

UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA

FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL



T E S I S

**“IDENTIFICACIÓN AEROMICOLÓGICA DE LAS ÁREAS CIRCUNDANTES A LA
PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DE LA CIUDAD DE
CELENDÍN-CAJAMARCA”**

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

INGENIERO AMBIENTAL

PRESENTADO POR EL BACHILLER:

PERCI YOEL BARRANTES SAUCEDO

ASESORES:

Ing. M. Sc. MANUEL ROBERTO, RONCAL RABANAL

Dr. MANUEL SALOMÓN, RONCAL ORDÓÑEZ

CAJAMARCA – PERÚ

2024

CONSTANCIA DE INFORME DE ORIGINALIDAD

1. Investigador: Perci Yoel Barrantes Saucedo
DNI: 74958234
Escuela Profesional/Unidad UNC: Escuela profesional de Ingeniería Ambiental
2. Asesores: Ing. M.Sc. Manuel Roberto Roncal Rabanal
Dr. Manuel Salomón Roncal Ordóñez
Facultad/Unidad UNC: Facultad de Ciencias Agrarias
3. Grado académico o título profesional
 Bachiller Título profesional Segunda especialidad
 Maestro Doctor
4. Tipo de Investigación:
 Tesis Trabajo de investigación Trabajo de suficiencia profesional
 Trabajo académico
5. Título de Trabajo de Investigación: "IDENTIFICACIÓN AEROMICOLÓGICA DE LAS ÁREAS CIRCUNDANTES A LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DE LA CIUDAD DE CELENDÍN-CAJAMARCA"
6. Fecha de evaluación: 24/07/2023
7. Software antiplagio: TURNITIN URKUND (OURIGINAL) (*)
8. Porcentaje de Informe de Similitud: 12 %
9. Código Documento: D172350547
10. Resultado de la Evaluación de Similitud:
 APROBADO PARA LEVANTAMIENTO DE OBSERVACIONES O DESAPROBADO

Fecha Emisión: 11/06/2024

| |
|---|
| <i>Firma y/o Sello Emisor Constancia</i> |
|  Ing. M.Sc. Manuel Roberto Roncal Rabanal DNI: 26717244 |

* En caso se realizó la evaluación hasta setiembre de 2023



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 Cajamarca, a los diecinueve días del mes de marzo del año dos mil veinticuatro, se reunieron en el ambiente **2C - 202** de la Facultad de Ciencias Agrarias, los miembros del Jurado, designados según **Resolución de Consejo de Facultad N° 414-2023-FCA-UNC, de fecha 04 de setiembre del 2023**, con la finalidad de evaluar la sustentación de la **TESIS** titulada: "**IDENTIFICACIÓN AEROMICOLÓGICA DE LAS ÁREAS CIRCUNDANTES A LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DE LA CIUDAD DE CELENDÍN - CAJAMARCA**", realizada por el Bachiller **PERCI YOEL BARRANTES SAUCEDO** para optar el Título Profesional de **INGENIERO AMBIENTAL**.

A las diez horas y once 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, el Bachiller queda expedito para proceder con los trámites que conlleven a la obtención del Título Profesional de **INGENIERO AMBIENTAL**.

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


M. Cs. John Víctor López Orbegoso
PRESIDENTE


Ing. Oscar Rogelio Sáenz Narro
SECRETARIO


Ing. Mg. Sc. Jhon Anthony Vergara Copacandori
VOCAL


Ing. M. Sc. Manuel Roberto Roncal Rabanal
ASESOR


Dr. Manuel Salomón Roncal Ordóñez
ASESOR

DEDICATORIA

A mi familia; Benjamín, Blanca y Niver, fuente de motivación y esfuerzo

AGRADECIMIENTO

Al Ing. M. Sc. Manuel Roberto Roncal Rabanal, por brindarme su conocimiento, orientarme y motivarme a investigar para conocer un poquito más de nuestro maravilloso mundo.

Al Dr. Manuel Salomón Roncal Ordóñez, por todo el conocimiento brindado en el área, su asesoramiento y constante motivación para lograr los objetivos planteados.

A la Universidad Nacional de Cajamarca, por acogerme en sus aulas y permitirme ser una persona de bien.

ÍNDICE

| | |
|--|------|
| RESUMEN..... | xiii |
| ABSTRACT | xiv |
| CAPÍTULO I..... | 15 |
| INTRODUCCIÓN..... | 15 |
| CAPÍTULO II | 17 |
| REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA | 17 |
| 2.1. Antecedentes de la investigación | 17 |
| 2.2. Bases teóricas | 19 |
| 2.2.1. Aguas Residuales | 19 |
| 2.2.2. Composición de la Aguas Residuales | 19 |
| 2.2.3. Tratamiento de Aguas residuales | 20 |
| 2.2.4. Planta de tratamiento de aguas residuales | 20 |
| 2.2.5. Atmósfera | 21 |
| 2.2.6. Aeromicrología..... | 22 |
| 2.2.7. Hongos..... | 23 |
| 2.2.8. Riqueza varietal de especies. | 28 |
| 2.2.9. Frecuencia de especies | 28 |
| CAPÍTULO III..... | 29 |
| MATERIALES Y MÉTODOS | 29 |

| | |
|---|----|
| 3.1. Ubicación | 29 |
| 3.2. Materiales y Equipos | 29 |
| 3.2.1. Materiales y Equipos de Campo | 29 |
| 3.2.2. Materiales y Equipos de Laboratorio | 29 |
| 3.3. Puntos de monitoreo para la recolección de datos | 29 |
| 3.4. Preparación de medios de cultivo..... | 34 |
| 3.5. Exposición e Incubación de Placas de Muestreo | 34 |
| 3.6. Reconocimiento e identificación de los Organismos fúngicos | 35 |
| 3.7. Determinación de potencial patógeno. | 35 |
| 3.8. Análisis de datos | 36 |
| CAPITULO IV | 37 |
| RESULTADOS Y DISCUSIONES | 37 |
| 4.1. Morfología de los organismos aeromicológicos encontrados..... | 37 |
| 4.1.1. Aislamiento 1: Género <i>Botrytis</i> | 37 |
| 4.1.2. Aislamiento 2: Género <i>Penicillium</i> | 38 |
| 4.1.3. Aislamiento 3: Género <i>Alternaria</i> | 39 |
| 4.1.4. Aislamiento 4: Género <i>Aspergillus</i> | 40 |
| 4.1.5. Aislamiento 5: Género <i>Stachylidium</i> | 42 |
| 4.1.6. Aislamiento 6: Género <i>Monillia</i> | 42 |
| 4.1.7. Aislamiento 7: Género <i>Cladosporium</i> | 43 |

| | | |
|---------|---|----|
| 4.1.8. | Aislamiento 8: Género <i>Cephalosporium</i> | 44 |
| 4.1.9. | Aislamiento 9: Género <i>Gliocladium</i> | 46 |
| 4.1.10. | Aislamiento 10: Género <i>Trichoderma</i> | 46 |
| 4.1.11. | Aislamiento 11: Género <i>Fusarium</i> | 48 |
| 4.1.12. | Aislamiento 12: Género <i>Memnoniella</i> | 49 |
| 4.1.13. | Aislamiento 13: Género <i>Scopulariopsis</i> | 50 |
| 4.1.14. | Aislamiento 14: Género <i>Epicoccum</i> | 51 |
| 4.1.15. | Aislamiento 15: Género <i>Stenphylium</i> | 53 |
| 4.1.16. | Aislamiento 16: Género <i>Dreschlera</i> | 54 |
| 4.1.17. | Aislamiento 17: Género <i>Curvularia</i> | 55 |
| 4.1.18. | Aislamiento 18: Género <i>Periconia</i> | 56 |
| 4.1.19. | Aislamiento 19: Género <i>Torula</i> | 57 |
| 4.1.20. | Aislamiento 20: Género <i>Botryotrichum</i> | 58 |
| 4.1.21. | Aislamiento 21: Género <i>Acremoniella/Harzia</i> | 59 |
| 4.1.22. | Aislamiento 22: Género <i>Clamydomyces/Harzia</i> | 60 |
| 4.1.23. | Aislamiento 23: Género <i>Arthrinium</i> | 61 |
| 4.1.24. | Aislamiento 24: Género <i>Nigrospora</i> | 62 |
| 4.1.25. | Aislamiento 25: Género <i>Gloeosporium</i> | 63 |
| 4.1.26. | Aislamiento 26: Género <i>Pestalotia</i> | 64 |
| 4.1.27. | Aislamiento 27: Género <i>Phoma</i> | 65 |

| | |
|---|-----|
| 4.1.28. Aislamiento 28: Género <i>Botryodiplodia/Lasiodiplodia</i> | 66 |
| 4.1.29. Aislamiento 29: Género <i>Mucor</i> | 67 |
| 4.1.30. Aislamiento 30: Género <i>Sclerotinia</i> | 68 |
| 4.1.31. Aislamiento 31: Género <i>Melanospora</i> | 69 |
| 4.2. Clasificación taxonómica..... | 70 |
| 4.1. Análisis Estadístico | 72 |
| 4.1.1. Frecuencias de los organismos Aeromicológicos | 74 |
| 4.1.2. Riqueza de los organismos Aeromicológicos | 76 |
| CAPITULO V | 79 |
| CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES..... | 79 |
| 5.1. Conclusiones | 79 |
| 5.2. Recomendaciones..... | 80 |
| CAPITULO VI..... | 81 |
| REFERENCIAS BLIBLIOGRÁFICAS | 81 |
| CAPITULO VII..... | 95 |
| ANEXOS | 95 |
| ANEXO 1: Claves taxonómicas de microorganismos aeromicológicos frecuentes en la PTAR de Celendín-Cajamarca. | 95 |
| ANEXO 2: Permiso de acceso para realización del estudio en la PTAR Celendín – Cajamarca, emitido por el Gobierno Regional de Cajamarca. | 100 |

| | |
|--|-----|
| ANEXO 2: Panel fotográfico de los procesos y actividades llevadas a cabo durante la realización del estudio. | 101 |
| GLOSARIO DE TÉRMINOS..... | 103 |

ÍNDICE DE FIGURAS

| | |
|--|----|
| Figura 1 Rosa de vientos..... | 31 |
| Figura 2 Puntos de Monitoreo..... | 33 |
| Figura 3 <i>Botrytis</i> | 37 |
| Figura 4 <i>Penicillium</i> | 38 |
| Figura 5 <i>Alternaria</i> | 39 |
| Figura 6 <i>Aspergillus</i> | 41 |
| Figura 7 <i>Stachylidium</i> | 42 |
| Figura 8 <i>Monilla</i> | 43 |
| Figura 9 <i>Cladosporium</i> | 44 |
| Figura 10 <i>Cephalosporium</i> | 45 |
| Figura 11 <i>Gliocladium</i> | 46 |
| Figura 12 <i>Trichoderma</i> | 47 |
| Figura 13 <i>Fusarium</i> | 49 |
| Figura 14 <i>Memmoniella</i> | 50 |
| Figura 15 <i>Scopulariopsis</i> | 51 |
| Figura 16 <i>Epicoccum</i> | 52 |
| Figura 17 <i>Stemphylium</i> | 53 |
| Figura 18 <i>Dreschlera</i> | 54 |
| Figura 19 <i>Curvularia</i> | 55 |
| Figura 20 <i>Periconia</i> | 56 |
| Figura 21 <i>Torula</i> | 57 |
| Figura 22 <i>Botryotrichum</i> | 58 |

| | |
|---|-----|
| Figura 23 <i>Harzia</i> | 59 |
| Figura 24 <i>Harzia palmara</i> | 60 |
| Figura 25 <i>Arthriniium</i> | 61 |
| Figura 26 <i>Nigrospora</i> | 62 |
| Figura 27 <i>Gloeosporium</i> | 63 |
| Figura 28 <i>Pestalotia</i> | 64 |
| Figura 29 <i>Phoma</i> | 65 |
| Figura 30 <i>Lasiodiplodia</i> | 66 |
| Figura 31 <i>Mucor</i> | 67 |
| Figura 32 <i>Sclerotinia</i> | 68 |
| Figura 33 <i>Melanospora</i> | 69 |
| Figura 34 Análisis de frecuencia..... | 74 |
| Figura 35 Riqueza de los organismos identificados | 76 |
| Figura 36 Histograma de riqueza de los organismos identificados..... | 77 |
| Figura 37 Elaboración de medios de cultivo..... | 101 |
| Figura 38 Reconocimiento de organismos fúngicos | 102 |

ÍNDICE TABLAS

| | |
|---|----|
| Tabla 1 Ubicación de los puntos de monitoreo | 32 |
| Tabla 2 Clasificación taxonómica de los organismos aeromicológicos | 70 |
| Tabla 3 Presencia de los microorganismos aeromicológicos en la evaluación..... | 72 |

RESUMEN

Se determinó los microorganismos aerofúngicos que se encuentran en las áreas circundantes a la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales de la Ciudad de Celendín-Cajamarca; dado que los procesos involucrados en el tratamiento del agua residual implican la generación de material particulado, el cual a su vez puede transportar cepas de microorganismos fúngicos; por lo tanto es necesario conocer los organismos que están presentes y cuáles de ellos implican un riesgo para la salud de los trabajadores y la población aledaña. Para ello se utilizó el método de sedimentación pasiva sobre placas Petri con agar PDA, las cuales que se expusieron durante 30 minutos al aire libre entre las 12:00 pm y 01:00 pm, para luego ser incubadas a 22°C. Se logró identificar 39 microorganismos: *Arthrinium* sp., *Nigrospora* sp., *Melanospora* sp., *Botryotrichum* sp., *Cladosporium* sp., *Epicoccum nigrum*, *Epicoccum* sp., *Epicoccum* sp., *Phoma* sp., *Phoma* sp., *Trichoderma* sp., *Cephalosporium* sp., *Gliocladium* sp., *Harzia* sp., *Harzia palmara*, *Pestalotia* sp., *Gloesporium* sp., *Scopulariopsis* sp., *Mucor* sp., *Fusarium solani*, *Fusarium* sp., *Fusarium oxysporum*, *Periconia* sp., *Stachylidium* sp., *Drechslera*, *Alternaria alternata*, *Alertnaria solani*, *Curvularia* sp., *Stemphylium* sp., *Monilia* sp., *Sclerotinia* sp., *Botrytis* sp., *Memnoniella* sp., *Torula* sp., *Aspergillus niger*, *Aspergillus* sp., *Penicillium digitatum*, *Penicillium* sp. y *Lasiodiplodia* sp.; de los cuales: *Alternaria alternata*., *Alertnaria solani*, *Aspergillus niger*, *Aspergillus* sp., *Cladosporium* sp., *Cephalosporium* sp., *Curvularia* sp., *Fusarium solani*, *Fusarium* sp., *Fusarium oxysporum*, *Mucor* sp., *Penicillium digitatum*, *Penicillium* sp., *Scopulariopsis* sp. *Drechslera* sp., y *Trichoderma* sp., representan riesgo para la salud de la población.

Palabras clave: Aeromicología, planta de tratamiento, hongos, conidio

ABSTRACT

The aerofungal microorganisms found in the areas surrounding the Wastewater Treatment Plant of the City of Celendín-Cajamarca were determined; given that the processes involved in wastewater treatment involve the generation of particulate material, which in turn can transport strains of fungal microorganisms; Therefore, it is necessary to know the organisms that are present and which of them pose a risk to the health of workers and the surrounding population. For this, the passive sedimentation method was used on Petri plates with PDA agar, which were exposed for 30 minutes in the open air between 12:00 pm and 01:00 pm, and then incubated at 22°C. 39 microorganisms were identified: *Arthrinium* sp., *Nigrospora* sp., *Melanospora* sp., *Botryotrichum* sp., *Cladosporium* sp., *Epicoccum nigrum*, *Epicoccum* sp., *Epicoccum* sp., *Phoma* sp., *Phoma* sp1, *Trichoderma* sp., *Cephalosporium* sp., *Gliocladium* sp., *Harzia* sp., *Harzia palmara*, *Pestalotia* sp., *Gloesporium* sp., *Scopulariopsis* sp., *Mucor* sp., *Fusarium solani*, *Fusarium* sp., *Fusarium oxysporum*, *Periconia* sp., *Stachylidium* sp., *Drechslera*, *Alternaria alternata*, *Alertnaria solani*, *Curvularia* sp., *Stemphylium* sp., *Monilia* sp., *Sclerotinia* sp., *Botrytis* sp., *Memnoniella* sp., *Torula* sp., *Aspergillus niger*, *Aspergillus* sp., *Penicillium digitatum*, *Penicillium* sp. y *Lasiodiplodia* sp.; of which: *Alternaria alternata*., *Alertnaria solani*, *Aspergillus niger*, *Aspergillus* sp., *Cladosporium* sp., *Cephalosporium* sp., *Curvularia* sp., *Fusarium solani*, *Fusarium* sp., *Fusarium oxysporum*, *Mucor* sp., *Penicillium digitatum*, *Penicillium* sp., *Scopulariopsis* sp., *Drechslera* sp., y *Trichoderma* sp., they represent a risk to the health of the population.

Keywords: Aeromycology, treatment plant, fungi, conidium.

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

El tratamiento de aguas residuales es importante en una sociedad que busca el desarrollo sostenible, conlleva un conjunto de procesos físicos, químicos y biológicos, que tienen como objetivo mejorar los parámetros de calidad del agua, a fin de que esta pueda ser vertida en el medio ambiente sin que involucre un problema de salud pública y medio ambiental.

Estudios realizados en distintos lugares del mundo indica que los procesos de tratamiento de aguas residuales implican la generación de material particulado, que a su vez es un medio de transporte para microorganismos como bacterias, virus y hongos, los cuales suponen riesgos para la salud según las características que posean (Korzeniewska et al., 2011; Gotkowska-Plachta et al., 2013; Qiu, et al., 2012; Sánchez-Monedero et al., 2007).

Hoy en día a pesar de los avances y estudios, lo que se conoce de los hongos es poco, es un campo de estudio bastante amplio; están presentes en todas partes, agua, aire, suelo; son elementos importantes para el desarrollo de los ecosistemas, aunque algunos son posibles elementos de riesgo para la salud. La contaminación del aire es problema de interés mundial, siendo los hongos elementos contaminantes de la atmósfera, generando alergias respiratorias, afecciones cutáneas, daños localizados, y en algunos casos daños graves, carcinogénicos e inclusive la muerte (Aira et al., 2005; Arenas, 2008; Quiroz et al., 2017).

Desde el punto de vista sanitario es importante conocer que organismos fúngicos están presentes, y su difusión en la atmósfera (Castro, 2009). Los estudios aeromicológicos son importantes ya que nos permite conocer cuáles son los organismos fúngicos suspendidos en la atmósfera, como se distribuyen y el riesgo que involucran a la salud poblacional y la ecología. El presente estudio, llevado a cabo en la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales de la Ciudad de

Celendín-Cajamarca tuvo como objetivo determinar los microorganismos aeromicológicos que se encuentran en las áreas circundantes a la PTAR y cuáles de ellos suponen riesgos para la salud pública.

CAPÍTULO II

REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

2.1. Antecedentes de la investigación

Korzeniewska et al. (2009), realizaron análisis con el fin de evaluar la contaminación microbiana en el aire por patógenos potenciales generados por una planta de tratamiento de aguas residuales en Polonia; para el muestreo se utilizó métodos de sedimentación e impacto en varios sitios de la planta y alrededores, y como control se muestreo lugares externos. Los resultados indican la presencia de bacterias en concentraciones más altas de entre 10-1000 UFC/ m³, mientras que para los hongos exceden las 2000 UFC/ m³. Se presentó una mayor concentración dentro o cerca del biorreactor.

Korzeniewska (2011), mediante su estudio documenta los microorganismos asociados a las estaciones depuradoras de aguas residuales; quien encontró que los procesos de tratamiento generan la emisión de *Absidia*, *Actinomucor*, *Alternaria*, *Aspergillus*, *Blastomyces*, *Chaetomium*, *Chrysosporium*, *Cladosporium*, *Diplosporium*, *Geomyces*, *Geotrichum*, *Mucor*, *Oidium*, *Paecilomyces*, *Penicillium*, *Scopuloriopsis*, *Trichoderma*, *Zygorhynchus* a la atmósfera. Donde los procesos que involucran equipos móviles y sistemas biológicos son los que emiten más material biológico.

Gotkowska-Placta et al. (2013), estudiaron los microorganismos en el aire emitidos por plantas de tratamiento de aguas residuales que tratan efluentes domésticos y desechos de la industria de procesamiento de carne, en Polonia. Los resultados mostraron la formación de colonias bacterianas y hongos en los cultivos realizados; las bacterias oscilaron entre 10¹ y 10⁴ UFC/ m³, mientras que los hongos muestran 0 y 10⁴ UFC/m³, donde los hongos se muestran más en otoño y provienen mayormente de los dispositivos mecánicos.

Qiu et al. (2012), entre junio y julio del 2011 realizaron análisis con el fin de determinar las características de contaminación microbiana emitida por las plantas de tratamiento de aguas residuales, en la ciudad de Xi'an, los resultados mostraron que las concentraciones de bacterias llegaban a 7866 UFC/ m³ +/- 960 UFC/ m³, respecto a los actinomicetos tenían valores de hasta 2139 UFC/ m³ +/- 227 UFC/ m³ y para los hongos se muestran valores de hasta 2156 UFC/ m³ +/- 119 UFC/ m³; la generación de microorganismos está ligada mayormente a las zonas de deshidratación de lodos y a las zanjas de Oxidación.

Behnami et al. (2018), realizaron un estudio comparativo sobre las comunidades de hongos de plantas de tratamiento de aguas residuales municipales e industriales a gran escala, en Tabriz, Irán; con el fin de evaluar la diversidad de hongos existente; los resultados obtenidos indican 256 cepas pertenecientes a nueve géneros, se aislaron *Chrysosporium*, *Aspergillus*, *Trichoderma*, *Trichothecium*, *Cladosporium*, *Fusarium*, *Acremonium* y *Geotrichum*, *penicillium*, de las cuales, *Geotrichum*, *Cladosporium*, *Aspergillus*, *Penicillium*, *Chrysosporium* y *Trichoderma* fueron las poblaciones más frecuentes de hongos.

Sánchez-Monedero et al. (2006), evaluaron la emisión de bioaerosoles asociada a la gestión de residuos orgánicos; se utilizó la metodología propuesta por La Asociación de Compostaje del Reino Unido de 1999, la cual utiliza *Aspergillus fumigatus* y un recuento de bacterias mesófilas como indicadores de contaminación microbiológica. Los resultados que se obtuvieron mencionan que, la generación de bioaerosoles se produce en todo el ciclo de vida de los residuos orgánicos; en donde las plantas de compostaje son los puntos de mayor generación.

En el año 2017 Cardoza (2019), realizó un estudio en la ciudad de Piura, con el fin de determinar la presencia de hongos de las especies de *Aspergillus* presentes en el aire de la ciudad, para ello se tomaron 386 muestras. Las especies que se obtuvieron en los resultados fueron 6,

Aspergillus niger, *A. carbonarius*, *A. fumigatus*, *A. flavus*, *A. ochraceus* y *A. terreus*. La especie que se encontró con mayor frecuencia fue *Aspergillus niger*, con un 33% respectivamente; mientras que la especie que se encontró con menor frecuencia fue *Aspergillus fumigatus*, con un 2% respectivamente.

Medina (2016), realizó un estudio entre 2015 y 2016 en las zonas externas e internas del Relleno Sanitario de la ciudad de Celendín con el principal objetivo de determinar los microorganismos aerofúngicos que se encontraban en las zonas evaluadas, para ello usó el método de sedimentación pasiva sobre placas Petri, utilizando como medio de cultivo Agar Dextrosa Sabouraud y Papa Dextrosa; como resultado, logró identificar quince microorganismos aerofúngicos.

2.2.Bases teóricas

2.2.1. Aguas Residuales

SEDEMA (2014), menciona que “son las provenientes de actividades domésticas, industriales, comerciales, agrícolas, pecuarias o de cualquier otra actividad, que por el uso de que han sido objeto contienen materia orgánica y otras sustancias químicas que alteran su calidad original”. Ramalho (1996), menciona que generalmente contienen una mezcla compleja de compuestos orgánicos e inorgánicos, provenientes del uso urbano, uso industrial, usos agrícolas y de fuentes pluviales.

2.2.2. Composición de la Aguas Residuales

La composición de las aguas residuales es muy variable debido a los diversos factores que lo afectan, entre estos se tiene el consumo promedio de agua por habitante y por día que afecta su concentración (cantidad) y los hábitos alimenticios de la población que caracteriza

su composición química (calidad); generalmente el contenido de las aguas residuales es: 99% agua y el 1 % es materia sólida (Rojas, 2002).

De acuerdo a Reynolds (2002), se tiene en conocimiento que las aguas residuales contienen microorganismos que poseen potencial patógeno, afectando a la salud, donde se puede encontrar virus, protozoos y bacterias, estos pueden originarse en los individuos, animales domésticos o salvajes infectados muchas veces asintomáticos.

2.2.3. Tratamiento de Aguas residuales

El objetivo principal del tratamiento de aguas residuales consiste en disminuir la cantidad de elementos contaminantes en las masas de agua, independientemente del tipo de contaminantes presentes en ellas, sino también considerando el uso que se le dará una vez que se haya cumplido con el tratamiento adecuado (Muñoz, 2008).

Para llevar a cabo esto se involucran procesos biológicos en el cual se utilizan organismos vivos los cuales se encargan de remover la materia orgánica y elementos químicos que pueden ser asimilados por los mismos (Ferrer et al., 2018), y procesos físico-químicos los cuales se encargan de remover los elementos que no se pueden aislar del agua mediante los procesos biológicos, en una PTAR los encontramos usualmente en el pretratamiento de aguas y en los tratamiento secundarios y terciarios (Marín, 2013).

2.2.4. Planta de tratamiento de aguas residuales

Según Valdivielso (2020), dice que, una Planta de Tratamiento de Aguas residuales (PTAR) o también llamada Estación Depuradora de Aguas Residuales (EDAR), es una instalación en donde se recogen y se trata la contaminación de las aguas residuales municipales o industriales. Una planta de tratamiento de aguas residuales separa los sólidos, remueve el contenido orgánico, los agentes contaminantes y reincorpora la presencia de oxígeno en los

caudales mediante procesos físicos, químicos y biológicos, mediante mecanismos y microorganismos útiles que remueven la materia orgánica presente en el agua residual (Troconis, 2010).

2.2.5. Atmósfera

La tierra está cubierta de una capa gaseosa la cual está adherida a su superficie de forma uniforme, gracias a esta es posible la respiración de todas las plantas, los animales y el hombre (Flammarion, 1875). Leyva (2001), menciona que la composición de la atmósfera y los procesos que se desarrollan en ella tienen influencia directa en la actividad humana, y en el medio ambiente en general.

a) Composición de la Atmósfera.

De acuerdo a Leyva (2001), la composición atmosférica ha variado a través de la historia de la tierra, hasta formar la mezcla actual de aerosoles y gases. Leal-Quirós (s.f.), menciona que, la atmósfera contiene una gran variedad de sustancias en estado gaseoso, en diferentes concentraciones.

Según Camilloni y Vera (2012), la atmósfera de la tierra está constituida mayormente por nitrógeno (78%) y por oxígeno (21%), seguido de una cierta combinación de gases en menor proporción, como dióxido de carbono, vapor de agua, ozono, metano, entre otros. De ellos se pueden considerar al Argón, Neón, Helio, Criptón, Xenón, Hidrógeno, Metano, Óxido nitroso, vapor de agua, ozono troposférico y partículas suspendidas como polen, polvo, esporas, entre otros (MINAM, s.f.).

b) Interacciones biológicas en la Atmósfera.

En todos los procesos que se dan en la atmósfera existe un balance en la entrada y salida de elementos, por ejemplo, el nitrógeno es removido por la actividad biológica de

bacterias, mientras que el oxígeno es removido por la degradación de la materia orgánica y procesos de oxidación, donde este se combina con otras sustancias (Camilloni y Vera, 2012).

La capa atmosférica no posee una comunidad microbiana propia, solamente es un medio de dispersión para esta, aunque las características de la atmósfera significan un ambiente hostil para los microorganismos, en la capa de la tropósfera inferior se encuentran un gran número de ellos (De la Rosa et al., 2002).

c) Contaminación del aire.

Para Leal-Quirós (s.f.), la contaminación implica la presencia de material indeseable en el aire, en cantidades suficientes para producir efectos perjudiciales; presentándose de tres formas: contaminación de la alta atmósfera, contaminación del aire exterior y contaminación del aire interior. Según Leyva (2001), entre los contaminantes más comunes reconocidos desde la era industrial, tenemos gases como, el dióxido de azufre (SO_2), monóxido y dióxido de carbono (CO , CO_2), óxidos de nitrógeno, ozono, gases de efecto invernadero, material particulado, ceniza, polvo.

2.2.6. Aeromicología

La aeromicología surgió como una rama de la aerobiología, dicha ciencia tuvo sus inicios a principios de siglo XX, la cual incluía el estudio de partículas biológicas transportadas por el viento; con el transcurso del tiempo se consideró el estudio de la liberación, retención, dispersión, deposición e incidencia atmosférica de polen, esporas y otros microorganismos que vagan por el aire, posteriormente se realizó estudios acerca de la variación en espacio-tiempo de las esporas y organismos fúngicos transportados por el aire, lo que ahora se denomina Aeromicología (Sánchez y Almaguer, 2014).

Para Ríos (2011), “la aeromicología es la rama de la aerobiología que investiga la aparición de esporas y otros componentes fúngicos en el aire interior y exterior. Los hongos presentes en el aire han sido asociados a enfermedades alérgicas, infecciosas y micotoxicosis”.

2.2.7. Hongos.

De acuerdo con Kuhar et al. (2013), “los hongos no son plantas ni animales, sino que están agrupados en un reino aparte, en el reino Fungi, la cantidad de formas, colores tamaños que tienen los hongos es inmensa” (p. 11). Según Hawksworth (1991, como se citó en Cepero de García et al., 2012), se estima que hoy en día existe alrededor de 1 500 000 especies de hongos, de las cuales solo el 5% se conoce.

Los hongos son organismos que presentan cualidades únicas entre todos los seres vivientes las cuales pueden ser empleadas para dañar o favorecer a los organismos vivos y a los ecosistemas, estos han desarrollado de manera conjunta a los seres humanos y actualmente son utilizados en diversas áreas como alimento, elementos transformadores de los mismos y cura de enfermedades. Indiscutiblemente, la importancia de los hongos en la biósfera se debe a la capacidad de descomposición y reciclaje de materia orgánica, regulan la liberación de nutrientes y esencialmente su papel en la supervivencia de plantas y animales. Sin embargo, las capacidades fúngicas no son del todo benéficas debido a su impacto en la salud humana, y como causantes de enfermedades en cultivos de importancia económica (Cuevas, 2016).

a) Generalidades de los hongos

Sobrado et al. (2013), mencionan que, los hongos son un gran grupo de organismos heterótrofos, y que durante el transcurso de la historia han sido estudiados en la rama de la Micología. Pontón et al. (2002), mencionan que, “los hongos constituyen un grupo muy numeroso de organismos que presentan una amplia distribución en la naturaleza,

contribuyendo a la descomposición de la materia orgánica y participando en los ciclos biológicos” (p. 1). Según Cepero de García et al. (2012), los hongos son cosmopolitas, ya que estos se distribuyen, en el suelo, agua, aire, restos vegetales, excrementos, entre otros.

Los hongos poseen un núcleo diferenciado y organelos citoplasmáticos rodeados por membranas, lo cual permite diferenciarse de las bacterias; además, las células que los componen están rodeadas por una pared celular rígida; muchos poseen quitina en su pared celular en mayor proporción, mientras que otros tienen celulosa en su lugar (Garces de Granada et al., 2003). Pontón et al. (2002) menciona que, los hongos presentan dos tipos básicos de morfología, la multicelular a la que se le denomina filamentosos, y unicelulares o levaduriformes.

b) Crecimiento y desarrollo de los hongos

Los hongos obtienen los nutrientes por absorción y tienen un metabolismo quimioheterótrofo, ya que obtienen la energía y el carbono de compuestos orgánicos sintetizados por otros organismos. Este hecho condiciona su modo de vida, ya que en la naturaleza se encuentran asociados a la materia orgánica en descomposición, participando en los ciclos naturales de reciclado del carbono y otros elementos naturales o como patógenos oportunistas de los animales y plantas (Pontón et al., 2002, pp. 3-4).

Los hongos se desarrollan mejor en hábitat oscuros y con presencia de humedad, la que obtienen de la atmósfera o del medio donde se desarrollan; y cuando el ambiente presenta sequedad o condiciones adversas, entran en latencia o producen esporas resistentes a la deshidratación (Garces de Granada et al., 2003). De acuerdo con Cepero de García et al. (2012), gran parte son aerobios estrictos por que necesitan para su crecimiento del

oxígeno libre como aceptor de electrones. Sin embargo, algunos pueden ser anaerobios facultativos, es decir que pueden utilizar otras moléculas como aceptor de electrones.

c) Reproducción de los hongos.

Cepero de García et al. (2012), mencionan que, durante el ciclo de vida de los hongos, estos presentan dos formas de reproducción, de manera asexual, y sexual, algunos tienen la capacidad de reproducirse de ambas formas.

Hongos imperfectos: Según Morales (2009), los hongos imperfectos son aquellos que tienen la capacidad de reproducirse si realizan intercambio genético; ocurren cuando el ambiente es rico en nutrientes. Casi todos tienen una condición que consiste en la presencia de esporas, cada una con un núcleo haploide, las cuales germinan en hifas con núcleos haploides, que a su vez producen nuevas esporas haploides (Garcés de Granada et al., 2003). Por otro lado, Gallego (2016), afirma que los hongos imperfectos se llaman así porque carecen de una etapa sexual conocida. Sus estructuras reproductivas aparecen como pequeños puntos negros apenas visibles a simple vista.

Hongos perfectos: Son hongos que se reproducen mediante intercambio genético; este tipo de reproducción es menos común en hongos que causan enfermedades humanas y ocurre cuando el ambiente carece de nutrientes (Morales, 2009). Moral de Gregorio (2018) nos dice que en los días húmedos predominan las ascosporas y basidiosporas, un problema con la identificación es que los hongos mitospóricos tienen diferentes nombres cuando se reproducen mediante intercambio genético, así *Alternaria* spp (*Pleospora* spp, *Leptosphaeria* spp y *Lewia* spp), *Cladosporium* spp (*Venturia* spp, *Mycosphaerella* spp y *Capronia* spp), entre otros.

d) Clasificación de los hongos

En el año 2007, un grupo de investigadores a nivel mundial, proponen una clasificación filogenética integral del reino Fungi, con base en análisis moleculares y diversos aportes de la comunidad científica, en donde se establecieron 7 *phyla*: *Microsporidia*, *Blastocladiomycota*, *Neocallimastigomycota*, *Chytridiomycota*, *Glomeromycota*, *Ascomycota* y *Basidiomycota*, además acepta un subreino *Dikarya*, 10 sub-*Phyla*, 35 clases, 12 subclases y 129 órdenes (Hibbett et al., 2007).

Phylum Microsporidia: En este grupo se encuentran hongos de carácter unicelular, parásitos obligados intracelulares de animales vertebrados, artrópodos, anélidos, moluscos, nematodos y protistas (Hibbett et al., 2007; Vossbrinck, et al., 2014).

Phylum Blastocladiomycota: Anteriormente formaba parte de los quítridos pero luego de una revisión genética mediante análisis de ADN y ARN se pudo observar que pertenecen a diferentes linajes en el árbol fúngico (James et al., 2006; Jones et al., 2015).

Phylum Neocallimastigomycota: Anteriormente era un miembro tradicional del phylum Chytridiomycota, en este grupo se encuentran hongos anaeróbicos, presentes en el tracto digestivo de herbívoros o quizás en sustratos anaeróbicos terrestres o limnicos, muy similares a los quítridos, pero con reproducción mediante zoosporas multiflageladas (Hibbett et al., 2007; Webster y Weber, 2007; Gruninger, et al., 2014).

Phylum Chytridiomycota: Denominados “quítridos”, aeróbicos en el suelo, el agua o en zonas lodosas o fangosas, suele reproducirse mediante zoosporas de un solo flagelo, la pared celular está compuesta por quitina y en algunas también presenta

celulosa; pueden ser saprobios o parásitos de plantas, algas, hongos y animales (Webster y Weber, 2007; Raghukumar, 2017).

Phylum Glomeromycota: Jiménez (2018), nos dice que estos hongos son de suelo principalmente, presenta hifas aseptadas de 8–10 μm de ancho, micelio cenocítico y pared celular compuesta por quitina y quitosan; Salmerón-Santiago et al. (2015) mencionan que este grupo forma asociaciones mutualistas en las raíces de las plantas, con al menos un 75 % de las especies terrestre.

Phylum Ascomycota: Es un grupo muy diverso de hongos, los podemos encontrar en suelo, agua salada, agua dulce y en todos los climas, pueden ser saprófitos o patógenos de plantas y animales, presentan hifas septadas de 2.5 μm de ancho, micelio septado y pared celular compuesta por quitina y glucano. La clave de su identificación está en sus estructuras reproductivas, presentan una fase sexual, la cual forma ascosporas dentro de un asco (Jiménez, 2018; Kuhar et al., 2013).

Phylum Basidiomycota: Se caracteriza porque son macro hongos, presentan septos dolíporos y fíbulas las cuales permiten su condición dicarionte, sus cuerpos fructíferos es lo que permite su identificación, presentan basidios en su fase sexual y exhiben diversos medios para realizar el intercambio genético; representan los principales linajes de hongos patógenos (Coelho et al., 2017; Jiménez, 2018).

e) **Hongos en el medio ambiente**

Los hongos están presentes en todas partes en el medio ambiente, son importantes en los ecosistemas, y también en las actividades relacionadas con el hombre. Los hongos interactúan en el medio ambiente de acuerdo con las características que presenta el medio

ambiente, su genética, competencia con otros organismos, así como el sustrato que tienen disponible en su entorno (Cepero de García et al., 2012).

Los hongos modifican su comportamiento de acuerdo con las necesidades que éste presente y a las condiciones que se presenten en el medio, suelen formar propágulos para su dispersión, estos varían según su estrategia de dispersión, formando xenosporas y memnosporas; suelen dispersarse mediante el aire, el agua, los animales también son un factor importante en la dispersión de propágulos de hongos (Cepero de García et al., 2012; Naranjo-Morán et al., 2021).

2.2.8. Riqueza varietal de especies.

La riqueza es la forma más sencilla de medir la biodiversidad, se basa únicamente en el análisis de la cantidad de especies presentes en un determinado espacio; consiste en contar con un inventario completo que nos permita conocer el número total de especies presentes en una determinada área de estudio (Chávez-Servia et al., 2004; Moreno et al., 2001).

2.2.9. Frecuencia de especies

Se basa en la cantidad de veces que se presenta una especie, sobre tal totalidad de unidades de muestreo (Soler, 2012).

CAPÍTULO III

MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. Ubicación

La investigación se llevó a cabo en las áreas circundantes a Planta de Tratamiento de Aguas Residuales municipales de la ciudad de Celendín, en la región Cajamarca; la PTAR está ubicada geográficamente en las siguientes coordenadas: Latitud 6°50'57.06"S, Longitud 78° 8'46.12"O, a 2605 m; a una distancia aproximada de 2.5 km en dirección norte de la plaza de armas de la ciudad.

3.2. Materiales y Equipos

3.2.1. Materiales y Equipos de Campo

Libreta de campo, lapicero, cooler, GPS Garmin GPSMAP 64s, cámara fotográfica Canon EOS Rebel T6, repisas, marcador resistente al agua.

3.2.2. Materiales y Equipos de Laboratorio

Papel estraza, placa Petri, láminas porta objetos, láminas cubre objetos, papel aluminio, agua destilada, medio de cultivo Agar Agar, dextrosa, asa bacteriológica, matraz Erlenmeyer, jeringa de 5 ml, mechero, cámara de flujo laminar, estereoscopio, microscopio, balanza analítica, autoclave.

3.3. Puntos de monitoreo para la recolección de datos

Para la determinación de la cantidad de puntos de muestreo se realizó en función al área de interés evaluado, para ellos se utilizó la metodología recomendada por la NMX-AA-132-SCFI-2006, "Muestreo De Suelos Para La Identificación y La Cuantificación De Metales y Metaloides, y Manejo De La Muestra", metodología propuesta por SEMARNAT, México; la cual brinda la siguiente fórmula para determinar la cantidad mínima de puntos de muestreo que se tomaron en

cuenta para la superficie evaluada, esta metodología es recomendada para el muestreo de suelo, por lo cual ha tenido que ser adaptado al siguiente trabajo:

$$Y = X^{0,3} \times 11,71$$

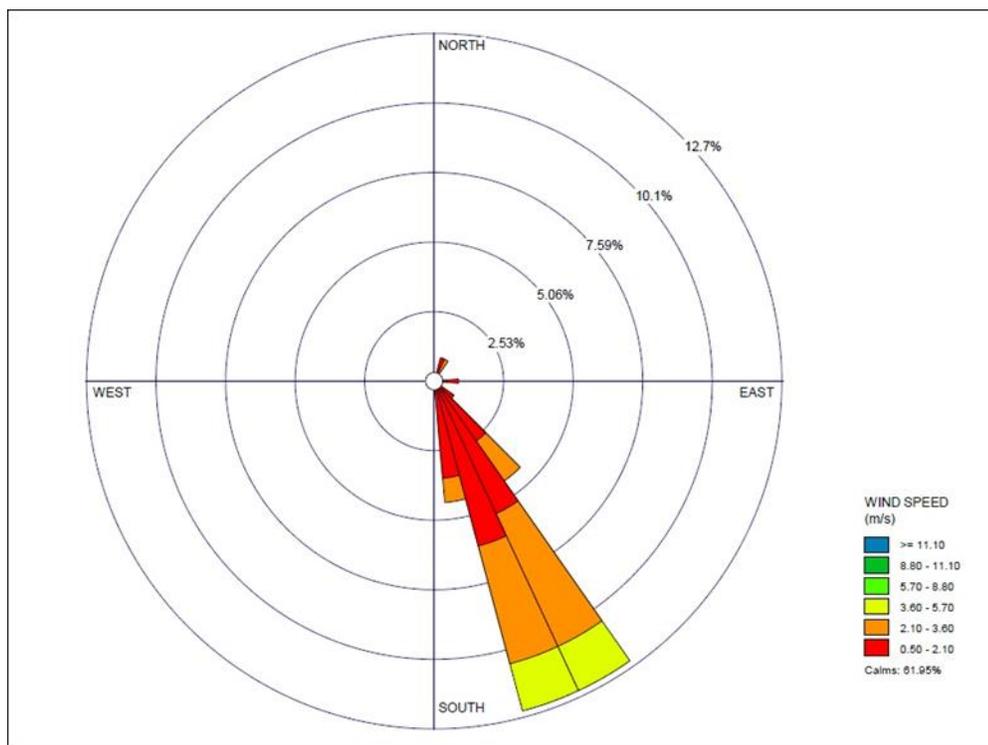
Donde:

Y: es el número mínimo de puntos de muestreo, y

X: es la superficie de la zona de estudio expresada en hectáreas.

Para determinar la ubicación de cada punto de muestreo, primero se realizó un croquis y posterior a ello se georreferenció cada punto, con el fin de determinar la ubicación exacta de cada uno de los 18 puntos, se utilizó el sistema de coordenadas UTM - Datum: WGS 84; la ubicación estuvo determinada según la dirección y velocidad del viento, por lo que se elaboró una rosa de viento la cual nos sirvió de guía. Los puntos P03, P05, P06, P07, P08, P11 y P12 se ubicaron dentro de las instalaciones de la PTAR, mientras que los puntos P01, P02 (patrones), P04, P09, P10, P13, P14, P15, P16, P17 y P18 se ubicaron en las afueras de las instalaciones.

Figura 1
Rosa de vientos



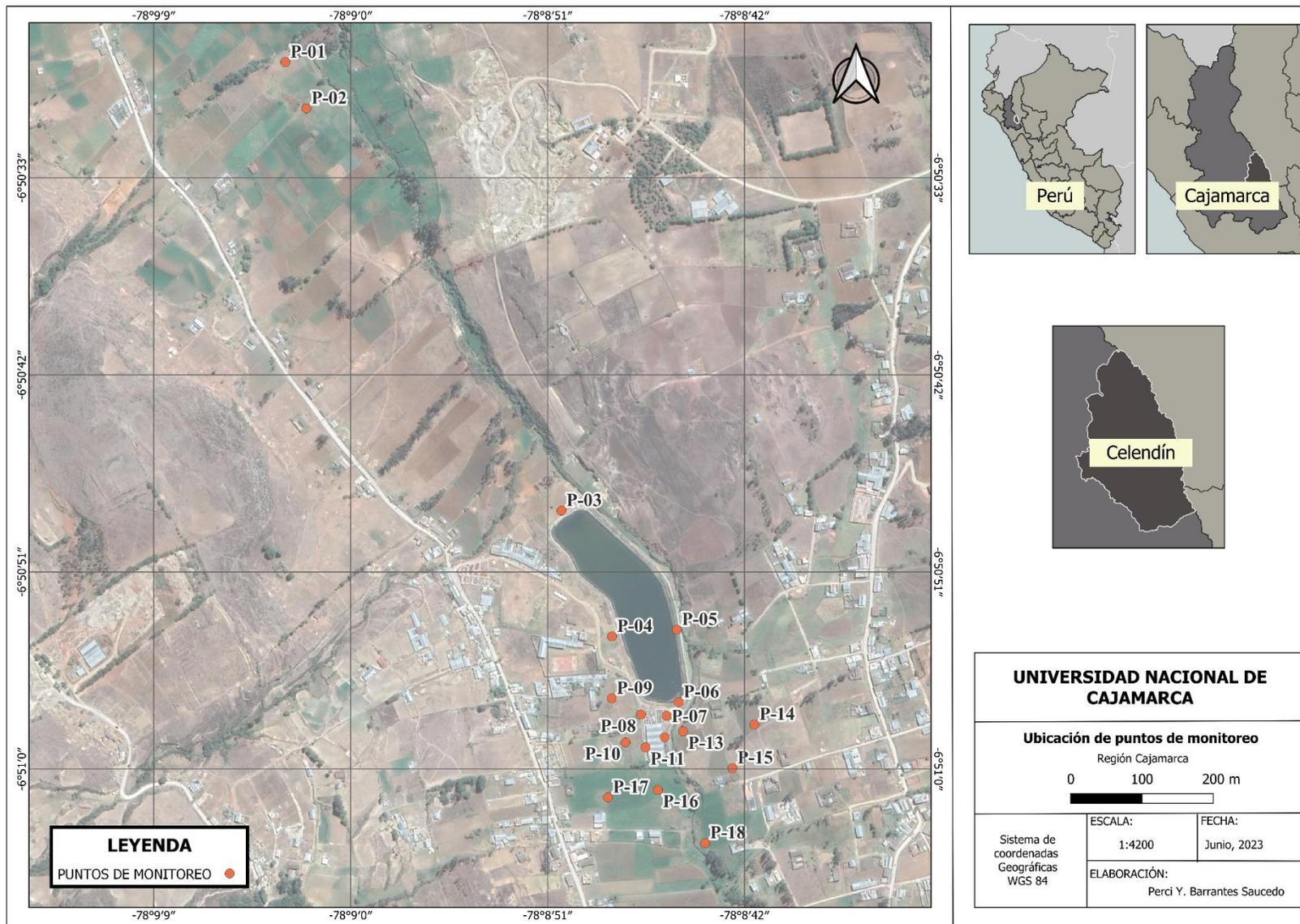
Nota: En la figura se puede observar la rosa de vientos de lugar, elaborada en base a los datos de la estación meteorológica de la ciudad de Celendín – SENAMHI.

Para la toma de datos se colocaron 2 placas Petri como lo recomienda Hernández (2001) en cada uno de los 18 puntos de muestreo, los puntos se ubicaron en las zonas de interés y focos de contaminación como recomienda Arias y Piñeros (2008), ya que la normativa OS 090 nos indica que para tratamientos anaerobios la población debe estar a 500 m de distancia como mínimo, los puntos externos se ubicaron dentro de estos límites, se identificó que dentro de estos límites existe grupos urbanos e instituciones; mientras que en las zonas internas se tomaron puntos en las áreas libres y las áreas cercanas a los reactores biológicos, cribado, desarenadores y lechos de secado de lodos como posibles focos de contaminación.

Tabla 1
Ubicación de los puntos de monitoreo

| Punto de Monitoreo | Coord_X | Coord_Y | Descripción |
|---------------------------|----------------|----------------|--|
| P-01 | 815046 | 9242666 | Ubicado a 750 m del efluente de la PTAR |
| P-02 | 815048 | 9242624 | Ubicado a 680 m del efluente de la PTAR |
| P-03 | 815310 | 9242259 | Ubicado en el extremo norte de la laguna |
| P-04 | 815380 | 9242082 | Ubicado a 20 metros de la Escuela |
| P-05 | 815471 | 9242091 | Ubicado en extremo este de la laguna |
| P-06 | 815473 | 9241989 | Ubicado en el extremo sur de la laguna |
| P-07 | 815456 | 9241970 | Ubicado a 4 m del RAFA 2 |
| P-08 | 815420 | 9241972 | Ubicado a 2 metros del RAFA 1 |
| P-09 | 815379 | 9241995 | Ubicado a 40 m de la laguna, en dirección oeste |
| P-10 | 815398 | 9241933 | Ubicado a 30 m del área de cribado, dirección oeste |
| P-11 | 815426 | 9241926 | Ubicado a 1 m del área de cribado |
| P-12 | 815453 | 9241940 | Ubicado a 1 m del lecho de secado de lodos |
| P-13 | 815479 | 9241948 | Ubicado a 20 m del lecho de secado de lodos, dirección este |
| P-14 | 815579 | 9241957 | Ubicado a 120 m del lecho de secado de lodos |
| P-15 | 815548 | 9241896 | Ubicado a 120 m de la zona de ingreso de las masas de agua, dirección sureste |
| P-16 | 815443 | 9241866 | Ubicado a 50 m de la zona de ingreso de las masas de agua, dirección sur |
| P-17 | 815373 | 9241856 | Ubicado a 80 m de la zona de ingreso de las masas de agua, dirección sur oeste |
| P-18 | 815509 | 9241791 | Ubicado a 145 m de la zona de ingreso de las masas de agua, dirección sur |

Figura 2
Puntos de Monitoreo



3.4. Preparación de medios de cultivo

Para la esterilización de las placas Petri se tomó en cuenta lo recomendado por Medina (2016), las placas se lavaron, una vez secas se envolvieron en papel estraza, y esterilizaron en la estufa mediante calor seco.

Para la preparación de Agar Papa Dextrosa, se utilizó 250 g de trozos de papa, 15 g de dextrosa y 18 g de agar agar para 1 L de agua destilada. La papa picada se hirvió en 500 ml de agua; aparte, en un matraz Erlenmeyer se disolvió el agar con agua destilada; se filtró el caldo de papa con una gasa, se mezcló ambas preparaciones y se agregó la dextrosa, se completó con agua destilada a 1L y se esterilizó en la autoclave a 121 °C por 15 min, se dejó enfriar y se vertió el material en las placas Petri previamente esterilizadas (Narrea y Malpartida, 2006).

3.5. Exposición e Incubación de Placas de Muestreo

Se identificó cada placa Petri, registrando el nombre de cada una, se selló con cinta masking para prevenir la contaminación de las placas y se colocó de forma invertida dentro del Cooler, previamente desinfectado para ser transportadas a campo (Medina, 2016).

Para la realización del muestreo se siguió lo recomendado por Lanza et al. (2018), utilizando el método de sedimentación pasiva, por su facilidad de muestreo, donde las partículas se depositan por gravedad. La toma de muestras en las zonas aledañas se realizó según lo recomendado por Castro (2009), a una altura respirable de 1,5 m; y en las áreas próximas al foco emisor se utilizó una altura de 40 cm, recomendada por Sánchez -Monedero et al. (2007).

Las placas Petri se expusieron al medio ambiente durante 30 min (Galán et al., 2018), entre las 12:00pm y la 1:00pm ya que durante este tiempo las condiciones atmosféricas son más estables, de modo que no afecte el método de muestreo (Lanza et al., 2018), una vez finalizado el muestreo se selló y empacó para ser transportadas hacia el laboratorio de fitopatología de la Universidad

Nacional de Cajamarca. Para la incubación de las muestras se tomó en cuenta lo recomendado por Valenzuela citado por Medina (2016), las placas se incubaron hasta las 72 horas a una temperatura de 22°C; pasado el lapso indicado se procedió a la observación de los organismos fúngicos.

3.6. Reconocimiento e identificación de los Organismos fúngicos

Para la identificación de los organismos aerofúngicos se realizó un examen macro y microscópico de las colonias, tomando en cuenta el tamaño de la colonia, su color, las características de las esporas, pigmentación, forma, cantidad, entre otros (Martí et al., 1998).

Se realizó el proceso de aislamiento de muestras puras, en placas Petri de 60*15 mm; posterior a ello se visualizó las colonias presentes en cada placa, se procedió a realizar las observaciones microscópicas; para ello se tomó pequeñas muestras de las colonias con una aguja hipodérmica previamente esterilizada en el mechero, se depositó la muestra en una lámina porta objetos con una gota de agua, se cubrió con una lámina cubre objetos y se procedió a observar al microscopio a 40X.

Para el reconocimiento e identificación de los géneros encontrados se utilizó las claves taxonómicas brindadas por Webster y Weber (2007), Roncal (1993), Barnett y Hunter (1998), Cepero de García et al. (2012) y Hanlin (1990).

3.7. Determinación de potencial patógeno.

Para poder determinar la capacidad patogénica para la salud de la población, se realizó mediante revisión bibliográfica (Hernández et al., 2014) de los casos presentados y recopilados por el área médica, en los cuales se ven involucrados los organismos encontrados.

3.8. Análisis de datos

Se realizó el análisis de frecuencia (Valdez et al., 2018) y riqueza varietal (Chávez-Servia et al., 2004) de los microorganismos, esto nos permitió determinar que microorganismos fungosos suelen ser más comunes y aquellas áreas que presentan mayor riqueza.

Aplicamos la siguiente fórmula a los resultados obtenidos durante los monitoreos para determinar la frecuencia.

$$Fi = \frac{Pi}{NS}$$

Dónde:

Fi: Es la frecuencia absoluta

Pi: Es el número de sitios en el que está presente la especie *i* y

NS: El número total de sitios de muestreo.

Datos:

Fi=1 Muy frecuente

Fi=0 Nada frecuente

Aplicamos la siguiente fórmula a los resultados obtenidos durante los monitoreos para determinar la riqueza varietal.

$$S = \sum_{i=1}^n \frac{E}{NET}$$

Donde:

S: Riqueza varietal

E: Representa el número de especies dentro de una ubicación

NET: Representa el número total de especies

CAPITULO IV

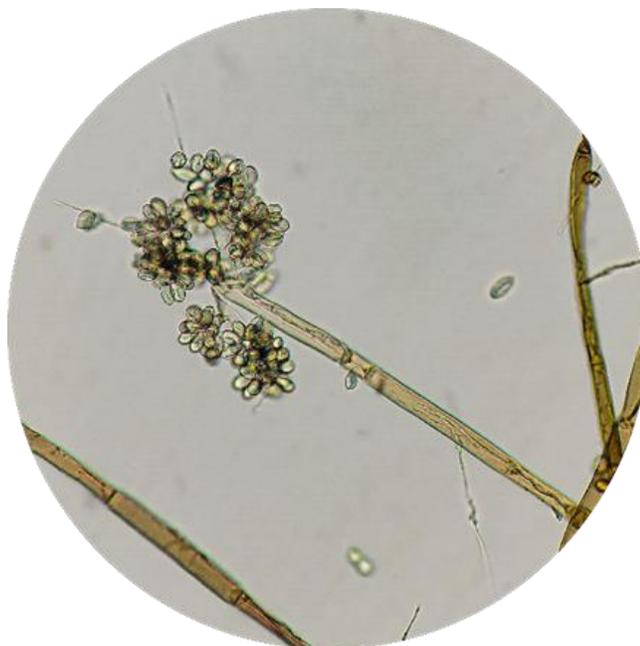
RESULTADOS Y DISCUSIONES

4.1. Morfología de los organismos aeromicológicos encontrados

4.1.1. Aislamiento 1: Género *Botrytis*

En PDA presenta colonias polvorientas, claras cuando están en crecimiento que se tornan marrón conforme maduran, características que coinciden con lo descrito por Cepero de García et al. (2012); hifas hialinas y septadas; conidióforos altos, delgados, septados, pigmentados y ramificados en la parte superior, cada rama termina en una célula abultada, globosa, cubierta de esterigmas en donde se forman los conidios, lo que coincide con lo descrito por Barnett y Hunter (1998); los conidios son brillantemente coloreados, unicelulares, ovoides, características que reporta Roncal (2004). Descripción que pertenece al género *Botrytis*.

Figura 3
Botrytis



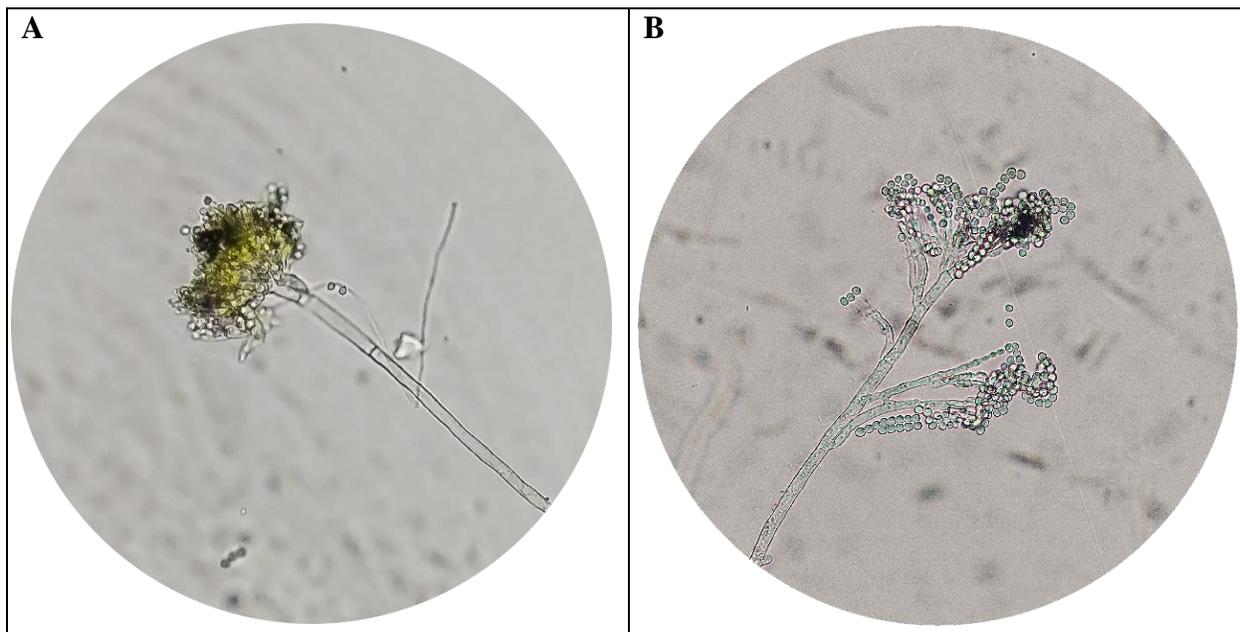
Nota: conidióforos y conidios de *Botrytis* sp.

4.1.2. Aislamiento 2: Género *Penicillium*

Forma colonias polvorientas en PDA, blancas en inicios, conforme maduran se tornan verde, celeste, turquesa, debido a la maduración de los conidios, estas características coinciden con las encontradas por Roncal (2004) y Guarro et al. (1979). Presentan hifas hialinas y septadas; conidióforo multicelular, simple o ramificado, en la porción apical se forman estructuras en forma de botellas llamadas fiálides, sobre estas se forman los conidios, unicelulares, esféricos o globosos, catenados, hialinos o ligeramente pigmentados; esta descripción coincide con lo reportado por Barnett y Hunter (1998) y Guarro et al. (1979). El aislamiento pertenece al género *Penicillium*.

García (2016), menciona que son considerados contaminantes comunes ambientales, siendo asociado con frecuencia a enfermedades nosocomiales, además Castro (2009), menciona que en personas inmunosuprimidas puede producir una micosis sistémica.

Figura 4
Penicillium



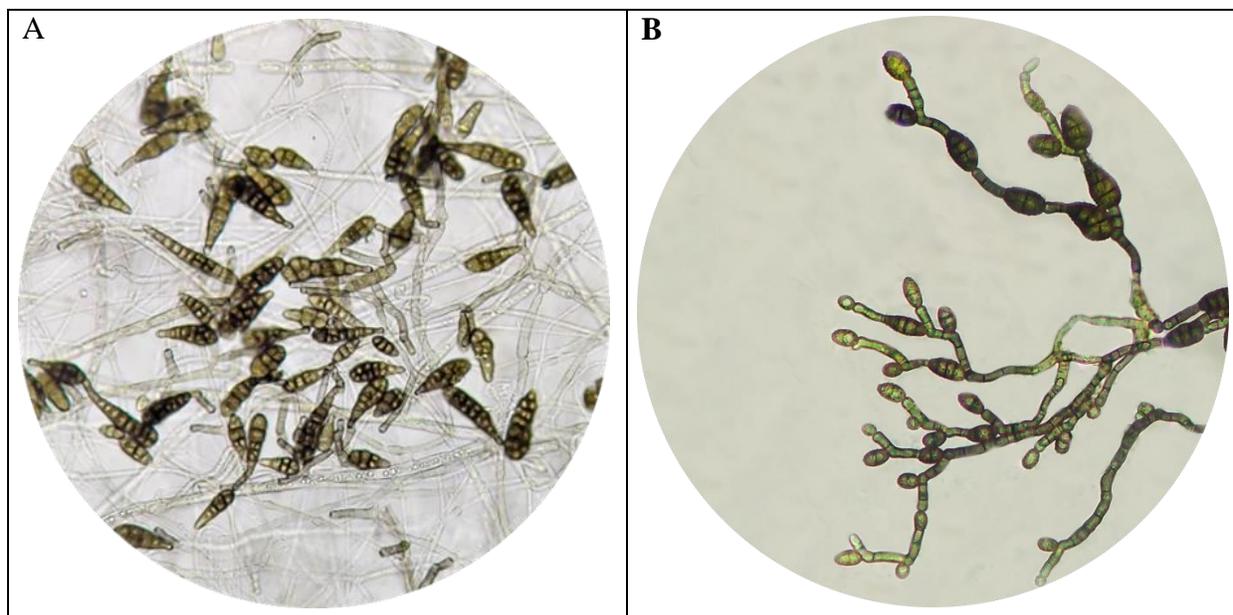
Nota: Vista de conidióforos y conidios de *Penicillium* sp. (A), conidióforos y fiálides de *Penicillium digitatum* (B).

4.1.3. Aislamiento 3: Género *Alternaria*

Presenta colonias algodonosas de color marrón, olivo-Marrón a negro en PDA. Hifas amarillentas al microscopio; conidióforos simples o ramificados de coloración marrón; los conidios presentan coloración amarillenta a marrón oscuro, con 4 o 7 septos longitudinales y transversales, ovoides, alargados, desarrollados en cadenas, reporte que coincide con Roncal (2004), Cepero de García et al. (2012) y Barnett y Hunter (1998); las características antes mencionadas nos indican que el aislamiento corresponde al género *Alternaria*.

Los hongos del género *Alternaria* se han reportado como productores de alergias e infecciones respiratorias, la exposición a las toxinas está relacionado con la aparición de efectos adversos para la salud en personas y animales; en muchos casos, se ha demostrado que tienen capacidad genotóxica, mutagénica, carcinogénica y citotóxica (Velázquez, 2022).

Figura 5
Alternaria



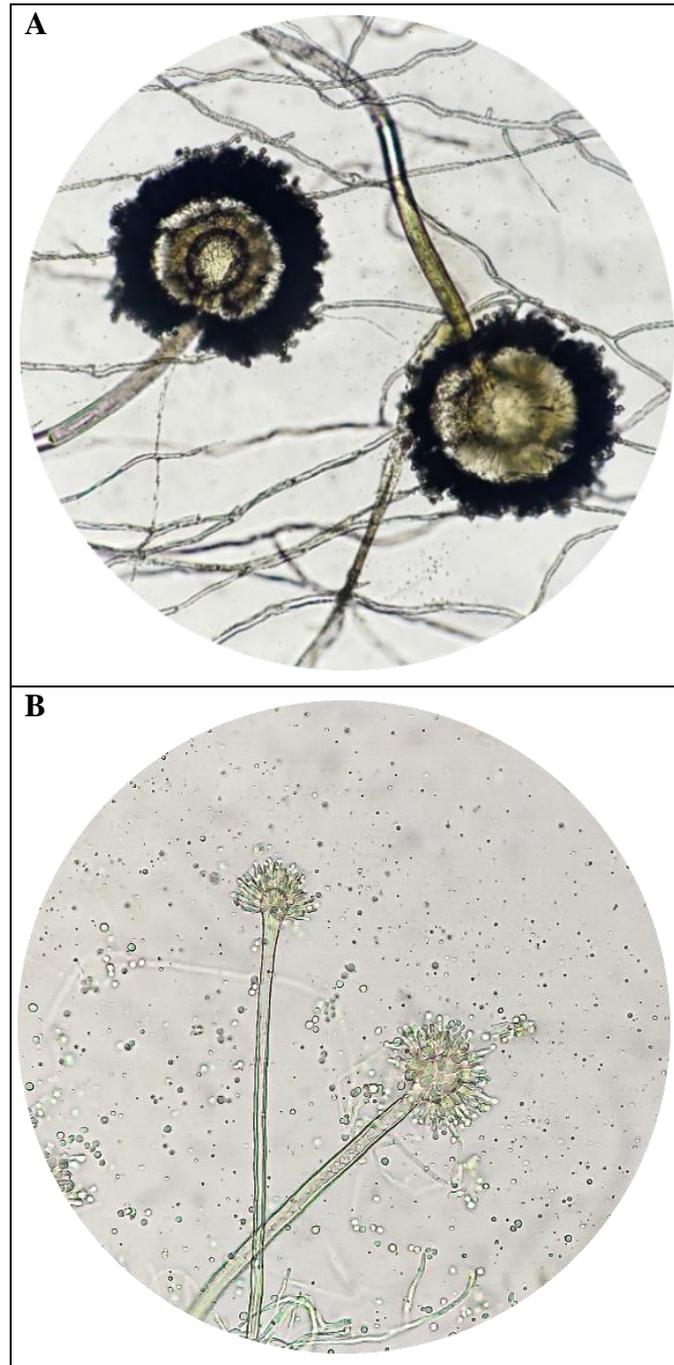
Nota: Vista de conidios de *Alternaria Solani* (A) y conidios catenados de *Alternaria alternata*. (B).

4.1.4. Aislamiento 4: Género *Aspergillus*

Colonias polvorizadas en medio PDA, de color blanco, verde, o negro o una mezcla de ellos dependiendo de la especie, características coincide con lo descrito por Cepero de García et al. (2012); hifas hialinas, septadas; conidióforos sin septos, hialinos o pigmentados, con una célula pie en su base, que terminan en una vesícula que presenta formas globosas; sobre estas se desarrollan las fiálides, una capa de fiálides rectangulares sobre las cuales se desarrollan las auténticas fiálides las cuales dan origen a los conidios, unicelulares, los cuales crecen uno sobre otro formando cadenas, hialinos o brillantemente coloreados según la especie, lo que coincide con lo reportado por Piontelli (2008) y Roncal (2004). Características que corresponde al género *Aspergillus*.

Béjar et al. (2019), mencionan que algunas especies de *Aspergillus*, como *A. fumigatus*, *A. niger* suelen generar afecciones respiratorias, afectando tejido bronquial pulmonar, generando hipertensión pulmonar, aspergilosis broncopulmonar; por su parte Douwes et al. (2003), mencionan que, la aflatoxina producida por estos hongos tiene capacidad carcinogénica; se ha reportado casos de infecciones hepáticas por *Aspergillus* en pacientes con condiciones inmunosupresoras, oncológicas (Pilleux et al., 2000).

Figura 6
Aspergillus



Nota: Conidióforos, vesículas, fiálides y conidios de *Aspergillus niger* (A) y *Aspergillus* sp. (B).

4.1.5. Aislamiento 5: Género *Stachylidium*

Forma colonias, castañas, marrones o pardas; el micelio suele estar inmerso en el sustrato; presenta hifas ramificadas, septadas, hialinas, coincide con lo descrito por Capdet (2012); conidióforos rectos, tabicados, ramificados, castaños, oscuro en la base, aclarándose hacia el ápice; células conidiógenas, verticiladas, hialinas; fiálides en cada ramificación, hialinas o ligeramente pigmentadas; conidios cilíndricos, elipsoides, hialinos, unicelulares; estas características coinciden con lo reportado por Dewi (2013) y Giraldo y Crous (2019). Según estas características, el aislamiento pertenece al género *Stachylidium*.

Figura 7
Stachylidium



Nota: Conidióforo con ramificaciones verticiladas, fiálides y conidios de *Stachylidium* sp.

4.1.6. Aislamiento 6: Género *Monillia*

Presenta micelio blanco o gris claro, amarillento, cremoso, en medio PDA; con forme madura la colonia la parte superior se torna de color amarillento a naranja, características que

también señala Martini y Mari (2014); el micelio está conformado por hifas cenocíticas, no existe diferenciación de conidióforo pero si de células conidiogénicas, a partir de las cuales se forman los conidios, ovoides, unicelulares, catenados, características que coinciden con lo descrito por Roncal (2004) y Martini y Mari (2014). Estas características pertenecen al género *Monillia*.

Es patógenos de plantas y frutos del género *prunus*, genera daños en planta y en post cosecha (Roncal, 2004).

Figura 8
Monilla



Nota: Vista de microscópica de *Monilla* sp

4.1.7. Aislamiento 7: Género *Cladosporium*

En PDA presenta colonias aterciopeladas, verdosas, verde-oliva a negro conforme envejece, características que también describe Cepero de García et al. (2012); hifas septadas y pigmentadas; conidióforo formado por varias células, largo y delgado con ramificación en

la parte superior; de las ramas se desprenden células ovoides, alargadas, sobre las cuales se forman los conidios uni o bicelulares de forma variada, catenados, brillantemente coloreados, esto coincide con lo descrito por Roncal (2004). Características que nos indican que el aislamiento pertenece al género *Cladosporium*.

Los hongos del género *Cladosporium* se han reportado como productores de alergia e infecciones al tracto respiratorio (Pilleux et al., 200); genera toxinas que tienen potencial carcinogénico (Castro, 2009). Suele producir daños localizados, generando papilas escamosas que terminan en nódulos verrugosos (Restrepo et al., 2003). Suele afectar a frutos carnosos y cereales (Roncal, 2004).

Figura 9
Cladosporium



Nota: Presencia de conidióforos y conidios de *Cladosporium* sp.

4.1.8. Aislamiento 8: Género *Cephalosporium*

Presenta colonias algodonosas o aterciopeladas en medio PDA, de color blanco con tonalidad naranja claro; hifas hialinas, septadas, lo cual coincide con lo descrito por Fincher

et al. (1991); las hifas forman conidióforos de tipo fiálide en forma de punzón, simples, los cuales dan origen a falsas cabezas que están formadas por conidios agrupados en una gota de mucilaginosa, alargados, cilíndricos, fusariformes, con los bordes redondeados, lo cual coincide con lo descrito por Cepero de García et al. (2012). Características que pertenece al género *Cephalosporium*.

Algunas especies de *Cephalosporium* son patógenos para los humanos, provocando micetomas, queratitis, endocarditis, meningitis, onicomicosis; generalmente en pacientes en áreas tropicales o subtropicales, aunque sus casos son infrecuentes (Fincher et al., 1991; Arenas, 2008). Existen especies que se asocian con especies de *Fusarium* causando necrosis radicular (Edquen, 2019).

Figura 10
Cephalosporium

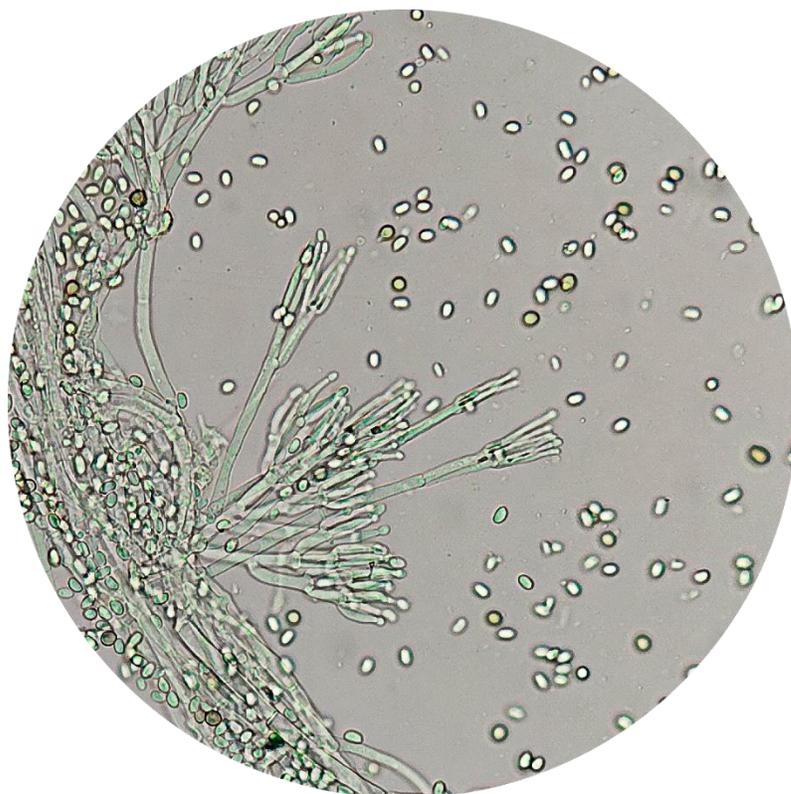


Nota: Fiálides con falsas cabezas conformadas por conidios de *Cephalosporium* sp.

4.1.9. Aislamiento 9: Género *Gliocladium*

Colonias algodonosas en PDA, con tonalidad blancas, rosa o salmón, esto coincide con lo descrito por Cepero de García et al. (2012) y Castillo et al., (2016); hifas hialinas y septadas; conidióforo erecto, densamente peniciliado en la parte superior, hialino; conidios unicelulares, hialinos, ovoides o cilíndricos producidos sucesivamente en una gota mucilaginosa formando una falsa cabeza, estas características coinciden con lo reportado por Barnett y Hunter (1998) y Castillo et al. (2016). Esto nos indica que el aislamiento pertenece al género *Gliocladium*.

Figura 11
Gliocladium



Nota: Presencia de conidióforos peniciliados y conidios de *Gliocladium* sp.

4.1.10. Aislamiento 10: Género *Trichoderma*

Presenta colonia algodonosa a aterciopelada en PDA de coloración blanca, con masas de conidios de color verde, formando anillos concéntricos; estas características coinciden con

las descritas por Cepero de García et al. (2012). Hifas septadas y hialinas; conidióforos ramificados, filídicos, ensanchados en el centro; forma conidios hialinos o de coloración verde olivo, lisos, o ligeramente rugosos, ovoides, globosos, agrupados en pequeños racimos terminales; estas características coinciden con las encontradas por Barnett y Hunter (1998) y Martínez et al. (2015). De acuerdo a las características descritas, este aislamiento corresponde al género *Trichoderma*.

Se ha reportado como patógeno oportunista en personas con características inmunosuprimidas, generando problemas respiratorios (Castro, 2009); también suele ser antagonico contra microorganismos fungosos de plantas (Roncal, 2004).

Figura 12
Trichoderma



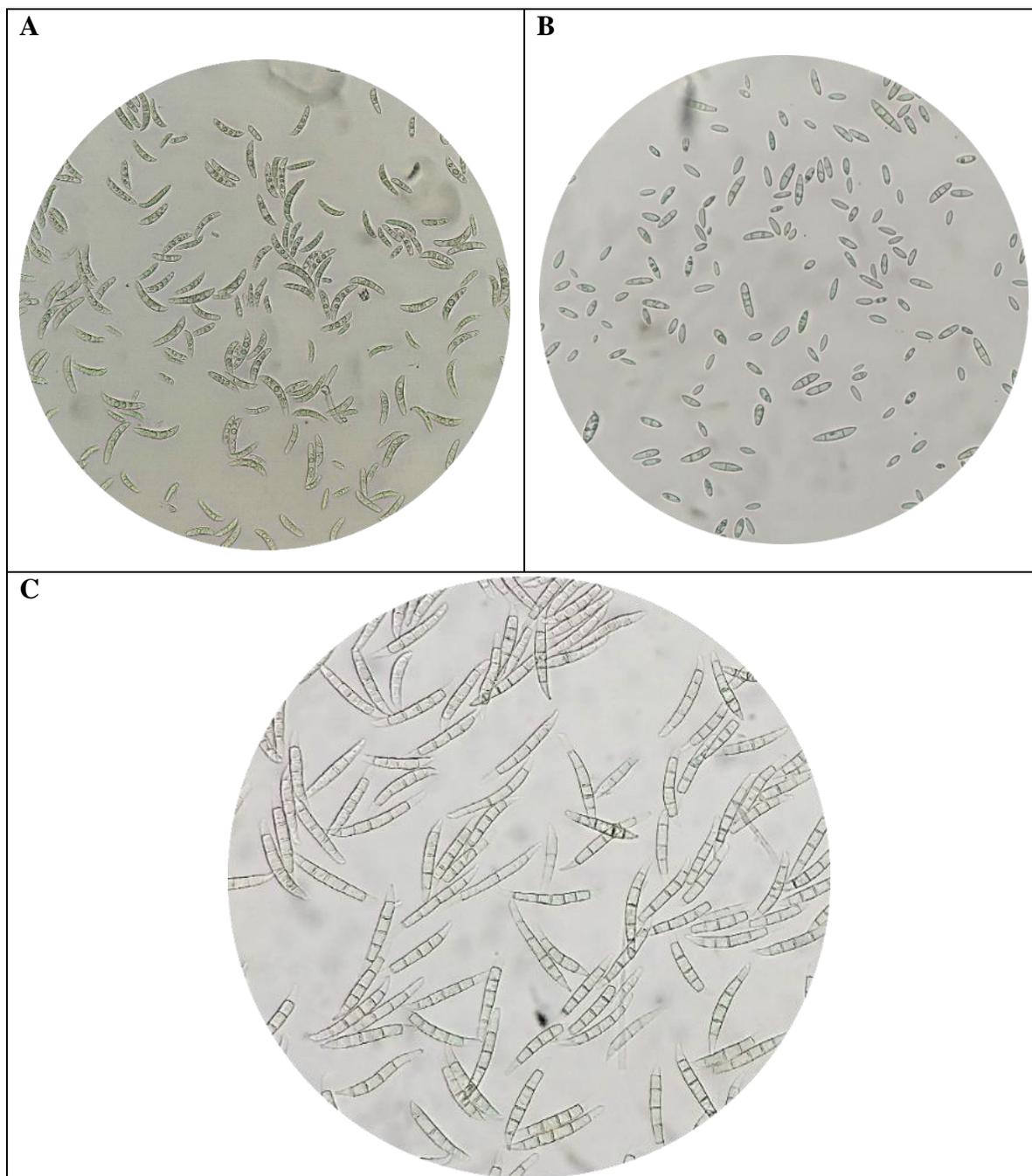
Nota: Conidióforos y conidios de *Trichoderma* sp.

4.1.11. Aislamiento 11: Género *Fusarium*

Presenta colonias algodonosas o aterciopeladas en medio PDA, blancas, cremas, amarillo cremoso o violeta dependiendo de la especie, esto coincide con lo reportado por Cepero de García et al. (2012); hifas hialinas y septadas; conidióforos simples que termina en células conidiogénicas fialídicas, delgadas, alargadas o cortas, algunas forman agrupaciones, dando origen a macro, meso y micro conidios; los macro conidios presentan forma de medialuna, septados, pluricelulares, hialinos y brillantemente coloreados; los micro conidios poseen formas fusiformes, ovales, alargadas, unicelulares; los meso conidios son de menor tamaño que los macro conidios pueden ser bicelulares o tricelulares, esto coincide con lo descrito por Tapia y Amaro (2014) y Roncal (2004). Estas características nos indican que el aislamiento pertenece al género *Fusarium*.

Arenas (2008), menciona que algunas especies de *Fusarium* producen toxinas que afectan al hombre y animales, además pueden generar infecciones localizadas o sistémicas, como onicomycosis, lesión cutánea localizada, colonización de quemaduras, micetoma, endocarditis, abscesos cerebrales; de las más de 100 especies de *Fusarium* descritas, sólo 12 de ellas pueden considerarse patógenas para el humano, entre ellas destacan *F. solani*, *F. oxysporum* y *F. verticilloides*, en orden decreciente de frecuencia respectivamente (Tapia y Amaro, 2014); y muchas otras suelen generar graves enfermedades en los cultivos, como el conocido mal de Panamá (Ocara et al., 2018).

Figura 13
Fusarium



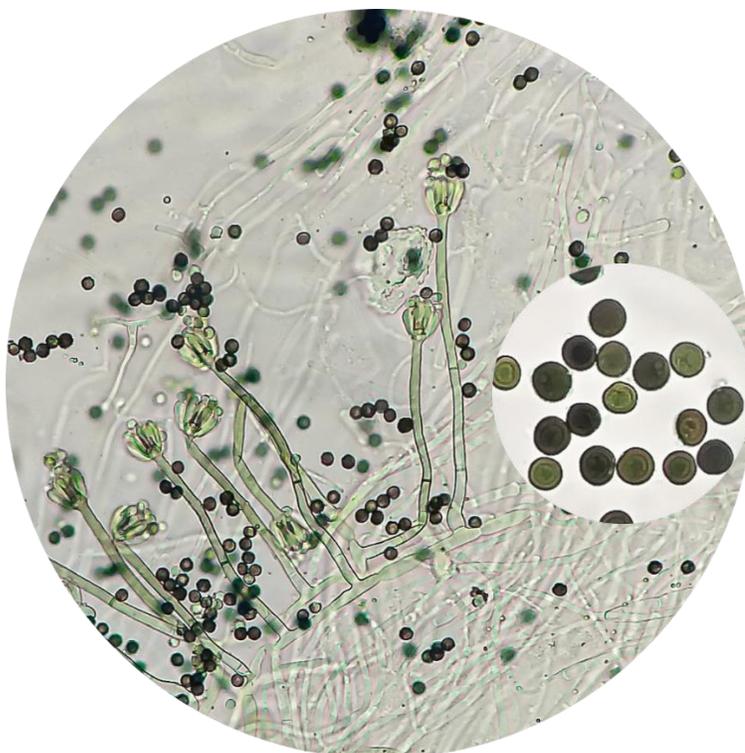
Nota: Conidios de *Fusarium* sp. (A), *Fusarium solani* (B), y *Fusarium oxysporum* (C).

4.1.12. Aislamiento 12: Género *Memnoniella*

Colonias oscuras, polvorientas en medio PDA con micelio pigmentado, puede presentar micelio aéreo de color blanco, en parte superficial y en parte sumergido,

coincidiendo con por Zheng et al. (2019); hifas cenocíticas brillantemente coloreadas; conidióforos oscuros, septados, no ramificados, en la parte apical con células fialídicas conidiogénicas, hialinas y pigmentadas, donde se forman los conidios, unicelulares, globosos, sin septaciones, lisos a verrugosos, catenados, hialinos, verde-oliva, marrones a negros, reporte que coincide con lo descrito por Barnett y Hunter (1998) y Zheng et al. (2019). Estas características morfológicas pertenecen al género *Memmoniella*.

Figura 14
Memmoniella



Nota: Conidióforos y conidios de *Memmoniella* sp.

4.1.13. Aislamiento 13: Género *Scopulariopsis*

Presenta colonias de color blanco o canela, polvorientas o aterciopeladas en medio PDA; hifas septadas, hialinas; estas características coinciden con lo reportado por Cepero de García et al. (2012). Conidióforos simples o con ramificaciones, peniciliados, con una zona

anélida; conidios unicelulares, catenados, piriformes o globosos, con la base truncada, hialinos o ligeramente pigmentados; estas características coinciden con las descritas por Piontelli (2015) y Cepero de García (2012). El aislamiento pertenece al género *Scopulariopsis*.

Arenas (2008), menciona que algunas especies de *Scopulariopsis* están relacionadas con afecciones en humanos, generando fungoma pulmonar, lesiones cutáneas u onicomicosis.

Figura 15
Scopulariopsis



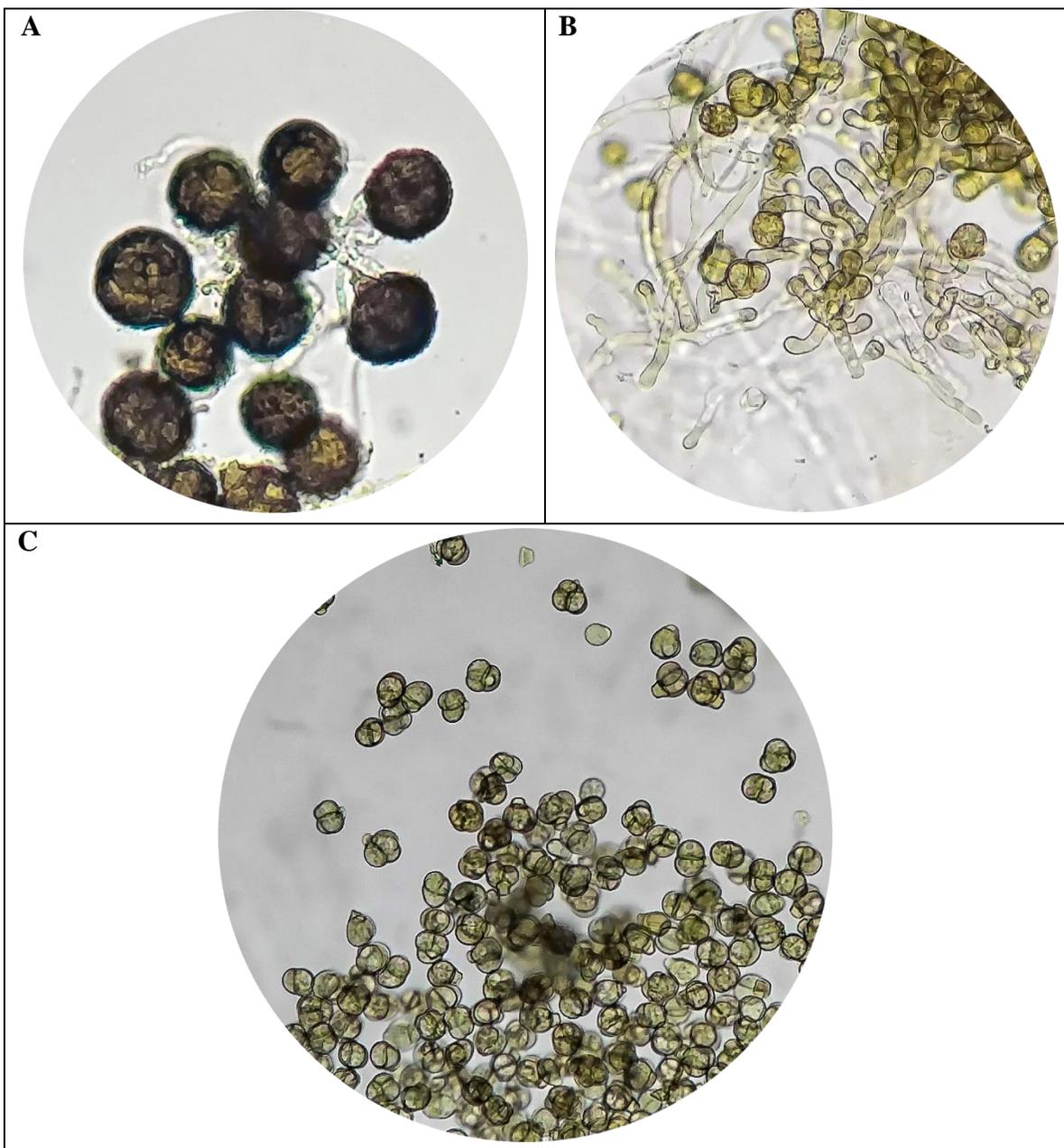
Nota: Conidióforos y conidios de *Scopulariopsis* sp.

4.1.14. Aislamiento 14: Género *Epicoccum*

En PDA forma colonias algodonosas, de colores amarillo, naranja, rojizas a marrón en la superficie y reverso del medio de coloración oscuro, lo cual coincide con Cepero de García et al. (2012); hifas hialinas o brillantemente coloreadas, dan origen a conidióforos que son difíciles de diferenciar, cortos, castaños o marrones, agrupándose en esporodoquios; conidios de color marrón o amarillo oscuro, oliváceos, globosos, formado por varias células, aunque al inicio pueden ser aceptados; con pared lisa y rugosa al madurar; estas características también

son descritas por Barnett y Hunter (1998). Esto indica que las características descritas en el aislamiento pertenecen al género *Epicoccum*.

Figura 16
Epicoccum



Nota: Conidios y conidióforos de *Epicoccum nigrum* (A) y *Epicoccum* sp. (B); conidios de *Epicoccum* sp. (C).

4.1.15. Aislamiento 15: Género *Stenphylium*

En PDA desarrolla colonias de marrón oliváceo o marrón a negro, de aspecto polvoriento, aterciopelado; hifas septadas ligeramente coloreadas, coinciden con lo descrito por Cepero de García et al. (2012); forma conidióforos multicelulares, pigmentados, marrones, raramente con ramificaciones; conidios oblongos a elipsoidales con el ápice obtuso, de pigmentación marrón amarillento a marrón oliváceo, septados, con pared espinosa y cicatriz basal oscura; reporte que también es realizado por Cadeño et al. (2003) y Roncal (2004). De acuerdo a las características descritas, este aislamiento corresponde al género *Stenphylium*.

Patógeno de plantas, dentro ello afecta a la cebolla china (Calua, 2016), genera manchas foliares en esparrago (Roncal 2004),

Figura 17
Stenphylium



Nota: Conidios de Stenphylium sp

4.1.16. Aislamiento 16: Género *Dreschlera*

Colonias vellosas a algodonosas en PDA, grises, verde-oliváceo a oscuro; hifas brillantemente coloreadas reportes que coinciden con Cepero de García et al. (2012); conidióforos marrón claro, mayormente simples, formando una distorsión en forma de zigzag en la parte superior producto del desarrollo de los conidios, cilíndricos a subcilíndricos, con septaciones transversales, de pigmentación marrón oscuro, en estado juvenil los conidios pueden ser hialinos; estas características menciona Sisterna (1987), Barnett y Hunter (1998) y Roncal (2004). Características que pertenece al género *Dreschlera*.

Pontón et al. (2012), menciona que este género está asociado con casos de asma, enfermedades broncopulmonares, alergias, fiebre, rinitis alérgica, infecciones cutáneas y subcutáneas con desenlace fatal en casos de pacientes inmunosuprimidos. Patógeno en cultivos (Roncal 2004).

Figura 18
Dreschlera



Nota: Vista conidióforo y conidios de *Dreschlera* sp.

4.1.17. Aislamiento 17: Género *Curvularia*

Presenta colonias algodonosas de coloración verdosa, oliva, o marrón oscuro en medio PDA, reporte que coincide con Cepero de García et al. (2012); hifas, septadas, brillantemente coloreadas; conidióforos marrón, simples, septados, coincidiendo con Barnett y Hunter (1998); los conidios en sus inicios son hialinos, con una o dos células, con la edad forma cuatro células, las dos externas ligeramente pigmentadas y las centrales pigmentadas siendo la tercera de mayor tamaño la cual permite la curvatura, características mencionadas por Roncal (1998). Descripción que pertenece al género *Curvularia*.

Algunas especies de *Curvularia* tienen potencial patogénico, provocando micetomas, queratitis, endocarditis, meningitis, onicomycosis, generalmente en pacientes de zonas tropicales o subtropicales, los casos incrementan en personas inmunocomprometidas (Fincher et al., 1991; Arenas, 2008); siendo *C. spicifera* la más frecuente (Madrid et al, 2019). Existen especies que generan enfermedades en plantas (Roncal, 2004).

Figura 19
Curvularia



Nota: Conidióforo y conidios de *Curvularia* sp.

4.1.18. Aislamiento 18: Género *Periconia*

Presenta micelio polvoso en PDA, de color marrón claro u oscuro por pigmentación de los conidios, ocasionalmente forma hifas blancas levantadas. Hifas hialinas; conidióforo diferente a las hifas, erecto, septado, de paredes lisas o rugosas, de color marrón, con estipite y cabeza esférica sobre las cuales se forman células conidiogénicas que dan origen a conidios unicelulares globosos con equinulaciones, de acuerdo a la edad cambian de color, brillantemente coloreados en formación, marrón oscuro en estado maduro, descripción concuerdan con las encontradas por Camarán y Novas (2003) y Chuaseeharonnachai et al. (2016). Características que conducen al género *Periconia*.

Figura 20
Periconia



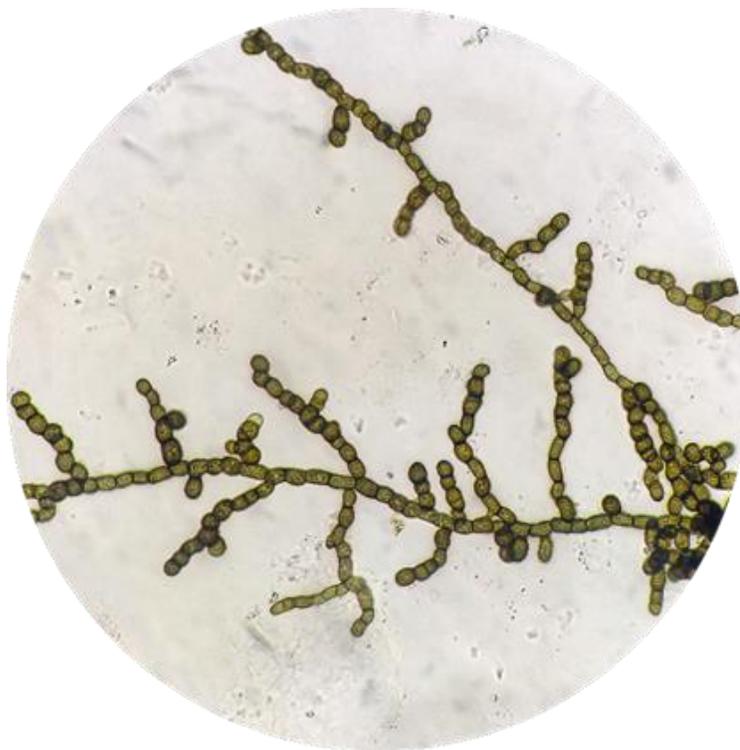
Nota: Conidióforos y conidios de *Periconia* sp.

4.1.19. Aislamiento 19: Género *Torula*

Colonia negra, polvorienta, esclerótica, distribuida uniformemente en el medio PDA; hifas septadas, lisas o ligeramente rugosas, marrones; estas características coinciden con las reportadas por Crane y Schoknecht (1986); conidióforo inconspicuos; los conidios son el resultado de la formación de células de resistencia de las hifas, cilíndricos con los extremos redondeados, unicelulares, de pigmentación marrón a marrón oscuro, ligeramente verrugosos, características de los blastoporos, formando cadenas, esto coincide con lo descrito por Samarakoon et al. (2021). De acuerdo a las características este aislamiento corresponde al género *Torula*.

Se reporta como fitopatógenos en plantas, afectando a nivel de la corteza, en Cajamarca se ha encontrado afectando individuos de *Polylepis* (Chávez, 2021).

Figura 21
Torula



Nota: Conidios de resistencia en cadenas de *Torula* sp.

4.1.20. Aislamiento 20: Género *Botryotrichum*

Colonias blancas en medio PDA, pueden tomar tonalidades marrones o amarillas conforme madura. Hifas hialinas o ligeramente pigmentadas; conidióforos indistinguibles en ocasiones, hialinos, los cuales dan origen a los conidios en racimos botriosos, globosos a sub globosos, de paredes gruesas, mayormente rugosos, hialinos o brillantemente coloreados, características que coinciden con lo reportado por Elkhateeb y Daba (2021), Alidadi et al. (2020) y Barnett y Hunter (1998). Estas características pertenecen al género *Botryotrichum*.

Figura 22
Botryotrichum



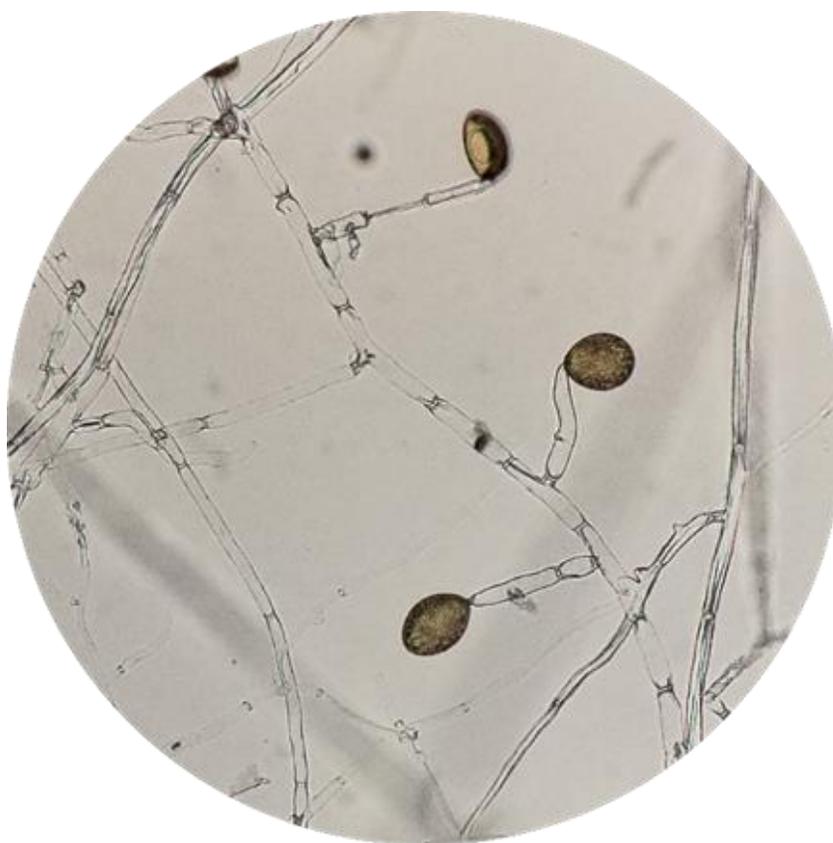
Nota: Conidióforos y conidios de *Botryotrichum* sp.

4.1.21. Aislamiento 21: Género *Acremoniella*/*Harzia*

Colonia algodonosas en PDA, grisáceas, pero conforme madura toma pigmentación con tonos marrones, la parte abaxial del PDA toma coloración rosa a morado; hifas hialinas; conidióforo hialino, sin ramificaciones, recto o curvado ligeramente, ahusado terminado en una punta aguda, los cuales dan origen a los conidios, solitarios, unicelulares, globosos u ovoides, incoloros en principio y de pigmentación marrón claro en etapa madura, reporte que coincide con Poursafar et al. (2017) y Barnett (1962). Esta descripción corresponde al género *Acremoniella* (Barnett, 1962) / *Harzia* (Schultes et al., 2017).

Figura 23

Harzia



Nota: Conidióforos y conidios de *Harzia* sp.

4.1.22. Aislamiento 22: Género *Clamydomyces/Harzia*

Colonia aterciopelada, lanosa, de coloración amarillenta o marrón-claro en PDA; presenta conidióforo septado, simple o ramificado, hialino o ligeramente pigmentado, los cuales dan origen a un conidio bicelular, formado por una célula hialina en su base y una segunda de mayor tamaño en la parte superior, de color marrón claro, rugosa, estas características coinciden con lo reportado por Barnett y Hunter (1998). Esto nos indica que el género aislado pertenece a *Chlamydomyces* (Barnett y Hunter 1998) / *Harzia palmara* (Schultes et al., 2017).

Figura 24
Harzia palmara

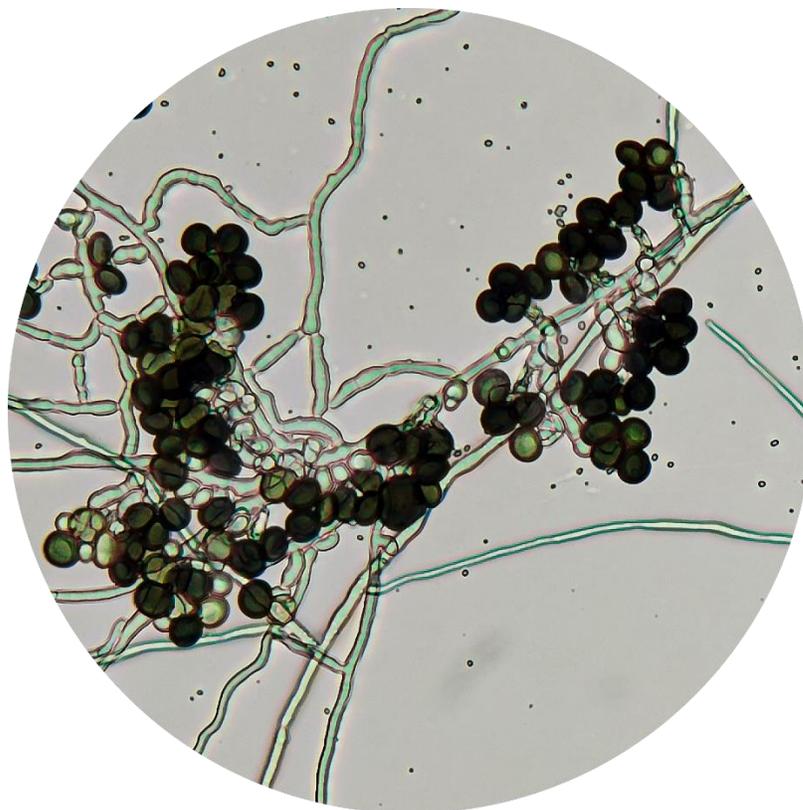


Nota: Conidióforos y conidios bicelulares de *Harzia palmara* (Schultes et al., 2017).

4.1.23. Aislamiento 23: Género *Arthrinium*

En PDA forma colonias planas, extendidas, con abundante micelio aéreo blanco reportado que coincide por Wang et al. (2018); hifas hialinas, septadas, ramificadas, a menudo con conexiones; presenta conidióforos hialinos, solos o agregados en esporodoquios o racimos sobre las hifas; conidios globosos o subglobosos a elipsoides, oliváceos a marrón, suaves o ligeramente rugosos, poseen unos anillos ecuatoriales pálidos características que coinciden con lo reportado por Crous y Groenewald (2013) y Ellis (1965). Lo descrito nos indica que el aislamiento corresponde al género *Arthrinium*.

Figura 25
Arthrinium



Nota: Conidióforos y conidios de *Arthrinium* sp

4.1.24. Aislamiento 24: Género *Nigrospora*

Desarrolla colonias algodonosas en PDA, de color blanco o gris; hifas septadas, brillantemente coloreadas, coincidiendo con Cepero de García et al. (2012); conidióforos unicelulares, con una célula abultada en la zona apical de la cual se desprende una vesícula la cual soporta a los conidios; conidios unicelulares brillantemente coloreados al inicio y negros en estado maduro; estas características coinciden con las encontradas por Barnett y Hunter (1998) y Roncal (2004). Según lo descrito el aislamiento pertenece del género *Nigrospora*.

Figura 26
Nigrospora



Nota: Vista de conidióforos y conidios de *Nigrospora* sp.

4.1.25. Aislamiento 25: Género *Gloeosporium*

Colonias de color blanco en cultivo de PDA; hifas septadas; forma agrupaciones gelatinosas verde-olivo en la masa miceliana, donde se forma los conidios, cilíndricos, alargados, hialinos o brillantemente coloreados, con extremos redondeados, estas características coinciden con lo descrito por Barnett y Hunter (1998) y Roncal (2004). La descripción nos indica que el aislamiento pertenece al género *Gloeosporium*.

Figura 27
Gloeosporium

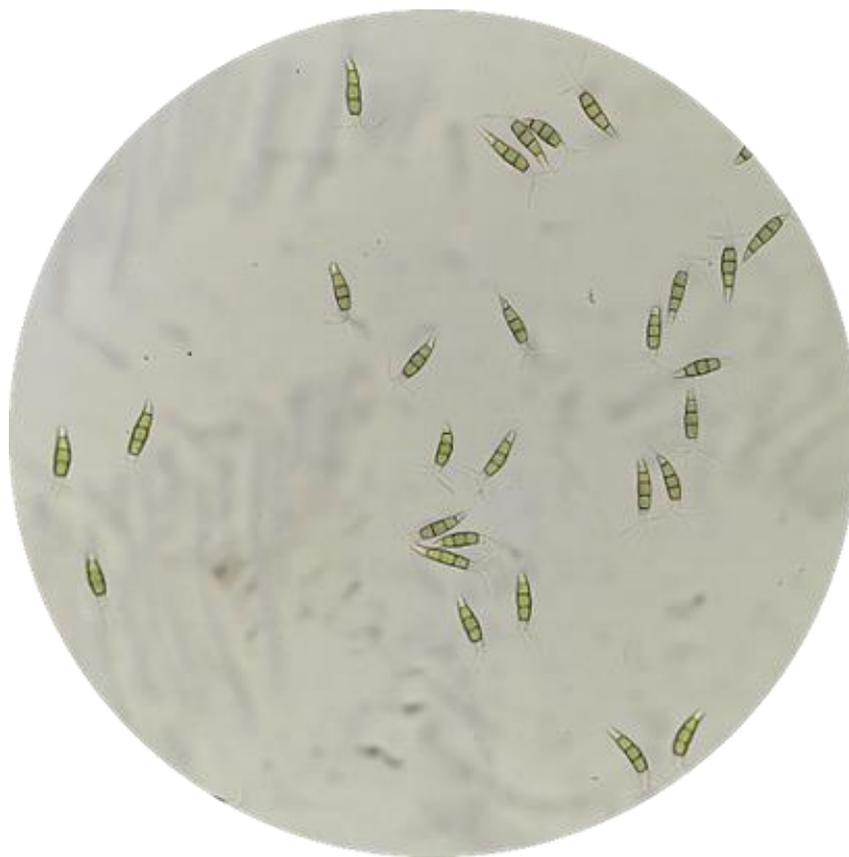


Nota: Presencia de conidios de *Gloeosporium* sp.

4.1.26. Aislamiento 26: Género *Pestalotia*

Presenta colonias blancas algodonosa en PDA, concordando con Cepero de García et al. (2012); dentro del micelio forma agrupaciones negras, mucilaginosas, donde se forman los conidios, fusiforme, rectos o ligeramente curvos, pentacelulados coinciden con y Barnett y Hunter (1998); células centrales pigmentadas, verde-olivo, células extremas hialinas, la célula apical hialina termina en dos o tres filamentos hialinos; estas descripciones concuerdan con Roncal (2004). Características que corresponden al género *Pestalotia*.

Figura 28
Pestalotia



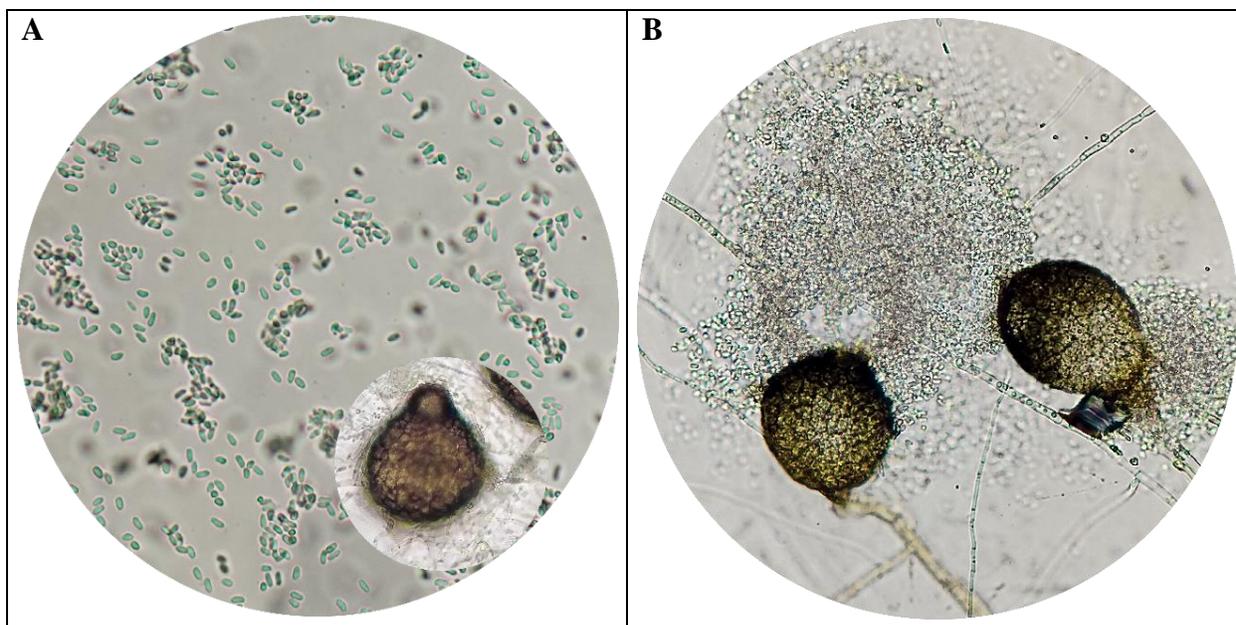
Nota: Conidios de *Pestalotia* sp.

4.1.27. Aislamiento 27: Género *Phoma*

Desarrolla colonias algodonosas en PDA, de tonalidad blanco castaño, en ocasiones con tonalidades rosa, violeta o marrón, según la especie; hifas hialinas al inicio que van oscureciendo con el tiempo; estas características coinciden con las descritas por Nadal y Moret (1991) y Cepero de García et al. (2012). Forma picnidios ostiolados, oscuros, globosos, con conidióforos cortos; conidios hialinos, unicelulares, ovoides, elipsoides o cilíndricos; estas características concuerdan con las encontradas por Roncal (2004) y Nadal y Moret (1991). De acuerdo con las características encontradas, el aislamiento pertenece al género *Phoma*.

Figura 29

Phoma



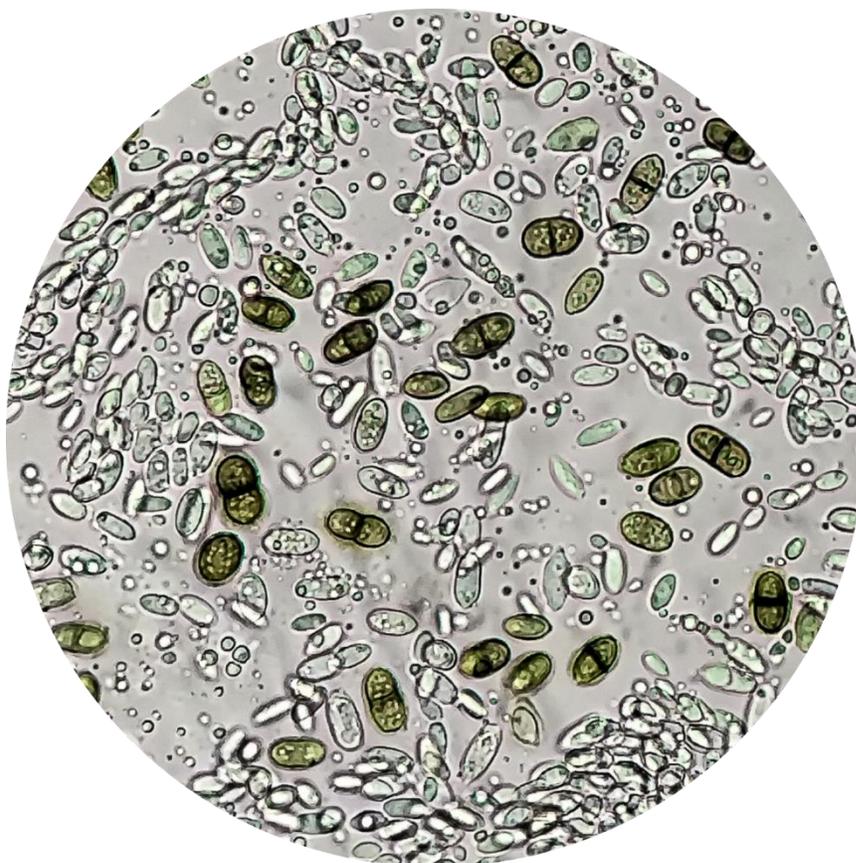
Nota: En la presente figura se observa la vista microscópica de picnidios y conidios, de *Phoma* sp., y de *Phoma* sp.

4.1.28. Aislamiento 28: Género *Botryodiplodia*/*Lasiodiplodia*

En medio PDA forma colonias blancas tornándose de un color gris olivo al madurar, reporte que coincide con Picos et al. (2015); picnidio oscuro; conidióforos simples; conidios hialinos en desarrollo, bicelulares y pigmentados al madurar, ovoides a alargados, con ápices ampliamente redondeados, concuerda con lo descrito por Barnett y Hunter (1998), quien lo determina como *Botryodiplodia* / sin embargo al ser un nombre no aceptado formalmente se lo encuentra actualmente como *Lasiodiplodia* (Picos et al., 2015).

Picos et al. (2015), menciona que se ha reportado como patógenos de maíz, vid, mango, entre otros.

Figura 30
Lasiodiplodia



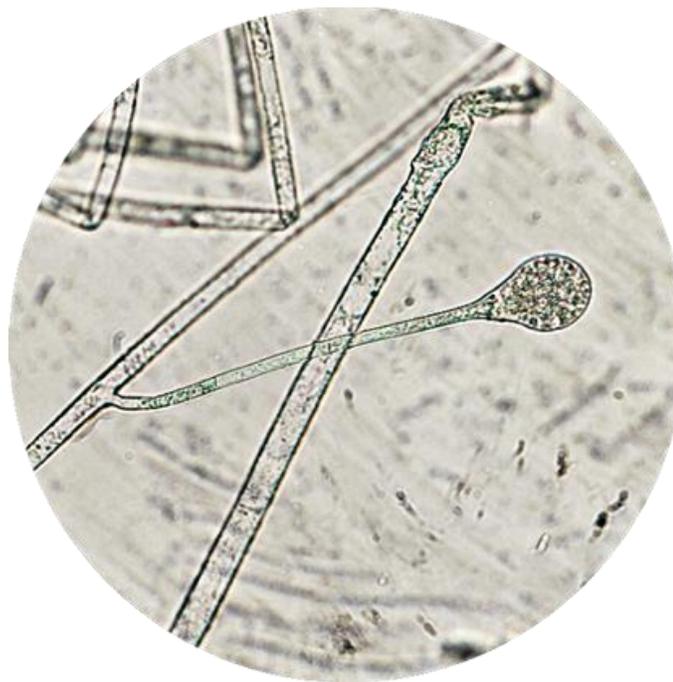
Nota: Conidios de Lasiodiplodia

4.1.29. Aislamiento 29: Género *Mucor*

En PDA forma colonias algodonosas de coloración grisácea, verdosas o verde olivo, coincide con lo descrito por Cepero de García et al. (2012); hifas cenocíticas, hialinas a marrón claro; esporangióforo simple o ramificado, con un esporangio en su ápice, globoso, el cual rompe al madurar, liberando las esporas; se reproduce mediante esporangiosporas, globosas a esféricas, generalmente lisas, se forman en la cavidad esporangial entre la columela y la pared del esporangio, características reportadas por Roncal (2004) así como por Iglesias y Rodríguez (2020). Esto nos permite identificar al aislamiento como el género *Mucor*.

Quiros et al. (2017), mencionan que los mucorales suelen generar una mucormicosis agresiva, mortal en algunas situaciones, de carácter poco frecuente, pero se puede desarrollar en diversos lugares del cuerpo, de tipo cutánea, pulmonar o rinocerebral, generalmente en personas inmunosuprimidas.

Figura 31
Mucor



Nota: Esporangio y esporangióforo de *Mucor* sp.

4.1.30. Aislamiento 30: Género *Sclerotinia*

Las colonias en PDA están formadas por moho blanco, esponjoso; hifas septadas, estériles, sin producción de conidióforos o conidios; forma esclerocios, negros, duros, con contornos redondeados, irregulares, variable en medida de 0.5 a 20 mm, los cuales son estructuras de resistencias; estas características coinciden con las encontradas por Leiva et al. (2020) y Cepero de García et al. (2012). Según estas características, el aislamiento pertenece al género *Sclerotinia*.

Figura 32
Sclerotinia



Nota: En la presente figura se observa la colonia en PDA y la presencia de esclerocios de *Sclerotinia* sp,

4.1.31. Aislamiento 31: Género *Melanospora*

Presenta colonias ralas, amarillentas a marrones en PDA, con micelio sumergido en el medio y ascomas visibles, coincidiendo con lo reportado por Marín et al. (2018); produce peritecios ostiolados, globosos a subglobosos, con cuello compuesto de hifas entremezcladas, solos o agrupados, de coloración amarillo pálido a marrón rojizo; ascas claviformes con 8 ascosporas unicelulares pigmentadas, elipsoides o fusiformes con poros germinales en los extremos, estas características coinciden con lo descrito por Hanlin (1990) y Cannon y Hawksworth (1982). Esta descripción se ajusta al género *Melanospora* (Hanlin, 1990).

Figura 33
Melanospora



Nota: Peritecios y conidios de *Melanospora* sp.

4.2. Clasificación taxonómica

En este estudio se encontraron 39 especies fúngicas, pertenecientes a 30 géneros identificados, agrupados en 18 familias y 12 órdenes; organismos correspondientes a los géneros: *Cladosporium*, *Alternaria*, *Drechslera*, *Fusarium*, *Epicoccum*, *Nigrospora*, *Penicillium*, *Botrytis*, *Phoma*, *Cephalosporium*, *Botryotrichum*, *Pestalotia*, *Periconia*, *Sclerotinia*, *Gliocladium*, *Scopulariopsis*, *Mucor*, *Arthrinium*, *Trichoderma*, *Stachylidium*, *Stenphylium*, *Torula*, *Aspergillus*, *Curvularia*, *Monilia*, *Harzia*, *Memnoniella*, *Melanospora*, *Gloeosporium* y *Lasiodiplodia*, concuerda con los reportado por Korzeniewska et al. (2009), quienes encontraron que *Alternaria*, *Cladosporium*, *Fusarium*, *Gliocladium*, *Mucor*, *Penicillium*, *Epicoccum*, *Botrytis*, *Scopulariopsis*, son emitidos y transportados través del aire en las plantas de tratamiento; del mismo modo Filipkowska et al. (2002), encontraron que los hongos de los géneros *Aspergillus*, *Penicillium*, *Cladosporium*, *Alternaria*, *Scopulariopsis*, *Fusarium*, son contaminantes microbianos emitidos por las plantas de tratamiento de aguas residuales municipales.

Tabla 2
Clasificación taxonómica de los organismos aeromicológicos

| Orden | Familia | Género | Especie |
|-----------------------|----------------------|-----------------------|------------------------------|
| Cladosporiales | Dematiaceae | <i>Cladosporium</i> | <i>Cladosporium</i> sp. |
| Eurotiales | Trichocomaceae | <i>Penicillium</i> | <i>Penicillium digitatum</i> |
| | | | <i>Penicillium</i> sp. |
| | | <i>Aspergillus</i> | <i>Aspergillus niger</i> |
| | | | <i>Aspergillus</i> sp. |
| Glomerellales | Plectosphaerellaceae | <i>Stachylidium</i> | <i>Stachylidium</i> sp. |
| | Inserte sedis | <i>Gloeosporium</i> | <i>Gloeosporium</i> sp. |
| Helotialesz | Sclerotiniaceae | <i>Monilia</i> | <i>Monilia</i> sp. |
| | | <i>Sclerotinia</i> | <i>Sclerotinia</i> sp. |
| | | <i>Botrytis</i> | <i>Botrytis</i> sp. |
| Hypocreales | Hypocreaceae | <i>Cephalosporium</i> | <i>Cephalosporium</i> sp. |
| | | <i>Gliocladium</i> | <i>Gliocladium</i> sp. |

| | | | |
|--------------------------|--------------------|-----------------------|-----------------------------|
| | | <i>Trichoderma</i> | <i>Trichoderma</i> sp. |
| | | | <i>Fusarium solani</i> |
| | Nectriaceae | <i>Fusarium</i> | <i>Fusarium</i> sp. |
| | | | <i>Fusarium oxysporum</i> |
| | Stachybotriaceae | <i>Memnoniella</i> | <i>Memnoniella</i> sp. |
| Microascales | Microascaceae | <i>Scopulariopsis</i> | <i>Scopulariopsis</i> sp. |
| Mucorales | Mucoraceae | <i>Mucor</i> | <i>Mucor</i> sp. |
| | | | <i>Epicoccum nigrum</i> |
| | | <i>Epicoccum</i> | <i>Epicoccum</i> sp. |
| | Didymellaceae | | <i>Epicoccum</i> sp. |
| | | <i>Phoma</i> | <i>Phoma</i> sp. |
| | | | <i>Phoma</i> sp. |
| Pleosporales | | <i>Alternaria</i> | <i>Alternaria alternata</i> |
| | | | <i>Alertnaria solani</i> |
| | Pleosporaceae | <i>Stemphylium</i> | <i>Stemphylium</i> sp. |
| | | <i>Drechslera</i> | <i>Drechslera</i> sp. |
| | | <i>Curvularia</i> | <i>Curvularia</i> sp. |
| | Periconiaceae | <i>Periconia</i> | <i>Periconia</i> sp. |
| | Torulacea | <i>Torula</i> | <i>Torula</i> sp. |
| Sordariales | Chaetomiaceae | <i>Botryotrichum</i> | <i>Botryotrichum</i> sp. |
| | | | <i>Harzia</i> sp. |
| Melanosporales | Ceratostomataceae | <i>Harzia</i> | <i>Harzia palmara</i> |
| | | <i>Melanospora</i> | <i>Melanospora</i> sp. |
| | | <i>Arthrimum</i> | <i>Arthrimum</i> sp. |
| Xylariales | Apiosporaceae | <i>Nigrospora</i> | <i>Nigrospora</i> sp. |
| | Melanconiaceae | <i>Pestalotia</i> | <i>Pestalotia</i> sp. |
| Botryosphaeriales | Botryosphaeriaceae | <i>Lasiodiplodia</i> | <i>Lasiodiplodia</i> sp. |

Nota: Clasificación taxonómica realizada en base a Barnett y Hunter (1998); Cepero de García et al. (2012); Elkhateeb y Daba (2021); Ellis (1965); Hanlin (1990); Marín et al. (2018); Martínez et al. (2015); Poursafar et al. (2017); Roncal (2004); Santos et al. (2020); Schultes et al. (2017); Wang et al. (2018); Zheng et al. (2019).

4.1. Análisis Estadístico

Tabla 3

Presencia de los microorganismos aeromicológicos en la evaluación

| Familia | Género | Especie | P1 | P2 | P3 | P4 | P5 | P6 | P7 | P8 | P9 | P10 | P11 | P12 | P13 | P14 | P15 | P16 | P17 | P18 | Total | |
|-------------------------|-----------------------------|--|-------------------------|----|----|----|----|----|----|----|----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-------|----|
| Dematiaceae | <i>Cladosporium</i> | <i>Cladosporium</i> sp. | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 18 | |
| Trichocomaceae | <i>Penicillium</i> | <i>Penicillium</i> <i>digitatum</i> | 1 | 1 | | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | | 1 | 1 | 1 | 1 | | | 1 | 1 | 1 | 14 | |
| | | <i>Penicillium</i> sp. | | | | 1 | 1 | | 1 | | | | 1 | | | | | 1 | | 1 | 6 | |
| | <i>Aspergillus</i> | <i>Aspergillus niger</i> | | | | 1 | 1 | | | | 1 | | | 1 | | | | | | | | 4 |
| | | <i>Aspergillus</i> sp. | | | | | | | | | 1 | 1 | | | | | | 1 | | | | 3 |
| | Plectosphaerellaceae | <i>Stachylidium</i> | <i>Stachylidium</i> sp. | | 1 | | | 1 | | | | | | 1 | | | | | | | | 3 |
| Inserte sedis | <i>Gloeosporium</i> | <i>Gloeosporium</i> sp. | | | 1 | | | | 1 | 1 | 1 | | | | | | | | | | 4 | |
| Sclerotiniaceae | <i>Monilia</i> | <i>Monilia</i> sp. | | | | | 1 | | | | | | | | | | 1 | | | | 2 | |
| | <i>Sclerotinia</i> | <i>Sclerotinia</i> sp. | | | | | 1 | | | | | 1 | | 1 | 1 | 1 | 1 | | | 1 | 7 | |
| | <i>Botrytis</i> | <i>Botrytis</i> sp. | | | 1 | 1 | | 1 | 1 | | 1 | 1 | 1 | | | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 12 | |
| Hypocreaceae | <i>Cephalosporium</i> | <i>Cephalosporium</i> sp. | | | 1 | | 1 | 1 | | 1 | 1 | | 1 | | | | 1 | | | 1 | 8 | |
| | <i>Gliocladium</i> | <i>Gliocladium</i> sp. | | | 1 | | | | | 1 | | | 1 | | | 1 | | | 1 | | 5 | |
| | <i>Trichoderma</i> | <i>Trichoderma</i> sp. | | | | | 1 | 1 | | | | | 1 | | 1 | | | | | | 4 | |
| Nectriaceae | <i>Fusarium</i> | <i>Fusarium solani</i> | | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | | 1 | 1 | 1 | 16 | |
| | | <i>Fusarium</i> sp. | 1 | | 1 | | 1 | 1 | 1 | | 1 | 1 | 1 | 1 | | 1 | | 1 | 1 | 1 | 13 | |
| | | <i>Fusarium</i> <i>oxysporum</i> | | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 17 |
| Stachybotriaceae | <i>Memnoniella</i> | <i>Memnoniella</i> sp. | 1 | | | | | | | | 1 | | | | | | | | | | 2 | |
| Microascaceae | <i>Scopulariopsis</i> | <i>Scopulariopsis</i> sp. | | | | | 1 | | | | 1 | 1 | | 1 | | | | | | 1 | 5 | |

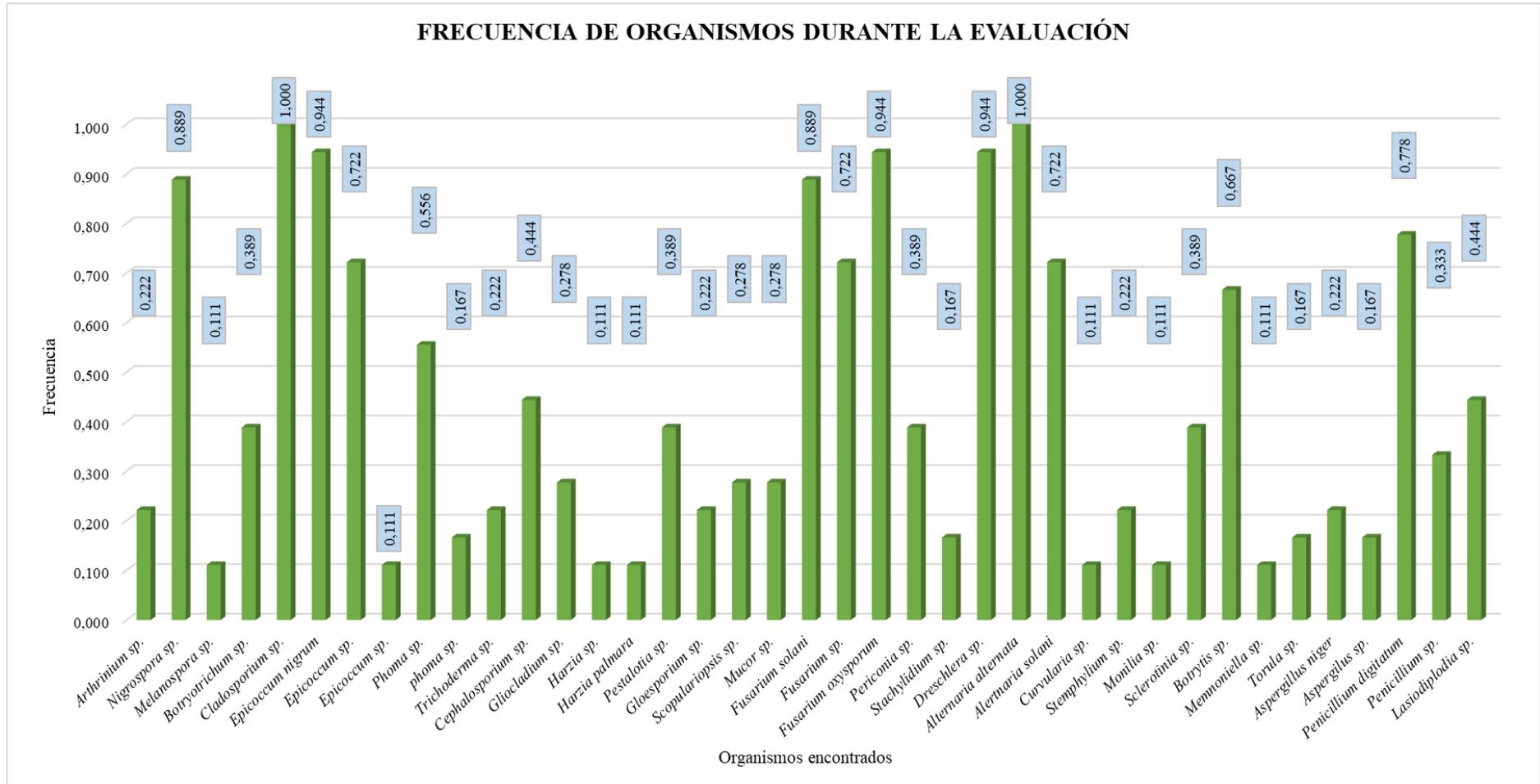
| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|---------------------------|-----------------------|--------------------------|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|--|
| Mucoraceae | <i>Mucor</i> | <i>Mucor</i> sp. | | | | | | 1 | 1 | 1 | | | | | | | | | 1 | 5 | | |
| Didymellaceae | <i>Epicoccum</i> | <i>Epicoccum</i> | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 17 | |
| | | <i>nigrum</i> | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | <i>Epicoccum</i> sp. | | | 1 | | 1 | 1 | 1 | 1 | | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | | 1 | 1 | 1 | 13 | |
| | <i>Epicoccum</i> sp. | 1 | | | | | | | | 1 | | | | | | | | | | | 2 | |
| | <i>Phoma</i> | <i>Phoma</i> sp. | | | | 1 | 1 | 1 | 1 | | 1 | 1 | | | 1 | 1 | 1 | | | 1 | 10 | |
| <i>phoma</i> sp. | | | 1 | | | | | | | | | | | | | | | | 1 | 1 | 3 | |
| Pleosporaceae | <i>Alternaria</i> | <i>Alternaria</i> | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 18 | |
| | | <i>alternata</i> | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | <i>Alertnaria solani</i> | 1 | 1 | 1 | | | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | | 1 | 1 | | 1 | 1 | | 13 | |
| | <i>Stemphylium</i> | <i>Stemphylium</i> sp. | | | 1 | | | | | | | 1 | | | | | | | 1 | 1 | 4 | |
| | <i>Drechslera</i> | <i>Drechslera</i> sp | | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 17 | |
| <i>Curvularia</i> | <i>Curvularia</i> sp. | | | | | | | | 1 | | | | | | 1 | | | | | 2 | | |
| Periconiaceae | <i>Periconia</i> | <i>Periconia</i> sp. | | | | 1 | 1 | | 1 | 1 | 1 | | 1 | | | | | 1 | | 7 | | |
| Torulacea | <i>Torula</i> | <i>Torula</i> sp. | | | | | | | | 1 | | | | 1 | | | | | 1 | 3 | | |
| Chaetomiaceae | <i>Botryotrichum</i> | <i>Botryotrichum</i> sp. | | | | | 1 | 1 | | | | | 1 | 1 | | | | 1 | 1 | 7 | | |
| Ceratostomataceae | <i>Harzia</i> | <i>Harzia</i> sp. | | | | | | | | | | 1 | | 1 | | | | | | 2 | | |
| | | <i>Harzia palmara</i> | | | | | | | | | | 1 | | | | | | | 1 | | 2 | |
| | <i>Melanospora</i> | <i>Melanospora</i> sp. | | | | | 1 | 1 | | | | | | | | | | | | | 2 | |
| Apiosporaceae | <i>Arthrinium</i> | <i>Arthrinium</i> sp. | | | | | | 1 | | | 1 | | | | 1 | | | | 1 | 4 | | |
| | <i>Nigrospora</i> | <i>Nigrospora</i> sp. | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 16 | |
| Melanconiaceae | <i>Pestalotia</i> | <i>Pestalotia</i> sp. | 1 | | 1 | | | | | 1 | | 1 | | 1 | | | | 1 | | 7 | | |
| Botryosphaeriaceae | <i>Lasiodiplodia</i> | <i>Lasiodiplodia</i> sp. | | | | | 1 | 1 | | | 1 | | 1 | 1 | 1 | | | | 1 | 1 | 8 | |
| | | | 10 | 11 | 16 | 13 | 23 | 20 | 18 | 20 | 21 | 17 | 22 | 15 | 15 | 14 | 14 | 15 | 19 | 22 | | |

Nota: En la presenta tabla se muestra la presencia de los organismos aerofúngicos encontrados durante la evaluación en las áreas circundantes a la

PTAR-Celendín donde el valor de 1 indica presencia del organismo en el punto muestreo.

4.1.1. Frecuencias de los organismos Aeromicológicos

Figura 34
Análisis de frecuencia



En la figura 34 podemos observar la frecuencia de cada uno de los organismos encontrados durante la evaluación, donde *Cladosporium* sp. junto a *Alternaria alternata* son los organismos más frecuentes, se lograron identificar en los 18 puntos de muestreo, lo que concuerda con Prazmo et al. (2003), quien encontró que estos géneros, son bastantes frecuentes en los aerosoles emitidos por las plantas de tratamiento de aguas residuales municipales; de la misma manera junto a ellos están *Drechslera* sp., *Fusarium solani* y *Epicoccum nigrum*, con valor de 0.944, mostrándose en 17 puntos de muestreo durante la evaluación; los organismos *Nigrospora* sp. y *Fusarium* sp., estuvieron presentes en 16 puntos de muestreo; *Penicillium digitatum*, con valor de 0.778 frecuentan 14 puntos de muestreo; le siguen *Epicoccum* sp., *Fusarium oxysporum* y *Alertnaria solani*, con valor de 0.722 en 13 puntos de monitoreo; Korzeniewska (2011), menciona que estos géneros son bastante frecuentes en el aire de las plantas de tratamiento de aguas residuales; los organismos que son medianamente frecuentes pertenecen a las especies de *Botrytis* sp. y *Phoma* sp. con valores de 0.667 y 0.556 están presentes en 12 y 10 puntos respectivamente; también observamos a *Cephalosporium* sp. y *Lasiodiplodia* sp, con valor de 0.444, en 8 puntos de muestreo; *Botryotrichum* sp., *Pestalotia* sp., *Periconia* sp. y *Sclerotinia* sp., con valor de 0.389, en 7 puntos de muestreo y *Penicillium* sp., con valor de 0.333 en 6 puntos de muestreo; se observa que los organismos como *Gliocladium* sp., *Scolpulariopsis* sp. y *Mucor* sp., con 0.278, presentan una menor frecuencia, encontrándolos presentes en 5 puntos de muestreo; *Arthrinium* sp., *Trichoderma* sp., *Gloeosporium*, *Stemphylium* sp. y *Aspergillus niger*, con valor de 0.222, en 4 puntos; *phoma* sp., *Stachylidium* sp., *Torula* sp. y *Aspergillus* sp. con valor de 0.167, presentes en 3 puntos de muestreo; los organismos pertenecientes a *Melanospora* sp., *Epicoccum* sp., *Harzia* sp., *Harzia palmara*, *Curvularia* sp., *Monilia* sp. y *Memnoniella* sp., son los menos frecuentes durante el estudio, con un valor de 0.111, se los logró determinar únicamente en dos puntos de evaluación.

4.1.2. Riqueza de los organismos Aeromicrobiológicos

Figura 35
Riqueza de los organismos identificados

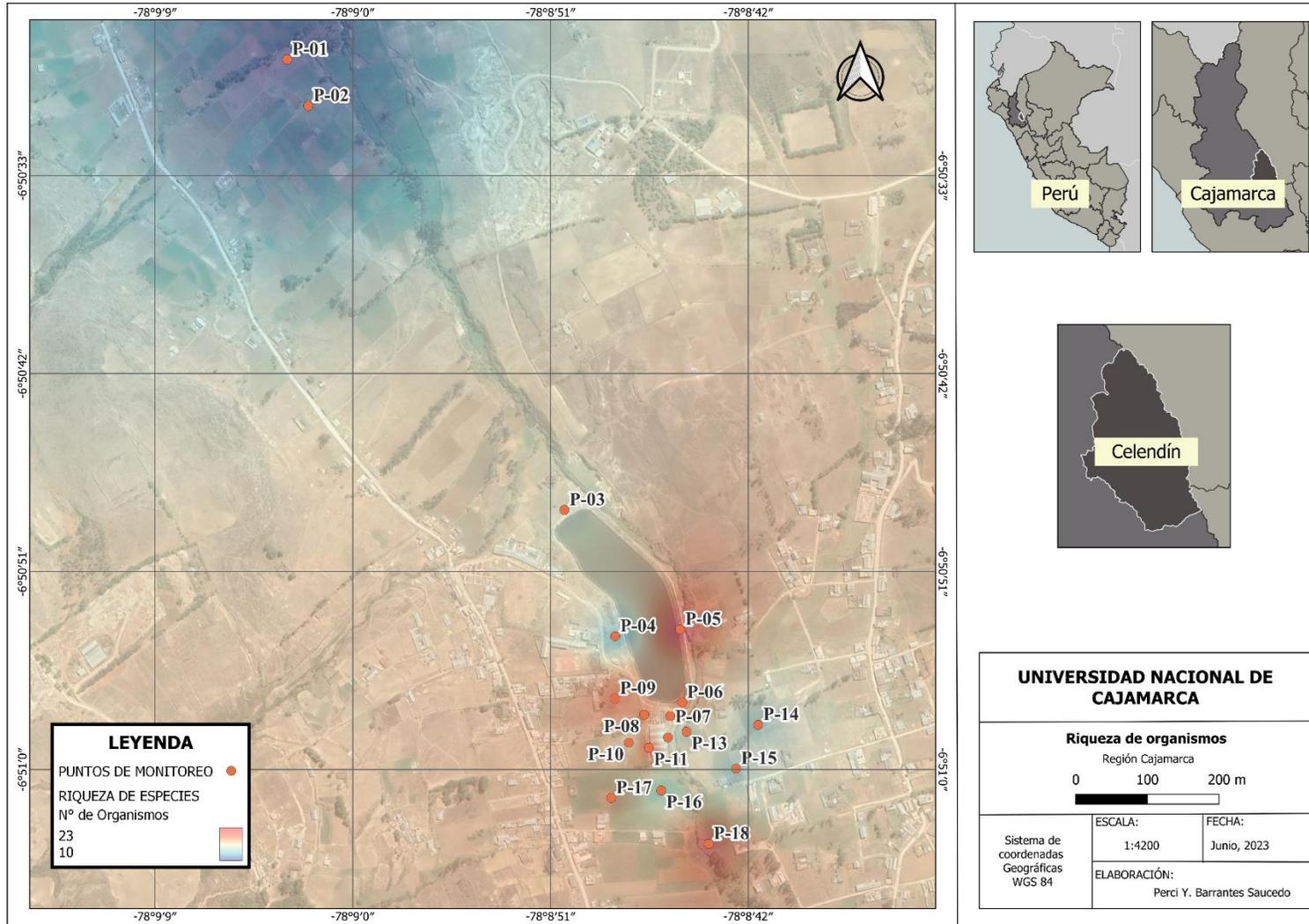
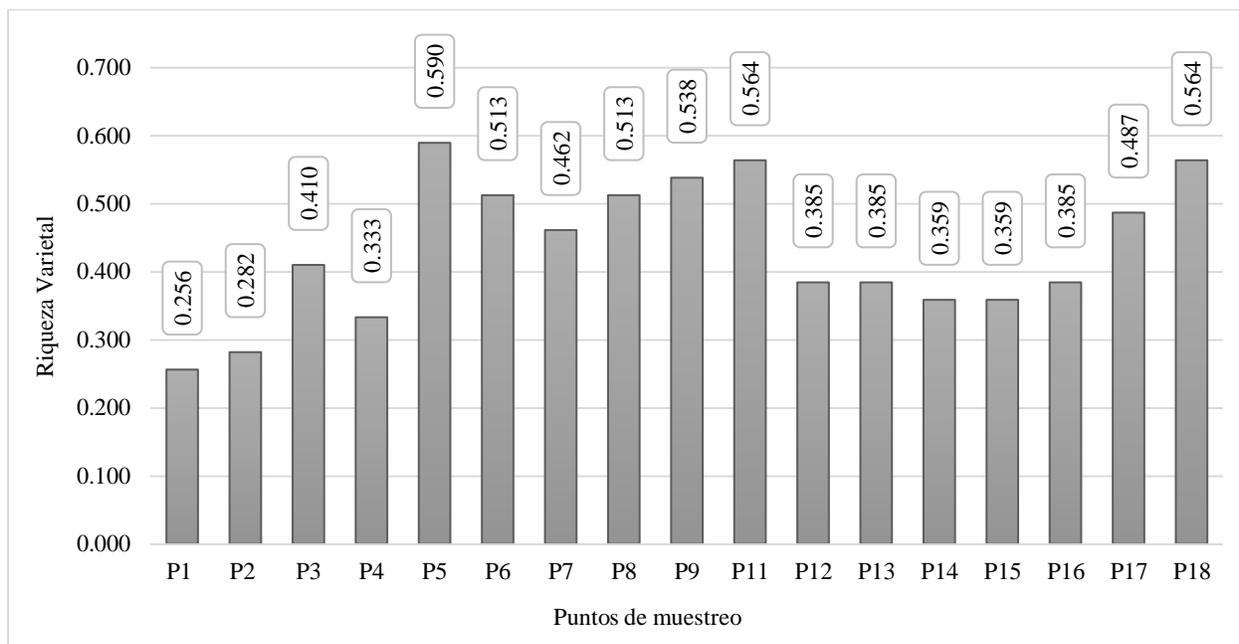


Figura 36
Histograma de riqueza de los organismos identificados



En la figura 36 podemos observar que el punto P5 es el que presenta mayor riqueza de especies respecto a los demás, con un total de 23 especies fúngicas diferentes identificadas durante la evaluación y con un valor de riqueza varietal de 0,590; los puntos P11 y P18 presentan 22 especies fúngicas diferentes, observándose de igual manera una alta riqueza varietal de 0,564; el P9 con 21 especies diferentes encontradas presenta una riqueza varietal de 0,538; en el P6 y el P8 se encontraron 20 especies fúngicas diferentes; en el P17 se presenta una riqueza varietal de 0,487, en la evaluación se pudo identificar 19 especies fúngicas diferentes; en el P7 con una riqueza varietal de 0,462 se pudo encontrar 18 especies fúngicas diferentes; el P3 presenta una riqueza varietal de 0,410, con 16 especies fúngicas identificadas en el lugar; en los puntos P12, P13, y P16, se presenta una riqueza varietal igual, con presencia de 15 especies fúngicas diferentes en cada punto evaluado; en los puntos P14 y P15, se presenta una riqueza de 0,359 con 14 especies fúngicas diferentes; en el P4, se presentan 13 especies diferentes mientras que en los puntos P1 y P2, son

los puntos con riqueza varietal más baja, presentando 10 y 11 especies fúngicas diferentes respectivamente durante la evaluación.

Como podemos observar en la figura 35 y 36 los resultados de la evaluación indican que los puntos de muestreo que presentan mayor riqueza de especies se encuentran en las áreas de la PTAR que involucran tratamientos biológicos o los puntos cercanos a estos, como es el caso del P5 el cual se encuentra ubicado en el lado Este de la laguna, y el P6 ubicado en el lado Sur de la laguna de estabilización, de igual manera los puntos ubicados cerca de los reactores (P7, P8 y P9), los que concuerda con lo descrito por Brandi et al. (2000) y Cyprowski et al. (2008), quienes encontraron que las áreas que presentan mayor riqueza se encuentran en las cercanías que involucran procesos de tratamiento biológico, reactores, laguna, lechos de secado de lodo; la zona de cribado, la cual involucra el P11 también presenta una riqueza alta; de igual manera se puede observar una alta riqueza de especies en el P10, el cual se encuentra ubicado en las cercanías del área de cribado, concordando con Filipkowska et al. (2002), quienes mencionan que la mayoría de hongos filamentosos en su estudio fueron predominantes en los sitios que involucran tratamientos mecánicos y biológicos, de igual manera Sánchez-Monedero et al. (2008) pudo observar que se emite más partículas biológicas en las zonas de pretratamiento; la riqueza va disminuyendo hacia los puntos más alejados excepto el P18 el cual presenta una alta riqueza varietal, esto puede estar influenciado por las corrientes de aire, ya que las esporas hacen uso de estas para transportarse (Sánchez y Almaguer, 2014). Los puntos P1 y P2 que fueron utilizados como patrón y por lo tanto ubicados a mayor distancia de la PTAR, como se esperaba son los puntos que presentan menor cantidad de especies, por ende, presentan la riqueza de especies más baja.

CAPITULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. Conclusiones

- Se determinó 39 microorganismos aeromicológicos; *Arthrinium* sp., *Nigrospora* sp., *Melanospora* sp., *Botryotrichum* sp., *Cladosporium* sp., *Epicoccum nigrum*, *Epicoccum* sp., *Epicoccum* sp., *Phoma* sp., *Phoma* sp., *Trichoderma* sp., *Cephalosporium* sp., *Gliocladium* sp., *Harzia* sp., *Harzia palmara*, *Pestalotia* sp., *Gloesporium* sp., *Scopulariopsis* sp., *Mucor* sp., *Fusarium solani*, *Fusarium* sp., *Fusarium oxysporum*, *Periconia* sp., *Stachylidium* sp., *Drechslera*, *Alternaria alternata*, *Alertnaria solani*, *Curvularia* sp., *Stemphylium* sp., *Monilia* sp., *Sclerotinia* sp., *Botrytis* sp., *Memnoniella* sp., *Torula* sp., *Aspergillus niger*, *Aspergillus* sp., *Penicillium digitatum*, *Penicillium* sp. y *Lasiodiplodia* sp.
- Los microorganismos aeromicológicos más frecuentes durante la evaluación pertenecen a *Cladosporium* sp, *Alternaria alternata*, los cuales se presentaron en los 18 puntos evaluados, *Drechslera* sp., *Fusarium solani* y *Epicoccum nigrum*, se presentaron en 17 puntos; *Nigrospora* sp. junto a *Fusarium* sp., están presentes en 16 puntos de muestreo; *Penicillium digitatum*, está presente en 14 puntos; *Epicoccum* sp., *Fusarium oxysporum* y *Alertnaria solani*, están presentes en 13 puntos, *Botrytis* sp. y *Phoma* sp. en 12 y 10 puntos respectivamente; *Cephalosporium* sp., *Lasiodiplodia* sp, *Botryotrichum* sp., *Pestalotia* sp., *Periconia* sp., *Sclerotinia* sp., *Penicillium* sp., *Gliocladium* sp., *Scolpulariopsis* sp., *Mucor* sp., *Arthrinium* sp., *Trichoderma* sp., *Gloesporium* sp., *Stemphylium* sp., *Aspergillus niger*, *phoma* sp., *Stachylidium* sp., *Torula* sp., *Aspergillus* sp., *Melanospora* sp.,

Epicoccum sp., *Harzia* sp., *Harzia palmara*, *Curvularia* sp., *Monilia* sp. y *Memnoniella* sp., se presentaron en menos de 10 puntos de muestreo durante la evaluación.

- Los puntos evaluados que presentan mayor riqueza de microorganismos aeromicológicos se encuentran en las áreas que involucran tratamientos biológicos (reactores biológicos y laguna de estabilización) y las áreas de tratamiento físico (Cribado y desarenado), con una distribución de esporas en dirección Sur Este, hacia la ciudad; los puntos más calientes pertenecen a P5 seguido de P11 Y P18, mientras que los puntos P1 y P2, presentan una riqueza de microorganismos más baja en comparación a los puntos ubicados en las áreas circundantes a la PTAR-Celendín.
- Los microorganismos con potencial patogénico para el hombre pertenecen a: *Cladosporium* sp., *Alternaria alternata*, *Alternaria solani*, *Aspergillus niger*, *Aspergillus* sp., *Fusarium* sp., *Fusarium solani*, *Fusarium oxysporum*, *Mucor* sp., *Penicillium* sp., *Curvularia* sp., *Cephalosporium* sp., *Scopulariopsis* sp. *Drechslera* sp., *Trichoderma* sp.

5.2. Recomendaciones

- Se recomienda realizar más estudios en este campo para determinar opciones adecuadas para controlar la emisión y dispersión de material particulado en los procesos de tratamiento de aguas residuales
- Se recomienda ampliar los estudios aeromicológicos tomando en cuenta la realización de la toma de muestras en diversos horarios durante el día y considerando las estaciones del año.
- Se recomienda realizar una revisión exhaustiva que permita establecer una metodología precisa acerca del tiempo de toma de muestras de partículas biológicas suspendidas.

CAPITULO VI

REFERENCIAS BLIBLIOGRÁFICAS

- Aira, M., Jato, V. y Iglesias, I. (2005) *Calidad del aire: polen y esporas en la Comunidad Gallega*. (1 Ed) Grafisant S.L.
- Alidadi, A., Vala, S. & Jouzani, G. (2020). *Botryotrichum iranicum* sp. nov. and *Trematosphaeria magenta* sp. nov. as two new species from Iran. *Mycological Progress*, 19, 1575-1586.
- Arenas, R. (2014). *Micología Médica Ilustrada*. (5 ed.). McGraW-Hill Interamericana.
- Arenas, R. (2008). *Micología Médica Ilustrada*. (3 ed.). McGraW-Hill Interamericana.
- Arias, E. y Piñeros, P. (2008). *Aislamiento e Identificación de Hongos Filamentosos de Muestras de Suelo de los Paramos de Guasca y Cruz Verde*. [Tesis de grado, Pontificie Universidad Javeriana].
- Barreno, E. y Pérez-Ortega, S. (2003). Glosario, en *Liquenes de la reserva natural intergral de Muniellos. Asturias*. Consejería de Medio Ambiente, Ordenación del Territorio e Infraestructuras del Principado de Asturias.
- Barnett, H. (1960). *Illustrated Genera of Imperfect Fungi*. (2 da.). Burges Publishing Company.
- Barnett, H. & Hunter, B. (1998). *Illustrated Genera of Imperfect Fungi*. (4 ed.). The American Phytopathological Society.
- Behnami, A., Benis, K., Shakerkhatibic, M., Derafshid, S., Sabere, A., Akbarif, N. y Yousefi, R. (2018). Comparative study on fungal communities of full-scale municipal and industrial wastewater treatment plants. *Desalination and water treatment*, 1(131), 123-131.
- Béjar, V., Villanueva, F., León, S., Guevara-Granados, J., Uribe, A., Vergaray, G., Cuadra, A. y Sabogal, I. (2019). Identificación molecular de *Aspergillus fumigatus* aislados de pacientes

- con aspergilosis invasiva. *Revista Peruana de Medicina Experimental y Salud Publica*, 36(1), 81-6.
- Bragoszewska, E. & Pawlak, M. (2021). Health Risks Associated with Occupational Exposure to Biological Air Pollutants Occurring during the Processing of Biomass for Energy Purposes: A Case Study. *Energies*, 14(8). 1-10.
- Brandi, G., Sisti, M. & Amagliani, G. (2000). Evaluation of the environmental impact of microbial aerosols generated by wastewater treatment plants utilizing different aeration system. *Journal of Applied Microbiology*, 88(5), 845-852.
- Cadeño, L., Carrero, C., Quintero, K., Pino, H. y Espinoza, W. (2003). *Stemphylium vesicarium*, causante de quemadura foliar en ajo y cebolla en Mérida, Venezuela *Interciencia*, 28(3), 174-177.
- Calua, C. (2016). *Fitopatógenos fúngicos en el cultivo de cebolla china (Allium cepa var. Aggregatum G. Don) en Cajamarca*. [Tesis de Ingeniero Agrónomo, universidad nacional de Cajamarca].
- Camara, C. & Novas, M. (2003). A review of Spegazzini taxa of *Periconia* and *Sporocybe* after over 115 years. *Fungal Diversity*, 14, 67-76.
- Camilloni, I; Vera, C. (2012) Composición y Estructura Vertical de la Atmosfera en, *La Atmosfera* (p. 3). Explora (Ciencias Naturales).
- Canon, P. & Hawksworth, D. (1982). A re-evaluation of *Melanospora* Corda and similar Pyrenomycetes, with a revision of the British species *The Linnean Society of London* 84, 115-160.
- Capdet, M. (2012). *Biodiversidad de Ascomycetes sexuales y asexuales xilófilos sobre palmeras nativas en la República Argentina*. [Tesis de grado, Universidad de Buenos Aires].

- Cardoza, JA. 2019. *Especies de Aspergillus de cepas aisladas del aire de la ciudad de Piura - Perú entre julio y octubre del 2017*. [Tesis de grado, Universidad Nacional de Piura].
- Castañeda, Z. y Martínez, A. (2022). *Exposición potencial a contaminantes químicos, biológicos y farmacológicos en trabajadores de plantas de tratamiento de aguas residuales: mini revisión sistemática*. [Trabajo de especialización, Universidad El Bosque].
- Castillo, H., Rojas, R. y Villalta, M. (2016). *Gliocladium sp.*, Agente Biocontrolador con Aplicaciones Prometedoras. *Tecnología en Marcha Vol. Especial Biocontrol*, 65-73.
- Castro, C. (2009). *Evaluación Aeromicológica de la Calidad del Aire de la Zona Aledaña al Relleno Sanitario Portillo Grande en el otoño 2009*. [Tesis Post grado, Universidad Nacional Agraria la Molina].
- Cepero de Garcia, M., Restrepo, S., Franco-Molano, A., Cárdenas, M. y Vargas, N. (2012). *Biología de Hongos*. (1 ed., p. 485). Universidad de los Andes.
- Chávez-Servia, J., Tuxill, J. y Jarvis, D (eds). 2004. *Manejo de la diversidad de los cultivos en los agroecosistemas tradicionales*. Instituto Internacional de Recursos Fitogenéticos. (p. 255).
- Cho, S., Lee, S., Cha, B., Kim, Y. & Shin, K. (2003). Detection and characterization of the *Gloeosporium gloeosporioides* growth inhibitory compound iturin A from *Bacillus subtilis* strain KS03. *FEMS Microbiology Letters* 223, 47-51.
- Chuaseharonnachai, C., Somrithipol, S. & Boonyuen, N. (2016). *Periconia notabilis* sp. nov. and a new record and notes on the genus in Thailand. *Mycotaxon*, 131(3), 491-502.
- Coelho, M., Bakkeren, G., Sun, S., Hood, M. & Giraud, T. (2017). Sexo de los hongos: Basidiomycota. *Microbiol Spectr*, 5(3): <https://doi.org/10.1128/microbiolspec.funk-0046-2016>

- Crane, J. & Schocknecht, J. (1986). Revision of *Torula* and *Hormiscium* Species. New Names for *Hormiscium Undulatum*, *Torula Equina*, and *Torula Convolvuli*. *Mycologia*, 78(1), 86-91.
- Crous, P. & Groenewald, J. (2013). A Phylogenetic Re-evaluation of *Arthrinium*. *International Mycological Association*, 4(1), 133-154.
- Cuevas, J. (2016). Los Hongos: Héroes Y Villanos De La Prosperidad Humana. *Revista Digital Universitaria*, 17(9), 1-10.
- Cyprowski, M., Sowiak, M., Soroka, P., Buczyńska, A., Kozajda, A., Szadkowska-Stańczyk, I. (200). Assessment of occupational exposure to fungal aerosols in wastewater treatment plants. *Medycyna Pracy*, 59(5),365-71.
- Dewi, N. (2006). *Stachylidium pallidum* Dewi sp. nov. from java. *Reinwardtia*, 12(3), 215–217.
- De la Fuente, A., Astorga, F., Arancibia, F., Gutiérrez, R. y Andino, P. (2021). Infecciones fúngicas respiratorias: experiencia del Instituto Nacional del Tórax, Santiago de Chile. *Respirar*, 13(2), 55-63.
- De la Rosa, M., Mosso, M. y Ullán, C. (2002). El aire: hábitat y medio de transmisión de microorganismos. *Observatorio Medioambiental*, 5(1), 375-402.
- Douwes, J., Thorne, P., Pearce, N. & Heederik, D. (2003). Bioaerosol Health Effects and Exposure Assessment: Progress and Prospects. *Annals of Occupational Hygiene*, 47(3), 187-200.
- Edquen, M. (2019). *Fungosis del arándano (Vaccinium corymbosum L.) var. biloxi en el distrito de Jesús - Cajamarca* [Tesis de Ingeniero Agronomo, Universidad Nacional de Najamarca].
- Elkhateeb, W. & Daba, G. (2021). Botryotrichum and Scopulariopsis Secondary Metabolites and Biological Activities. *Biotechnology and Bioprocessing*, 3(1), 1-4.
- Ellis, M. (1965). Dematiaceous Hyphomycetes. VI. *Mycological Papers*, 103, 1-46.

- Fernández, F. y Roncal, M. (2019) *Cladosporium spp.*, antagónico a *Cercospora coffeicola* Berk. & Cke., *Drechslera turcica* Pass. y *Phragmidium mucronatum* (Per.) Schlecht [Tesis de pregrado, Universidad Nacional de Cajamarca].
- Ferrer, J., Seco, A. y Robles, A. (2018). *Tratamientos biológicos de aguas residuales*. (3 ed.) Universitat politècnica de València.
- Filipkowska, Z., Janczukowicz, W., Krzemieniewski, M. & Pesta, J. (2002). Municipal Wastewater Treatment Plant with Activated Sludge Tanks Aerated by CELPOX Devices as a Source of Microbiological Pollution of the Atmosphere. *Polish Journal of Environmental Studies*, 11(6), 639-648.
- Fincher, R., Fisher, J., Lovell, R., Newman, C., Espinel-Ingroff, A. & Shadomy, J. (1991). Infection due to the fungus *Acremonium* (*Cephalosporium*). *Medicine*, 70(6), 398-409.
- Flammarion, C. (1875). *La Atmosfera, Descripción de los Grandes Fenómenos de la Naturaleza*: https://books.google.es/books?hl=es&lr=&id=uy3DZcmx9UkC&oi=fnd&pg=PR5&dq=La+Atmosfera+Flammarion+Camille&ots=929WKR3_qQ&sig=80WTPI6eIR-3oOk7UNObp-Ubqxs#v=onepage&q=La%20Atmosfera%20Flammarion%20Camille&f=false.
- Fracchia, L., Pietronave, S., Rinaldi, M. & Martinoti, M. (2006). Site-related airborne biological hazard and seasonal variations in two wastewater treatment plants. *Water ReseArch*, 40, 1985-1994
- Galán, D., Díaz, G., Sánchez, F., Aguayo, S., Lucena, M., Fernández, R. y Ruiz, F. (2018). Metodología para la *Toma de Muestra de Microorganismos Altamente Patógenos en las Matrices Ambientales Aire, Agua y Suelo/Sedimento*. Instituto de Salud Carlos III, Centro de Sanidad Ambiental. Madrid.

- Gallego, E. (2016). Los hongos y el paso del tiempo. *Revista Eubacteria*, 36, 25-31.
- Garcés de Granada, E., Correa de Restrepo, M., Coba de Gutiérrez, B., Orozco de Amézquita, M., Zapata, A., Chingana, A., y Sabogal, S. (2003) *Morfología y Clasificación de los hongos*. (p. 112). Universidad Nacional de Colombia.
- García, G. (2016). *Presencia de hongos del género Penicillium en los ambientes ambulatorios de dos centros de salud de la región Loreto, 2015*. [Tesis de grado, Universidad Nacional de la Amazonia Peruana].
- Giraldo, A. & Crous, P. (2019). Inside Plectosphaerellaceae. *Studies in Mycology* 92, 227-286.
- Gotkowska-Plachta, A., Filipkowska, Z., Korzeniewska, E., Janczukowicz, W., Dixon, B., Golas, I., y Szwajgin, D. (2013). Airborne Microorganisms Emitted by Wastewater Treatment Plants That Treat Domestic Wastewater and Meat Processing Industry Wastes. *Clean Soil Air Water*, 41(5), 429-436,
- Gruninger, R., Puniya, A., Callaghan, T., Edwards, J., Youssef, N., Dagar, S., Fliegerova, K., Griffith, G., Forster, R., Tsang, A., McAllister, T. & Elshahed, M. (2014). Anaerobic fungi (phylum Neocallimastigomycota): advances in understanding their taxonomy, life cycle, ecology, role and biotechnological potential. *Microbiology Ecology*, 90(1), 1-17.
- Guardino, X. (1994), Calidad del aire interior en. *Enciclopedia de salud y seguridad en el Trabajo*.
- Guarro, J., Clavo., M., Torres, J. y Suárez, G. (1979). Cepas del Género *Penicillium* Aisladas en Cataluña. *Collectanea Botanica*, 11(7), 191-239.
- Hanlin, R. (1990). *Illustrated Genera of Ascomycetes*. The American Phytopathological Society.
- Hernández, A. (2001). planificación de la medición en, *Agentes biológicos*. NTP 608.

- Hernández, R., Fernández, C., Baptista, M. (2014). *Metodología de la Investigación*. (6ta ed.)
McGRAW-HILL / INTERAMERICANA EDITORES.
- Hibbett, D., Binder, M., Bischoff, J., Blackwell, M., Cannon, F., Erikssone, E., Huhndorff, S., James, T., Kirk, P., Lukking, R., Thorsten, H., Lutzoni, F., Matheny, B., Mclaughlin, D., Powell, M., Redhead, S., Schoch, C., Spatafora, J., Stalpers, J., ... Zhang, N. (2007). A higher-level phylogenetic classification of the Fungi. *Mycological Research*, 3(4), 509-547.
- Iglesias, S. & Rodríguez, H. (2020). Características Microbiológicas de *Mucor* sp. *Revista Experiencia en Medicina*, 6(1), 41-42.
- James, T., Letcher, P., Longcore, J., Mozley-Standridge, S., Porter, D., Powell, M., Griffith, G. y Vilgalys, R. (2006). A molecular phylogeny of the flagellated fungi (Chytridiomycota) and description of a new phylum (Blastocladiomycota). *Mycologia*, 98(6), 860-871.
- Jiménez, H. (2018). Estudio de la Diversidad y Taxonomía de Hongos Como Estrategia Para la Enseñanza de la Biología. *Bio-Investigaciones*, 11(21), 111-116.
- Jones, E., Suetrong, S., Sakayaroj, J; Bahkali, A., Abdel-Wahab, M., Boekhout, T. & Pang, K. (2015). Classification of marine Ascomycota, Basidiomycota, Blastocladiomycota and Chytridiomycota. *Fungal Diversity*, 73(1), 1–72. doi:10.1007/s13225-015-0339-4
- Korzeniewska, E., Fillipkowska, Z., Gotkowska-Plachta, A., Janczukowicz, W., Dixon, B. y Czulowska, M. (2009). Determination of emitted airborne microorganisms from a BIO-PAK wastewater treatment plant. *Water Research*, 43(11), 2841-2851.
- Korzeniewska, E. (2011). Emission of bacteria and fungi in the air from wastewater treatment plants – a review. *Frontiers in Bioscience*, 3(2), 393-407.

- Kuhar, F., Castiglia, V. y Papinutti, L. (2013). Reino Fungi: morfologías y estructuras de los hongos. *Revista Boletín Biológica*, 7(28), 11-18.
- Lanza, N., Bustos, C., Marfil, M. y Guida, N. (2018). Composición fúngica de bioaerosoles ambientales en corrales. *Revista de Investigaciones Veterinarias del Perú*, 29(4), 1475-1480.
- Leal-Quirós, E. (s.f.). Capítulo 1, Un Sistema del Planeta Tierra en, *La Atmósfera* (pp. 48).
- Leyva, P. (2001). La atmosfera, el tiempo y el clima en, *El medio ambiente en Colombia*. (2 ed. pp., 34-91). Instituto de Hidrogeología, Meteorología y Estudios Ambientales.
- Leyva, M., Páez, P., Bernal, A., Pérez, M., Muñoz, M., Vasquez, C. y León, O. (2020). El complejo de especies de *Sclerotinia* y su importancia fitopatológica en cultivos tropicales. *Revista Cetro Agrícola*, 48(Número especial), 29-32.
- Madrid, H., Cárcamo, C. y Tapia, C. (2019). *Curvularia spicifera*. *Retrato Microbiológico*, 36(5), 646-647.
- Marín, R. (2013). *Procesos Físicoquímicos en depuración de aguas. Teoría, práctica y problemas resueltos*. Madrid. España.
https://books.google.es/books?hl=es&lr=&id=fOuODwAAQBAJ&oi=fnd&pg=PA67&dq=procesos+físicoquímicos+en+el+tratamiento+de+aguas+residuales&ots=qvXC4Wdo_2&sig=Ho3F7M2_5PpAI9HbHk6-9u5A2sY#v=onepage&q=procesos%20físicoquímicos%20en%20el%20tratamiento%20de%20aguas%20residuales&f=false.
- Marín, Y., Guarro, J., Cano, J., García, D., Miller, A. & Stchigel, A. (2018). *Melanospora* (Sordariomycetes, Ascomycota) and its relatives. *MycKeys*, 44(1). 81-122.

- Martí, M., Espadalé, R. y Constans, A. (1998). *Calidad de aire interior: identificación de hongos*. NTP 488.
- Martínez, B., Infante, D. y Peteira, B. (2015). Taxonomía polifásica y variabilidad en el género *Trichoderma*. *Protección Vegetal*, 30(Número Especial), 11-22.
- Martini, C. & Mari, M. (2014). *Monilinia fructicola*, *Monilinia laxa* (Monilinia Rot, Brown Rot) an, *Postharvest Decay*. <http://dx.doi.org/10.1016/B978-0-12-411552-1.00007-7>
- Medina, L. (2016). *Evaluación Aeromicológica De Las Zonas Aledañas Al Relleno Sanitario De La Ciudad De Celendín*. [Tesis de grado, Universidad Nacional de Cajamarca].
- Ministerio del Ambiente (MINAM, s.f.). *Aire limpio para todos. Conceptos Básicos Sobre el Aire*.
- Moral de Gregorio, A. (2018). *Aerobiología de los hongos*.
- Morales, M. (2009). Los hongos. *Revista digital innovación y experiencias*, 17, p. 1-8.
- Moreno, C., Barragán, F., Pineda, E. y Pacón, N. (2001) Reanálisis de la diversidad alfa: alternativas para interpretar y comparar información sobre comunidades ecológicas. *Revista Mexicana de Biodiversidad* 82(4), 1249-1261.
- Muñoz, A. (2008). *Caracterización y tratamiento de Aguas residuales*. [Monografía Lic. UAEH].
- Nadal, M. y Moret, A. (1991). Algunas Citas Recientes de Especies del Género *Phoma* Sacc. En Catalunya. *Acta Botánica Malacitana*, 16(1), 97-104.
- Naranjo-Morán, J., Vera-Morales, M., Barcos-Arias, M., Oviedo-Anchundia, R., Sánchez-Rendón, V. y Pino-Acosta, A. (2021). Dispersión y transporte de propágulos micorrícicos en el bosque seco tropical. *Ecosistemas*, 30(1), 1-12.
- Narrea, M. y Malpartida, J. (2006). Evaluación de medios de cultivo en la producción de conidias y crecimiento diametral de cuatro cepas del hongo entomopatógeno *Beauveria brongniartii* (Saccardo) Petch. *Revista Peruana de Entomología*, 45(1), 145-147.

- Ocara, M., Vieille, P., Carvajal, L. y Cruz, R. (2018). Los Hongos en la salud y la enfermedad. Parte I. *Boletín Micológico*, 33(2), 1-9.
- Orozco-Mosqueda, M., Kumar, A., Fadji, A., Babalola, O., Puopolo, G. & Santoyo, G. (2023). Agroecological Management of the Grey Mould Fungus *Botrytis cinerea* by Plant Growth-Promoting Bacteria. *Plants*, 12(637), 1-18.
- Picos, P., García, R., León, J., Sañudo, A. y Allende, R. (2015). *Lasiodiplodia theobromae* en cultivos agrícolas de México: Taxonomía, hospedantes, diversidad y control. *Revista Mexicana de Fitopatología*, 33(1), 54-74.
- Pilleux, L., Ponticas, M., Carrasco, C., León, A., Salas, P., Rodriguez, C. y Caorsi, I. (2000). Hialohifomicosis invasiva hepatoesplénica. Comunicación de un caso. *Revista Médica de Chile*, 128(6), 641-646
- Pintos, A. & Alvarado, P. (2021). Phylogenetic delimitation of *Apiospora* and *Arthrinium*. *Fungal Systematics and Evolution*, 7(1), 197-221.
- Piontelli, E. (2008). Aportes Morfotaxonomicos en el Género *Aspergillus* Link: Claves Para las Especies Ambientales y Clínicas más Comunes. *Boletín Micológico*, 23(1) 49-66.
- Piontelli, E. (2015). Especies clínicas comunes del género *Scopulariopsis* Bainier y taxas relacionados. *Boletín Micológico*, 30(1), 27-33.
- Pontón, J., Moragues, M., Gené, J., Guarro, J. y Quindós, G. (2002). El reino de los Hongos en, *Hongos y Actinomicetos Alergénicos* (1 ed., p. 1-4) Revista Iberoamericana de Micología.
- Pousafar, A., Javan-Nikkhah, M. & Ghosta, Y. (2017). *Harzia acremonioides*, new species for mycobiota of Iran. *Rostaniha*, 18(1), 104-106.

- Prazmo, Z., Krysinska-Traczyk, E., Skorska, C., Sitkowska, J., Cholewa, G. & Dutkiewicz, J. (2003). Exposure to bioaerosols in a municipal sewage treatment plant. *Annals of Agricultural and Environmental Medicine*, 10(2), 241-248.
- Qiu, X.H., Li, Y.P., Niu, T.J., Li, M.L., Ma, Z.H., Miao, Y. y Wang, X.J. (2012). Pollution characteristics of microbial aerosols generated from a municipal sewage treatment plant. *Huan Jing Ke Xue*, 33(7), 2191-219.
- Quiroz, N., Pilar-Villanueva, J. y Lozano, E. (2017). Mucormicosis. *Rev Asoc Colomb Dermatol*, 25(4), 284-293.
- Raghukumar, S. (2017). Fungi: Characteristics and Classification. In *Fungi in coastal and oceanic marine ecosystems*. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-319-54304-8_1.
- Ramalho, R. (1996). *Tratamiento de aguas residuales*. En Jiménez, D., De lora, F. y Ramalho, R (Ed.rev). Editorial Reverté, S.A.
- Reynolds, K. (2002). Tratamiento de Aguas Residuales en Latinoamérica Identificación del Problema. *Agua Latinoamérica*, 1- 4.
- Restrepo, A., Robledo, J., Leidereman, E., Restrepo, M., Botero. y Bedoya, D. (2003). *Micología. Micosis sistémicas endémicas*. Corporación de Investigaciones Biológicas.
- Ríos, J. (2011). La aeromicología y su importancia para la medicina. *Rev. Méd Cient*, 24(2), 28-2.
- Rojas, R. (2002). *Sistemas de Tratamiento de Aguas Residuales* [Conferencia Principal]. Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente, División de Salud y Ambiente. P. 5.
- Roncal, M. (2004). *Principios de Fitopatología Andina*. Oficina General de Investigación – UNC (Ed). Cajamarca, Perú.
- Roncal, M. (1993). *Taxonomía de Hongos Fitopatógenos Comunes*. Obispo Martínez Compañón.

- Rylander, R. (2006), Endotoxin and occupational airway disease. *Curr Opin Allergy Clin Immunol*, 6(1), 62-66.
- Salmerón-Santiago, I., Pedraza-Santos, M., Mendoza-Oviedo, L. & Chávez-Bárceñas, A. (2015). Cronología de la taxonomía y cladística de los Glomeromycetos. *Revista Fitotec.* 38(2), 153-162.
- Samarakoon, B., Phookamsak, R., Karunarathna, S., Jeewon, R., Chomnunti, P., Xu, J. & Li, Y. (2021). New host and geographic records of five pleosporalean hyphomycetes associated with *Musa* spp. (Banana). *Studies in Fungi*, 6(1), 92-115.
- Sánchez, M., Marmolejo, F. y Bravo, N. (2000). *Microbiología, Aspectos Fundamentales*, Universidad Nacional de Colombia.
- Sánchez, K., y Almaguer, M. (2014). Aeromicrología y salud humana. *Revista Cubana de Medicina Tropical*, 66(3), 322-337.
- Sánchez-Monedero, M., Aguilar, M., Fenoll, R. y Roig, A. (2007). Effect of the aeration system on the levels of airborne microorganisms generated at wastewater treatment plants. *Water Research*, 42(14), 3793-3744.
- Sánchez-Monedero, M., Aguilar, M., Fenoll, R. y Roig, A. (2007). Generación de bioaerosoles en estaciones depuradoras de aguas residuales. *Revista Ingeniería*, 11(1), 37-42.
- Sánchez-Monedero, M., Roig, A., Cayuela, L. y Stentiford, E.I. (2006). Emisión de bioaerosoles asociada a la gestión de residuos orgánicos. *Revista Ingeniería*, 10(1), 39-47.
- Sandoval, I., López, M. y Bonilla, T. (2003). Especies de *Periconia* Sobre la Semilla de Arroz (*Oryza sativa* L.). *Fitosanidad*, 7(3), 17-19.

- Schultes, N., Murtishi, B. & Li, D. (2017). Phylogenetic relationships of *Chlamydomyces*, *Harzia*, *Olpitrichum* and their sexual allies, *Melanospora* and *Sphaerodes*. *Fungal Biology*, 121(10), 890-904.
- Secretaría del Medio Ambiente (SEDEMA, 2014). *Agua residual*.
<http://www.sadsma.cdmx.gob.mx:9000/datos/glosario-definicion/Agua%20residual>.
- Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (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.
- Sisterna, M. (1987). Especies Graminícolas de los géneros *Drechslera*, *Bipolaris* y *Exerohilum* en Argentina. *Turrialba*, 37(1), 45-51.
- Sobrado, S., Cabral, E. y Romero, F. (2013). Fungi en, *Hongos, Diversidad Vegetal*. (p. 43). Universidad Nacional del Nordeste.
- Soler, P., Berroterán, J., Gil, J. y Acosta, R. (2012). Índice valor de importancia, diversidad y similaridad florística de especies leñosas en tres ecosistemas de los llanos centrales de Venezuela. *Agronomía Tropical*, 62(1-4), 25-37.
- Tapia, C. y Amaro, J. (2014). Genero *Fusarium*. *Revista Chilena Infectol*, 31(1), 85-86.
- Troconis, A. (2010). *Tratamiento de Aguas residuales*. (1ra ed., pp. 1-20). Belzona.
- Valdivielso, A. (2020). *¿Qué es una EDAR?* <https://www.iagua.es/respuestas/estacion-depuradora-aguas-residuales>
- Velázquez, O. (2022). *Importancia de los hongos del género Alternaria en el desarrollo de afecciones alérgicas en México*. [Universidad Autónoma Metropolitana]
- Vossbrinck, C. R., Debrunner- Vossbrinck, B. A., & Weiss, L. M. (2014). Phylogeny of the Microsporidia. En *Microsporidia: pathogens of opportunity*, (1ra ed). 203-220.

Wang, M., Tan, X., Liu, F. & Cai, L. (2018). Eight new *Arthrinium* species from China. *MycKeys*, 34(1), 1-24.

Webster, J; Weber, R. (2007). *Introduction to Fungi*. (3 ed. 875). Cambridge University Press.

Zheng, H., Zhang, Z., Liu, D. & Yu, Z. (2019). *Memnoniella sinensis* sp. nov., a new species from China and a key to species of the genus. *Systematic and Evolutionary Microbiology*, 69, 3161-3169.

CAPITULO VII

ANEXOS

ANEXO 1: Claves taxonómicas de microorganismos aeromicológicos frecuentes en la PTAR de Celendín-Cajamarca.

Clave de identificación de Cladosporium (Barnett, 1960).

A2: Micelio no cenocítico, con frecuentes septos, conidias normalmente presentes, excepto en algunos géneros..... (HONGOS IMPERFECTOS)

B1: Conidias y conidióforos no producidos dentro de un picnidio acérvulos..... (MONILIALES)

C2: Conidia no enrollada

D2: Conidióforos y/o conidias que contienen pigmentos oscuros; conidióforos no unidos en esporodoquio o sinema (DEMATIACEAE)

E2: Conidias típicamente con dos células (una célula o conidias con tres células frecuentemente presentes)

F1: Conidias catenuladas

G2: Conidias en cadenas frecuentemente ramificadas; septos no gruesos.

H2: Conidios de forma variable, sin células esporógenas. especiales.....*Cladosporium*

Clave de identificación de *Penicillium*, según (Barnett, 1960).

A2: Micelio no cenocítico, con frecuentes septas, normalmente presenta conidias, excepto algunos géneros (HONGOS IMPERFECTOS)

B1: Conidia y conidióforos, no producidos dentro de picnidio (ORDEN MONILIALES)

C2: Conidia no enrollada.

D1: Conidia y conidióforo presente, hialinos brillantemente Coloreadas, conidióforos no unidos en esporoquio MONILIACEAE

E1: Conidia con una célula globosa, pequeño cilíndrico

F2: Conidióforos presentes, aunque a veces cortos

G2: Conidióforos ramificados y distinto de la conidia

H2: Conidióforos comúnmente ramificados, a veces simples, como presenta fiálides que pueden formar grupos

I1: Conidia catenulada

J2: Las células fértiles no están presentes en estructuras

K1: Conidias originadas sobre fiálides en cadena

L2: Conidióforos agrupados, conidia usual en cadena, libres o separadas

M1: Fiálides en grupos semejante a brochas no divergentes, no cónico

N2: Conidias globosa elipsoide no truncadas la base..... *Penicillium*

Clave de identificación de *Alternaria*. Según (Barnett,1960).

A2: Micelio no cenocítico, con frecuentes septas, normalmente presenta conidios, excepto algunos géneros (HONGOS IMPERFECTOS)

B1: Conidias y conidióforos no producidos en dentro de picnidios o

acérvulo..... (ORDEN MONILIALES)

C2: Conidio no enrollada

D2: Conidióforos conteniendo pigmentación oscura, Conidióforos no unidos dentro de esporodoquio DEMATIACEAE

E4: Conidio con células diferentes, multiformes, dictyosporous, o cuatro células en forma de cruz

F1: Conidia catenulada

G2: Conidias que se diferencia del conidióforo con altura

delgada..... *Alternaria*

Clave de identificación de *Fusarium*. Según (Barnett,1960).

A2: Micelio no cenocítico, con septa frecuente, conidias normalmente presentes, excepto en algunos géneros (HONGOS IMPERFECTOS)

B1: Conidia y conidióforos no producidos dentro de un picnidio o acérvulos (MONILIALES)

C1: Conidia más o menos enrolladas, espiraladas, curvadas, hialinas u oscuras (MONILIACEAE, DEMATIACEAE y TUBERCULARIACEAE)

D3: Conidióforos unidos en esporodoquios o sinemas

E1: Conidia producida sobre esporodoquios (Tuberculariaceae)

F3: Conidias con más de dos células hialinas y oscuras

G1: Conidia hialina o brillante coloreada

H2: Conidia larga, delgada que presenta pigmentación cuando está en masas

12: Esporodoquio no presenta setas.

J1: Macroconidia en forma de canoa.....*Fusarium*

Clave de identificación de *Epicoccum*. Según (Barnett,1960).

A2: Micelio no cenocítico, con septas frecuentes; conidios normalmente presentes, excepto en algunos géneros..... (HONGOS IMPERFECTOS)

B1: Conidios y conidióforos no son producidos dentro de picnidios o acérvulos (MONILIALES)

C2: Conidias no enrolladas

D2: Conidióforos y/o conidios contiene pigmentos oscuros; conidióforos no unidos en esporodoquio o cinema (DEMATIACEAE)

E4: Conidio multicelulado, muriforme, dictiosporos, o cuatro células y en forma de cruz

F2: Conidios no catenuladas

G2: Célula apical del conidio no claramente mayor que otras

H2: Ningún conidióforo o pobremente desarrollado, más corto que los conidios

I3: Conidióforos presentes, no derivados de masa de hifas

J3: Sólo produce conidios muriformes redondas y oscuras

K1: Conidióforos agrupados..... *Epicoccum*

ANEXO 2: Permiso de acceso para realización del estudio en la PTAR Celendín – Cajamarca, emitido por el Gobierno Regional de Cajamarca.



GOBIERNO REGIONAL CAJAMARCA
U.E. DE PROGRAMAS REGIONALES - PROREGION
DIRECCION EJECUTIVA



"Año del Bicentenario del Perú 200 años de Independencia"

Cajamarca, 19 de Noviembre de 2021

OFICIO N° 1049 **-2021-GR-CAJ/PROREGIÓN/DE**

ING. MANUEL S. RONCAL ORDOÑEZ
 JEFE DE LABORATORIO DE FITOPATOLOGIA
 DE LA FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS
 UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA

Presente.-

ASUNTO : HACE DE SU CONOCIMIENTO AUTORIZACION CORRESPONDIENTE

REF. : CARTA DE PRESENTACION S/N

SECRETARÍA REGIONAL DE ASESORIA JURÍDICA
 MAD
 Expediente N°
6076905



Es grato dirigirme a usted para saludarlo cordialmente y al mismo tiempo en consideración a la solicitud hecha por su despacho para contar con la autorización pertinente para proceder al ingreso del investigador académico Barrantes Saucedo, Perci Joel, con la finalidad de desarrollar acciones inherentes a la tesis que viene ejecutando el antes referido para efectos de obtener el grado de Ingeniero Ambiental, se hace de su conocimiento que la entidad está brindando la autorización pertinente para el ingreso a las instalaciones de la PTAR Celendín.

Para ello se debe precisar que deberá realizar las acciones pertinentes con el Coordinador de la obra: "MEJORAMIENTO Y AMPLIACION DE LOS SISTEMAS DE AGUA POTABLE, Y ALCANTARILLADO DE LA CIUDAD DE CELENDIN", Ing. Francisco Alejandro Silva Mondoñedo y de esta formar efectivizar el ingreso a la PTAR Celendín.

Esperando la atención que merezca la presente, me suscribo de usted.

Atentamente,



Ing. Álvaro Rómulo López Landi
 CIP N° 94319
 Director Ejecutivo
 PROREGIÓN

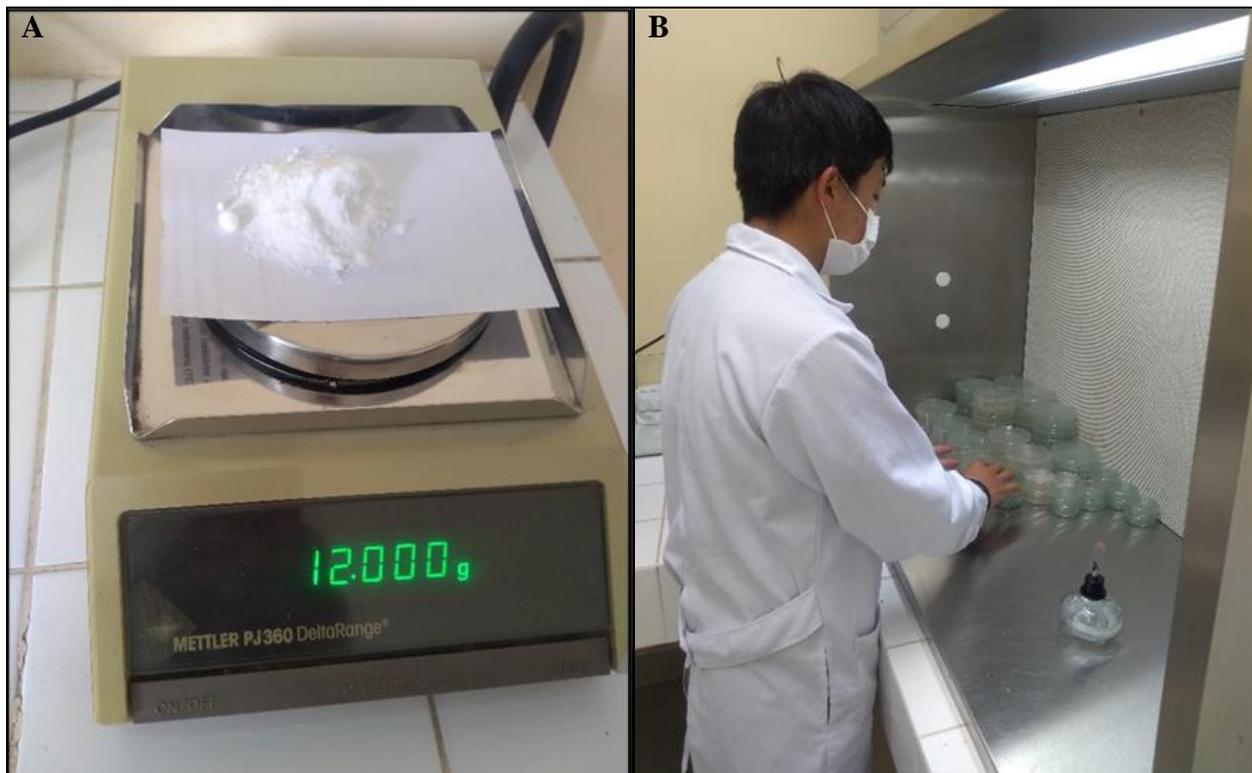
Cc
 Uj
 Archivo
 ARL:GWVC/pdpm

Jr. Eduardo Rodríguez Urrunaga N° 261 - La Alameda- Cajamarca

Telefono: 076 - 637259

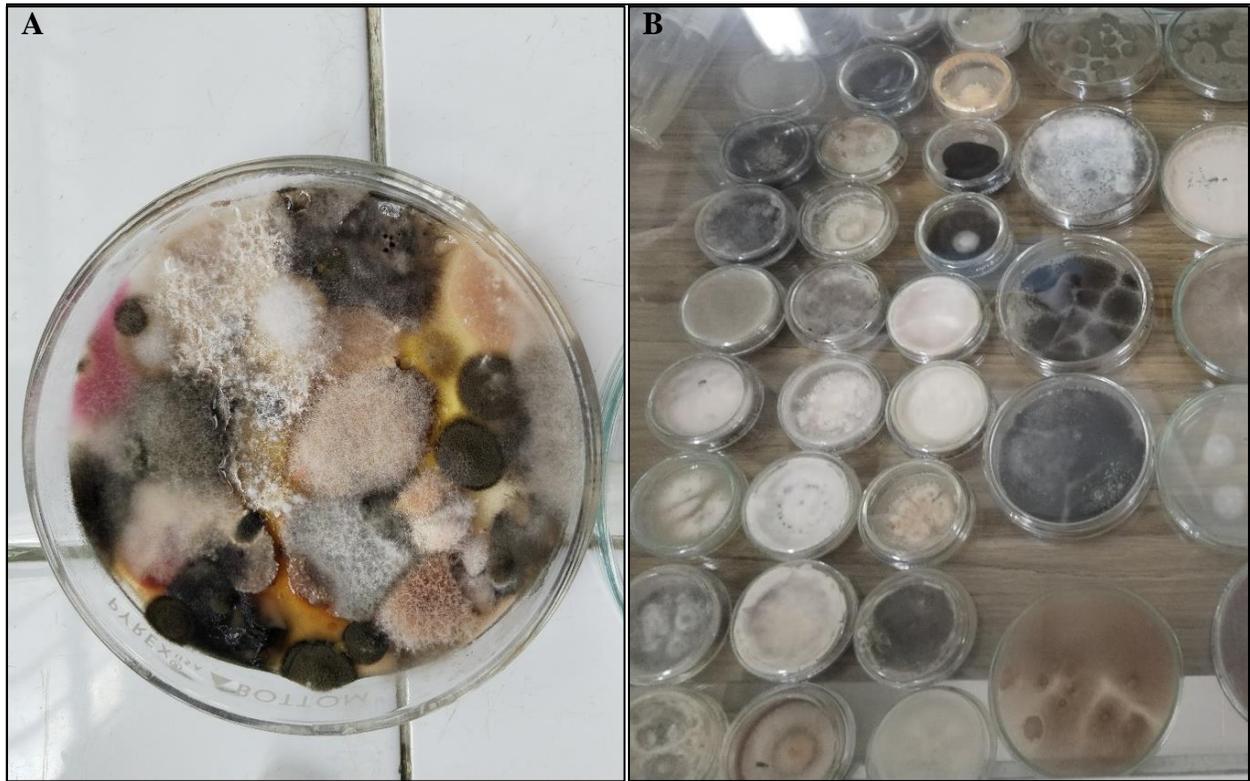
ANEXO 2: Panel fotográfico de los procesos y actividades llevadas a cabo durante la realización del estudio.

Figura 37
Elaboración de medios de cultivo



Nota: Dextrosa utilizada para elaboración de medio de cultivo (A) y uso de cámara de flujo laminar para el vertido de agar PDA en las cajas Petri (B)

Figura 38
Reconocimiento de organismos fúngicos



Nota: Placa Petri expuesta en el área de evaluación luego de 72 horas de incubación (A) y aislamiento de organismos fúngicos (B).

GLOSARIO DE TÉRMINOS

Glosario de términos tomado de Barreno y Pérez-Ortega (2003), Sánchez et al. (2000), Arenas (2014), Roncal (2004).

Espora: Células generativas que dan origen a nuevos individuos.

Asca: Estructura en forma de bolsa, la cual contiene ascosporas endógenas son de origen sexual, propia de los ascomicetos.

Conidio: Son las esporas libres.

Micelio: Conjunto de hifas que crecen apicalmente y que se ramifican en múltiples direcciones.

Hifa: Filamento pluricelular de variadas formas, colores y consistencias; propia de los hongos.

Aseptado: Estructura que carece de septos o divisiones

Septado: Estructura que presenta septos o divisiones

Hialino: Que carece de coloración y/o pigmentación

Conidióforo: Son hifas cuyo extremo se caracteriza por poseer una célula conidiogénica.

Fiálide: Estructura conidiogénica con reproducción asexual en forma de botella.

Picnidio. Es el cuerpo fructífero de algunos hongos, en cuyo interior se forman conidióforos y conidios.

Ostiolo. Orificio o poro ubicado en el cuello de las estructuras picnidiales, suele servir de salida para los conidios.

Acérvulo: Son masas de hifas en forma de copa, en la cuales crecen conidios agrupados densamente.

Esporodoquio: Tejido fúngico, tipo almohadilla, sobre el cual se forman los conidióforos

Esclerocio: Estructura endurecida formada por condiciones desfavorables, conformada por hifas enrolladas entre sí.

Saprófito: Aquellos hongos que se alimentan de materia orgánica en descomposición.

Parásito: Aquellos hongos que viven y se alimentan a expensas de otros organismos

Esporangio: Cavidad de los hongos en donde se forman las esporas

Esporangióforo: Hifa aérea especializada que sirve de soporte para uno o varios esporangios.

Inmunocomprometido: Persona que presenta capacidad reducida para combatir infecciones y enfermedades