bioaerosoles, se sabe que pueden ser transportados rápidamente y a largas distancias, siendo el movimiento o dirección del viento la mejor forma de dispersión. (Rosa, 2002 citado por Alvarado y Rozo, 2019, p.6)

2.2.6. Influencia de parámetros meteorológicos

2.2.6.1. Temperatura

Está muy relacionada con la humedad relativa, por lo que es difícil separar los efectos que producen ambas. La temperatura en la troposfera varía de 40° C cerca de la superficie a 80° C en las capas altas, alcanzándose temperaturas de congelación entre 3-5 Km. La congelación no destruye los microorganismos, pero no pueden multiplicarse. (Pernilla Cardona, 2013, p.11)

2.2.6.2. Precipitación

Es un factor importante para dar origen a la presencia de bioaerosoles en ambientes exteriores, se sabe que la lluvia genera un lavado atmosférico eliminando así los aerosoles y bioaerosoles suspendidos en el aire al igual que el proceso de la dispersión (ROSA et al., 2002, citado por Castro Arostegui, 2018, p.15)

2.2.6.3. Humedad relativa

Cuando la humedad del aire decrece causa la deshidratación de los microorganismos y por ende la inactivación de muchos de ellos. Los hongos crecen en un mínimo de 65% de humedad mientras que las bacterias requieren mayor humedad (LIDWELL, 2008, citado por Castro Arostegui, 2018, p.16)

2.2.6.4. Velocidad del viento

Cuando la fuente de emisión de contaminantes se ubica en la superficie y las velocidades del viento son bajas, así como la atmósfera es estable; se visualiza una mayor concentración de contaminantes a nivel del suelo. La mayoría de microorganismos soportan un corto desplazamiento de pocos milímetros, algunos soportan largas distancias debido a la hostilidad del hábitat. (ROSA et al., 2002, citado por Castro Arostegui, 2018, p. 17)

2.2.7. Infecciones respiratorias bacterianas

Las bacterias del tipo gram positivas son los patógenos predominantes que afectan el tracto respiratorio, tiene una pared celular más gruesa y es resistente al secado. Los tipos más comunes de IRA son causados por dos tipos de bacterias, especialmente: estreptococos y estafilococos. Enterobacteriaceae se llama Enterobacter, toma el cuerpo humano y el intestino grueso como su hábitat, es importante nombrar Escherichia coli en esta familia porque es el patógeno humano más aislado y puede causar infecciones y heridas del tracto urinario, neumonía, meningitis y septicemia. (Castro Arostegui, 2018, p.18)

2.2.8. Norma OS.090

Está relacionada con las instalaciones que requiere una planta de tratamiento de aguas residuales municipales y los procesos que deben experimentar las aguas residuales antes de su descarga al cuerpo receptor o a su reutilización. Los sistemas de lagunas deben ubicarse en un área suficientemente extensa y fuera de la influencia de cauces sujetos a torrentes y avenidas, y en el caso de no ser posible, se deberán proyectar obras de protección. El área deberá estar lo más alejada posible de los centros poblados, recomendándose las siguientes distancias: 500 m como mínimo para tratamientos anaerobios; 200 m como mínimo para lagunas facultativas; 100 m como mínimo para sistemas con lagunas aireadas; y 100 m como mínimo para lodos activados y filtros percoladores. (OS.090, 2009, p.23)

2.2.9. Protocolo de monitoreo de aire

El protocolo de monitoreo de la calidad del aire y gestión de los datos menciona que la altura de muestreo debe estar entre 1.5 y 3.5 metros sobre el nivel del piso. Una altura de 1.5 metros se utiliza para estimar exposiciones potenciales del ser humano a situaciones de gran carga. (DIGESA, 2005, p.21)

2.2.10. Norma de comparación para nivel de contaminación bacteriana

Los valores obtenidos de las unidades formadoras de colonias se compararon con este estándar de referencia interior ya que no existe un estándar establecido para espacios al aire libre proporcionado por la Comisión de las Comunidades Europeas EUR 14988 - Acción de la Comunidad Europea "Calidad del aire interior e impactos humanos". (ex proyecto COST 613): Partículas biológicas en ambientes interiores (CCE, 1993, p.35) que propone una categoría de contaminación bacteriana muy alta de ($\text{UFC}/\text{m}^3 > 2000$), indicando que si se supera este estándar se trata de un ambiente contaminado, contaminación que pone en riesgo la salud de los empleados y de las personas colindantes a las inmediaciones de la planta.

Tabla 1

Niveles de contaminación por agentes bacterianos en el aire.

Nivel de contaminación del aire	UFC/m³ bacterias
muy bajo	UFC/m ³ bacteria <50
bajo	UFC/m ³ bacteria <100
intermedio	UFC/m ³ bacteria <500
alto	UFC/m ³ bacteria <2000
muy alto	UFC/m ³ bacteria >2000

Fuente: EUR 14988 - Acción de colaboración europea "La calidad del aire interior y su impacto en el hombre" (anteriormente proyecto COST 613): Partículas biológicas en ambientes interiores (CCE, 1993, p.43).

2.3. Definición de términos básicos

2.3.1. Unidades formadoras de colonias.

Las unidades formadoras de colonias pueden ser pares, cadenas o racimos, así como células individuales y se miden en UFC/m^3 . (Amado, 2018, p.12)

2.3.2. Dirección del Viento

Es un movimiento de aire, los vientos se nombran por la dirección en la que soplan. Entonces podemos hablar de vientos del oeste, vientos del este, vientos del noreste, etc. En meteorología, comúnmente se nombran los vientos según su fuerza y la dirección desde la que soplan. (Esteban Evangelista, 2015, p. 16)

2.3.3. Velocidad del viento

La velocidad del viento es el que mide la componente horizontal del desplazamiento del aire en un punto y en un instante determinado. Su medida se realiza a través de un anemómetro, y la unidad de medición es habitualmente metros por segundo (m/s). Las ausencias de viento se denominan calmas. (Jambo y Mendoza, 2018, p. 26)

2.3.4. Humedad relativa

La humedad relativa se define como la que mide la cantidad de agua en el aire en forma de vapor, comparándose con la cantidad máxima de agua que puede ser mantenida a una temperatura dada. (Jambo y Mendoza, 2018, p.27)

CAPÍTULO III

MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. Ubicación del área de estudio

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 ubicada en el barrio de Pallac, a 2,5 km de la plaza principal. Para llegar hay que pasar por la Escuela Primaria Pallac y el Parque Pachacútec, ver figura 1.

3.2. Descripción de los puntos de muestreo

Se consideró cinco estaciones de monitoreo en las cuales se instaló 15 placas distribuidas en tres muestreos, en el transcurso del día (mañana, tarde y noche) E01: fue considerada como punto testigo, dicha estación se ubicó a 500 metros de distancia al Noroeste de la planta; según lo estipula la Norma OS.090, E02: esta estación se ubicó entre el RAFA y la laguna de oxidación, teniendo en consideración la dirección y velocidad del viento; E03, E04 y E05 estos puntos fueron ubicados a 100, 200 y 300 metros respectivamente al Sureste de la PTAR, según la rosa de vientos elaborada, ver figura 4.

Figura 1

Mapa de ubicación del proyecto (PTAR Celendín).

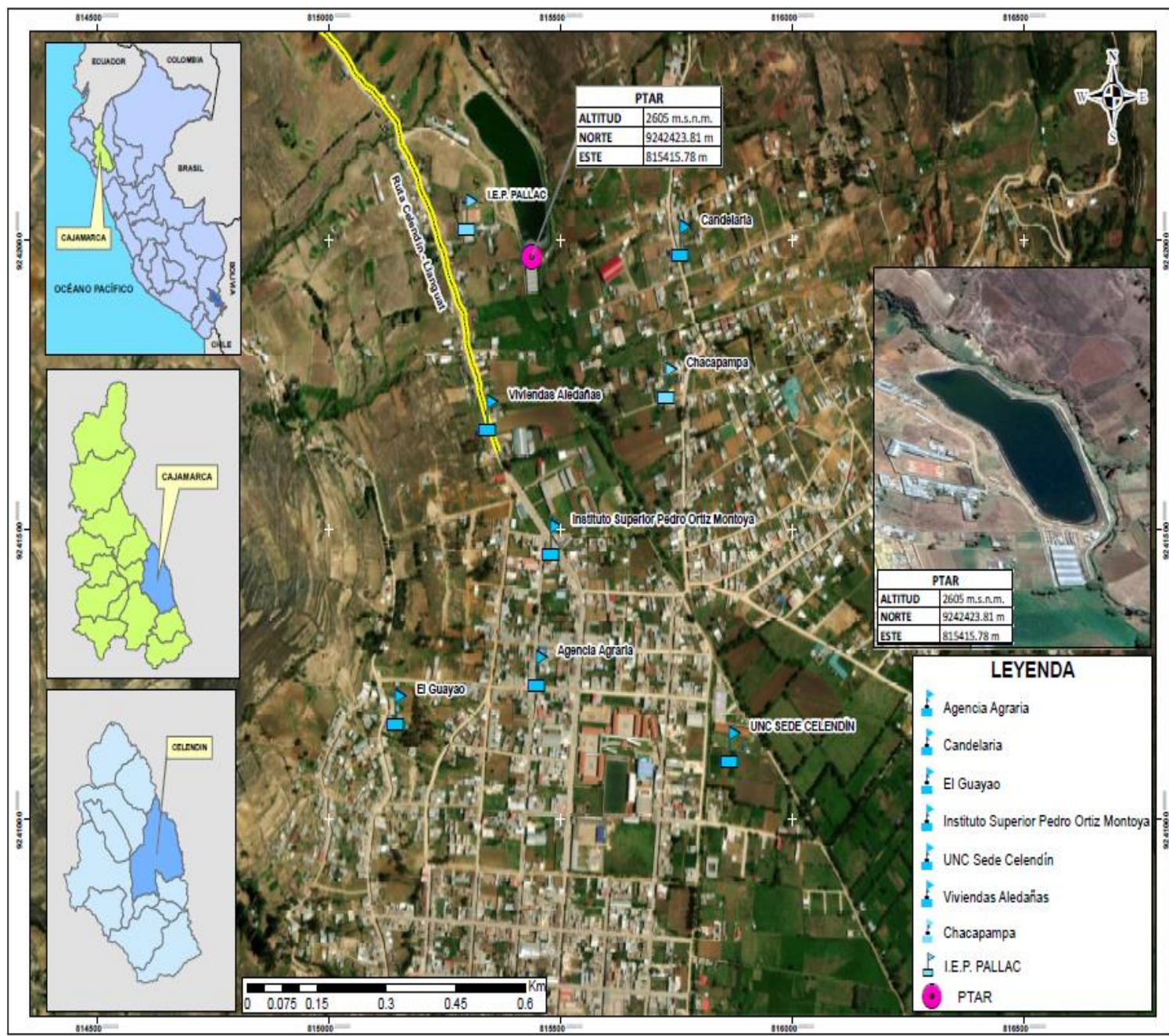


Tabla 2

Coordenadas georreferenciadas de las estaciones.

ESTACIONES DE MONITOREO	COORDENADAS UTM	
	ESTE	NORTE
E - 01 a 500 metros al Noroeste de la PTAR	815201	9242407
E - 02 PTAR	815437	9241973
E - 03 a 100 metros al Sureste de la PTAR	815398	9241743
E - 04 a 200 metros al Sureste de la PTAR	815661	9241732
E - 05 a 300 metros al Sureste de la PTAR	815600	9241580

Tabla 3

Esquema de muestreo bacteriológico en tiempo de estiaje y lluvia.

MONITOREOS							
ESTACIONES	1° monitoreo 25/08/2022	2° monitoreo 12/09/2022	3° monitoreo 28/09/2022	4° monitoreo 25/11/2022	5° monitoreo 12/12/2022	6° monitoreo 28/12/2022	Frecuencia
E - 01							
E - 02	Mañana Tarde Noche	Mañana Tarde Noche	Mañana Tarde Noche	Mañana Tarde Noche	Mañana Tarde Noche	Mañana Tarde Noche	Cada 15 días
E - 03							
E - 04							
E - 05							
Total				45			

- Los monitoreos realizados fueron durante los meses de agosto y setiembre para (estiaje) y noviembre y diciembre para (lluvia), contando con tres repeticiones por época, realizado cada quince días por repetición.

Figura 2

Mapa de las estaciones monitoreadas en la PTAR.

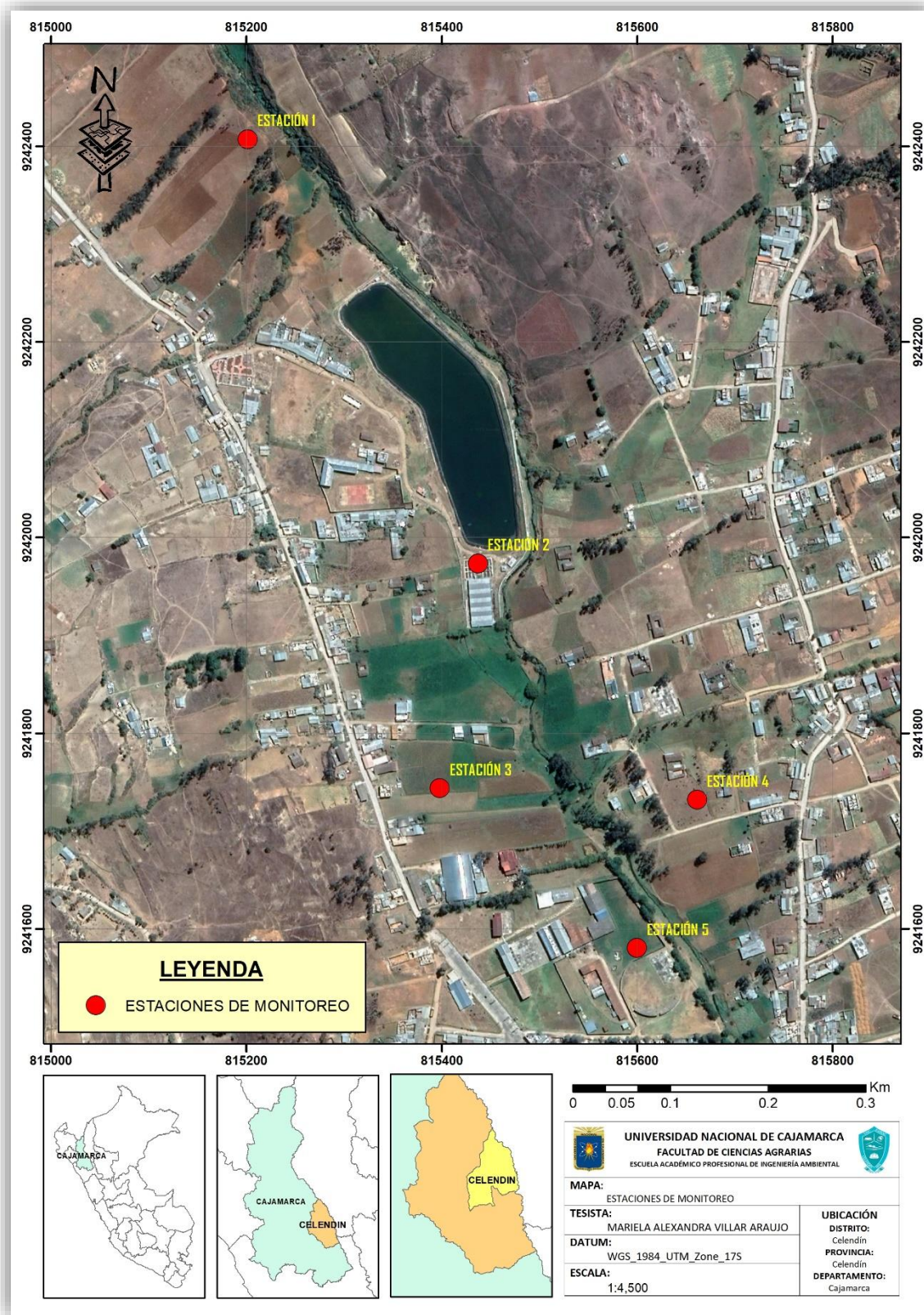
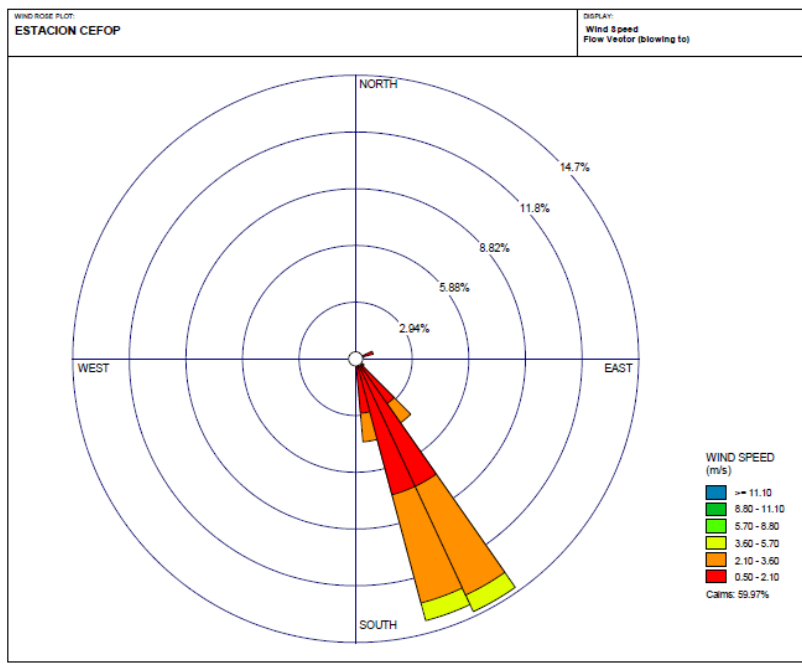


Figura 3

Rosa de vientos - velocidad y dirección del viento.

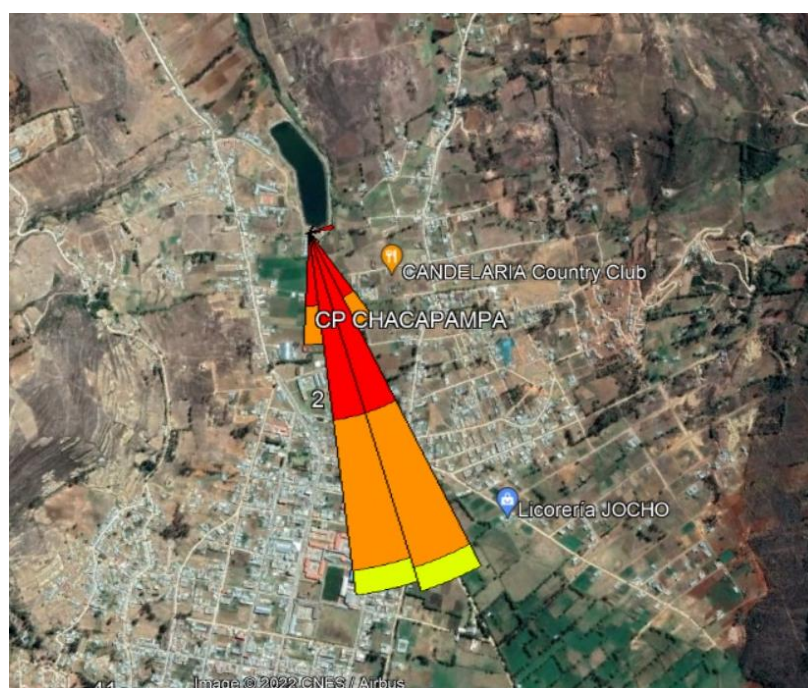


Nota: Datos tomados del SENAMHI – (Período de Julio – diciembre 2022)

Estación meteorológica CEFOP – Celendín.

Figura 4

Rosa de vientos superpuesta en la PTAR Celendín.



3.3. 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. (IBM, 2013, citado por Jambo y Mendoza, 2018, p.40)

3.4. Materiales

3.4.1. Materiales de campo

- Placas petri
- Cámara fotográfica CANON ESO T7
- Cooler
- Anemómetro
- GPS Garmin GPSMAP 64s Etrex 32X
- Repisa de madera
- Cuaderno de campo
- Lápices, lapiceros
- Impresora EPSON L5290
- Laptop TOSHIBA PSZ20U-2DM01P

3.4.2. Materiales y equipos de laboratorio

- Agar Nutritivo
- Agar MacConkey
- Láminas porta y cubre objetos

- Matraces Erlenmeyer
- Estufa
- Asa bacteriológica
- Mechero
- Fósforo
- Alcohol.
- Balanza.
- Microscopio.
- Agua destilada.
- Contador de colonias BC-50 de Bio

3.5. Descripción de la Metodología

3.5.1. 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.

3.5.2. 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.

3.5.1.1. 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 (Britania, 2015, p.1).

3.5.1.2. 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. (Britania, 2015, p.1)

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.

3.5.3. 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. (Rosas, 2003, p.50, citado por Gonzáles, 2006, p.11), 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). (Rosas, 2003, como se citó en Gonzáles, 2006, p.1)

Figura 5

Crecimiento de colonias en agar MacConkey y nutritivo.



3.5.4. 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 EAPIAC, ver ficha de campo en el anexo II.

3.5.5. 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). (Mendoza et al., 2020, p.3). Las unidades formadoras de colonias se contaron considerando las propiedades macroscópicas de las colonias como color, forma, bordes y apariencia. (Arias y Piñeros, 2008, citado por Acosta y Zambrano, 2019, p.51)

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.

Tabla 4

Datos promedio del conteo de colonias en cada estación y fecha de monitoreo.

Unidades formadoras de colonias						
Monitoreos	1°	2°	3°	4°	5°	6°
E-01	6.63	4.75	5.69	4.74	3.79	4.73
E-02	27.54	26.60	25.62	14.26	12.38	14.25
E-03	24.68	25.64	23.76	16.16	10.46	14.24
E-04	17.12	18.06	19.95	15.22	12.36	13.30
E-05	13.33	13.32	15.21	14.26	9.54	12.35

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 (Plekhanov, 2012; UTP, 2011, citado por Quishpe Nasimba, 2021, p.64).

$$X = \frac{UFC}{L} \times \left(\frac{1000L}{1 m^3} \right) = \left(\frac{UFC}{m^3} \right)$$

Entonces:

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

Donde:

X: número de microbios en 1 m³ (1000 L) de aire.

A: número de colonias que crecieron en el agar de la placa.

T: tiempo de la caja Petri abierta o tiempo de exposición (minutos).

B: área de superficie del agar en la placa Petri (cm²). Área de la circunferencia ($\pi*r^2$)

5: tiempo de exposición calculado por Omelyansky (minutos).

10: volumen de aire, a partir del cual se asentaron los microbios (L).

100: área del plato en la que se asentaron los microbios (cm²).

1000: volumen de aire requerido o deseado en litros (L), es decir 1 m³ (Borisovich, 2018; Ataniyazov, 2012, citado por Quishpe Nasimba, 2021, p.64).

Se pueden utilizar placas de diferentes diámetros, por lo que es necesario recalcular el área de la placa. Para el área de nuestra placa de Petri utilizada se calculó 85 cm² (ver ecuación 1.) Se obtuvo 6.63 colonias promedio en la estación 01, la estación 02 con 27.54 colonias y así sucesivamente en todas la estaciones y fechas de monitoreo, los resultados generales se especifican en la tabla 5, calculando de la siguiente manera en la fórmula:

Se aplica entonces:

$$1^{\circ} \text{ Monitoreo - Estación 01: } X = \frac{6.63 \text{ UFC} * 100 \text{ cm}^2 * 1000 \text{ L} * 5 \text{ min}}{85 \text{ cm}^2 * 10 \text{ L} * 5 \text{ min}} = 780 \text{ UFC/m}^3$$

$$1^{\circ} \text{ Monitoreo - Estación 02: } X = \frac{27.54 \text{ UFC} * 100 \text{ cm}^2 * 1000 \text{ L} * 5 \text{ min}}{85 \text{ cm}^2 * 10 \text{ L} * 5 \text{ min}} = \mathbf{3240 \text{ UFC/m}^3}$$

$$1^{\circ} \text{ Monitoreo - Estación 03: } X = \frac{24.68 \text{ UFC} * 100 \text{ cm}^2 * 1000 \text{ L} * 5 \text{ min}}{85 \text{ cm}^2 * 10 \text{ L} * 5 \text{ min}} = \mathbf{2904 \text{ UFC/m}^3}$$

Ecuación 1.

Área de la circunferencia ($\pi*r^2$)

$$A = 3.1415 * (5.2)^2$$

$$A = 84.94 \text{ cm}^2 = \mathbf{85 \text{ cm}^2}$$

Donde:

π : 3.1415

r: radio de la placa petri (5.2 cm²)

3.5.6. 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 (Bastidas y Vaca, 2018, p.23) sugirió:

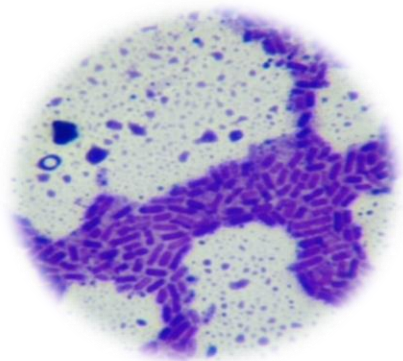
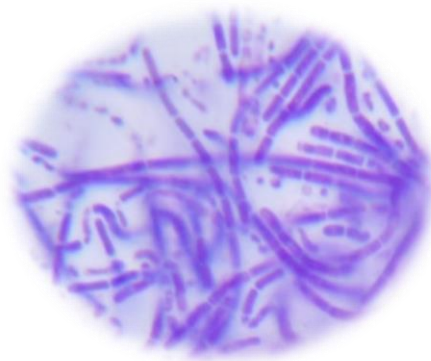
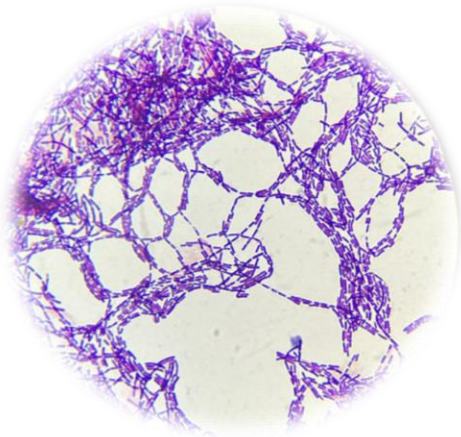
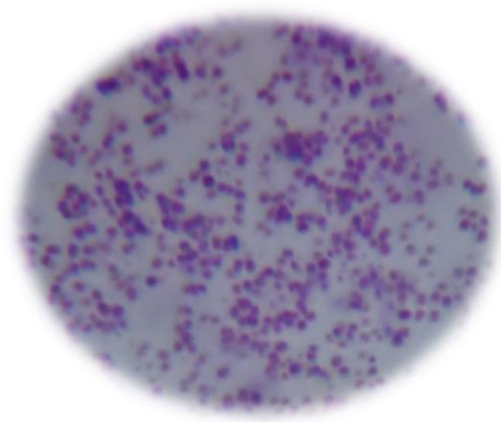
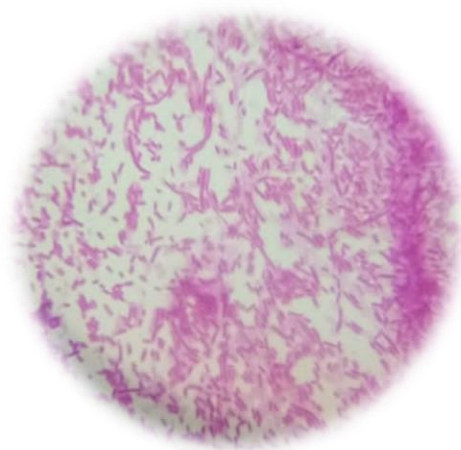
- En una lámina porta objeto limpio se colocó una gota de agua destilada con un asa de siembra redonda.
- Con la misma asa se tomó un poco de la cepa contenida dentro de la placa Petri y se extendió sobre la porta objeto.
- Cuando la muestra estuvo bien extendida se la secó en el mechero, pasándola ligeramente por él.
- Luego se colocó cristal violeta por un minuto y se enjuagó ligeramente la lámina porta objeto ver anexo VI.
- Se colocó lugol por treinta segundos, se enjuagó ligeramente
- Se colocó el alcohol acetona por quince segundos, se enjuagó nuevamente.
- Por último, se agregó safranina por un minuto o dos y se enjuagó nuevamente; se secó con la ayuda del mechero la lámina porta objetos.
- Una vez seca la muestra, se pasó a observar en el microscopio con aceite de inmersión a 1000 aumentos.

- Luego se llevó al microscopio para determinar, el Gram del microorganismo (Gram-positivas, de color violeta azulado, y Gram-negativas, de color granate o rojo-rosado) y sus características morfológicas.

3.5.7. 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.

- Para ello se tomó una muestra de cada colonia de acuerdo al color, tamaño y forma; con la ayuda de un mechero y un asa bacteriológica se retiró la muestra de cada placa Petri, esterilizando antes el asa para evitar cualquier tipo de contaminación dentro de la placa.
- Luego se sembró en un nuevo medio, grampositivos en agar nutritivo y gramnegativo en agar MacConkey, las colonias se incubaron durante 48 horas y luego se transportaron al laboratorio bio analítico InvBiomed en la ciudad de Cajamarca, donde se realizó la identificación mediante pruebas bioquímicas que permitieron determinar las propiedades metabólicas de la bacteria a identificar. Algunas de estas pruebas son técnicas rápidas porque evalúan la presencia de una enzima preformada y su lectura varía desde unos segundos hasta varias horas (Cercenado y Cantón, 2010, p.6). Para la identificación se han utilizado la prueba de citrato, la prueba de indol, la prueba de manitol y similares, como se indica en el anexo III.

Figura 6*Escherichia coli***Figura 7***Bacillus spp.***Figura 8***Bacillus subtilis***Figura 9***Micrococcus sp***Figura 10***Serratia Marcensces*

3.5.9. 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), para ello se realizó lo siguiente:

- Se instaló el anemómetro LUTRON LM - 8010 en un trípode que sostenga el equipo a una altura de 1.5 m sobre el suelo, se monitoreó durante 5 minutos aproximadamente para esperar a tomar los datos, se colocó una veleta para obtener la dirección del viento y se procedió a recopilar la información en una tabla de Excel específica para cada parámetro, ver imagen en el anexo VII.
- El equipo fue instalado en las cinco estaciones donde se realizó el monitoreo, a 100, 200, 300, 500 metros de la planta y entre el RAFA de la PTAR – Celendín, evitándose las obstrucciones de viviendas o infraestructuras que pudieran haber impedido la toma de datos correctamente.
- Con los datos obtenidos se realizó la rosa de vientos por temporada (estiaje y lluvia), para su posterior descripción; esta información es importante ya que es a través del viento que los microorganismos se aerotransportan, nos ayudó para la interpretación de los resultados obtenidos.

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

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

En la tabla 5, 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 (Jones & Harrison, 2 003); a diferencia de la temporada de lluvia donde las precipitaciones pluviales atenúan grandes concentraciones de microorganismos en el aire (Rosa et al. 2002, p.15), coincidiendo con los resultados de (Jambo y Mendoza, 2019, p.7) época seca con un promedio de 2408 UFCm³ 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

(Esteban Evangelista, 2015, p.16)

Tabla 5

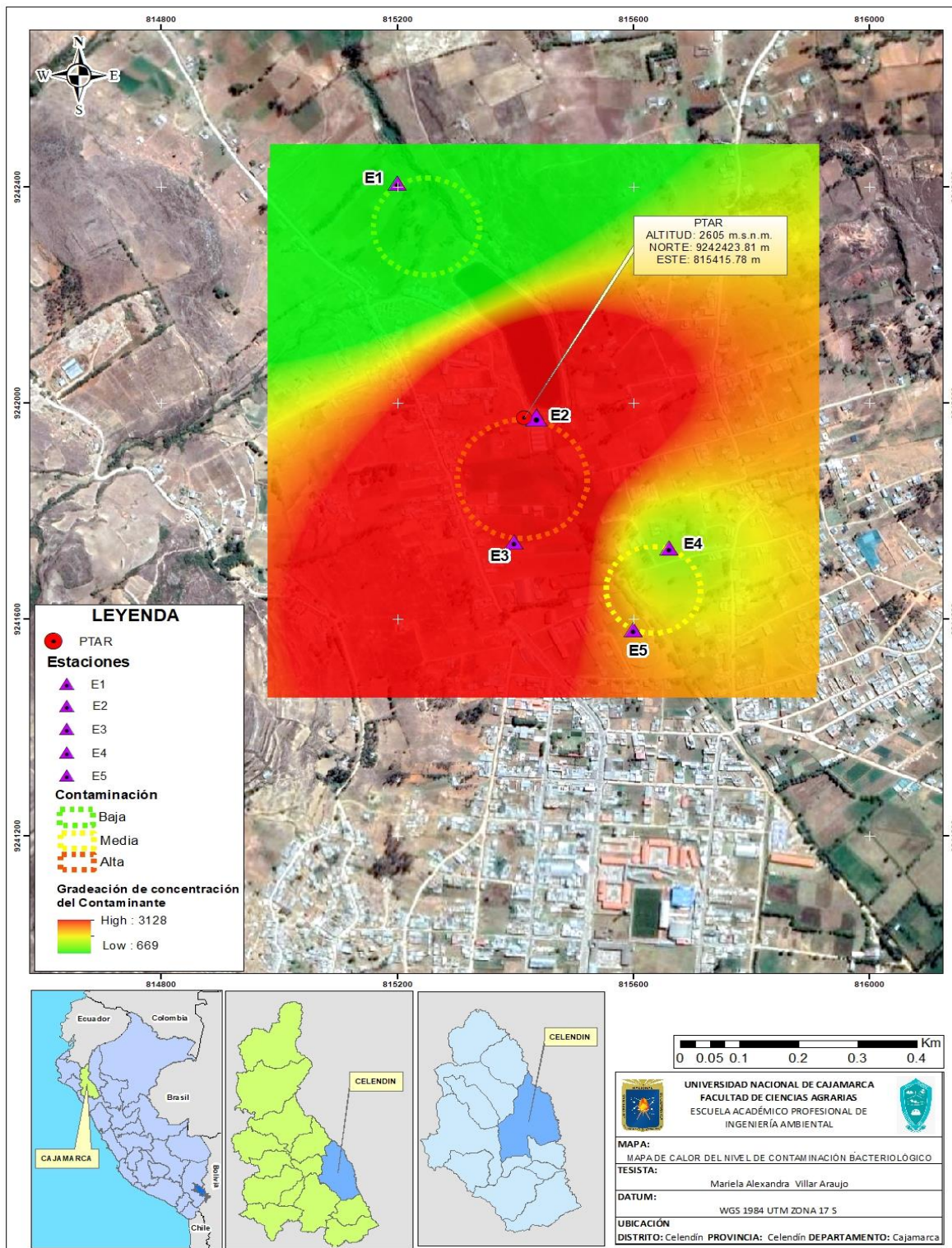
UFC/m³ de las épocas de monitoreo y distancias a la PTAR.

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	
E - 4 (A 200 metros de la PTAR)	2014	2125	2347	1791	1454	1565	2000 UFC/m ³
E - 5 (A 300 metros de la PTAR)	1568	1567	1789	1678	1122	1453	
PROMEDIO TOTAL DE ufc/m³	2101	2080	2123	1521	1142	1385	
		2101			1349		2000 UFC/m ³ Muy alto

Nota: Los valores especificados en negrita son aquellas que sobrepasan el estándar de comparación con la Norma de la Comisión de las Comunidades Europeas (2000 UFC/m³).

Figura 11

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



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

En la tabla 6 y la figura 12, 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 (Pernilla Cardona, 2013, p.11) mostrándose así que a mayor humedad relativa mayor cantidad de UFC, coincidiendo con los resultados de (Jambo y Mendoza, 2019, p.64), 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 6

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

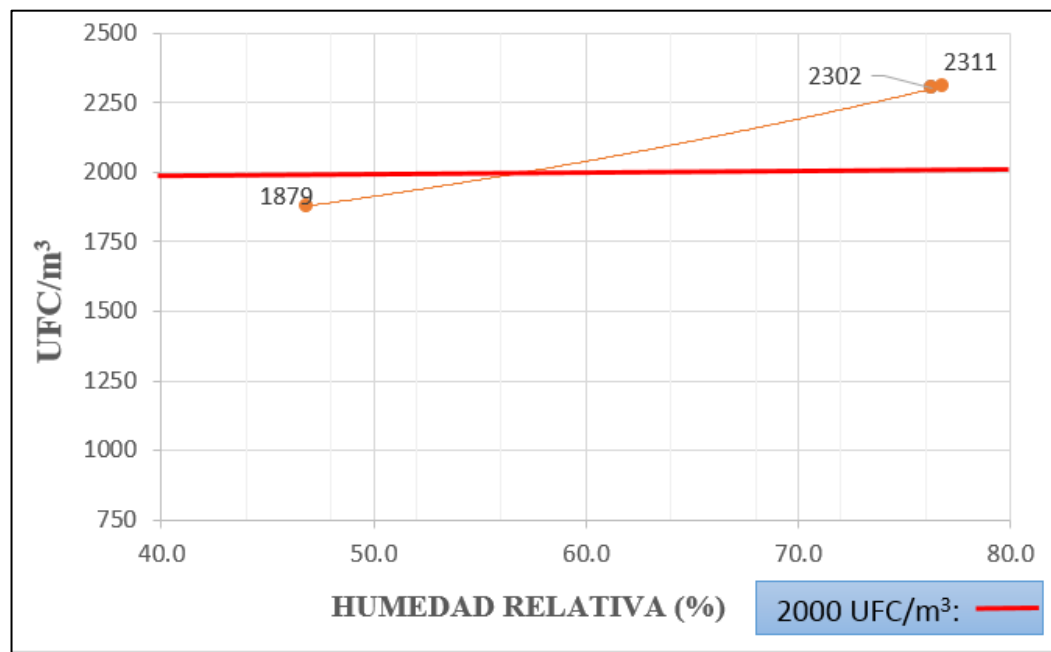
AGOSTO - SETIEMBRE 2022 (ESTIAJE)									
TURNOS DE MONITOREO	MONITOREOS - TURNOS								Nivel de contaminación
	25/08/2022		12/09/2022		28/09/2022		PROMEDIO		
	% HR	UFC/m ³	% HR	UFC/m ³	% HR	UFC/m ³	% HR	UFC/m ³	
MAÑANA 06:00 - 8:00 am	71.6	2145	78.6	2347	78.8	2413	76.3	2302	
TARDE 1:00 - 3:00 pm	48.3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

Nota: Los valores especificados en negrita son aquellas que sobrepasan el estándar de

comparación con la Norma de la Comisión de las Comunidades Europeas (2000 UFC/m³).

Figura 12

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



En la tabla 7 y figura 13, 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 (Pyankov et al. 2007, citado por Hurtado Ayala, 2015, p.20) 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.

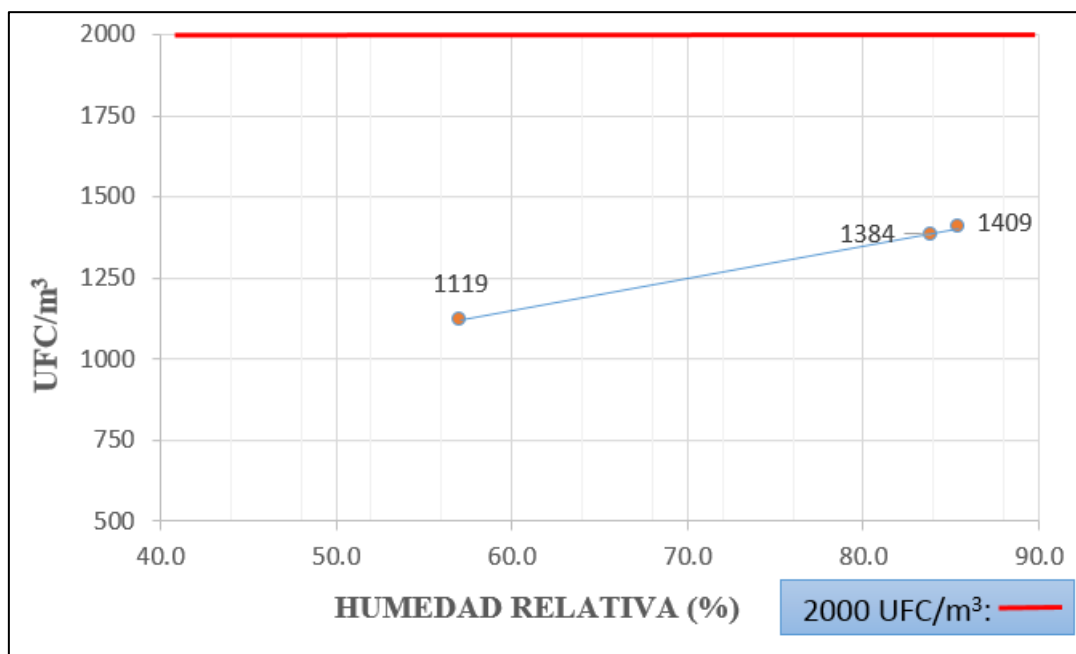
Tabla 7

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

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

Figura 13

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



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

En la tabla 8 y la figura 14, 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 (Ediagbonya et al. 2013, citado por Ramos, 2022, p37); velocidades de viento inferiores a 3,1m/s suele favorecer la acumulación de contaminantes atmosféricos según (Hosler, 2001, citado Ramos, 2022, p.38); 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 (Turner y Schulze, 2007, citado por Venegas y Mazzeo 2012, p.3), difiriendo con los resultados de. (Yocupicio Yocupicio, 2018, p.49), que en verano no presentó la mayor cantidad de microorganismos, sino que fue en la estación de otoño, con un total de 34962 UFC/m³ y una velocidad del viento de 4.7 m/s.

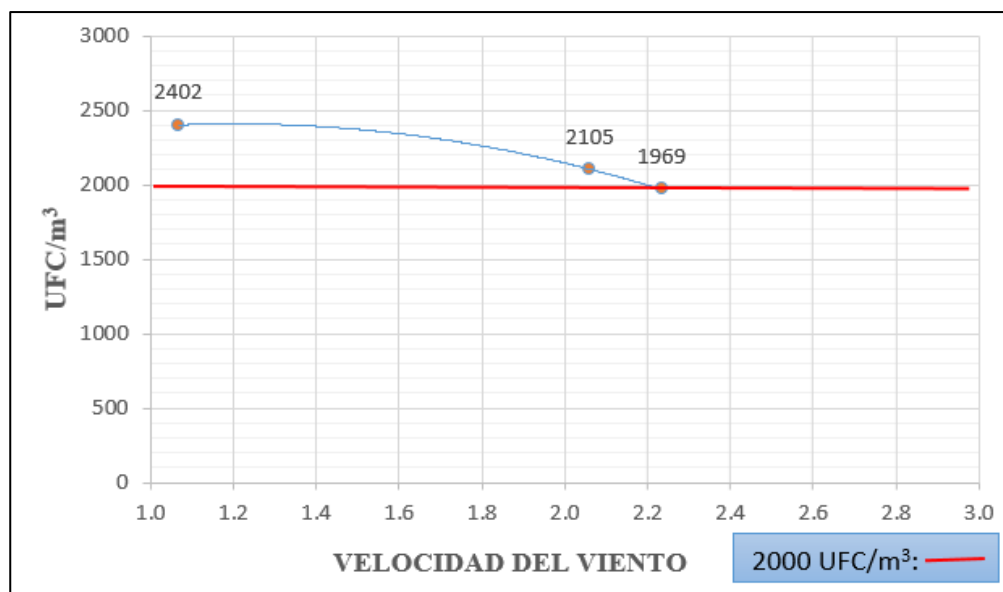
Tabla 8

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 14

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



En la tabla 9 y la figura 15, 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. (Venegas y Mazzeo 2012, p.2), coincidiendo con los datos de (Gonzales Vallejo, 2016, p.38) con una velocidad de 5m/s y un total de 950 UFC/m³.

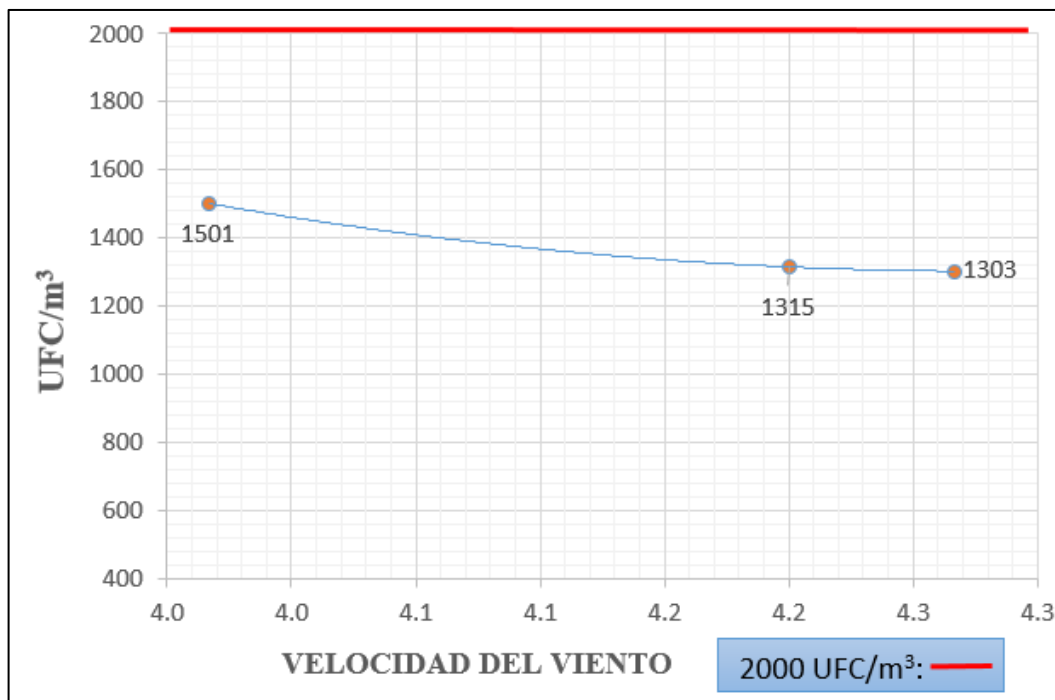
Tabla 9

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	

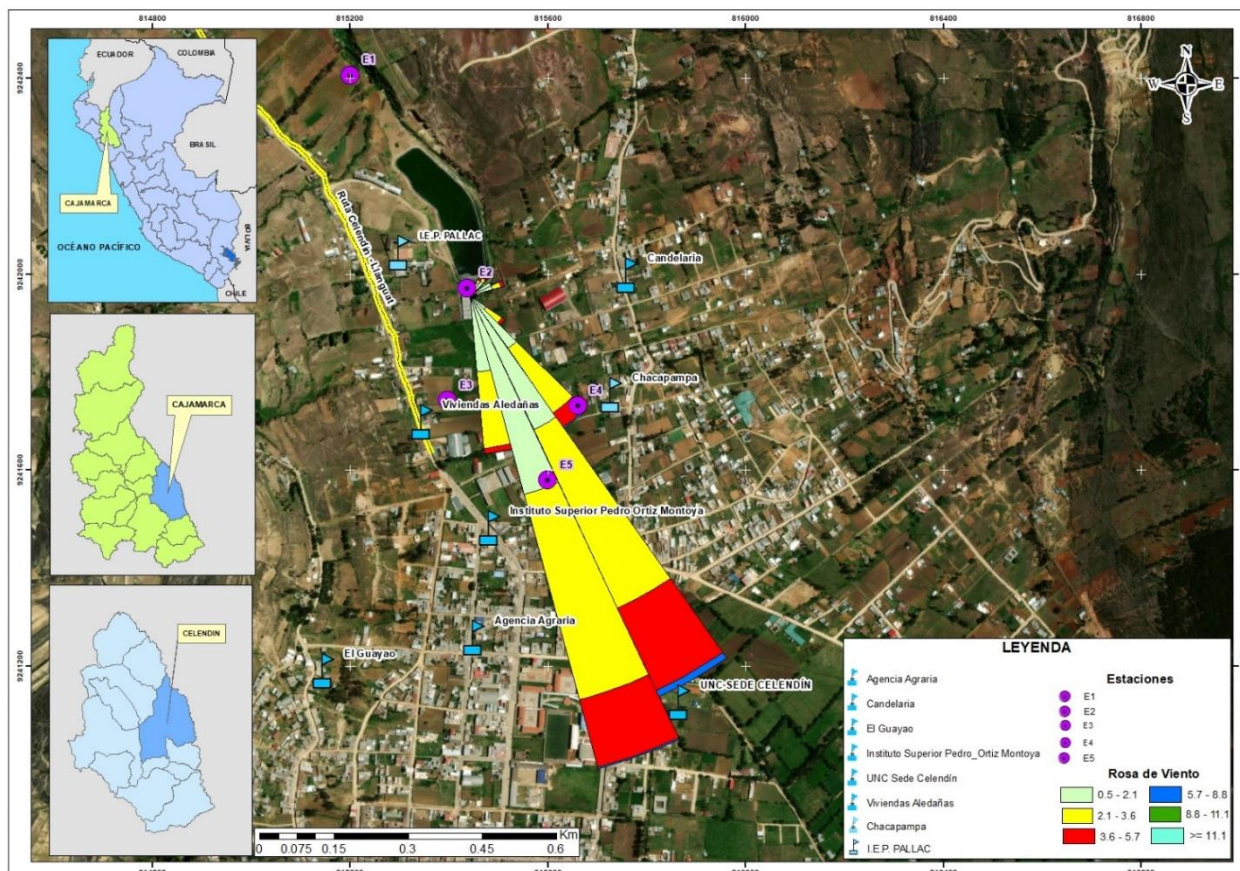
Figura 15

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



4.3. Microorganismos en el aire de la PTAR con respecto a la dirección del viento.

En la figura 16, 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 (Venegas y Mazzeo, 2012, p.4) afirman que, si la dirección del viento es constante, la misma área está constantemente expuesta a un nivel alto de contaminación, coincidiendo con (Jambo y Mendoza, 2018, p.66) que menciona que en el centro poblado de Palturo en mes de sequía hubo mayor concentración de microorganismos según la dirección del viento.

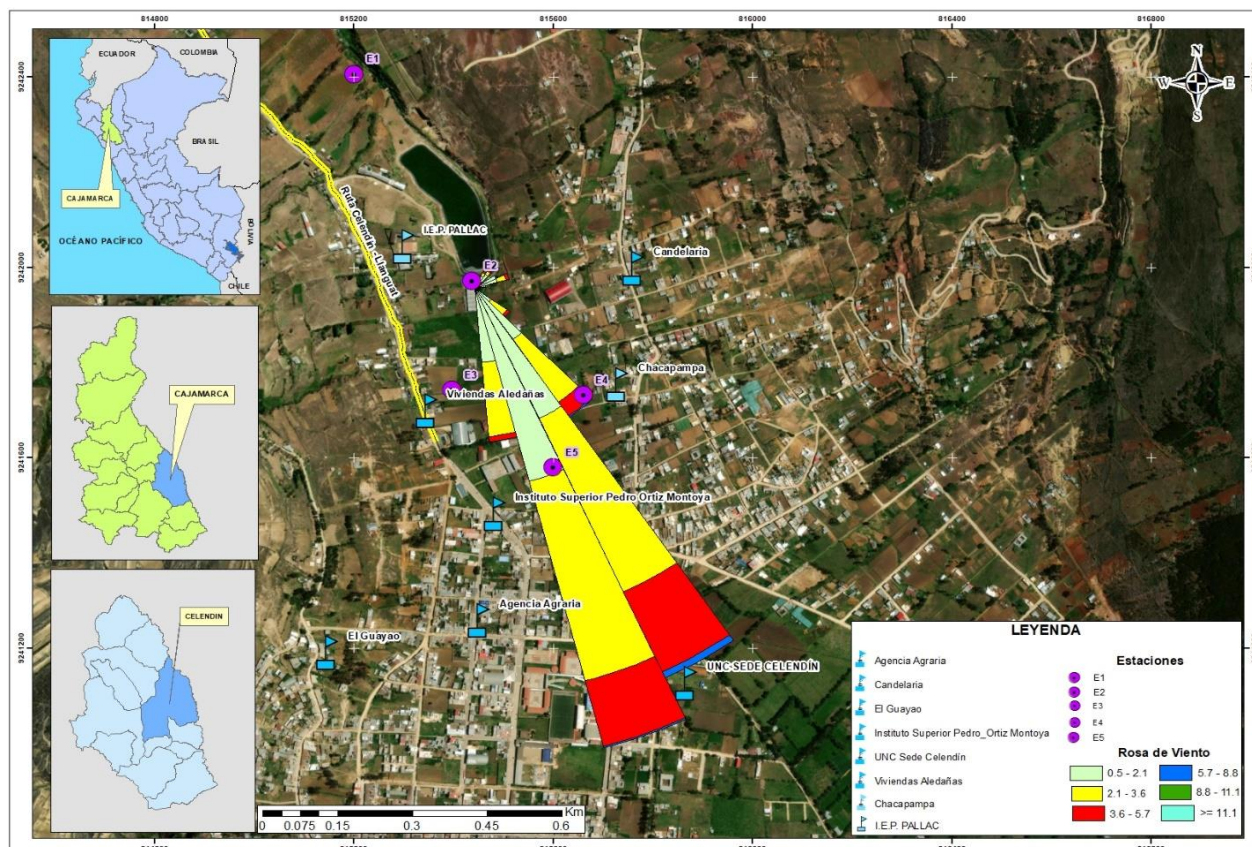
Figura 16*Rosa de vientos en época de estiaje.*

En la figura 17, 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, así lo afirma (Duarte Cifuentes, 2018, p.69) 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 (Jambo y Mendoza, 2018, p.67) 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 17

Rosa de vientos en época de lluvia.



En la tabla 10, 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 10

Análisis de la varianza ANOVA para UFC en época de estiaje

<i>Origen de las variaciones</i>	<i>Suma de cuadrados</i>	<i>Grados de libertad</i>	<i>Promedio de los cuadrados</i>	<i>F</i>	<i>Probabilidad</i>	<i>Valor crítico para F</i>
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				

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

C.V. = 6.109874543%

Tabla 11

Datos experimentales en estiaje para la tabla ANOVA

		ESTACIONES				
		E1	E2	E3	E4	E5
REPETICIONES	R1	780	3240	2904	2014	1568
	R2	559	3130	3017	2125	1567
	R3	669	3014	2795	2347	1789

En la tabla 12, 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 12

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%

Tabla 13

Datos experimentales en estiaje para la tabla ANOVA

		ESTACIONES				
		E1	E2	E3	E4	E5
REPETICIONES	R1	558	1678	1901	1791	1678
	R2	446	1456	1231	1454	1122
	R3	557	1676	1675	1565	1453

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

La tabla 14 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 (Castro, 2009, citado por Castro Arostegui, 2018, p. 18) y como menciona (Cernei et al., 2013, citado en Quishpe 2021, p. 26) *E. coli* causa altos niveles de aire insalubre; para confirmar lo que ha mencionado (Castro 2018, p. 5) *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 (Tango, 2021, p. 2). *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 musculoesquelética (Martínez et al., 2019, p.2); *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 (Cardona, 2003, citado por Yocupicio Yocupicio, 2018, p. 60). *Staphylococcus aureus* sigue siendo una de las causas más comunes de infecciones virales y comunitarias, manifestando una carga alta de morbilidad y mortalidad (Ardura, 2009, citado por Yocupicio Yocupicio, 2018, p. 60); *Rhodococcus sp.*, las infecciones por dicha bacteria se localizan principalmente en los pulmones, causando neumonía (Torres Tortosa, 2003, citado por Pilares Ortega, 2014, p.7). 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 (Prescott, 1991; McNeil y Brown, 1994, citado por Pilares Ortega, 2014, p.7). 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 14

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

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

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. 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, cumpliéndose 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).

5.2. Recomendaciones.

- Se sugiere incrementar el número de estaciones, repeticiones y el tiempo de muestreo para obtener mejor información de los resultados e interpretación con respecto a la cantidad de unidades formadoras de colonias.

- Se puede implementar cercos vivos (arbustos) en las zonas colindantes a las estaciones monitoreadas para limitar la dispersión de bacterias.
- Realizar comparaciones a nivel de turnos de monitoreo para evidenciar significancia.
- Trabajar con mayor variedad de agares o medios de cultivo.
- Considerar los meses más representativos de las épocas de estiaje y lluvia.
- Se sugiere considerar puntos de monitoreo cerca al río Grande.

CAPÍTULO VI

REFERENCIAS

- Alvarado, P., Rozo, L. (2019). *Determinación de la presencia de bioaerosoles y su riesgo asociado a la salud en el área de urgencias de un Hospital de II Nivel en la localidad de Engativá, Bogotá*. [Tesis de pregrado, Universidad de La Salle].
- 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 Costa CUC].
- Apella, M., Araujo, P. (s. f). Microbiología de agua. Conceptos básicos. Centro de Referencia para Lactobacilos y Universidad Nacional de Tucumán. Chacabuco 145, San Miguel de Tucumán, Tucumán. Argentina. 18p.
- 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].
- Benavides, G y Hermida, A. (2008). *Aislamiento e identificación de flora bacteriana nativa del suelo de los páramos Cruz Verde y Guasca (Cundinamarca)*. [Tesis de pregrado, Pontificia Universidad Javeriana de Bogotá].
- Britania, (2015). *Nutritivo Agar*, Laboratorio de Britania, Argentina. Rev. 01. [www. Britanialab. com](http://www.Britanialab.com)

Britania, (2021). *MacConkey Agar*, Laboratorio de Britania, Argentina. Rev. 02. www.

Britanialab.com

Bunge, M. (1972). *La ciencia. Su método y su filosofía*. https://users.dcc.uchile.cl/~cguierr/cursos/INV/bunge_ciencia.pdf

Borrego, S., Perdomo, I., De la Paz, J., Gómez de Saravia, S., Guiamet, P. (2011) *Relevamiento microbiológico del aire y de materiales almacenados en el Archivo Histórico del Museo de La Plata, Argentina y en el Archivo Nacional de la República de Cuba*. [Tesis de pregrado, Universidad Nacional de la Plata].

Borrego, S; Pons, V; Perdomo, I. (2008). La contaminación microbiana del aire en dos depósitos del Archivo Nacional de la República de Cuba. Revista CENIC. Ciencias Biológicas ISSN: 0253-5688 citado en:
<https://www.redalyc.org/pdf/1812/181214889005.pdf>

Castro, C. (2009). *Evaluación Aeromicológica en la Calidad del Aire de la Zona Aledaña al Relleno Sanitario Portillo Grande en el otoño del 2009*. [Tesis de posgrado, Universidad Nacional Agraria la Molina].

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].

Cercenado, E. y Cantón, R. (2010). *Métodos de identificación bacteriana en el laboratorio de microbiología*. Recomendaciones de la Sociedad Española de Enfermedades Infecciosas y Microbiología Clínica.

Chuquilín, D., Rojas, N. (2020). *Calidad Microbiológica del aire Interior del Mercado Central de Cajamarca - 2020*. [Tesis de pregrado, Universidad Privada del Norte].

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.

- DIGESA (2005). Protocolo de monitoreo de la calidad del aire y gestión de los datos.
- 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].
- Fernández, G., y Johnston, M. (2006). *Crecimiento y Temperatura*. Ediciones Universidad de La Serena, La Serena, Chile.
- Fernández, R. (2015). Identificación Taxonómica y clonal de bacterias acéticas, y estudio del efecto de la nisina frente a biofilms de bacterias enológicas.
- González, A. (2006). *Calidad Bacteriológica en el aire del Centro Histórico de la Ciudad de Guadalajara, Jalisco, México*. [Tesis de pregrado Universidad de Guadalajara].
- González, E., Campo, M. (2016). *Evaluación de bioaerosoles desde un relleno sanitario en el departamento del Atlántico*. [Tesis de pregrado, Universidad de la Costa].
- Guadalupe, A. (2002). *Principales características y diagnóstico de los grupos patógenos de Escherichia coli*. Instituto de Diagnóstico y Referencia Epidemiológicos. México, D.F., México
- Hernández, R., y Fernández, C., y Baptista, P. (2014). *Metodología de la investigación*. México: Miembro de la Cámara Nacional de la Industria Editorial Mexicana.
- 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].
- 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].
- Lopardo, H. (s.f.). *Cocos Gram Positivos Catalasa Negativos*. Miembro de la Comisión Directiva de SADEBAC, Asociación Argentina de Microbiología.

- 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].
- Mansilla Valles, L. (2019). *Calidad Microbiológica del aire y superficies en interiores del comedor de la Universidad Nacional Agraria de la Selva – Tingo María*. [Tesis de pregrado, Universidad Nacional Agraria de la Selva].
- Marcillo García, S; Zambrano Zambrano, K; D. M. (2021) Identificación bacteriana del aire en el taller de procesos cárnicos de la Espam – MFL. [Tesis de pregrado, Escuela Superior Politécnica Agropecuaria de Manabí].
- 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.
- Musto, A. (2013). Manual de Microbiología y Parasitología. *Universidad Nacional Arturo Jauretche. Argentina. 147p*.
- Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento [MVCS] (2009). DS n° 022-2009 Norma OS.090. Planta de tratamiento de aguas residuales.
- Oficina de Medio Ambiente, y Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento (s.f.). *Protocolo de Monitoreo de la Calidad de los Efluentes de las Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales Domésticas o Municipales*.
- 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.
- 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].
- 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].
- 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].
- Roa, S., Lozada, B., y Barrera, H. (2008). Riqueza de especies de pasifloras (passifloraceae). Distribución geográfica en zonas altas de los Estados Andinos, Venezuela. Red de Revistas Científicas de América Latina, el Caribe, España y Portugal. 13(08), 51-58
- Rodríguez, C., Zhurbenko, R. (2018). *Manual de Medios de Cultivo*. Centro Nacional de Biopreparados BIOCEN. 355p.
- Roncal, M. 2004. *Principios de fitopatología andina*. 1ra Edición. Cajamarca, Perú, Oficina General de Investigaciones – UNC. 420 p. Textos Universitarios, OGI – UNC.
- Rosas, A. 2003. *Evaluación ambiental del proceso de tratamiento de aguas residuales y los riesgos a la salud en la comunidad universitario del CUCBA*. [Tesis de posgrado, Universidad de Guadalajara].
- Sánchez, M., Aguilar, M., Fenoll, R., Roig, A. (2007). Generación de bioaerosoles en estaciones depuradoras de aguas residuales. *Revista Ingeniería Académica*. 11(1):37-42.
- 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
- SEMARNAT (2006) *Muestreo de suelos para la identificación y la cuantificación de metales y metaloides, y manejo de la muestra NMX-AA-132-SCFI-2006*, México

- Silva Mateus, J. (2018). *Determinación de la calidad microbiológica en los ambientes de los laboratorios de la Universidad De Santander Campus Cúcuta en el Año 2018*. [Tesis de pregrado, Universidad de Santander].
- Trigo, M. (s.f.). La Aerobiología y el contenido polínico de la atmósfera. España. *Revista UCIENCIA 40-43*.
https://riuma.uma.es/xmlui/bitstream/handle/10630/4082/40_revistauciencia04.pdf;jsessionid=74C27B6125808A4B7D538A0A80FDF9F7?sequence=1.
- Valdez, C., Guzmán, M., Valdés, A., Forougbakhch, R., Alvarado, M., y Rocha, A. (2018). Estructura y diversidad de la vegetación en un matorral espinoso prístino de Tamaulipas, México. *Revista de Biología Tropical*, 66(4), 1674-1682.
- 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].
- 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
- 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*
- Yocupicio, L. (2018). *Identificación y Cuantificación de Bioaerosoles generados en Sistemas de Tratamiento de Aguas Residuales*. [Tesis de posgrado, Universidad Autónoma de Baja California].
- Zendejas, G., Avalos, H., Soto, M. (2014). *Microbiología general de Staphylococcus aureus: Generalidades, patogenicidad y métodos de identificación*. Universidad de la Ciénega del Estado de Michoacán de Ocampo, México. *Rev Biomed* 2014; 25:129-143.

CAPÍTULO VII

ANEXOS

ANEXO I. Informe emitido por el laboratorio clínico de bio análisis InvBiomed de Cajamarca.

IDENTIFICACIÓN DE BACTERIAS AEROBIAS EN LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DE LA CIUDAD DE CELENDÍN, AGOSTO - SETIEMBRE 2022	
PRIMER MONITOREO	
FECHA: 25/08/2022	
CÓDIGO DE PLACA Y HORARIO	
PLACA P5 B : Noche	
MICROORGANISMO:	Escherichia coli
COLORACIÓN GRAM:	Bacilos Cortos Gram Negativos
MICROORGANISMO:	Bacillus subtilis
COLORACIÓN GRAM:	Bacilos Gram Positivos con endoesporas
MICROORGANISMO:	Rhodococcus sp
COLORACIÓN GRAM:	Cocobacilos Gram Positivos
PLACA P4 A: Tarde	
MICROORGANISMO:	Escherichia coli
COLORACIÓN GRAM:	Bacilos Cortos Gram Negativos
MICROORGANISMO:	Bacillus spp.
COLORACIÓN GRAM:	Bacilos Gram Positivos en cadenas
MICROORGANISMO:	Serratia marcescens
COLORACIÓN GRAM:	Bacilo Gram Negativo
PLACA P5 C: Noche	
MICROORGANISMO:	Escherichia coli
COLORACIÓN GRAM:	Bacilos Cortos Gram Negativos
MICROORGANISMO:	Micrococcus sp
COLORACIÓN GRAM:	Cocos Gram Positivos
MICROORGANISMO:	Bacillus subtilis
COLORACIÓN GRAM:	Bacilos Gram Positivos con endoesporas
SEGUNDO MONITOREO	
FECHA: 12/09/2022	
CÓDIGO DE PLACA Y HORARIO	
PLACA P5 B : Mañana	
MICROORGANISMO:	Escherichia coli
COLORACIÓN GRAM:	Bacilos Cortos Gram Negativos
MICROORGANISMO:	Bacillus spp.
COLORACIÓN GRAM:	Bacilos Gram Positivos
MICROORGANISMO:	Serratia marcescens
COLORACIÓN GRAM:	Bacilo Gram Negativo



Fernando Alberto Vilacost Quiroz
 Biólogo
 C. B. P. 15868

MICROORGANISMO:	Micrococcus sp
COLORACIÓN GRAM:	Cocos Gram Positivos
MICROORGANISMO:	Bacillus subtilis
COLORACIÓN GRAM:	Bacilos Gram Positivos con endoesporas
PLACA P4 C: Tarde	
MICROORGANISMO:	Bacillus subtilis
COLORACIÓN GRAM:	Bacilos Gram Positivos con endoesporas
MICROORGANISMO:	Staphylococcus aureus
COLORACIÓN GRAM:	Cocos Gram Positivos
MICROORGANISMO:	Rhodococcus sp
COLORACIÓN GRAM:	Cocobacilos Gram Positivos
MICROORGANISMO:	Micrococcus sp
COLORACIÓN GRAM:	Cocos Gram Positivos
PLACA P3 C: Noche	
MICROORGANISMO:	Bacillus spp.
COLORACIÓN GRAM:	Bacilos Gram Positivos en cadenas
MICROORGANISMO:	Serratia marcescens
COLORACIÓN GRAM:	Bacilo Gram Negativo
MICROORGANISMO:	Escherichia coli
COLORACIÓN GRAM:	Bacilos Cortos Gram Negativos
MICROORGANISMO:	Bacillus subtilis
COLORACIÓN GRAM:	Bacilos Gram Positivos con endoesporas
TERCER MONITOREO	
FECHA: 28/09/2022	
CÓDIGO DE PLACA Y HORARIO	
PLACA P5 - A : Mañana	
MICROORGANISMO:	Serratia marcescens
COLORACIÓN GRAM:	Bacilo Gram Negativo
MICROORGANISMO:	Escherichia coli
COLORACIÓN GRAM:	Bacilos Cortos Gram Negativos
PLACA P3 - B : Tarde	
MICROORGANISMO:	Escherichia coli
COLORACIÓN GRAM:	Bacilos Cortos Gram Negativos
MICROORGANISMO:	Bacillus spp.
COLORACIÓN GRAM:	Bacilos Gram Positivos



Fernando Alberto Villarreal Chávez
 Biólogo
 C.B.P. 15858



MICROORGANISMO:	Rhodococcus sp
COLORACIÓN GRAM:	Cocobacilos Gram Positivos
MICROORGANISMO:	Micrococcus sp
COLORACIÓN GRAM:	Cocos Gram Positivos
MICROORGANISMO:	Staphylococcus aureus
COLORACIÓN GRAM:	Cocos Gram Positivos
MICROORGANISMO:	Serratia marcescens
COLORACIÓN GRAM:	Bacilo Gram Negativo
MICROORGANISMO:	Bacillus subtilis
COLORACIÓN GRAM:	Bacilos Gram Positivos con endoesporas
PLACA P2 - B :Noche	
MICROORGANISMO:	Bacillus subtilis
COLORACIÓN GRAM:	Bacilos Gram Positivos con endoesporas
MICROORGANISMO:	Micrococcus sp
COLORACIÓN GRAM:	Cocos Gram Positivos
MICROORGANISMO:	Rhodococcus sp
COLORACIÓN GRAM:	Cocobacilos Gram Positivos
MICROORGANISMO:	Bacillus spp.
COLORACIÓN GRAM:	Bacilos Gram Positivos
MICROORGANISMO:	Escherichia coli
COLORACIÓN GRAM:	Bacilos Cortos Gram Negativos



 Fernando Abalo Villarreal Chávez
 Biólogo
 C.B.P. 15858



IDENTIFICACIÓN DE BACTERIAS AEROBIAS EN LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DE LA CIUDAD DE CELENDÍN, OCTUBRE - NOVIEMBRE 2022	
PRIMER MONITOREO	
FECHA: 25/10/2022	
CÓDIGO DE PLACA Y HORARIO	
PLACA P 2: Mañana	
MICROORGANISMO:	Escherichia coli
COLORACIÓN GRAM:	Bacilos Cortos Gram Negativos
MICROORGANISMO:	Bacillus subtilis
COLORACIÓN GRAM:	Bacilos Gram Positivos con endoesporas
MICROORGANISMO:	Rhodococcus sp
COLORACIÓN GRAM:	Cocobacilos Gram Positivos
PLACA P 3 : Tarde	
MICROORGANISMO:	Staphylococcus aureus
COLORACIÓN GRAM:	Cocos Gram Positivos
MICROORGANISMO:	Rhodococcus sp
COLORACIÓN GRAM:	Cocobacilos Gram Positivos
MICROORGANISMO:	Micrococcus sp
COLORACIÓN GRAM:	Cocos Gram Positivos
PLACA P3 : Noche	
MICROORGANISMO:	Serratia marcescens
COLORACIÓN GRAM:	Bacilo Gram Negativo
MICROORGANISMO:	Escherichia coli
COLORACIÓN GRAM:	Bacilos Cortos Gram Negativos
MICROORGANISMO:	Bacillus subtilis
COLORACIÓN GRAM:	Bacilos Gram Positivos con endoesporas
SEGUNDO MONITOREO	
FECHA: 12/11/2022	
CÓDIGO DE PLACA Y HORARIO	
PLACA P3 : Mañana	
MICROORGANISMO:	Escherichia coli
COLORACIÓN GRAM:	Bacilos Cortos Gram Negativos
MICROORGANISMO:	Bacillus spp.
COLORACIÓN GRAM:	Bacilos Gram Positivos
MICROORGANISMO:	Rhodococcus sp
COLORACIÓN GRAM:	Cocobacilos Gram Positivos



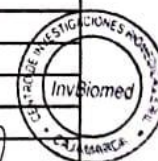
Fernando Alberto Villarreal Chávez
 Biólogo
 C.B.P. 15858



PLACA P2 : Tarde	
MICROORGANISMO:	Micrococcus sp
COLORACIÓN GRAM:	Cocos Gram Positivos
MICROORGANISMO:	Staphylococcus aureus
COLORACIÓN GRAM:	Cocos Gram Positivos
MICROORGANISMO:	Serratia marcescens
COLORACIÓN GRAM:	Bacilo Gram Negativo
MICROORGANISMO:	Bacillus subtilis
COLORACIÓN GRAM:	Bacilos Gram Positivos con endoesporas
PLACA P2 : Noche	
MICROORGANISMO:	Bacillus subtilis
COLORACIÓN GRAM:	Bacilos Gram Positivos con endoesporas
MICROORGANISMO:	Micrococcus sp
COLORACIÓN GRAM:	Cocos Gram Positivos
MICROORGANISMO:	Rhodococcus sp
COLORACIÓN GRAM:	Cocobacilos Gram Positivos
MICROORGANISMO:	Bacillus spp.
COLORACIÓN GRAM:	Bacilos Gram Positivos
TERCER MONITOREO	
FECHA: 28/11/2022	
CÓDIGO DE PLACA Y HORARIO	
PLACA P4 : Mañana	
MICROORGANISMO:	Escherichia coli
COLORACIÓN GRAM:	Bacilos Cortos Gram Negativos
MICROORGANISMO:	Bacillus subtilis
COLORACIÓN GRAM:	Bacilos Gram Positivos con endoesporas
MICROORGANISMO:	Rhodococcus sp
COLORACIÓN GRAM:	Cocobacilos Gram Positivos
MICROORGANISMO:	Serratia marcescens
COLORACIÓN GRAM:	Bacilo Gram Negativo



Fernando Alberto Villarreal Chávez
 Biólogo
 C.B.P. 15658



PLACA P 3 : Tarde	
MICROORGANISMO:	Escherichia coli
COLORACIÓN GRAM:	Bacilos Cortos Gram Negativos
MICROORGANISMO:	Micrococcus sp
COLORACIÓN GRAM:	Cocos Gram Positivos
MICROORGANISMO:	Bacillus subtilis
COLORACIÓN GRAM:	Bacilos Gram Positivos con endoesporas
MICROORGANISMO:	Rhodococcus sp
COLORACIÓN GRAM:	Cocobacilos Gram Positivos
PLACA P 3 : Noche	
MICROORGANISMO:	Staphylococcus aureus
COLORACIÓN GRAM:	Cocos Gram Positivos
MICROORGANISMO:	Micrococcus sp
COLORACIÓN GRAM:	Cocos Gram Positivos
MICROORGANISMO:	Rhodococcus sp
COLORACIÓN GRAM:	Cocobacilos Gram Positivos
MICROORGANISMO:	Bacillus spp.
COLORACIÓN GRAM:	Bacilos Gram Positivos
MICROORGANISMO:	Escherichia coli
COLORACIÓN GRAM:	Bacilos Cortos Gram Negativos



Ferdinand

 Fernando Alberto Villarreal Chantz

 Biólogo

 C.B.P. 15853



ANEXO II. Fichas de campo del monitoreo en la planta de tratamiento de aguas residuales de la ciudad de Celendín.

Tabla 15

Primera ficha de campo.

FICHA DE CAMPO							
PROCEDIMIENTO DE MONITOREO							
REFERENCIA:	SUELOS	AIRE	X	AGUA	OTROS		
MATERIALES	ESTACIÓN	LUGAR DE MUESTREO	FECHA	HORA			
45 placas petri	E1	A 500 metros de la PTAR	25/08/2022	6:00am - 1:00pm - 6:pm			
Cooler	E2	RAFA	25/08/2022	6:00am - 1:00pm - 6:pm			
Soporte de madera	E3	A 100 metros de la PTAR	25/08/2022	6:00am - 1:00pm - 6:pm			
Anemómetro	E4	A 200 metros de la PTAR	25/08/2022	6:00am - 1:00pm - 6:pm			
Libreta de campo	E5	A 300 metros de la PTAR	25/08/2022	6:00am - 1:00pm - 6:pm			

Tabla 16

Segunda ficha de campo.

FICHA DE CAMPO							
PROCEDIMIENTO DE MONITOREO							
REFERENCIA:	SUELOS	AIRE	X	AGUA	OTROS		
MATERIALES	ESTACIÓN	LUGAR DE MUESTREO	FECHA	HORA			
45 placas petri	E1	A 500 metros de la PTAR	12/09/2022	6:00am - 1:00pm - 6:pm			
Cooler	E2	RAFA	12/09/2022	6:00am - 1:00pm - 6:pm			
Soporte de madera	E3	A 100 metros de la PTAR	12/09/2022	6:00am - 1:00pm - 6:pm			
Anemómetro	E4	A 200 metros de la PTAR	12/09/2022	6:00am - 1:00pm - 6:pm			
Libreta de campo	E5	A 300 metros de la PTAR	12/09/2022	6:00am - 1:00pm - 6:pm			

Tabla 17

Tercera ficha de campo.

FICHA DE CAMPO							
PROCEDIMIENTO DE MONITOREO							
REFERENCIA:	SUELOS	AIRE	X	AGUA	OTROS		
MATERIALES	ESTACIÓN	LUGAR DE MUESTREO	FECHA	HORA			
45 placas petri	E1	A 500 metros de la PTAR	28/09/2022	6:00am - 1:00pm - 6:pm			
Cooler	E2	RAFA	28/09/2022	6:00am - 1:00pm - 6:pm			
Soporte de madera	E3	A 100 metros de la PTAR	28/09/2022	6:00am - 1:00pm - 6:pm			
Anemómetro	E4	A 200 metros de la PTAR	28/09/2022	6:00am - 1:00pm - 6:pm			
Libreta de campo	E5	A 300 metros de la PTAR	28/09/2022	6:00am - 1:00pm - 6:pm			

Tabla 18*Cuarta ficha de campo.*

FICHA DE CAMPO							
PROCEDIMIENTO DE MONITOREO							
REFERENCIA:	SUELOS	AIRE	X	AGUA	OTROS		
MATERIALES	ESTACIÓN	LUGAR DE MUESTREO	FECHA	HORA			
45 placas petri	E1	A 500 metros de la PTAR	25/10/2022	6:00am - 1:00pm - 6:pm			
Cooler	E2	RAFA	25/10/2022	6:00am - 1:00pm - 6:pm			
Soporte de madera	E3	A 100 metros de la PTAR	25/10/2022	6:00am - 1:00pm - 6:pm			
Anemómetro	E4	A 200 metros de la PTAR	25/10/2022	6:00am - 1:00pm - 6:pm			
Libreta de campo	E5	A 300 metros de la PTAR	25/10/2022	6:00am - 1:00pm - 6:pm			

Tabla 19*Quinta ficha de campo.*

FICHA DE CAMPO							
PROCEDIMIENTO DE MONITOREO							
REFERENCIA:	SUELOS	AIRE	X	AGUA	OTROS		
MATERIALES	ESTACIÓN	LUGAR DE MUESTREO	FECHA	HORA			
45 placas petri	E1	A 500 metros de la PTAR	12/11/2022	6:00am - 1:00pm - 6:pm			
Cooler	E2	RAFA	12/11/2022	6:00am - 1:00pm - 6:pm			
Soporte de madera	E3	A 100 metros de la PTAR	12/11/2022	6:00am - 1:00pm - 6:pm			
Anemómetro	E4	A 200 metros de la PTAR	12/11/2022	6:00am - 1:00pm - 6:pm			
Libreta de campo	E5	A 300 metros de la PTAR	12/11/2022	6:00am - 1:00pm - 6:pm			

Tabla 20*Sexta ficha de campo.*

FICHA DE CAMPO							
PROCEDIMIENTO DE MONITOREO							
REFERENCIA:	SUELOS	AIRE	X	AGUA	OTROS		
MATERIALES	ESTACIÓN	LUGAR DE MUESTREO	FECHA	HORA			
45 placas petri	E1	A 500 metros de la PTAR	28/11/2022	6:00am - 1:00pm - 6:pm			
Cooler	E2	RAFA	28/11/2022	6:00am - 1:00pm - 6:pm			
Soporte de madera	E3	A 100 metros de la PTAR	28/11/2022	6:00am - 1:00pm - 6:pm			
Anemómetro	E4	A 200 metros de la PTAR	28/11/2022	6:00am - 1:00pm - 6:pm			
Libreta de campo	E5	A 300 metros de la PTAR	28/11/2022	6:00am - 1:00pm - 6:pm			

ANEXO III. Fotografías de la batería bioquímica (Prueba de indol, manitol, citrato) como parte del proceso de identificación de bacterias por parte del laboratorio InvBiomed de Cajamarca.

Figura 18

Procesos bioquímicos para la identificación de bacterias.

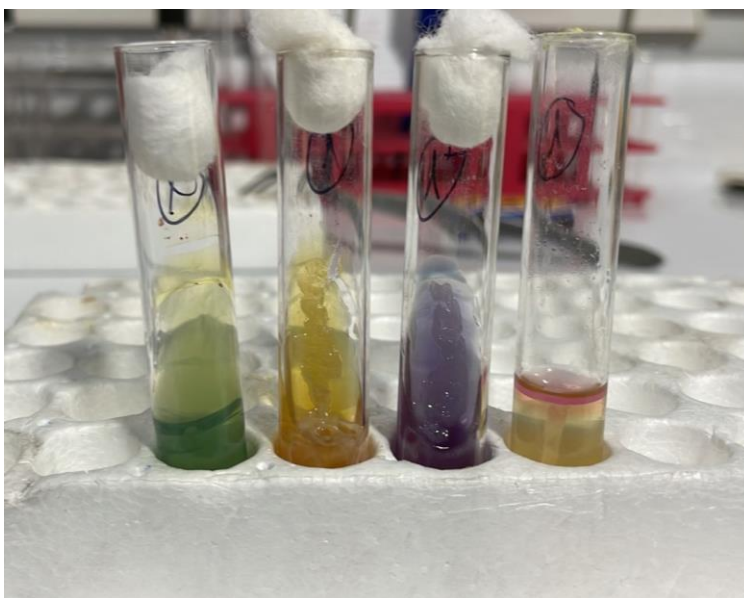
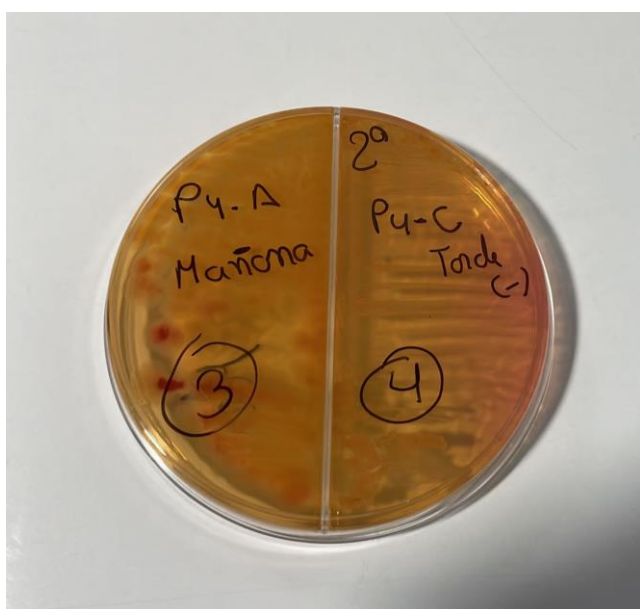


Figura 19

Medios con Agares Nutritivo y MacConkey codificados con las muestras.



ANEXO IV. Fotografías de la preparación del material de monitoreo en el laboratorio de la EAPIAC.

Figura 20

Envoltura de placas Petri, probeta y matraces con papel beige para su esterilización.



Figura 21

Colocando el material en la autoclave para su esterilización.



Figura 22

Materiales (placas Petri, probeta y matraces) esterilizados.

**Figura 23**

Agares Nutritivo y MacConkey.



Figura 24

Placas con medios de agar Nutritivo y MacConkey preparado para el monitoreo.

**Figura 25**

Equipo utilizado para el conteo de colonias.



ANEXO V. Monitoreo en la planta de tratamiento de aguas residuales de la ciudad de Celendín.

Figura 26

Exposición de las placas Petri al aire libre en la estación E2 entre los RAFA.



Figura 27

Exposición de las placas Petri al aire libre en la estación E3 a 100 metros de la PTAR.



Figura 28

Toma de datos de la velocidad y dirección del viento con el anemómetro en la PTAR y la estación E3.

**Figura 29**

Codificación de las placas Petri para su posterior identificación.



ANEXO VI. Metodología de tinción de gram para bacterias gram positivas y gram negativas en el laboratorio de la EAPIAC.

Figura 30

Proceso de tinción de gram con violeta de genciana, lugol, acetona.



Figura 31

Lavado de la placa con un chorro de agua para seguir el proceso de tinción



Figura 32

Resiembra de colonias para su posterior identificación.

**Figura 33**

Bacterias gram positivas y gram negativas.

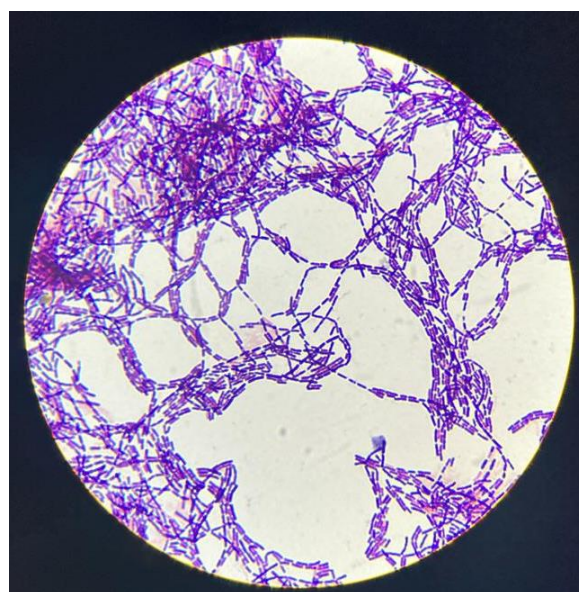
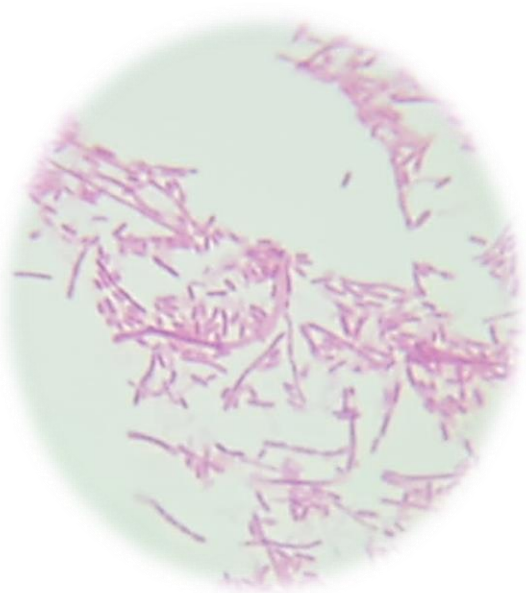
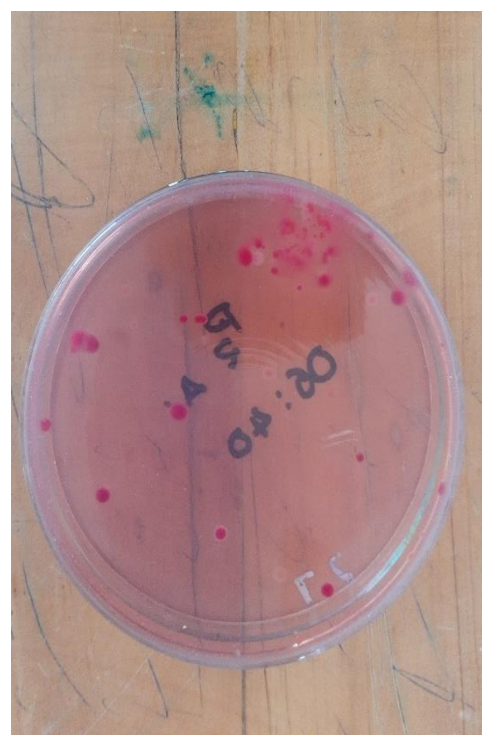


Figura 34

Conteo de colonias en la placa Petri expuesta al aire en la PTAR.

**Figura 35**

Crecimiento de bacterias en placas con agar Nutritivo y Agar MacConkey.



ANEXO VII. Cuadro de temperatura en épocas de estiaje y lluvia.

Tabla 21

Temperatura en tiempo de estiaje.

ÉPOCA DE ESTIAJE				
TURNOS DE MONITOREO	25/08/2022	12/09/2022	28/09/2022	PROMEDIO
	T°	T°	T°	T°
MAÑANA 06:00 - 8:00 am	15.5	16.3	17.9	16.6
TARDE 1:00 - 3:00 pm	22.1	20	18.9	20.3
NOCHE 6:00 - 8:00 pm	17.5	19.4	18.7	18.5

Tabla 22

Temperatura en tiempo de lluvia.

OCTUBRE - NOVIEMBRE 2022				
TURNOS DE MONITOREO	25/10/2022	12/11/2022	28/11/2022	PROMEDIO
	T°	T°	T°	T°
MAÑANA 06:00 - 8:00 am	14.1	13.5	14.1	13.9
TARDE 1:00 - 3:00 pm	15.3	14.1	14.2	14.5
NOCHE 6:00 - 8:00 pm	13.9	13.6	13.8	13.8

ANEXO VIII. Resultados del monitoreo de los meses de agosto y setiembre, (estiaje).

Tabla 23

Primera repetición

ESTACIÓN	HORARIO DE MONITOREO	UFC/m ³	MEDIA
E1	MAÑANA 06:00 - 8:00 am	668	780
	TARDE 1:00 - 3:00 pm	670	
	NOCHE 6:00 - 8:00 pm	1002	
E2	MAÑANA 06:00 - 8:00 am	3350	3240
	TARDE 1:00 - 3:00 pm	3020	
	NOCHE 6:00 - 8:00 pm	3348	
E3	MAÑANA 06:00 - 8:00 am	3013	2904
	TARDE 1:00 - 3:00 pm	2352	
	NOCHE 6:00 - 8:00 pm	3346	
E4	MAÑANA 06:00 - 8:00 am	2013	2014
	TARDE 1:00 - 3:00 pm	2348	
	NOCHE 6:00 - 8:00 pm	1680	
E5	MAÑANA 06:00 - 8:00 am	1706	1689
	TARDE 1:00 - 3:00 pm	1680	
	NOCHE 6:00 - 8:00 pm	1680	
			2125

Tabla 24

Segunda repetición

ESTACIÓN	HORARIO DE MONITOREO	UFC/m ³	MEDIA
E1	MAÑANA 06:00 - 8:00 am	334	559
	TARDE 1:00 - 3:00 pm	337	
	NOCHE 6:00 - 8:00 pm	1004	
E2	MAÑANA 06:00 - 8:00 am	3330	3009
	TARDE 1:00 - 3:00 pm	2685	
	NOCHE 6:00 - 8:00 pm	3011	
E3	MAÑANA 06:00 - 8:00 am	3353	3017
	TARDE 1:00 - 3:00 pm	2685	
	NOCHE 6:00 - 8:00 pm	3014	
E4	MAÑANA 06:00 - 8:00 am	2612	2125
	TARDE 1:00 - 3:00 pm	1682	
	NOCHE 6:00 - 8:00 pm	2080	
E5	MAÑANA 06:00 - 8:00 am	1786	1781
	TARDE 1:00 - 3:00 pm	1707	
	NOCHE 6:00 - 8:00 pm	1850	
			2098

Tabla 25

Tercera repetición

ESTACIÓN	HORARIO DE MONITOREO	UFC/m³	MEDIA
E1	MAÑANA 06:00 - 8:00 am	1003	669
	TARDE 1:00 - 3:00 pm	669	
	NOCHE 6:00 - 8:00 pm	334	
E2	MAÑANA 06:00 - 8:00 am	3347	3099
	TARDE 1:00 - 3:00 pm	2678	
	NOCHE 6:00 - 8:00 pm	3271	
E3	MAÑANA 06:00 - 8:00 am	3687	2795
	TARDE 1:00 - 3:00 pm	2351	
	NOCHE 6:00 - 8:00 pm	2347	
E4	MAÑANA 06:00 - 8:00 am	2346	2347
	TARDE 1:00 - 3:00 pm	2683	
	NOCHE 6:00 - 8:00 pm	2013	
E5	MAÑANA 06:00 - 8:00 am	1682	1789
	TARDE 1:00 - 3:00 pm	1343	
	NOCHE 6:00 - 8:00 pm	2342	
			2140

ANEXO IX. Resultados del monitoreo de los meses de octubre y noviembre (lluvia).

Tabla 26

Cuarta repetición

ESTACIÓN	HORARIO DE MONITOREO	UFC/m ³	MEDIA
E1	MAÑANA 06:00 - 8:00 am	670	558
	TARDE 1:00 - 3:00 pm	336	
	NOCHE 6:00 - 8:00 pm	669	
E2	MAÑANA 06:00 - 8:00 am	1677	1780
	TARDE 1:00 - 3:00 pm	1662	
	NOCHE 6:00 - 8:00 pm	2000	
E3	MAÑANA 06:00 - 8:00 am	2346	1901
	TARDE 1:00 - 3:00 pm	1346	
	NOCHE 6:00 - 8:00 pm	2011	
E4	MAÑANA 06:00 - 8:00 am	2013	1892
	TARDE 1:00 - 3:00 pm	1652	
	NOCHE 6:00 - 8:00 pm	2011	
E5	MAÑANA 06:00 - 8:00 am	1678	1678
	TARDE 1:00 - 3:00 pm	1342	
	NOCHE 6:00 - 8:00 pm	2013	
			1562

Tabla 27

Quinta repetición.

ESTACIÓN	HORARIO DE MONITOREO	UFC/m ³	MEDIA
E01	MAÑANA 06:00 - 8:00 am	335	446
	TARDE 1:00 - 3:00 pm	668	
	NOCHE 6:00 - 8:00 pm	335	
E2	MAÑANA 06:00 - 8:00 am	1988	1840
	TARDE 1:00 - 3:00 pm	1689	
	NOCHE 6:00 - 8:00 pm	1842	
E3	MAÑANA 06:00 - 8:00 am	1830	1810
	TARDE 1:00 - 3:00 pm	1736	
	NOCHE 6:00 - 8:00 pm	1865	
E4	MAÑANA 06:00 - 8:00 am	1782	1798
	TARDE 1:00 - 3:00 pm	1788	
	NOCHE 6:00 - 8:00 pm	1823	
E5	MAÑANA 06:00 - 8:00 am	1706	1698
	TARDE 1:00 - 3:00 pm	1699	
	NOCHE 6:00 - 8:00 pm	1688	
			1518

Tabla 28*Sexta repetición.*

ESTACIÓN	HORARIO DE MONITOREO	UFC/m³	MEDIA
E1	MAÑANA 06:00 - 8:00 am	669	557
	TARDE 1:00 - 3:00 pm	333	
	NOCHE 6:00 - 8:00 pm	668	
E2	MAÑANA 06:00 - 8:00 am	1947	1765
	TARDE 1:00 - 3:00 pm	1452	
	NOCHE 6:00 - 8:00 pm	1896	
E3	MAÑANA 06:00 - 8:00 am	1753	1768
	TARDE 1:00 - 3:00 pm	1542	
	NOCHE 6:00 - 8:00 pm	2008	
E4	MAÑANA 06:00 - 8:00 am	1823	1786
	TARDE 1:00 - 3:00 pm	1710	
	NOCHE 6:00 - 8:00 pm	1824	
E5	MAÑANA 06:00 - 8:00 am	1532	1567
	TARDE 1:00 - 3:00 pm	1421	
	NOCHE 6:00 - 8:00 pm	1748	
			1488

ANEXO X. Mapa de cercos vivos para contrarrestar dispersión de bacterias en la PTAR y zonas aledañas.

