



EL SABER DE MIS HIJOS  
HARÁ MI GRANDEZA

# UNIVERSIDAD DE SONORA

---

---

DIVISIÓN DE INGENIERÍA

DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA QUÍMICA  
Y METALURGIA

**EVALUACIÓN DE LA PRESENCIA DE HONGOS  
EN EL AIRE DE AULAS DEL DEPARTAMENTO  
DE INGENIERÍA QUÍMICA Y METALURGIA DE  
LA UNIVERSIDAD DE SONORA**

Tesis

Que para obtener el título de:

**INGENIERO QUÍMICO**

Presenta

Griselda Adilene Sánchez Cubedo

Hermosillo, Sonora

Junio 2015

# Universidad de Sonora

Repositorio Institucional UNISON



"El saber de mis hijos  
hará mi grandeza"



Excepto si se señala otra cosa, la licencia del ítem se describe como openAccess

# UNIVERSIDAD DE SONORA

## VOTOS APROBATORIOS

Hermosillo, Sonora, a 29 de Mayo de 2015.

**DR. MARTÍN ANTONIO ENCINAS ROMERO**  
**JEFE DEL DEPARTAMENTO**  
**INGENIERÍA QUÍMICA Y METALURGIA**

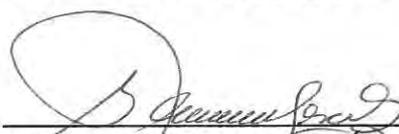
Por medio de la presente, nos permitimos informarle que los miembros del Jurado designado para revisar la Tesis Profesional "EVALUACIÓN DE LA PRESENCIA DE HONGOS EN EL AIRE DE AULAS DEL DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA QUÍMICA Y METALURGIA DE LA UNIVERSIDAD DE SONORA", presentada por:

**GRISELDA ADILENE SÁNCHEZ CUBEDO**

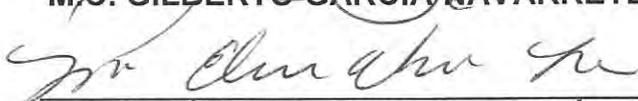
La han revisado y cada uno de los integrantes da su **VOTO APROBATORIO** ya que cumple con los requisitos parciales para la obtención del Título de:

**INGENIERO QUÍMICO**

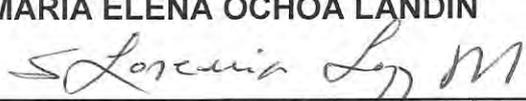
1-JUNIO-2015  
Fecha

  
M.C. GILBERTO GARCÍA NAVARRETE

1 Junio 2015

  
Q.B. MARÍA ELENA OCHOA LANDÍN

1 Junio 2015

  
M.C. SYLVIA LORENIA LÓPEZ MAZÓN

\_\_\_\_\_  
Q.B. LUIS ÁNGEL MUÑOZ LASTRA

## DEDICATORIA

A mis padres, por poner en mis manos el regalo más grande, la educación. A mi madre más que a nadie, pues ella siempre será mi eterna inspiración, la chispa de todas mis acciones, porque con su amor, paciencia y cariño siempre me ha apoyado, me ha orientado y me ha formado. Porque sin ella, no estaría donde estoy.

A mi hermana Camila porque la fuerza la acompaña.

A mi hermanita Mitzi porque su luz es la de una bella estrella.

A mis tías, Lucía, Mayra, Violeta y Yadira, porque cada una de ellas, siempre me han apoyado en su manera única, siempre creyendo en mí y motivándome a salir adelante cuando pensaba que ya me había rendido. Por depositar en mí su fe y confianza y sobre todo inspirarme a mejorar.

A mi amiga desde la infancia, Patricia, con quien tengo tantos recuerdos y porque después de tanto tiempo ha seguido ahí para mí.

A mi amiga de preparatoria, Carolina, quien me recuerda constantemente que la diversión no está separada de los estudios.

A mis colegas de intercambio, Ana y Marco, con quienes descubrí que todo es posible.

À mes amies, Mathilda et Sawsen, qui m'ont appris la définition du mot « dédicace ».

A Aarón, Abigail, Alfredo, Christian, Emma, Israel, Leticia, Leo, Tania y Valeria, con quienes he crecido desde que entré a la Universidad.

## AGRADECIMIENTOS

A Dios, por permitirme culminar esta etapa y haber acompañado siempre mis pasos.

A mi alma mater, la Universidad de Sonora, por haberme formado académicamente en sus instalaciones con un buen ambiente estudiantil.

Al M. en C. Gilberto García Navarrete por su apoyo y paciencia durante este proceso, por sus enseñanzas y tiempo dedicado. Por haberme aceptado como su tesista.

A la Q.B. María Elena Ochoa Landín por su constante apoyo y dedicación a solventar mis dudas durante la tesis.

Al M. en C. Martín Tequida Meneses por invertir su valioso tiempo en mí durante esta etapa.

A la M. en C. Lorenia López Mazón por decidir apoyarme.

A mi grupo de estudios de la carrera de Ingeniería Química, Adriana, Andrea, Ángel, Arely, Erika, Gustavo, Huidobro y sobre todo a mi amiga Marisol, que en los últimos años de la carrera fueron excelentes *asesores* y con quienes compartí la tensión y presión de esta bonita licenciatura. Porque siempre nos apoyamos entre nosotros para no rendirnos y seguir.

A mi familia por tranquilizarme y alentarme cuando sentía que ya no podía más.

A Thelma, mi compañera de idiomas.

A mi mamá una vez más, porque su amor siempre me acompaña.

## ÍNDICE DE CONTENIDO

	<b>Página</b>
<b>ÍNDICE DE FIGURAS</b> .....	vii
<b>ÍNDICE DE TABLAS</b> .....	viii
<b>RESUMEN</b> .....	ix
<b>I. INTRODUCCIÓN Y OBJETIVOS</b> .....	1
<b>II. ANTECEDENTES</b> .....	4
II.1. Características generales de los hongos.....	6
II.2. Clasificación de los hongos .....	8
II.3. Afectaciones a la salud por hongos .....	12
II.4. Métodos de muestreo de aire .....	15
II.4.1. Método activo.....	15
II.4.2. Método pasivo.....	16
II.5. Identificación.....	18
II.5.1. Preparación de medios .....	18
II.5.2. Etapa de muestreo y crecimiento.....	19
II.5.3. Características distintivas.....	19
<b>III.ZONA DE ESTUDIO: AULAS DEL DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA QUÍMICA</b> .....	21
III.1. Localización.....	21
III.2. Descripción de las aulas.....	23
III.2.1. Materiales de construcción.....	23
III.2.2. Dimensiones .....	23

## CONTINUACIÓN DE ÍNDICE DE CONTENIDO

	<b>Página</b>
III.2.3. Ventilación.....	24
III.2.4. Iluminación .....	25
III.2.5. Planos de las aulas monitoreadas .....	27
III.3. Requerimientos estándar de las aulas.....	31
III.3.1. Área requerida por alumno.....	31
III.3.2. Requerimientos de ventilación de las aulas .....	31
<b>IV. MATERIALES Y MÉTODOS .....</b>	<b>32</b>
IV.1. Materiales y reactivos .....	32
IV.2. Metodología experimental.....	32
IV.2.1. Preparación del medio .....	32
IV.2.2. Recolección de las muestras .....	33
IV.2.3. Incubación de muestras .....	34
IV.2.4. Preparación de frotis.....	34
IV.2.5. Identificación.....	34
<b>V. RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....</b>	<b>36</b>
<b>VI. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....</b>	<b>51</b>
<b>VII. ANEXOS .....</b>	<b>53</b>
<b>VIII. BIBLIOGRAFÍA .....</b>	<b>64</b>

## ÍNDICE DE FIGURAS

	Página
<b>Figura 1:</b> Estructura de célula eucariota y procariota .....	6
<b>Figura 2:</b> Partes de un hongo.....	7
<b>Figura 3:</b> Representación de los tipos de esporas .....	8
<b>Figura 4:</b> Clasificación de los hongos - Myxomicota .....	9
<b>Figura 5:</b> Clasificación de los hongos - Eumycota.....	10
<b>Figura 6:</b> Clases de hongos .....	12
<b>Figura 7:</b> Sistema respiratorio humano .....	14
<b>Figura 8:</b> Equipo para el monitoreo de aire .....	16
<b>Figura 9:</b> Método pasivo.....	17
<b>Figura 10:</b> Instalaciones de la Universidad de Sonora .....	22
<b>Figura 11:</b> Edificios del Departamento de Ingeniería Química y Metalurgia.....	23
<b>Figura 12:</b> Edificio 5E, planta baja.....	27
<b>Figura 13:</b> Edificio 5E, planta alta.....	28
<b>Figura 14:</b> Edificio 5I, planta alta .....	29
<b>Figura 15:</b> Temperatura durante los días de monitoreo .....	41
<b>Figura 16:</b> Humedad relativa durante los días de monitoreo.....	42
<b>Figura 17:</b> UFC en el quinto día de incubación, planta baja del edificio 5E .....	43
<b>Figura 18:</b> UFC en el quinto día de incubación, planta alta del edificio 5E .....	44
<b>Figura 19:</b> UFC en el quinto día de incubación, planta alta del edificio 5I.....	45
<b>Figura 20:</b> <i>Alternaria sp.</i> .....	46
<b>Figura 21:</b> <i>Aspergillus flavus</i> .....	47
<b>Figura 22:</b> <i>Aspergillus niger</i> .....	47
<b>Figura 23:</b> <i>Cladosporem sp.</i> .....	48
<b>Figura 24:</b> <i>Drechslera sp.</i> .....	48
<b>Figura 25:</b> <i>Fusarium sp.</i> .....	49
<b>Figura 26:</b> <i>Penicillium sp.</i> .....	49

## ÍNDICE DE TABLAS

	Página
<b>Tabla I:</b> Resumen de la descripción de aulas.....	26
<b>Tabla II:</b> Características dimensionales de las aulas del Departamento de Ingeniería Química y Metalurgia.....	30
<b>Tabla III:</b> Características distintivas de algunos hongos.....	35
<b>Tabla IV:</b> Monitoreo de UFC durante la incubación en el muestreo matutino del 28 de noviembre 2014.....	36
<b>Tabla V:</b> Monitoreo de UFC durante la incubación en el muestreo vespertino del 28 de noviembre 2014.....	36
<b>Tabla VI:</b> Monitoreo de UFC durante la incubación en el muestreo matutino del 2 de diciembre 2014.....	37
<b>Tabla VII:</b> Monitoreo de UFC durante la incubación en el muestreo vespertino del 2 de diciembre 2014.....	37
<b>Tabla VIII:</b> Monitoreo de UFC durante la incubación en el muestreo matutino del 4 de diciembre 2014.....	38
<b>Tabla IX:</b> Monitoreo de UFC durante la incubación en el muestreo vespertino del 4 de diciembre 2014.....	38
<b>Tabla X:</b> Monitoreo de UFC durante la incubación en el muestreo matutino del 8 de diciembre 2014.....	39
<b>Tabla XI:</b> Monitoreo de UFC durante la incubación en el muestreo vespertino del 8 de diciembre 2014.....	39
<b>Tabla XII:</b> Monitoreo de UFC durante la incubación en el muestreo matutino del 10 de diciembre 2014.....	40
<b>Tabla XIII:</b> Monitoreo de UFC durante la incubación en el muestreo vespertino del 10 de diciembre 2014.....	40
<b>Tabla XIV:</b> Comparación de capacidad de alumnos y superficies.....	50
<b>Tabla XV:</b> Volumen de aire nuevo por aula de acuerdo a su capacidad máxima de alumnos.....	50

## RESUMEN

El presente trabajo de investigación se realizó con la finalidad de evaluar la presencia de hongos en el aire de las aulas del Departamento de Ingeniería Química y Metalurgia, y establecer un diagnóstico de funcionalidad de las mismas de acuerdo a la capacidad nominal de uso. Para hacerlo, se recolectaron 90 muestras utilizando el método pasivo en cajas Petri de 90 mm de diámetro, que contenían agar Sabouraud. En los días y horarios establecidos se colocaron las cajas Petri con el medio de cultivo y se expusieron abiertas durante 30 minutos a una altura de 1.0 m en el centro de las aulas. Pasado el tiempo de exposición, se recolectó la muestra, tapándola cuidadosamente y llevándola a la incubadora. Para identificar el hongo se preparó un frotis, realizado con la técnica de impronta. El frotis se observó con el microscopio óptico para conocer la forma y ordenamiento característico de las esporas.

Los hongos encontrados fueron *Alternaria sp.*, *Aspergillus flavus*, *Aspergillus niger*, *Cladosporium sp.*, *Drechslera sp.*, *Penicillium sp.*, *Fusarium sp.* De acuerdo a las UFC registradas durante los días de monitoreo, la mayor concentración de hongos se encontró en general en el turno matutino, antes del inicio de actividades. Lo que significa que la actividad académica facilita el recambio de aire en las aulas. El día lunes por la mañana fue el día que se presentó la mayor cantidad de UFC en las diferentes aulas. Esta cantidad se le es atribuida principalmente por la inactividad que existió desde el viernes en la tarde y el fin de semana.

Los requerimientos de espacio de acuerdo a la capacidad máxima de alumnos de las aulas fueron adecuados excepto las aulas de la planta alta del edificio 51, las cuales no cumplen con los estándares especificados. Con respecto a la ventilación, los números de recambios de aire deben de ser de seis a ocho veces el volumen total de aula en una hora, por lo que deben realizarse adecuaciones para asegurar una óptima ventilación ya sea natural o mecánica.

## I. INTRODUCCIÓN Y OBJETIVOS

La contaminación ambiental dependiendo de los intereses u objetivos del estudio, se puede clasificar de distintas formas. Existen clasificaciones para fines de control legal. Algunas de ellas son; por el proceso que la causa, por el tipo de contaminante, por origen del contaminante y la naturaleza química del contaminante o por sus efectos.

Las principales clases de contaminación atmosférica suelen ser por el tipo de contaminante, mismos que pueden ser biológicos, físicos y químicos. Los contaminantes ambientales de procedencia biológica (bioaerosoles) están constituidos por las partículas, las moléculas de tamaño grande, o los compuestos orgánicos volátiles que están vivos o que proceden de un organismo vivo. En los bioaerosoles se pueden encontrar los microorganismos (viables y muertos), los fragmentos, toxinas y partículas producto de los desechos de todo tipo, cuyo origen es la materia viva.

De acuerdo a la Organización Mundial de la Salud (OMS) alrededor de 3 billones de personas en todo el mundo padecen una enfermedad causada por la contaminación del aire interior. Por lo cual, es evidente que la calidad del aire interior tiene un alto impacto en lo que concierne a la salud pública. La exposición a un aire de mala calidad podría causar daños respiratorios, sobre todo en niños y jóvenes.

Los reportes de problemas relacionados con el aire en los edificios han aumentado después de los setentas a pesar de que este problema, sin duda, lleva siglos. El síndrome del edificio enfermo (SBS, por sus siglas en inglés) es un término para síntomas resultantes de un problema de la calidad del aire, fue primeramente reconocido como un caso importante que afectó a personas en ciertos edificios en 1982.

Las quejas más comunes de SBS incluyen rinitis alérgica, dificultad para respirar, dolores de cabeza, síntomas similares a los del resfriado e irritación en los ojos. Se han llevado a cabo numerosos estudios en un intento para entender la causa de SBS. Los estudios realizados demostraron que muchas de las causas reportadas de este síndrome fueron altos niveles de irritantes respiratorios como el nitrógeno y dióxido de azufre, hidrocarburos y partículas conocidas o sospechosas de ser carcinógenas como el asbesto, formaldehído y humo del tabaco, o químicos que se liberan por los nuevos materiales de construcción. Hoy en día, la presencia de hongos en edificios se ha asociado también con este tipo de problemas.

Estudios sobre la calidad del aire interior han concluido que las esporas fúngicas (mismas que son componentes atmosféricos universales) son ahora generalmente reconocidos como la causa más importante de alergias respiratorias.

En escuelas y universidades los estudiantes pasan en promedio de seis a ocho horas dentro de las aulas de clase, lo cual representa el segundo lugar en el que más tiempo permanecen dentro de un ambiente cerrado después de su casa. Las escuelas tienen algunos rasgos únicos comparados con los de una casa-habitación y edificios de oficina, como lo es la alta densidad de población. Los síntomas de asma entre los estudiantes podrían deberse a la falta de ventilación y el ingreso de los contaminantes del aire externo provenientes del tráfico a las aulas. Se han reportado artículos en los que el rendimiento académico está ligado directamente a la calidad del aire interior en las aulas.

A pesar de que los contaminantes biológicos en el aire interior son variados, se determinó realizar un diagnóstico de la presencia de hongos dentro de ocho aulas del Departamento de Ingeniería Química y Metalurgia, con la finalidad de recomendar medidas para mejorar la calidad del aire dentro de las aulas.

En el presente trabajo se desarrolló un estudio sobre la presencia de hongos en las aulas, primeramente se establecen las características generales de los mismos, cómo se clasifican y en base a qué características se logra su identificación. Posteriormente se localizan y describen los sitios de muestreo en cuanto a materiales de construcción, dimensiones, ventilación e iluminación que existe en las aulas del departamento de Ingeniería Química y Metalurgia. Una vez que se haya descrito el área de estudio, se enlistan los requerimientos de estándares de salud para las aulas correspondientes a la educación superior, como son los reglamentos y normas de construcción y acondicionamiento de aire correspondiente para aulas de nivel medio-superior. En otro apartado se establecen los materiales y metodología experimental llevada a cabo, considerando el muestreo y la identificación de los hongos. Para finalizar se plasman los resultados y conclusiones del estudio.

**Objetivo General:**

Evaluar la presencia de hongos en ocho aulas del Departamento de Ingeniería Química y Metalurgia durante los meses de noviembre y diciembre de 2014.

**Objetivos Específicos:**

1. Describir las aulas de clase del Departamento de Ingeniería Química
2. Estimar los cambios de aire requerido en las aulas de acuerdo a la capacidad promedio de alumnos
3. Identificar al menos hasta género los hongos presentes en las aulas del Departamento de Ingeniería Química.

## II. ANTECEDENTES

El aire atmosférico contiene una cantidad determinada de oxígeno, nitrógeno y dióxido de carbono, así como varios contaminantes biológicos. Entre estos últimos tenemos células y fragmentos de tejidos de plantas y animales. Incluye virus, protozoarios, bacterias, fragmentos fúngicos, y esporas y micelios fúngicos (Ogórek et al.,2011).

A pesar de la amplia distribución de fuentes contaminantes del aire, la concentración de contaminantes en espacios cerrados podría ser el factor de riesgo dominante en relación con la exposición personal. En muchos casos la concentración de la contaminación microbiana del aire en los ambientes internos de un edificio es mayor comparada con la de los ambientes externos. En promedio, las personas están un 87% de su tiempo en lugares cerrados y un 6% en vehículos. Por lo anterior es importante monitorear la calidad del aire y su estatus microbiano (Yang et al., 2009).

La contaminación del aire interior se caracteriza por una gran variedad de concentración de contaminantes en diferentes ambientes interiores y también puede variar de acuerdo a la locación y el tiempo. Existen variaciones que dependen de ciertos factores, como lo son el comportamiento de los ocupantes del espacio pero también las condiciones de ventilación (de Gennaro, 2014). La supervivencia, reproducción y dispersión hacia el aire de los contaminantes biológicos dependen, en gran medida, de las condiciones del entorno en que se encuentran. Factores tales como la temperatura, la humedad relativa, el movimiento del aire, la luz y las fuentes de alimento, van a determinar el grado en que los contaminantes biológicos se encontrarán en un ambiente (Bitton, 2005).

Se concluyó en una investigación que ya se había realizado en Estados Unidos y Brasil que la mayoría de los problemas asociados con la calidad del aire

interior se relacionan con los hongos ya que los resultados de análisis micológico de aire realizado en edificios de estos países demostraron que los hongos representan alrededor del 70% de la contaminación microbiana del aire interior, es decir la contaminación biológica del aire interior es ocasionada principalmente por hongos, mohos y levaduras. En esta investigación, se identificó en las habitaciones que los principales contaminantes son *Penicillium* spp., *Aspergillus* spp. y *Cladosporium* spp (Ogórek, 2011).

Varios estudios han reportado que la contaminación del aire interior puede aumentar a corto y largo plazo los problemas de salud en los estudiantes y profesores en lo que respecta el confort y la productividad y el desempeño académico (De Gennaro, 2014).

Buchanan, 2007 refirió en su artículo que el vínculo entre el bienestar físico del estudiante y de su desempeño académico está bien asentado y muchos docentes están de acuerdo en que un ambiente sano es un componente clave para las escuelas exitosas.

A raíz de los riesgos que los hongos representan, se han hecho investigaciones relacionadas con ellos y el contacto que los seres humanos puedan tener con los mismos. Un ejemplo de éstas es una investigación cuyo objetivo fue caracterizar las concentraciones de los diferentes contaminantes interiores en las escuelas en Hong Kong, para comparar las concentraciones medidas con los estándares, y sugerir formas de reducir la exposición de los alumnos a contaminantes indeseables (Lee,S. y Chang, M., 2000).

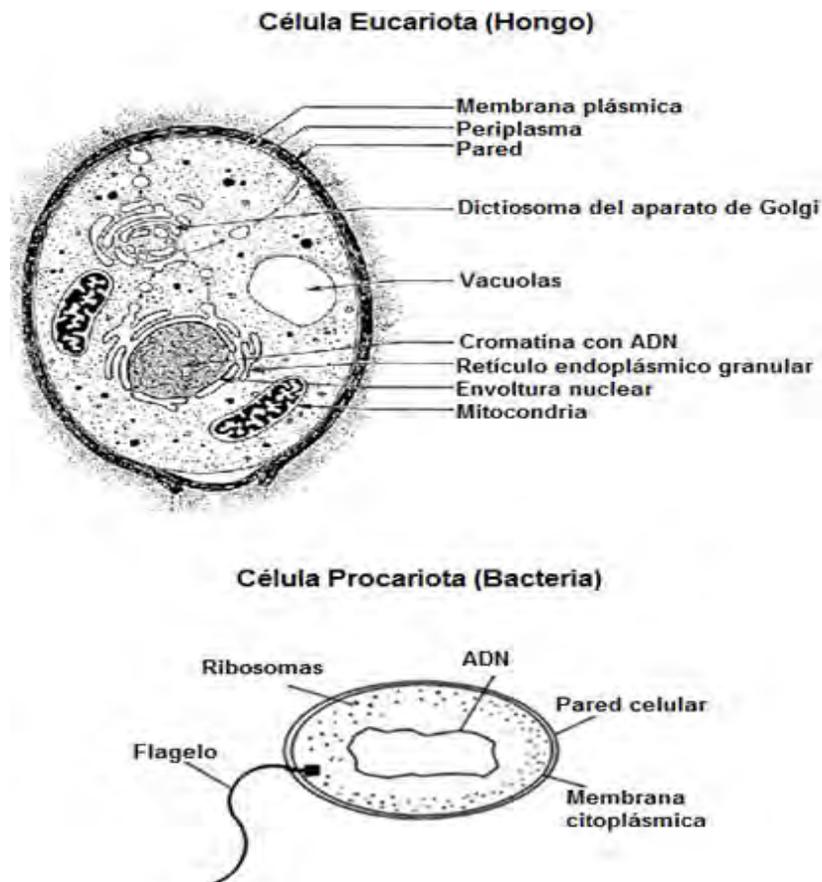
También se llevó a cabo una investigación con el propósito de observar a largo plazo la calidad microbiológica del aire interior en aulas de edificios de universidades seleccionados en el centro de Poznan, Polonia donde miles de personas están varias horas estudiando y trabajando en áreas cerradas todos los días y donde la calidad del aire puede influenciar su salud y condición física (Stryjawska-Sekulska,M., 2007). Además, en Wroclaw, Polonia se realizó una

investigación para evaluar el grado de contaminación micológica del aire en hostales selectos (Ogorek, 2011).

## II.1. Características generales de los hongos

Los hongos son organismos que incluyen la forma macroscópica y microscópica. Sus células son eucariotas, a diferencia de las bacterias que son procariotas. Entre las mayores diferencias que se pueden resaltar entre las células eucariotas y procariotas están; la ausencia de una pared celular y endosporas, y la presencia mitocondria, aparato de Golgi y retículo endoplásmico y membrana nuclear en la célula eucariota.

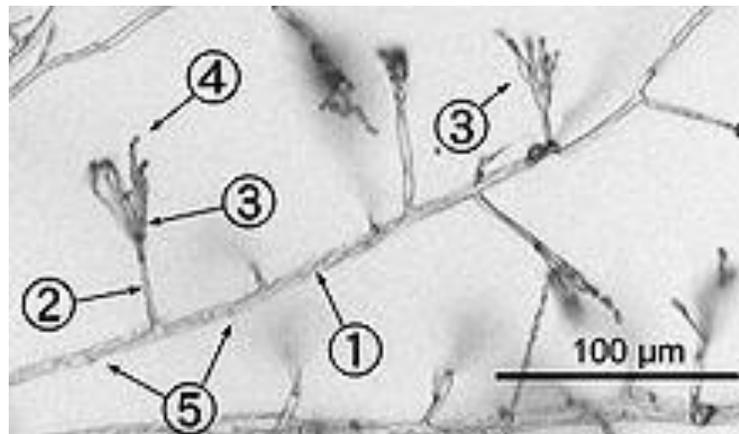
En la siguiente Figura se presentan los dos tipos de célula.



**Figura 1:** Estructura de célula eucariota y procariota (Couderc, 2006) (Bitton, 2005)

Los hongos se pueden dividir en unicelulares, un ejemplo son las levaduras y en pluricelulares, como en mohos y hongos filamentosos.

Por lo general los hongos son filamentosos. Los filamentos individuales se denominan hifas y están rodeados por una pared que a menudo, aunque no siempre, contiene quitina como componente principal. Las hifas crecen solo en sus extremos, por lo que los hongos presentan crecimiento apical y se ramifican periódicamente detrás de los ápices, dando como resultado una red de hifas que se denomina micelio (Deacon, 1988). La hifa como estructura fundamental puede ser cenocítico si no presenta septos, o puede ser micelio con septos (Castillo, 1987). En la Figura 2 se muestran las partes principales de un hongo filamentosos.

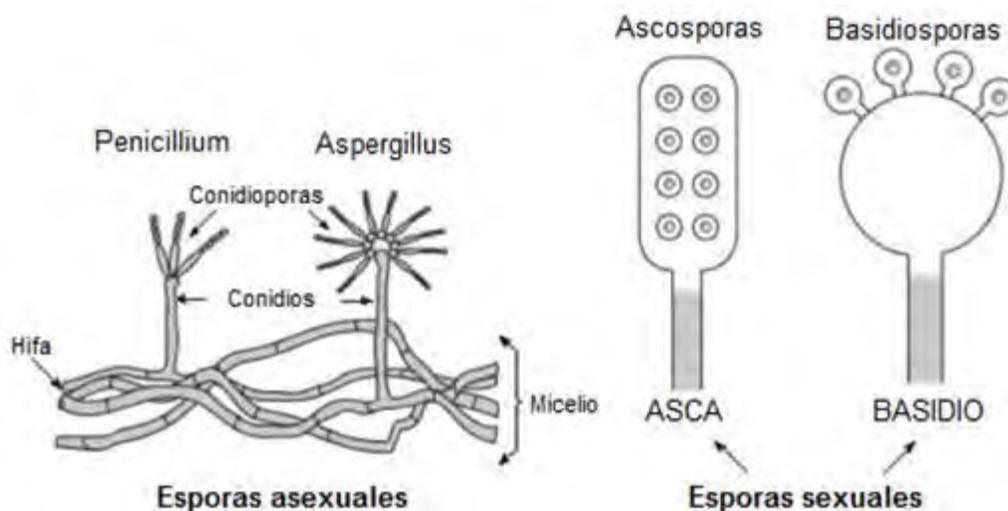


**Figura 2:** Partes de un hongo (1)Hifa, (2)Conidióforo, (3)Fiálide, (4)Conidia y (5)Septos (<http://hongosysetas.galeon.com/estructura.html>)

Todos los hongos son heterótrofos, es decir, requieren materia orgánica preformada que utilizan como fuente de energía y de carbono para la síntesis de estructuras celulares. Absorben nutrientes simples que obtienen mediante la degradación de polímeros complejos con enzimas extracelulares (Deacon, 1988).

Los hongos se reproducen tanto sexual como asexualmente, pero en cualquier caso forman esporas como producto final. En la reproducción asexual, las esporas son formadas en el extremo de hifas especiales o conidios, y en la reproducción sexual con dos tipos, formación interna (ascosporas) y externa (basidiospora). Las esporas difieren mucho en tamaño y forma, pero se diferencian fundamentalmente de las semillas de las plantas porque no tienen un embrión preformado.

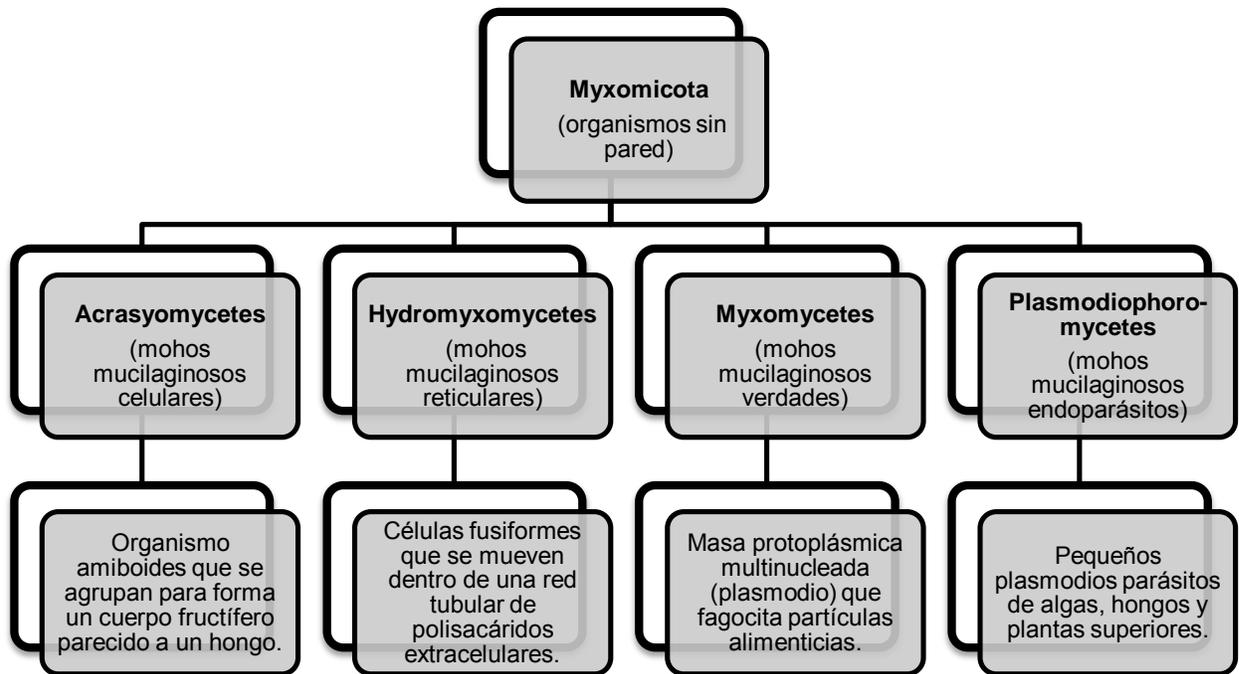
En la Figura 3 se representan los tipos de espora.



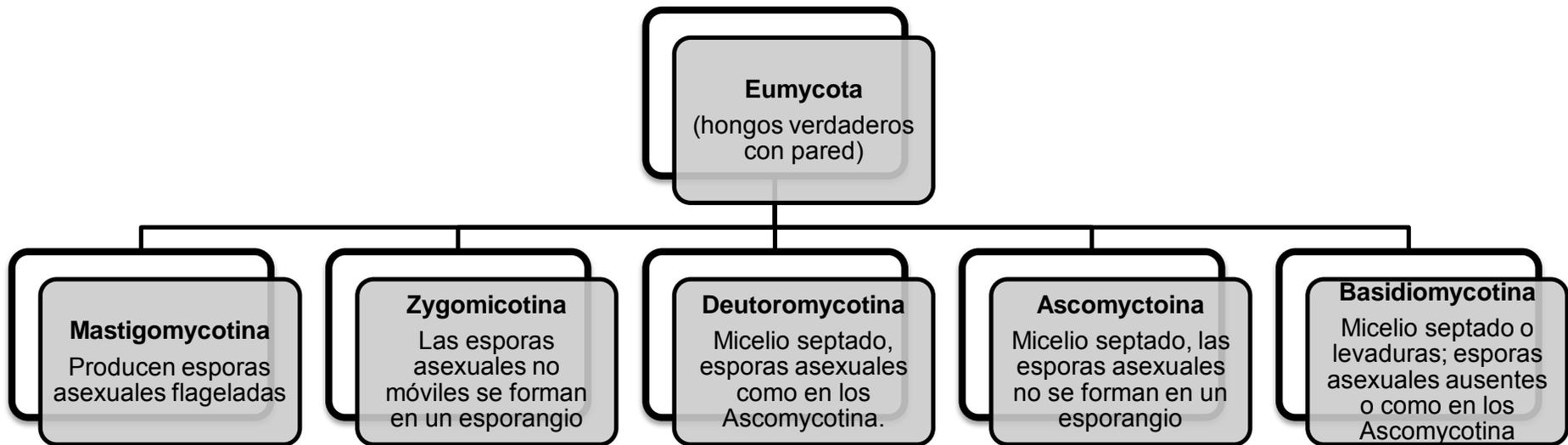
**Figura 3:** Representación de los tipos de esporas (Etayo, 2010)

## II.2. Clasificación de los hongos

La posición taxonómica de los hongos pertenece a un reino aparte, equivalente a las plantas y a los animales, el Reino Fungi. Es conveniente distinguir primero entre los hongos sin pared celular, Myxomicota; y los verdaderos hongos con pared, Eumycota. En la Figura 4 y 5 se presentan la clasificación general de los hongos y sus clases más importantes (Ainsworth, 1973). En el Anexo A se muestran el resto de la clases.



**Figura 4:** Clasificación de los hongos - Myxomycota



**Figura 5:** Clasificación de los hongos - Eumycota

Los Mastigomicetos que son los que producen esporas asexuales flageladas se dividen en dos, en Chytridiomycetes y en Oomycetes. Los Chytridiomycetes se caracterizan por tener cadenas celulares primitivas, a veces adheridas al substrato por medio de rizoides que terminan en punta. Las zoosporas tienen un solo flagelo posterior tipo látigo. Los Oomycetes son miceliales, cenocíticos. Las zoosporas tienen dos flagelos: uno de tipo tinsel dirigido hacia el frente y otro de tipo látigo dirigido hacia atrás.

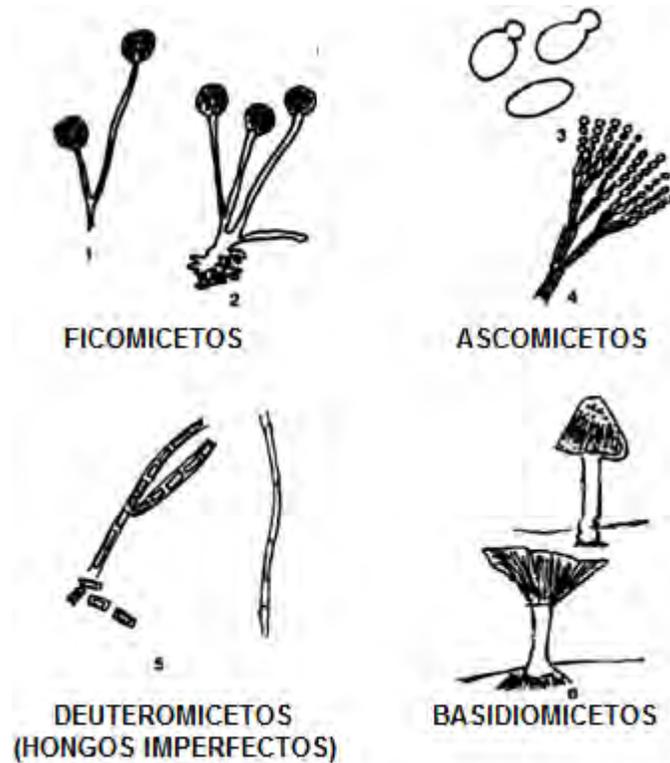
Los Zygomycetes pueden ser de dos tipos, Zygomycetes que por lo general son saprófitos y los Trychomycetes que por lo general son parásitos del intestino de los artrópodos.

En los Ascomycetes existen dos divisiones los Hemiascomycetes que son levaduras o miceliales; el asca no está encerrada en un cuerpo fructífero (ascocarpo) y los Euscomycetes son miceliales; las ascas están encerradas en un ascocarpo.

Los Deuteromicetos tienen tres divisiones Blastomycetes que son levaduras típicas, los Hyphomycetes que son miceliales; las esporas asexuales (conidios) se forman en una hifa simple o en ramas de hifas (conidióforos) y los Coelomycetes que también son miceliales; las esporas asexuales se forman en conidióforos dentro de una estructura en forma de botella (picnidio) o sobre un estroma (acérvulo).

Los Basidiomicetos también tienen tres divisiones, los Teliomycetes que carecen de un cuerpo fructífero (basidiocarpo) que contenga los basidios; parásitos de plantas superiores (royas y carbones), los Hymenomicetes en el que el basidiocarpo es una seta o una repisa con los basidios descubiertos y Gasteromicetes que contiene diversos basidiocarpos que encierran a los basidios.

En la siguiente Figura se aprecian las formas típicas de algunas clases de hongos.



**Figura 6:** Clases de hongos (1) *Mucor*, (2) *Rhizopus*, (3) *Saccharomyces*, (4) *Penicillium*, (5) *Geotrichum*, (6) Cuerpos fructíferos de champiñones (*basidiomycetes*) (Bitton, 2005).

### II.3. Afectaciones a la salud por hongos

Los hongos a través de sus esporas, micotoxinas y por la emisión de VOCs (compuestos volátiles orgánicos), pueden causar diferentes tipos de enfermedades o alteraciones de la salud (NTP 488, Calidad de aire interior: identificación de hongos, 1998).

- Enfermedad infecciosa o patogénica como aspergilosis, histoplasmosis, criptococosis, coccidiomicosis, etc.
- Reacciones alérgicas, como rinitis y asma.
- Neumonitis por hipersensibilidad.

- Reacciones tóxicas por micotoxinas y cáncer debido a micotoxinas carcinogénicas.
- Desórdenes inmunológicos por micotoxinas inmunosupresivas.
- Reacciones de inflamación debidas al  $\beta$ -1,3-glucano, compuesto de la pared celular de los hongos.
- Irritación debida a VOCs fúngicos como por ejemplo alcohol.
- Síndrome del edificio enfermo.

Aunque los mecanismos defensivos del hospedador impiden en la mayoría de los casos el desarrollo de una micosis, la exposición a dosis elevadas de conidios puede producir una infección pulmonar o una enfermedad alérgica (Pontón *et al.* 2002).

Los hongos como *Penicillium sp.*, *Fusarium sp.* o *Aspergillus sp.* producen las micotoxinas, que son metabolitos secundarios. Aunque las micotoxinas no son volátiles a temperatura ambiente, la exposición por vía respiratoria se puede producir debido a la inhalación de partículas contaminadas: esporas, fragmentos de micelios, polvo de sustratos contaminados (Constans, 2010).

Entre las propiedades tóxicas de las micotoxinas se pueden hallar efectos cancerígenos, mutágenos, tóxicos para la reproducción, hepatotóxicos, inmunotóxicos, neurotóxicos, hematotóxicos, necróticos y desórdenes de tipo hormonal.

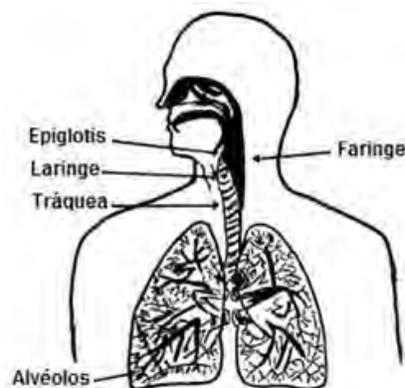
Las especies *Penicillium sp.* producen los carcinógenos islanditoxina y patulina y luteosquirina hepatotóxicas.

*Fusarium* produce la toxina T2, la cual afecta mayormente al ganado en microgramos o nanogramos por gramo de alimento. Los signos de animales expuestos a la toxina T2, son variados. Uno de ellos puede ser negarse a ingerir alimentos aunque también podrían llegar a sufrir un ataque cardiovascular.

Las aflatoxinas son producidas por *Aspergillus flavus* y son potentes carcinógenos, mutágenos y teratógenos. Los humanos y animales entran en contacto con estos químicos por el consumo de maíz contaminado, cacahuets y otros cultivos agrícolas. Las condiciones húmedas del almacenamiento son las responsables de altas concentraciones de aflatoxina en los cultivos de granos.

Cabe destacar que en el sistema respiratorio, el aire es transportado desde la nariz hasta la faringe, laringe, tráquea, bronquios, bronquiolos, bronquiolos terminales y finalmente a los alveolos. Las partículas del aire son retenidas de acuerdo al tamaño en los varios niveles del tracto respiratorio. Las partículas de 10-20 $\mu\text{m}$  es atrapado en la nariz. Las partículas entre 2 y 10  $\mu\text{m}$  son retenidas en los pasaje nasales o en la tráquea, bronquios o bronquiolos, mientras que aquellas partículas menores a 2  $\mu\text{m}$  se depositan en los bronquiolos y alveolos (Bitton, 2005).

El tamaño de partícula determina el grado de penetración y retención en el sistema respiratorio. Las partículas con un tamaño de un rango de 1-2  $\mu\text{m}$  escapan al tracto respiratorio superior y se depositan principalmente a nivel de alveolos. Sin embargo, el sistema respiratorio provee mecanismos de defensa contra las partículas en el aire inhaladas (Bitton, 2005).



**Figura 7:** Sistema respiratorio humano (Bitton, 2005)

## **II.4. Métodos de muestreo de aire**

Se han propuesto varios muestreadores para la recolección de aerosoles biológicos, ya sea en fluidos diversos o directamente en medios de cultivo sólidos. El monitoreo de aire y su evaluación de calidad microbiológica del aire puede realizarse mediante métodos activos y pasivos.

### **II.4.1. Método activo**

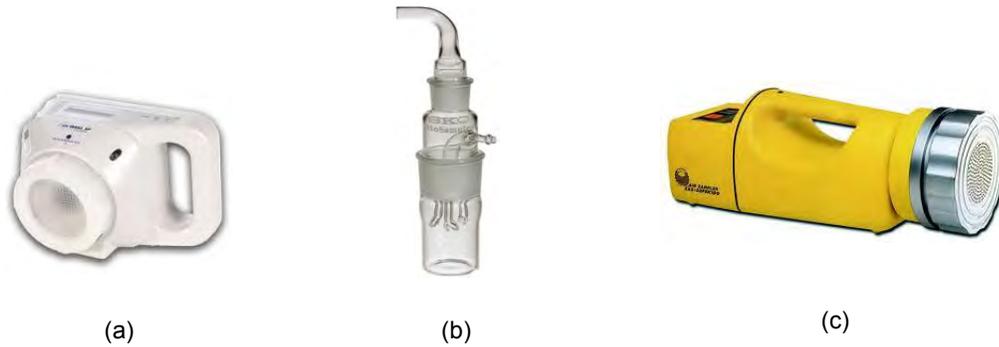
Los métodos activos o volumétricos utilizan dispositivos para tomar un volumen definido de aire y luego determinar las unidades formadoras de colonias (UFC) presentes (Pérez, 2010).

Varias investigaciones que se han desarrollado en el campo del muestreo microbiológico del aire desde el punto de vista volumétrico, han permitido llegar a importantes conclusiones y a continuación se resumen las siguientes:

1. La muestra mínima en superficies es de 100-125 cm<sup>2</sup>, a causa de la distribución no homogénea de los microorganismos.
2. En el aire el número de muestreos debe ser la raíz cuadrada del volumen de la sala y el muestreo mínimo y máximo por placa debe ser 200 L.
3. No existe correlación entre los recuentos de superficies y los del aire que las rodea por la aparición de un factor que distorsiona contundentemente los resultados: la carga microbiana de las personas. Por ello, deben realizarse muestreos de aire y también de superficies.
4. A menor caudal de muestreo, menor velocidad de impacto, menor efecto rebote y mayor recuperación de microorganismos.

En un muestreo hecho en Wroclaw, Polonia para la valoración de contaminación micológica en el aire, hicieron uso de este método con un dispositivo llamado *Air Ideal 3P sampler* con volúmenes de 50 o 100 L (Ogorek, R., 2011). De igual forma, en Chennai, India se realizó una investigación con *BioSampler SKC* (Chithra, S., 2012). Además, existen otros tipos de dispositivos

para llevar a cabo el muestreo por impactación que también son útiles para investigaciones de este tipo, un ejemplo de estos es el SAS SUPER 100 Air sampler. En la Figura 4 se muestran imágenes de estos equipos.



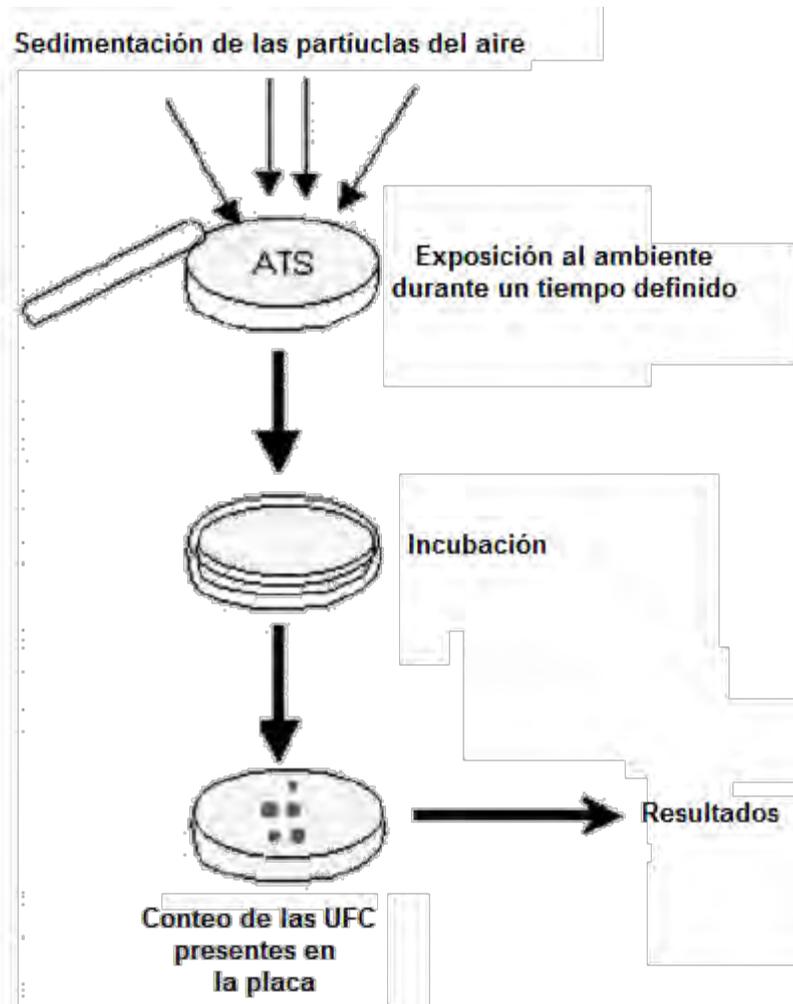
**Figura 8:** Equipo para el monitoreo de aire. (a) Muestreador de Aire Ideal 3P; (b) *BioSamplerSKC*; y (c) SAS SUPER 100

#### **II.4.2. Método pasivo**

El otro método más empleado en el monitoreo del aire es el pasivo o por sedimentación en cajas de Petri. En este método, los microorganismos viables presentes en el aire, son llevados a la superficie del medio sólido por las corrientes de aire presentes en el área. Este método es identificado por ser fácil de realizar y económico. Además, permite obtener recolectar microorganismos que son capaces de sedimentar en el aire (Pérez, 2010).

En la investigación de Poznan, Polonia el número total de bacterias aeróbicas mesofílicas, levaduras y mohos en el aire de las habitaciones seleccionadas fue determinado usando el método de sedimentación de Koch según el estándar polaco PN 89/7-04008/08. Los microorganismos del aire fueron sedimentados por gravedad en las cajas de Petri que contenían agar y que fueron expuestos en puntos de muestreo durante cierto tiempo. Se concluyó que los resultados obtenidos por el método de sedimentación de Koch son menos precisos que aquellos con métodos de impactación con el uso de un muestreador de aire

(Stryjakowska-Sekulska,M., 2007). En la Figura 9 se representa el método pasivo con la técnica de placa expuesta para el monitoreo del aire.



**Figura 9:** Método pasivo (Pérez, 2010)

## **II.5. Identificación**

La identificación de los hongos filamentosos está basada principalmente en sus rasgos estructurales y morfológicos.

Algunos hongos tienen una apariencia tan característica que pueden ser identificados fácilmente, pero en la mayoría de los casos se requiere observar una preparación del hongo al microscopio y estudiar sus características tales como:

- Morfología de las hifas.
- Presencia o ausencia de septos.
- Ramificaciones.
- Tipo de esporas.
- El tamaño y diámetro del filamento pueden ser útiles para distinguir entre hongos y actinomicetes ramificados filamentosos como Nocardia.

### **II.5.1. Preparación de medios**

Los medios de cultivos pueden ser de dos tipos generales: naturales y sintéticos.

Los medios naturales incluyen sustratos tales como tallos de plantas herbáceas o leñosas, semillas, hojas, harina de maíz, harina de avena y germen de trigo entre muchas otras. Los medios naturales son particularmente útiles para cultivar hongos cuyos requerimientos nutricionales son desconocidos o no es de importancia conocer.

Los medios sintéticos son aquellos que contienen en su composición exclusivamente de sustancias químicas conocidas y disueltas en agua destilada en proporciones determinadas, resultando un medio con una composición perfectamente definida.

Todos los medios usados para cultivar hongos deben ser previamente esterilizados. La esterilización por medio de autoclave es el método más

comúnmente utilizado por la mayoría de los medios de cultivo. Los medios deben ser esterilizados en el autoclave durante 15-20 minutos a 17 libras de presión.

En varios estudios realizados en los últimos años, los principales medio utilizados son los medios sintéticos. Algunos de ellos son el agar extracto de levadura, agar Sabouraud y el agar Czapek (Stryjowska-Sekulska, M., 2007), los dos últimos fueron usados en la investigación dirigida por Ogorek en 2011.

### **II.5.2. Etapa de muestreo y crecimiento**

Posteriormente al muestreo realizado, ya sea activo o pasivo, las muestras se colocan a una temperatura que puede variar de 28 a 32°C y en ausencia de luz de tres a cinco días, dependiendo del crecimiento observado. Durante este tiempo se realizan anotaciones diarias del crecimiento presentado en la bitácora de trabajo.

### **II.5.3. Características distintivas**

#### ***Mohos dematiáceos***

Un moho que desde su comienzo produce una colonia con un aspecto marrón oscuro, verde-negro o negro en el anverso y reverso puede incluirse en el grupo dematiáceo.

#### Mohos dematiáceos que crecen rápidamente:

- A. Conidios multicelulares con tabicamientos dispuestos transversal y longitudinalmente:

*Alternaria sp.*  
*Stemphylium sp.*  
*Epicoccum sp.*  
*Ulocladium sp*

B. Conidios multicelulares con solo tabicamientos transversales:

*Curvularia sp.*  
*Drechslera sp.*  
*Helminthosporium sp.*

C. Conidios unicelulares

*Cladosporium sp.*  
*Nigrospora sp.*  
*Aureobasidium sp.*

***Mohos Hialinos***

*Aspergillus sp.*

Los conidióforos terminan en vesículas dilatadas; conidios sostenidos en cadenas, acrógenamente desde las puntas de fiálides que cubren partes o toda la superficie de la vesícula.

*Penicillium sp., Paecilomyces sp., Scopulariopsis sp.*

Conidióforos libremente ramificados; conidios que nacen en cadenas desde los ápices de anélicos o fialides que nacen de métulas que forman un “penicilo”.

*Acremonium sp., Trichoderma sp., Gliocladium sp., Fusarium sp.*

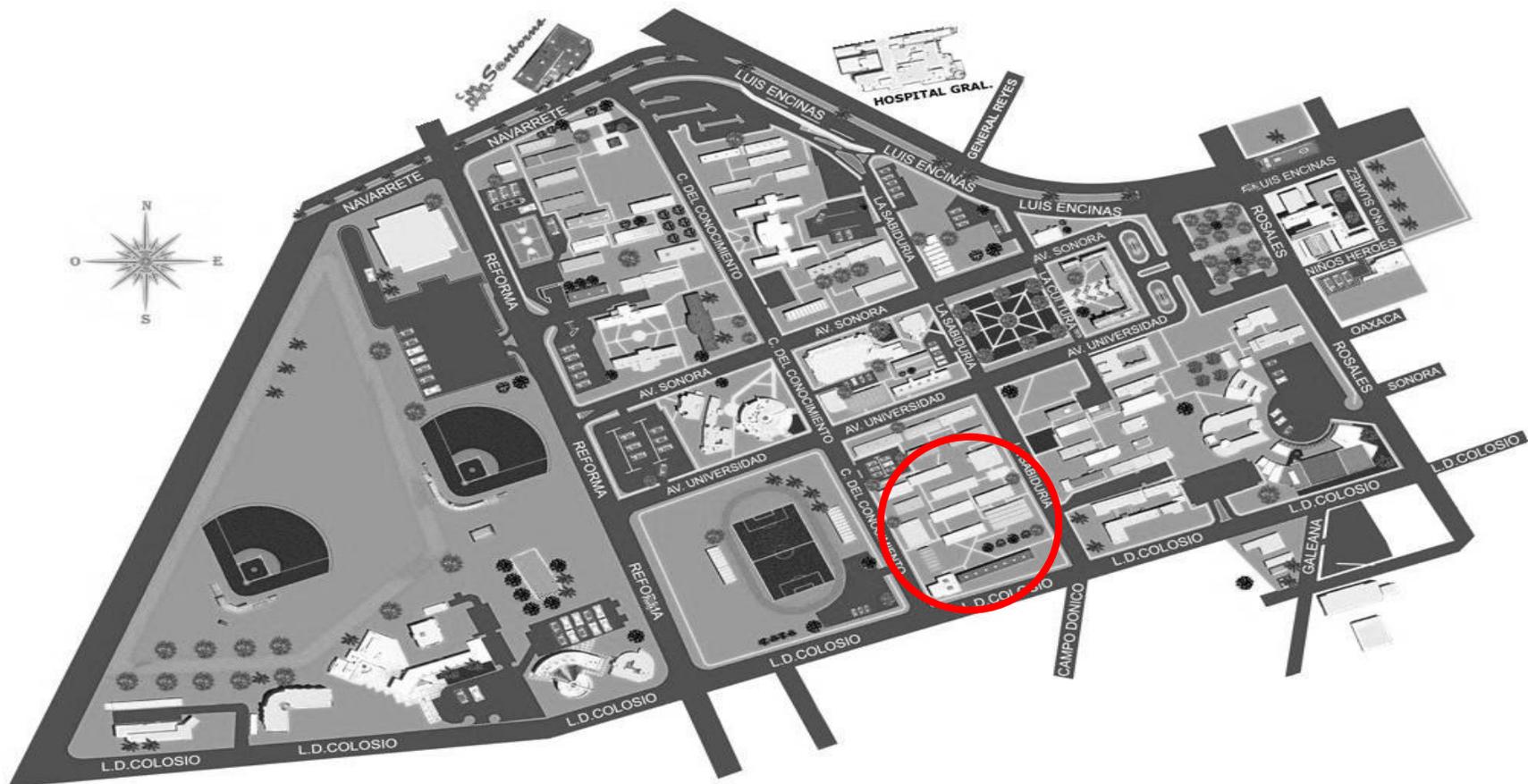
Conidióforos únicos; conidios sostenidos en cabezuelas, generalmente en las puntas de conidióforos rectos o ensanchados.

### **III. ZONA DE ESTUDIO: AULAS DEL DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA QUÍMICA**

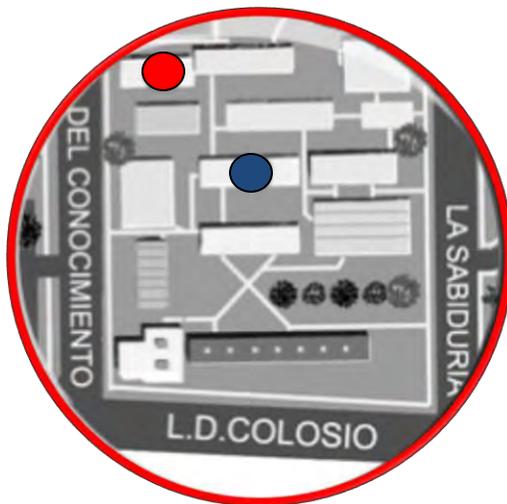
#### **III.1. Localización**

La toma de muestras se realizó en Hermosillo, Sonora, en las instalaciones de la Universidad de Sonora (Unidad Regional Centro) dentro de ocho de las nueve aulas del Departamento de Ingeniería Química y Metalurgia en los edificios 5E (planta alta y baja) y 5I (planta alta).

A continuación se muestra en las Figuras 10 y 11 el mapa de la Unidad Regional Centro de la Universidad de Sonora y los edificios en donde se realizó el monitoreo respectivamente.



**Figura 10:** Instalaciones de la Universidad de Sonora: Unidad Regional Centro en Hermosillo, Sonora  
(<http://www.uson.mx/institucional/edificios/>)



**Figura 11:** Edificios del Departamento de Ingeniería Química y Metalurgia. Edificio 5I en rojo, edificio 5E en azul. (<http://www.uson.mx/institucional/edificios/>).

## **III.2. Descripción de las aulas**

### **III.2.1. Materiales de construcción**

En todas las aulas, el techo es de losa armada de concreto y cuenta con un plafón interior. Sus muros están contruidos a base de blocks de concreto, el material de este último incluye principalmente cemento, arena y agua. Los muros están enjarrados con mortero cuya composición es de cemento, arena, agua y cal. El piso de las aulas 5E-101, 5E-102 y 5E-103 es de mosaico, mientras que en el resto de las aulas el piso es de vitropiso.

### **III.2.2. Dimensiones**

El edificio 5E cuenta con 2 plantas, baja y alta. En la planta baja existen tres aulas (5E-101, 5E-102 y 5E-103). Éstas son idénticas en tamaño, siendo 9.34 m de largo, 7.81 m de ancho y 2.41 m de alto. En la planta alta del mismo edificio se encuentran dos aulas (5E-201 y 5E-202), cuyas dimensiones son iguales: 6.18 m de largo, 7.81 m de ancho y 2.67 m de alto.

En el edificio 5I en la planta alta, hay tres aulas. El aula con la nomenclatura 5I-201 mide 6.3 m de largo, 8.2 m de ancho y 2.82 m de alto. Mientras que las otras dos aulas contiguas tienen las mismas dimensiones: 4.6 m de largo, 8.2 m de ancho y 2.82 m de alto.

### **III.2.3. Ventilación**

Ningún aula cuenta con sistemas de ventilación y recambio de aire. Solamente con ventanas en la parte superior de los muros que por lo general están cerradas. Todas las aulas cuentan con aire acondicionado con capacidad de cuatro toneladas. En las cinco aulas del edificio 5E el sistema de refrigeración consiste en dos sistemas de minisplit de dos toneladas cada uno. Cada una de las aulas 5I-201, 5I-202 y 5I-203 cuentan con un único sistema de cuatro toneladas.

Las aulas de la planta baja del edificio 5E, cuentan con nueve ventanas en total. Cinco de ellas están en la pared sur y el resto en la norte. Se encuentran a una altura de 1.98 m. La ventana más cercana a la puerta, es la más grande midiendo 82.5 cm de ancho por 43.5 cm de largo. El resto de las ventanas miden 71.5 cm por 43.5 cm.

En la planta alta del edificio 5E hay dos aulas, las cuales cuentan con siete ventanas. En la pared del lado sur, hay cuatro ventanas. Las cuales todas son de 46.5 cm por 66.5 cm, 37.5 por 66.5 cm, 58.8 cm por 66.5 cm y una de 70.5 cm por 66.5 cm. En el lado norte hay tres ventanas, una de 61.5 cm por 73.5 cm, otra de 65 cm por 73.5 cm y una más de 71.5 cm por 73.5 cm.

En el edificio 5I en el aula 5I-201 el muro de lado norte tiene tres ventanas dos de 64.5 cm por 71 cm y otra de 44.5 cm por 71 cm, en el muro sur hay cinco ventanas dos de 65 cm, dos de 42.5 cm y una de 35 cm, todas con una altura de 71 cm. El aula contigua, 5I-202 tiene únicamente dos ventanas en lado norte de 75 cm por 71 cm de alto. En el aula 5I-203, el muro del lado norte,

tiene tres ventanas, de 41 cm, 42 cm y 68.5 cm y en el muro sur, dos ventanas, una de 63 cm y otra de 65 cm todas con una altura de 71 cm.

#### **III.2.4. Iluminación**

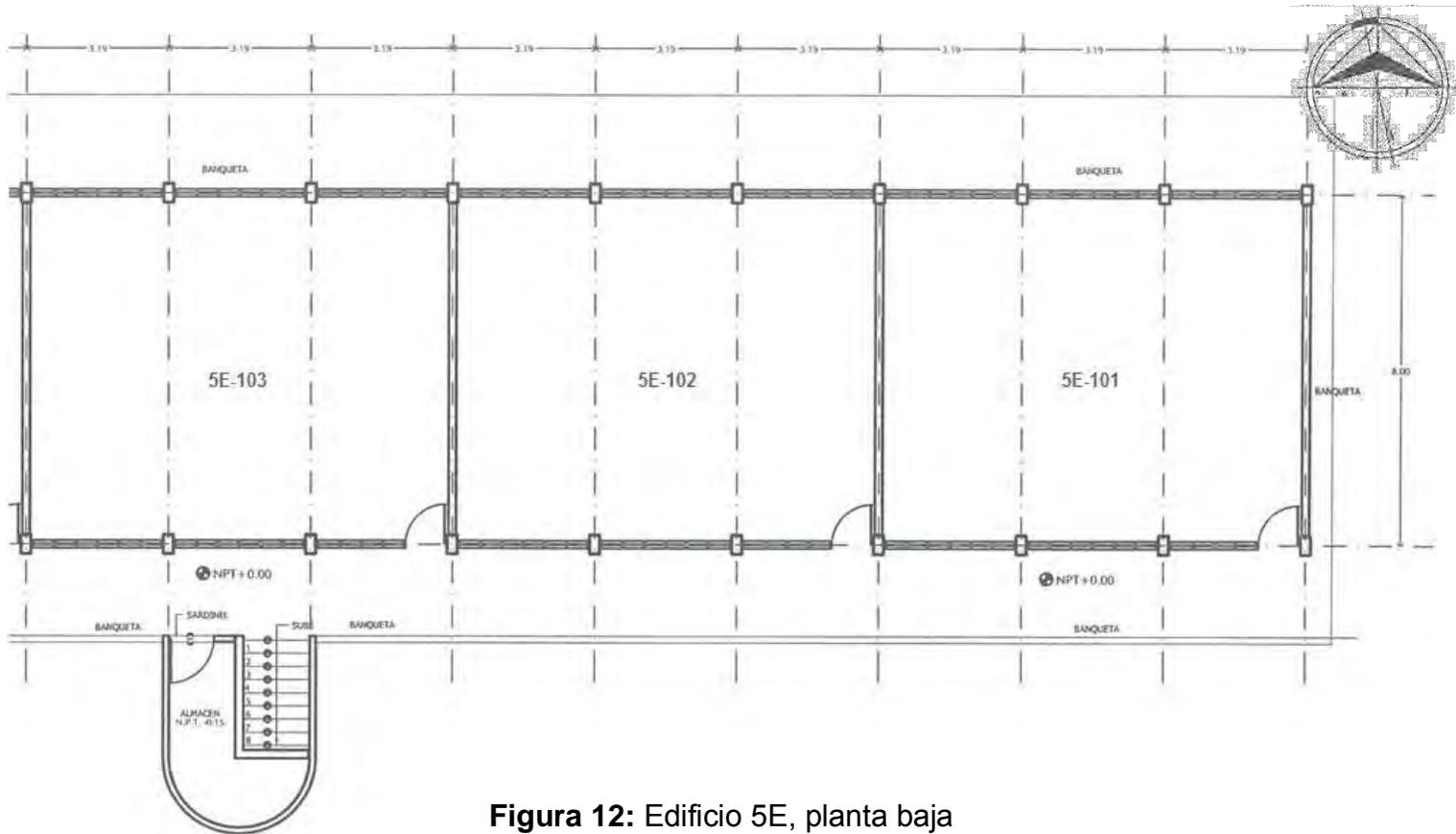
En el edificio 5E en la planta baja, las aulas cuentan con seis lámparas con dos focos de neón de 28 Watt cada una. En la planta alta de ese mismo edificio también hay seis lámparas con dos focos y con las mismas características que los anteriores. La iluminación es adecuada, ya que no presenta zonas en penumbra sobre mesabancos y área de pintarrones.

En el edificio 5I, el aula 201 tiene cuatro lámparas, y las aulas 202 y 203 tres lámparas que al igual que en el edificio 5E son de neón 28 Watt y contiene dos focos cada una. La iluminación en este edificio es deficiente, pues la distribución de las lámparas no es la más conveniente de acuerdo a la posición de los mesabancos y pintarrón. El resumen de la descripción se presenta en la Tabla I, en la siguiente página.

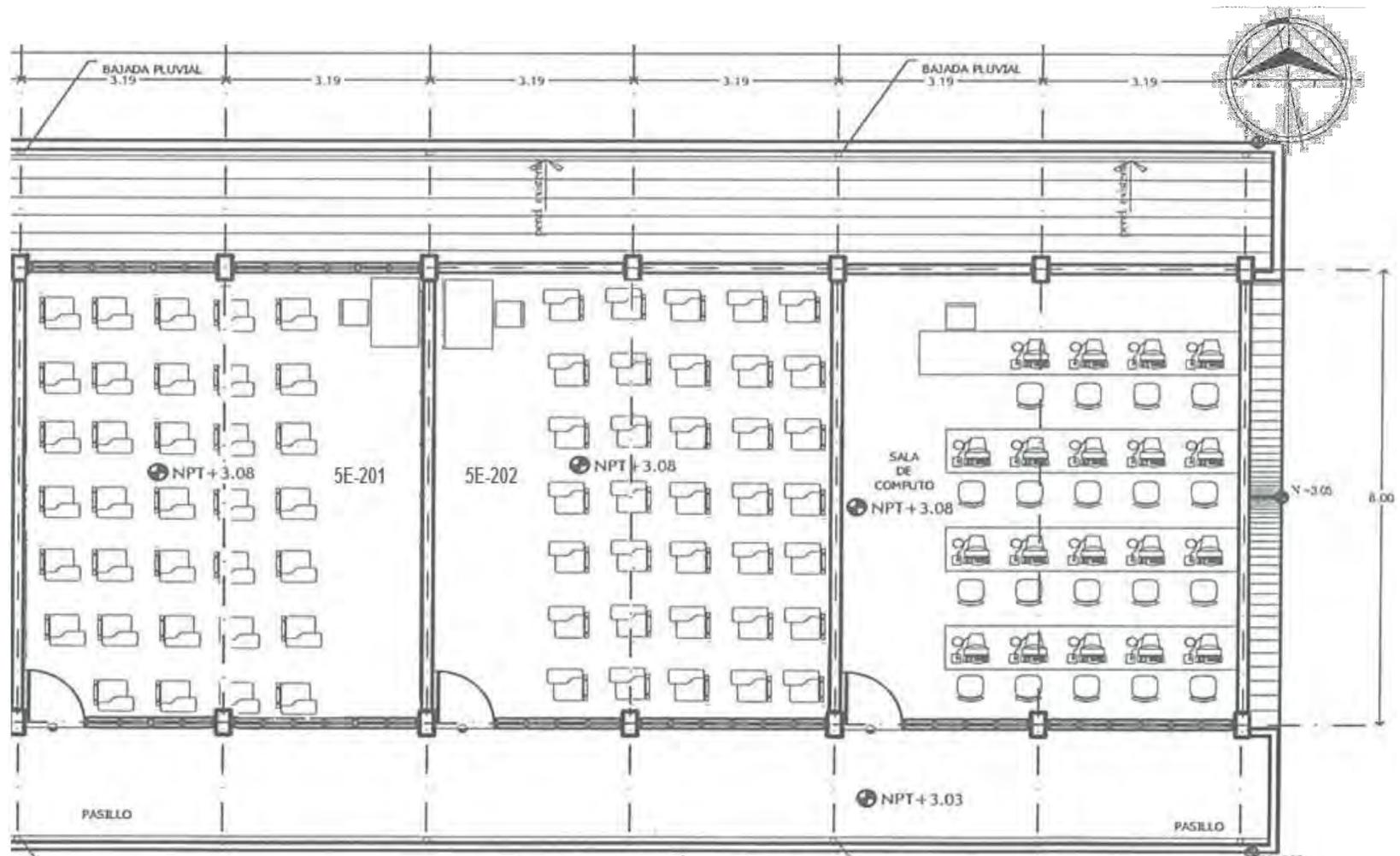
**Tabla I: Resumen de la descripción de aulas**

<b>RESUMEN DE LA DESCRIPCIÓN DE AULAS</b>								
	5E-101	5E-102	5E-103	5E-201	5E-202	5I-201	5I-202	5I-203
<b>Materiales de Construcción</b>								
Losa armada de concreto cuenta con plafón interior	x	x	x	x	x	x	x	x
Muros de block de concreto	x	x	x	x	x	x	x	x
Enjarrados con mortero	x	x	x	x	x	x	x	x
Piso de mosaico	x	x	x	-	-	-	-	-
Piso de vitropiso	-	-	-	x	x	x	x	x
<b>Dimensiones</b>								
Superficie (m <sup>2</sup> )	72.95	72.95	72.95	48.27	48.27	49.2	35.93	35.93
Volumen (m <sup>3</sup> )	175.80	175.80	175.80	128.87	128.87	138.75	101.31	101.31
<b>Aire acondicionado y Ventilación</b>								
Minisplit	2 sistemas de 2 toneladas c/u	1 sistema de 4 toneladas	1 sistema de 4 toneladas	1 sistema de 4 toneladas				
Superficie Ventanas (m <sup>2</sup> )	2.85	2.85	2.85	2.88	2.88	3.01	1.07	1.98
<b>Iluminación</b>								
Focos	12 de neón de 28 Watt	8 de neón de 28 Watt	8 de neón de 28 Watt	6 de neón de 28 Watt				

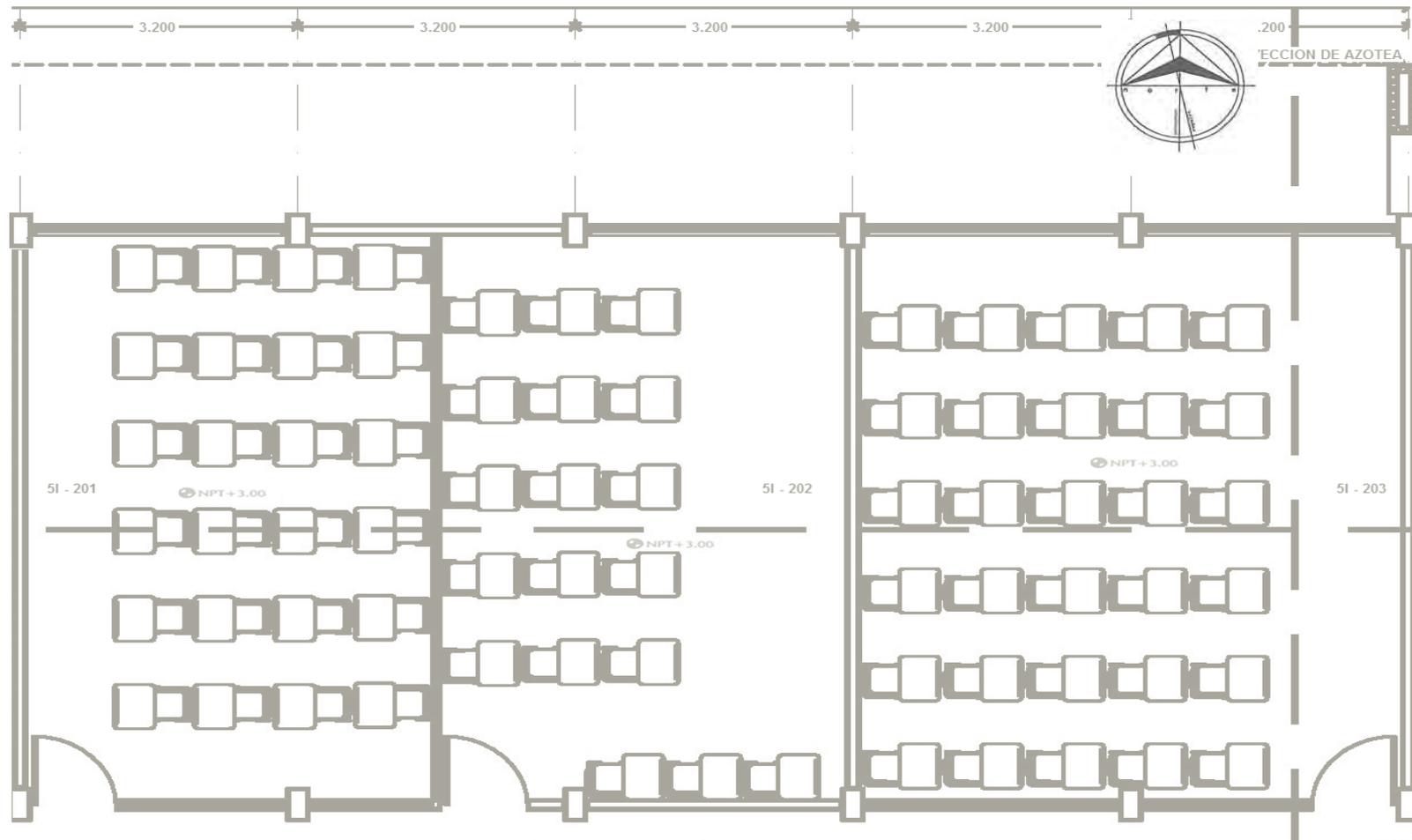
### III.2.5. Planos de las aulas monitoreadas



**Figura 12:** Edificio 5E, planta baja  
(Subdirección de Obras y Proyectos de la Universidad de Sonora)



**Figura 13:** Edificio 5E, planta alta  
 (Subdirección de Obras y Proyectos de la Universidad de Sonora)



**Figura 14:** Edificio 51, planta alta  
 (Subdirección de Obras y Proyectos de la Universidad de Sonora)

**Tabla II:** Características dimensionales de las aulas del Departamento de Ingeniería Química y Metalurgia  
 NOTA: las medidas son interiores

Aula	Largo (m)	Ancho (m)	Altura (m)	Superficie (m <sup>2</sup> )	*Capacidad máxima de alumnos	<sup>Δ</sup> m <sup>2</sup> /alumno	Volumen (m <sup>3</sup> )	Área de ventanas
5E-101	9.34	7.81	2.41	72.95	40	1.82	175.80	2.85
5E-102	9.34	7.81	2.41	72.95	40	1.82	175.80	2.85
5E-103	9.34	7.81	2.41	72.95	40	1.82	175.80	2.85
5E-201	6.18	7.81	2.67	48.27	35	1.38	128.87	2.88
5E-202	6.18	7.81	2.67	48.27	35	1.38	128.87	2.88
5I-201	6.3	7.81	2.82	49.20	40	1.23	138.75	2.65
5I-202	4.6	7.81	2.82	35.93	30	1.20	101.31	1.07
5I-203	4.6	7.81	2.82	35.93	30	1.20	101.31	1.98

\*Según la información recuperada del anexo 3, en la sección 10, en el informe para CACEI V10.e13 del Departamento de Ingeniería Química y Metalurgia.

<sup>Δ</sup> Cociente entre superficie y capacidad máxima.

### **III.3. Requerimientos estándar de las aulas**

#### **III.3.1. Área requerida por alumno**

En México, según el Instituto Nacional de la Infraestructura Física Educativa (INIFED), en el apartado de normas y especificaciones para estudios, proyectos, construcción e instalaciones el modelo arquitectónico para escuelas de media superior establece que el espacio de las aulas debe ser el equivalente a 1.35 m<sup>2</sup>/alumno.

#### **III.3.2. Requerimientos de ventilación de las aulas**

La Sociedad Americana de Aire Acondicionado, Refrigeración y Calefacción (ASHRAE por sus siglas en inglés) establece que para un aula de clase el requerimiento de ventilación por persona es de 8 L/s, lo que es el equivalente a 28.8 m<sup>3</sup>/hr por persona (Cordero, 2007).

## IV. MATERIALES Y MÉTODOS

### IV.1. Materiales y reactivos

Para la preparación de medio:

- Vaso de precipitado de 1L
- Placa de calentamiento
- Agitador magnético
- Al menos 20 tubos de ensayo de 18x150 con tapón de rosca
- Gradilla
- 90 caja de Petri desechables
- Autoclave All American Modelo No. 25X
- Agar Sabouraud

Para la identificación:

- Solución azul de algodón con lactofenol
- Portaobjetos
- Cubreobjetos
- Cinta adhesiva
- Pinzas y asas
- Microscopio óptico Leica Modelo CME
- Incubadora Felisa Modelo 132

### IV.2. Metodología experimental

#### IV.2.1. Preparación del medio

Como ya se mencionó, el medio de cultivo que se utilizó para la incubación de los hongos fue el agar Sabouraud. El medio se prepara de uno a tres días antes de su utilización.

La preparación se llevó a cabo de la siguiente manera: Se agregaron 65 g de medio deshidratado en un litro de agua destilada. Se calentó agitando frecuentemente (pero no permanentemente) y se dejó hervir durante 1 minuto,

para de esta forma permitir que se disolvieran completamente los ingredientes. Es importante evitar el sobrecalentamiento. Posteriormente, se colocaron 20 mL de agar en cada tubo de ensayo. Se esterilizó a 121°C durante 15 minutos. Una vez realizado lo anterior, se vertió el contenido de un tubo de ensayo por caja Petri. Las cajas Petri con el medio se dejaban enfriar a temperatura ambiente, esperando a que éste solidificara. Cuando el medio estaba sólido, se guardaba en un refrigerador a 15 °C. Antes de hacer el muestreo, las cajas Petri se exponían a temperatura ambiente de 15 a 20 minutos.

#### **IV.2.2.Recolección de las muestras**

El diagnóstico de hongos en ambientes cerrados se realizó en las aulas que forman parte del Departamento de Ingeniería Química y Metalurgia. Los factores más importantes a considerar en estos espacios cerrados fueron el volumen de las aulas, la temperatura, la humedad relativa del ambiente exterior, iluminación y la ventilación con la que cada una de ellas cuenta.

El muestreo del aire de las aulas seleccionadas se realizó para los días de actividad académica. Considerando la permanencia diaria de los alumnos dentro de las aulas de clase, se realizaron dos muestreos por aula cada día. Un muestreo por las mañanas, inmediatamente después de su aseo cuando no han entrado alumnos de 6:00 a. m. a 7:30 a. m, y otro por las tardes, cuando ya se han impartido clases al menos a seis grupos de alumnos de 3:00 p. m. a 4:30 p. m. En algunas ocasiones las aulas aún no estaban limpias a primeras horas de la mañana. El calendario de muestreo fue aleatorio en función del día de la semana a monitorear, obteniéndose de 16 muestras por día, con un total del periodo de 90 muestras.

La limpieza de las aulas consiste únicamente en el barrido y trapeado del piso, acomodado de bancos, borrado del pintarrón y en retirar la basura de los botes de recolección.

Las muestras se recolectaron en cajas Petri de 90 mm de diámetro, que contenían agar Sabouraud. En los días y horarios correspondientes se colocaron las cajas Petri con el medio y se expusieron abiertas durante 30 minutos a una altura de 1.0 m en el centro de las aulas. Pasado el tiempo de exposición, se recolectaba la muestra, tapándola cuidadosamente y llevándola a la incubadora, misma que estaba a una temperatura de 28°C.

#### **IV.2.3. Incubación de muestras**

Diariamente, se monitoreaba el crecimiento fúngico en la placa y se contaban las unidades formadoras de colonias (UFC). Alrededor del tercer o cuarto día, el tamaño del hongo era el apropiado para poder realizar un frotis.

#### **IV.2.4. Preparación de frotis**

Los frotis se realizaron con la técnica de impronta, la cual consiste en apoyar el lado engomado de un trozo de cinta adhesiva transparente sobre la superficie de una colonia, colocar la cinta bien extendida sobre una gota de azul de algodón previamente dispuesta en un portaobjeto y luego agregar una gota más sobre la cinta adhesiva y cubrir con el cubreobjetos (Solé, 1998).

#### **IV.2.5. Identificación**

Una vez realizado lo anterior, el frotis se observó con el microscopio óptico usando primeramente el aumento de objetivo de 10x, posteriormente 20x y finalmente 40x para diferenciar la forma y ordenamiento característico de las esporas considerando los aspectos distintivos contenidos en la Tabla III (Koneman y Roberts, 1994).

**Tabla III:** Características distintivas de algunos hongos

Hongo	Color y tonalidad	Forma	Estructura
<i>Alternaria</i> sp.	Las colonias son marrón-gris oscuras o verdes a negras.	Los conidios tienen tabiques horizontales y longitudinales	Los conidios aparecen en cadenas tienen un color marrón dorado.
<i>Aspergillus flavus</i>	Las colonias habitualmente amarillas o amarillo-verdes.	Vesículas redondas, esporulación en toda la superficie.	Puede haber fiálides solas o con métulas (biseriado).
<i>Aspergillus niger</i>	Colonias negras.	Vesículas esféricas.	Biseriado-métulas grandes y fiálides más pequeñas.
<i>Cladosporium</i> sp.	Las colonias son aterciopeladas y de color oscuro.	Conidios elípticos. Algunos tienen forma de escudo debido a los disyuntores (cicatrices).	Conidios en cadena
<i>Drechshlera</i> sp.	La colonia es un moho marrón negruzco similar a <i>Alternaria</i> sp.	Sus conidios son cilíndricos de paredes lisas, separados por tabiques transversales en 4 o más células, redondeados en los extremos.	Los conidióforos están retorcidos.
<i>Fusarium</i> sp.	Propensión a producir pigmentos color lavanda, púrpura o rojo-rosado.	Las macroconidias son cilíndricas, multicelulares y con forma de hoz.	Presencia de macroconidias y también de microconidias en los mismos aislamientos.
<i>Penicillium</i> sp.	Habitualmente se observan tonalidades de verde, azul-verde o verde marrón. Puede haber colonias amarillas y marrones.	La superficie de la colonia es aterciopelada a pulverulenta. Las cabezas de las colonias parecen cepillos o dedos.	Fiálides con extremos romos que dan origen a cadenas de conidias.

## V. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En las siguientes tablas se presentan los monitoreos del número de colonias formadas durante los cinco días de incubación de cada una de las muestras tomadas.

**Tabla IV:** Monitoreo de UFC durante la incubación en el muestreo matutino del 28 de noviembre 2014

Aula/Día	No. Colonias durante la incubación				
	1	2	3	4	5
5E-101	0	10	14	15	15
5E-102	0	2	2	2	2
5E-103	0	3	7	7	7
5E-201	0	2	2	2	2
5E-202	0	7	7	7	7
5I-201	0	4	4	4	4
5I-202	0	4	4	4	4
5I-203	0	5	6	7	9

**Tabla V:** Monitoreo de UFC durante la incubación en el muestreo vespertino del 28 de noviembre 2014

Aula/Día	No. Colonias durante la incubación				
	1	2	3	4	5
5E-101	0	1	4	4	4
5E-102	0	4	5	5	5
5E-103	0	0	2	3	3
5E-201	0	2	2	2	2
5E-202	0	5	5	5	6
5I-201	0	0	23	23	23
5I-202	0	0	0	0	0
5I-203	0	8	9	9	9

En el monitoreo matutino del aula 5E-101 y del vespertino del aula 5I-201 se presentaron resultados bastante elevados comparados con las otras muestras incubadas.

**Tabla VI:** Monitoreo de UFC durante la incubación en el muestreo matutino del 2 de diciembre 2014

Aula/Día	No. Colonias durante la incubación				
	1	2	3	4	5
5E-101	0	8	11	11	11
5E-102	0	15	17	17	17
5E-103	0	5	10	10	10
5E-201	0	6	6	6	6
5E-202	0	3	6	7	7
5I-201	0	0	4	4	4
5I-202	0	2	3	3	3
5I-203	0	2	5	5	5

**Tabla VII:** Monitoreo de UFC durante la incubación en el muestreo vespertino del 2 de diciembre 2014

Aula/Día	No. Colonias durante la incubación				
	1	2	3	4	5
5E-101	0	1	2	2	3
5E-102	0	3	8	8	8
5E-103	0	1	1	1	1
5E-201	0	0	1	3	3
5E-202	0	0	0	0	0
5I-201	0	3	5	5	5
5I-202	0	3	6	6	7
5I-203	0	2	4	4	4

Las aulas de la planta baja del edificio 5E durante el monitoreo matutino fueron las que presentaron mayor crecimiento de colonias fúngicas. Por lo que respecta al monitoreo vespertino, el crecimiento fue menor. Además observamos que en el aula 5E-202 no hubo crecimiento, la puerta estaba cerrada y no había alumnos por lo que no se facilitó el movimiento de aire.

**Tabla VIII:** Monitoreo de UFC durante la incubación en el muestreo matutino del 4 de diciembre 2014

Aula/Día	No. Colonias durante la incubación				
	1	2	3	4	5
5E-101	7	10	14	14	14
5E-102	6	8	9	9	9
5E-103	3	9	10	10	10
5E-201	3	3	3	3	3
5E-202	4	4	5	5	5
5I-201	7	8	10	11	11
5I-202	3	4	6	6	6
5I-203	2	4	5	6	7

**Tabla IX:** Monitoreo de UFC durante la incubación en el muestreo vespertino del 4 de diciembre 2014

Aula/Día	No. Colonias durante la incubación				
	1	2	3	4	5
5E-101	0	0	5	6	8
5E-102	0	0	0	1	2
5E-103	0	1	4	4	4
5E-201	3	4	4	4	4
5E-202	0	1	1	1	1
5I-201	1	1	2	2	2
5I-202	0	1	1	1	1
5I-203	1	2	2	2	2

El día jueves 4 de diciembre es de los días con menos crecimiento fúngico. Se observa que para la mayoría de los casos existió mayor formación de colonias en el turno matutino.

**Tabla X:** Monitoreo de UFC durante la incubación en el muestreo matutino del 8 de diciembre 2014

Aula/Día	No. Colonias durante la incubación				
	1	2	3	4	5
5E-101	0	14	28	32	32
5E-102	0	13	13	13	13
5E-103	0	36	36	36	36
5E-201	0	9	14	15	15
5E-202	0	4	9	9	9
5I-201	0	8	20	20	20
5I-202	0	14	17	22	22
5I-203	0	2	4	7	7

**Tabla XI:** Monitoreo de UFC durante la incubación en el muestreo vespertino del 8 de diciembre 2014

Aula/Día	No. Colonias durante la incubación				
	1	2	3	4	5
5E-101	0	0	10	16	16
5E-102	0	1	14	17	17
5E-103	0	3	18	18	18
5E-201	0	5	10	19	19
5E-202	0	2	4	7	7
5I-201	0	9	16	16	16
5I-202	0	7	12	17	17
5I-203	0	2	17	19	19

Para este día de monitoreo, las UFC exceden por mucho la tendencia de los días anteriores. El día lunes 8 de diciembre es el día en el que hubo un crecimiento fúngico mayor.

**Tabla XII:** Monitoreo de UFC durante la incubación en el muestreo matutino del 10 de diciembre 2014

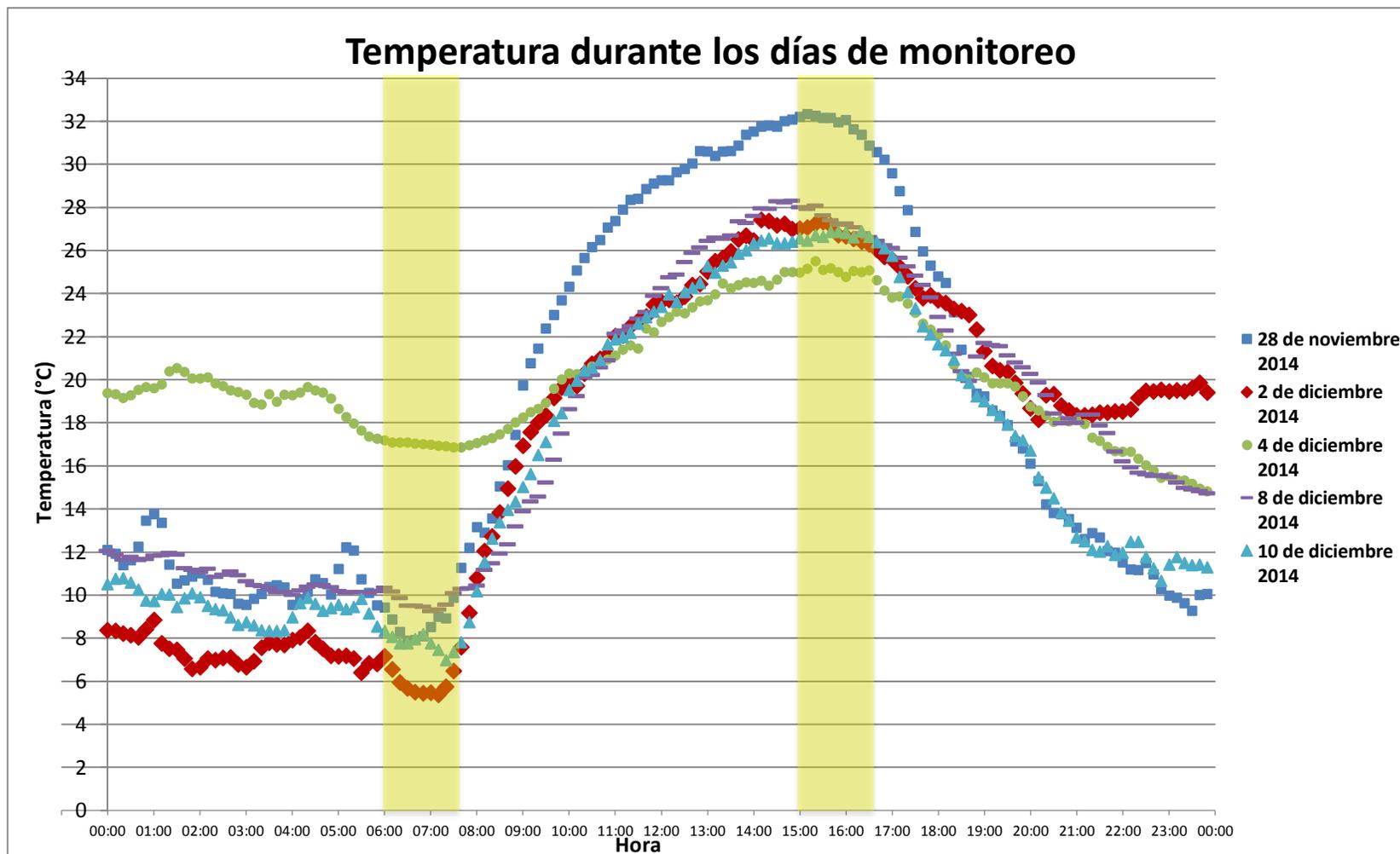
Aula/Día	No. Colonias durante la incubación				
	1	2	3	4	5
5E-101	0	1	3	7	7
5E-102	0	0	10	18	19
5E-103	0	0	8	9	9
5E-201	0	0	1	9	9
5E-202	0	0	0	4	5
5I-201	0	0	15	21	21
5I-202	0	1	13	22	24
5I-203	0	2	6	9	9

**Tabla XIII:** Monitoreo de UFC durante la incubación en el muestreo vespertino del 10 de diciembre 2014

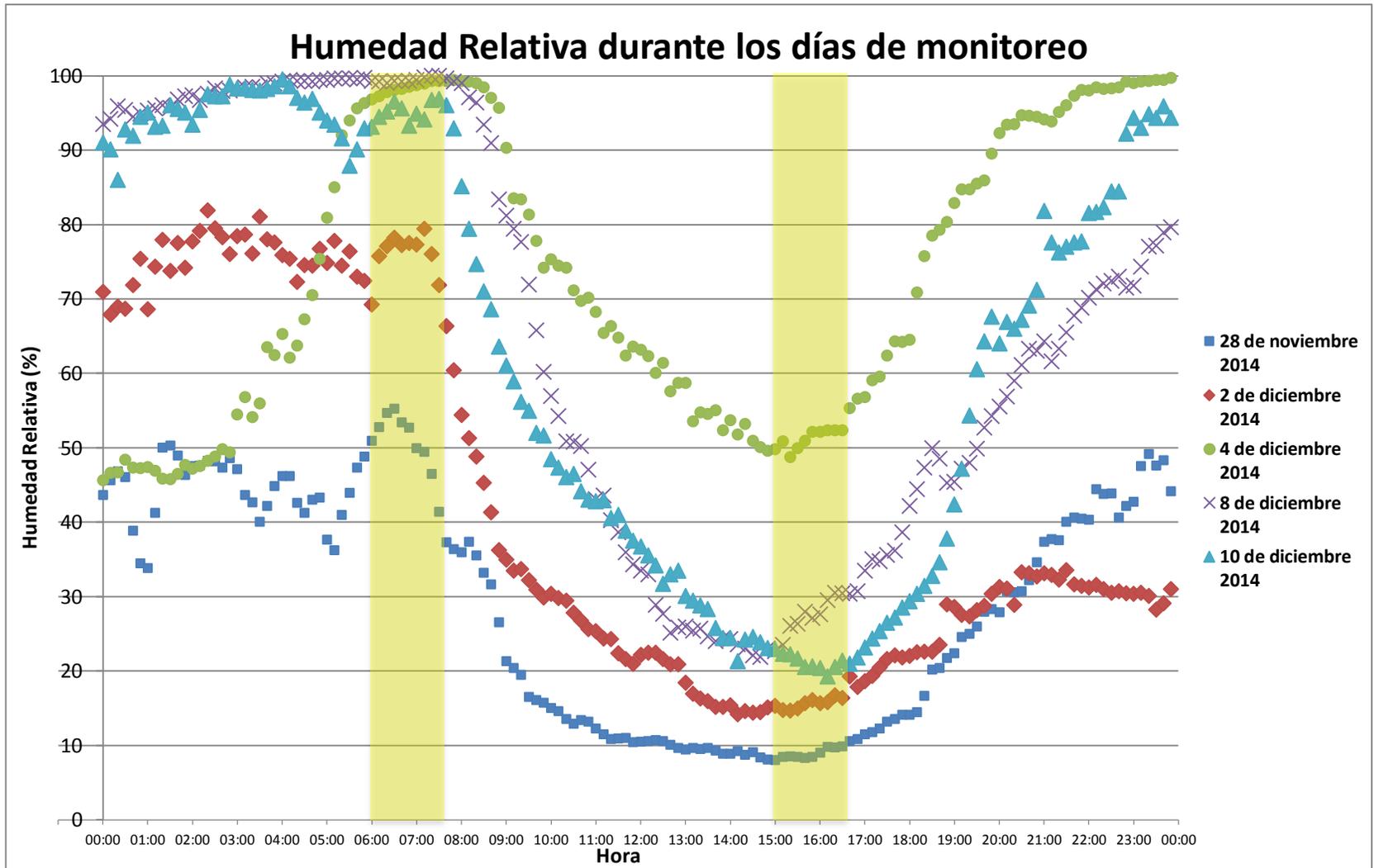
Aula/Día	No. Colonias durante la incubación				
	1	2	3	4	5
5E-101	0	6	10	10	10
5E-102	0	1	2	2	5
5E-103	0	1	2	2	2
5E-201	0	0	1	2	2
5E-202	0	0	0	0	1
5I-201	0	4	3	4	4
5I-202	0	0	0	1	4
5I-203	0	3	6	7	12

Una vez más, en la mayoría de las aulas la mayor cantidad de UFC se presentó en el monitoreo matutino. El 10 de diciembre, la actividad escolar en la tarde ya había disminuido. Durante el monitoreo algunas aulas estaban vacías y en las otras se encontraban haciendo examen.

Las condiciones de temperatura y humedad relativa durante los días de muestreo se presentan en las Figuras 15 y 16.



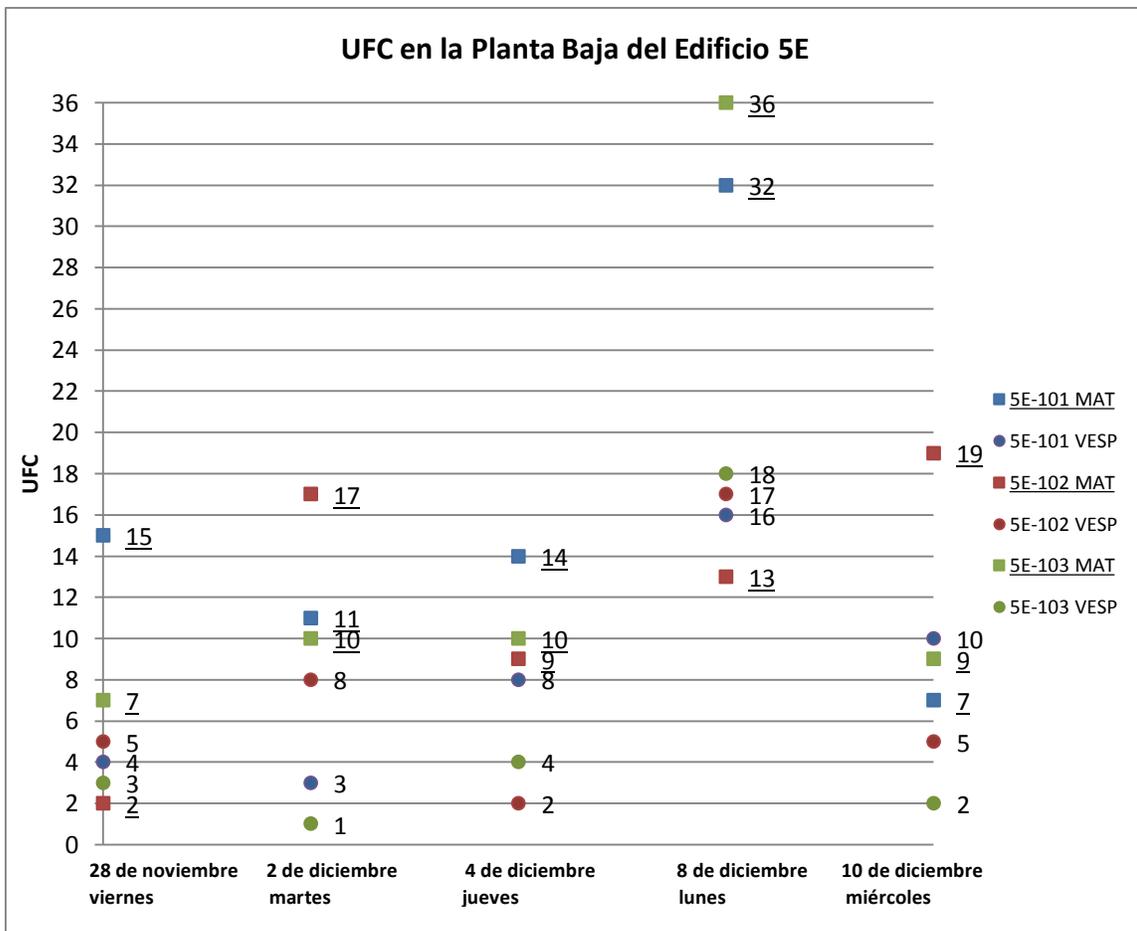
**Figura 15:** Temperatura durante los días de monitoreo



**Figura 16:** Humedad relativa durante los días de monitoreo

Como se observa, la temperatura durante el monitoreo matutino varió de 5.35°C a 17.19°C, mientras que en el monitoreo vespertino se tuvieron temperaturas entre 24.78°C y 32.94°C. La humedad relativa por su parte fluctuó de 41.4% a 100% en el monitoreo matutino y de 7.98% a 52.36% para el vespertino.

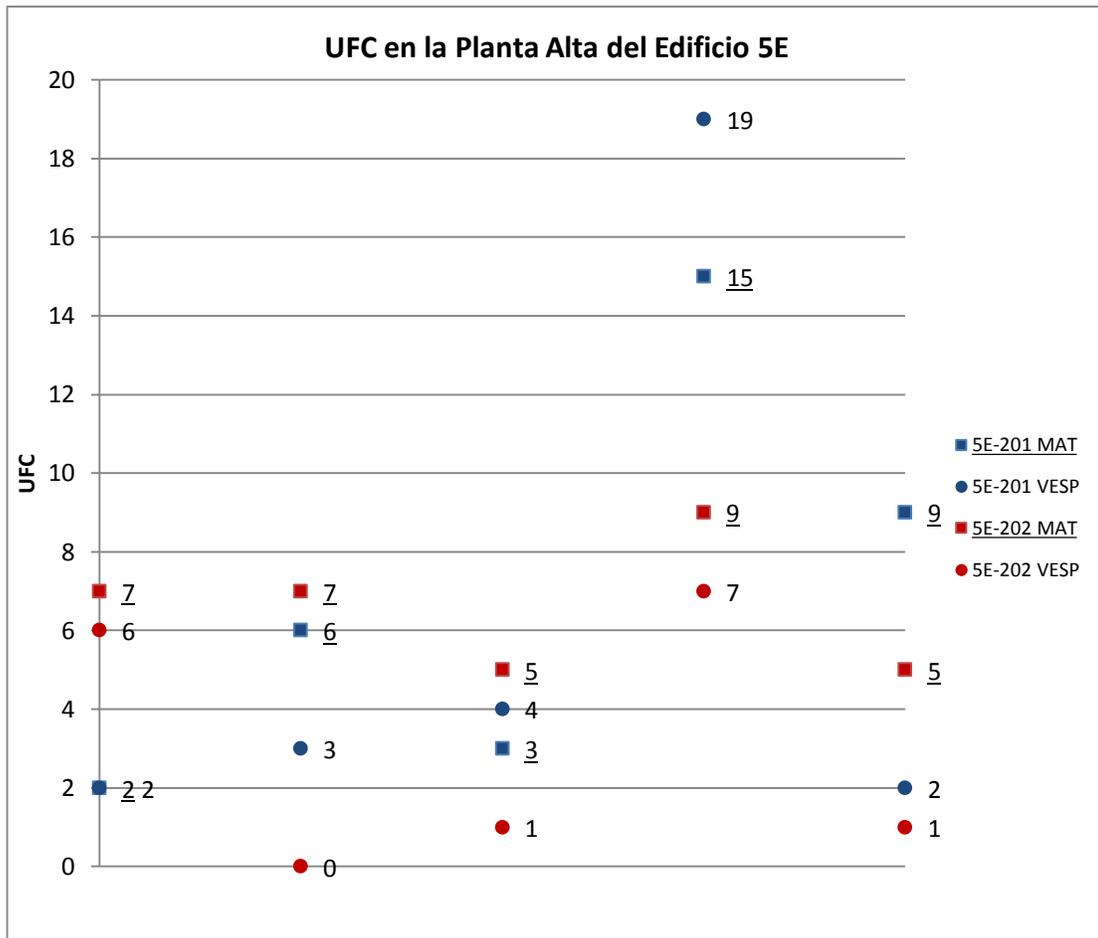
En las Figuras 17 a 19 se presentan las gráficas de UFC en el quinto día de incubación de las placas, comparando las UFC del turno matutino y vespertino. Se presentan separadas por planta y edificio, ya que para cada planta y edificio se tiene un responsable diferente de limpieza.



**Figura 17:** UFC en el quinto día de incubación, planta baja del edificio 5E

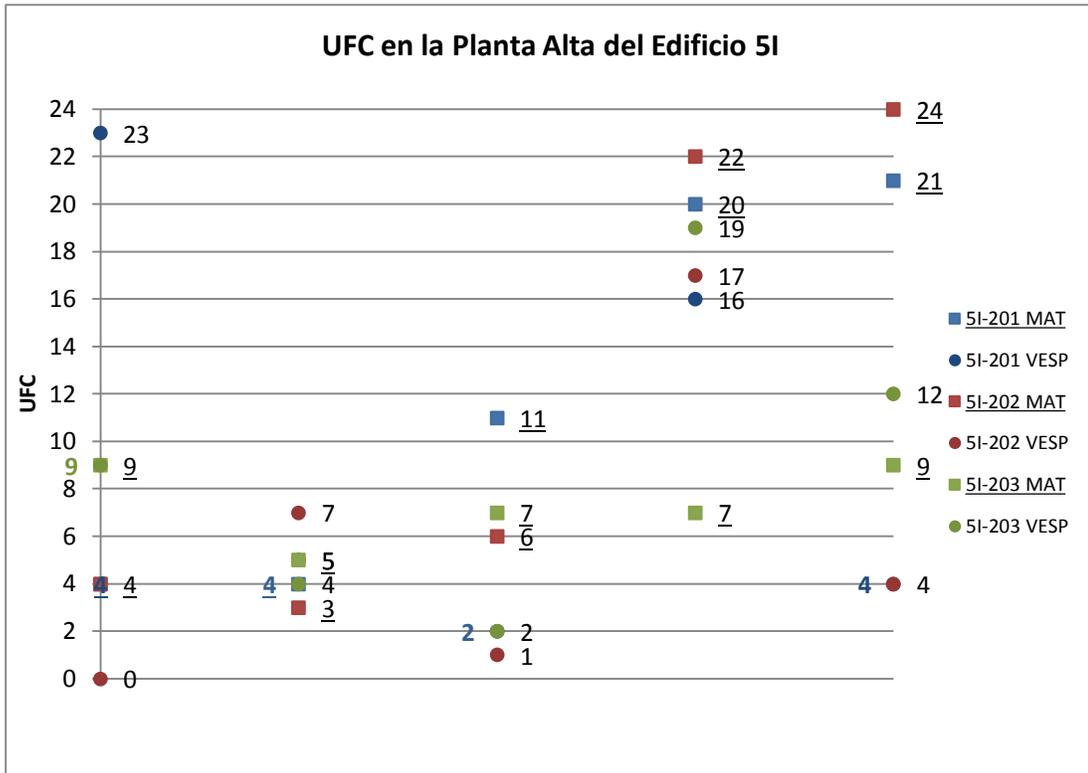
De la Figura 17 podemos observar que por lo general durante el monitoreo matutino de esta sección de aulas se tuvo mayor número de crecimiento de

colonias. Los mayores valores de crecimiento se presentaron el día lunes 8 de diciembre, lo cual es esperado ya que las aulas han permanecido sin cambio de aire por más de 48 horas.



**Figura 18:** UFC en el quinto día de incubación, planta alta del edificio 5E

En la Figura 18 se pueden observar valores menores de crecimiento, salvo el día lunes. En todos los casos el mayor crecimiento fúngico fue en el monitoreo matutino, con excepción del aula 5E-201 el día viernes en el que el crecimiento fue el mismo.



**Figura 19:** UFC en el quinto día de incubación, planta alta del edificio 51

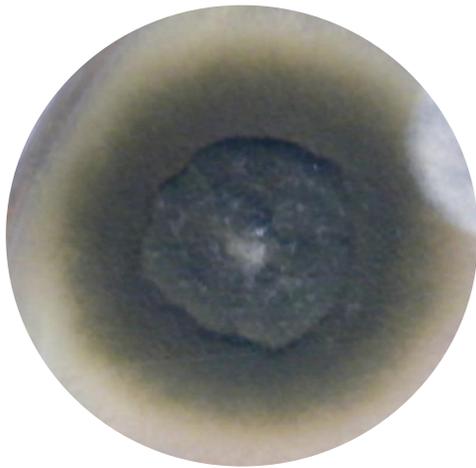
Observamos en la Figura 19, se detecta una vez más que de manera general, el mayor crecimiento fúngico ocurrió en el día lunes 8 de diciembre. El día viernes 28 de noviembre en el aula 5I-202 durante el monitoreo vespertino no hubo formación de colonias en la placa.

Las condiciones generales de muestreo para cada día, planta y turno se pueden encontrar en el Anexo B.

Los hongos que se encontraron en las aulas fueron:

- ✓ *Alternaria sp.*
- ✓ *Aspergillus flavus*
- ✓ *Aspergillus niger*
- ✓ *Cladosporium sp.*
- ✓ *Drechslera sp.*
- ✓ *Penicillium sp.*
- ✓ *Fusarium sp.*

En las Figuras de la 20 a 26 se presentan los hongos encontrados en vista macroscópica y con el microscopio, mismos que fueron identificados con la información de la Tabla 5.

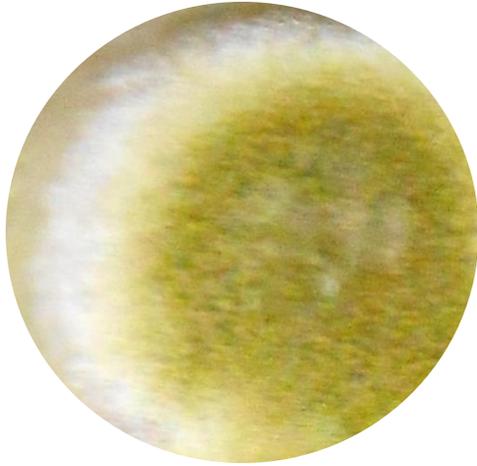


**Vista  
macroscópica**

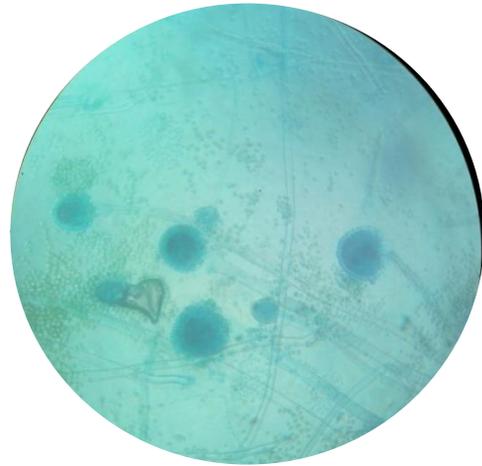


**Vista  
microscópica**

**Figura 20: *Alternaria sp.***



**Vista  
macroscópica**

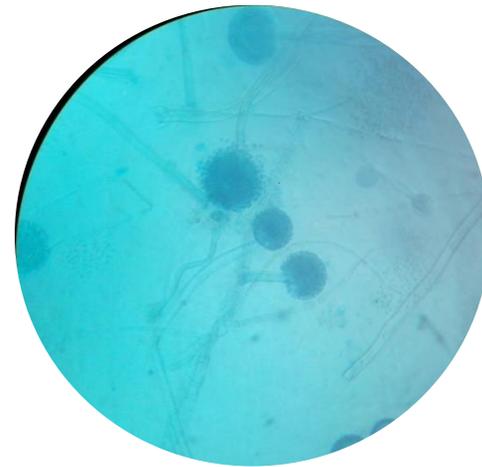


**Vista  
microscópica**

**Figura 21: *Aspergillus flavus***



**Vista  
macroscópica**

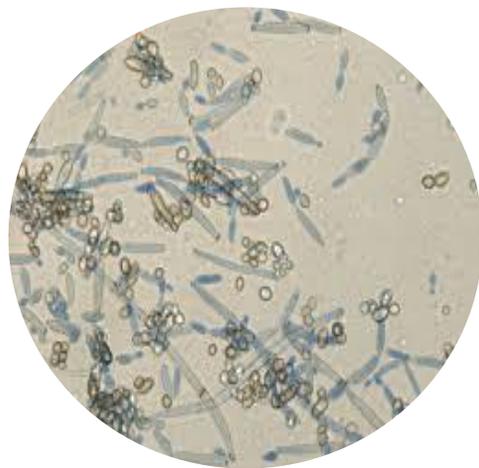


**Vista  
microscópica**

**Figura 22: *Aspergillus niger***



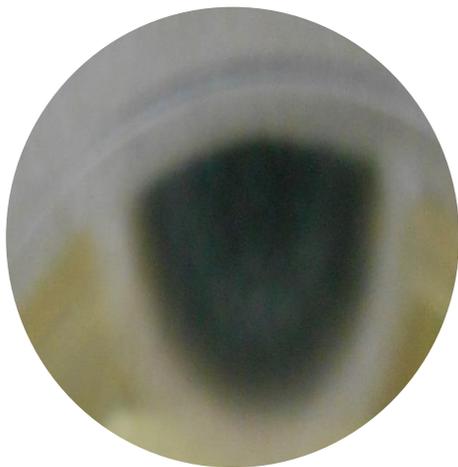
**Vista  
macroscópica**



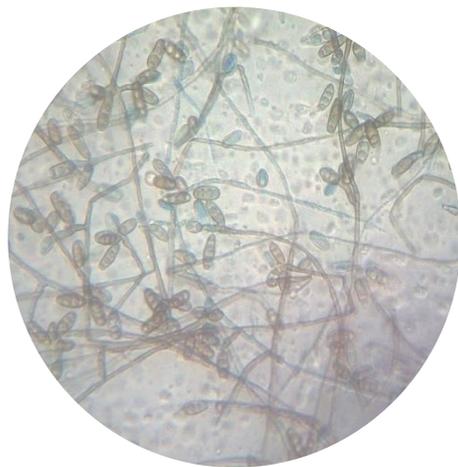
**Vista  
microscópica**

(Nishimura, 1999)

**Figura 23: *Cladosporium* sp.**



**Vista  
macroscópica**



**Vista  
microscópica**

**Figura 24: *Drechslera* sp.**

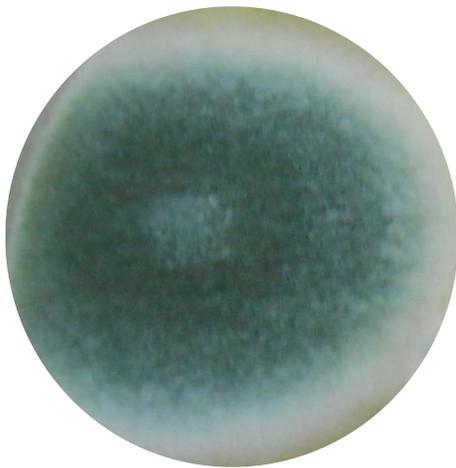


**Vista  
macroscópica**



**Vista  
microscópica**

**Figura 25: *Fusarium* sp.**



**Vista  
macroscópica**



**Vista  
microscópica**

**Figura 26: *Penicillium* sp.**

Siguiendo los lineamientos de INIFED y la capacidad máxima de alumnos que el Departamento asigna para cada aula se hizo un comparativo. En la Tabla XIV se presentan la superficie mínima marcada por INIFED y la superficie real.

**Tabla XIV:** Comparación de capacidad de alumnos y superficies.

AULA	Capacidad máxima de alumnos	Superficie mínima según INIFED (m <sup>2</sup> )	Superficie real (m <sup>2</sup> )	Capacidad recomendada de alumnos
5E-101	40	54	72.95	✓
5E-102	40	54	72.95	✓
5E-103	40	54	72.95	✓
5E-201	35	47.25	48.27	✓
5E-202	35	47.25	48.27	✓
5I-201	40	54	49.20	36
5I-202	30	40.5	35.93	26
5I-203	30	40.5	35.93	26

De igual manera, con el parámetro que establece la ASHRAE de 28.8m<sup>3</sup>/h por persona (Cordero, 2007) y la capacidad de alumnos asignados para cada aula se determinó el número de recambios mínimos de aire por hora que debe de tener cada aula. En la Tabla XV se presentan los resultados.

**Tabla XV:** Volumen de aire nuevo por aula de acuerdo a su capacidad máxima de alumnos

Aula	Capacidad máxima	Volumen de aulas (m <sup>3</sup> )	Cambio de aire (m <sup>3</sup> /hr)	*No. de recambios por hora
5E-101	40	175.80	1152.00	6.55
5E-102	40	175.80	1152.00	6.55
5E-103	40	175.80	1152.00	6.55
5E-201	35	128.87	1008.00	7.82
5E-202	35	128.87	1008.00	7.82
5I-201	40	145.68	1152.00	7.91
5I-202	30	106.37	864.00	8.12
5I-203	30	106.37	864.00	8.12

## VI. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Los hongos encontrados en las aulas del Departamento de Ingeniería Química y Metalurgia fueron:

- ✓ *Alternaria sp.*
- ✓ *Aspergillus flavus*
- ✓ *Aspergillus niger*
- ✓ *Cladosporium sp.*
- ✓ *Drechslera sp.*
- ✓ *Penicillium sp.*
- ✓ *Fusarium sp.*

Estos son los hongos que típicamente se encuentran en el aire interior. De éstos, algunas especies de los géneros *Aspergillus* y *Penicillium* son altamente oportunistas y pueden provocar afectaciones a la salud del ser humano, principalmente en las vías respiratorias.

Durante los días de monitoreo, la mayor concentración de hongos se encontró en general en el turno matutino, antes del inicio de actividades. Lo que significa que la actividad académica facilita el recambio de aire en las aulas.

De acuerdo al comportamiento característico presentado en las Figuras 17, 18 y 19, el día lunes por la mañana fue el día que se presentó la mayor cantidad de UFC en las diferentes aulas. Lo anterior se atribuye principalmente por la inactividad que se tiene por fines de semana.

El requerimiento de espacio de acuerdo a la capacidad máxima de alumnos de las aulas de la planta alta del edificio 5I no cumple con los estándares especificados.

La planta baja del edificio 5E tiene la capacidad apropiada para la población máxima de estudiantes por clase establecida en la Universidad de Sonora, que es de 40 alumnos, mientras que la planta alta del mismo edificio cumple apenas el mínimo requerido.

Con respecto a la ventilación, los números de recambios de aire deben de ser de seis a ocho veces el volumen total de aula en una hora, por lo que deben realizarse adecuaciones para asegurar una óptima ventilación ya sea natural o mecánica.

Además, para proyectos de nuevas edificaciones se recomienda establecer mayor área de ventanales y que cuenten con vidrios polarizados en vez de persianas.

### **Recomendaciones para nuevas investigaciones relacionadas**

Realizar el mismo muestreo en diferentes estaciones del año, evaluando la presencia y frecuencia de hongos en cada aula.

Realizar el muestreo con dispositivos automáticos que establezcan concentración por m<sup>3</sup> de aire aspirado.

Realizar posteriores muestreos para evaluar la presencia bacteriana en las aulas.

## **VII. ANEXOS**

## ANEXO A

**Tabla A.I:** División Myxomicota: Organismos sin pared celular

DIVISIÓN MYXOMICOTA						
Clase	Subclase	Orden	Familia	Género		
Acrasiomycetes	Protostelidae	Protosteliales	Protosteliaceae	<i>Protostelelium</i>		
	Dictyostelidae	Dictyosteliales	Dictyosteliaceae	<i>Dictyostelium</i>		
				<i>Polysphondylium</i>		
Myxomycetes	Ceratiomyxomycetidae	Ceratiomyxales	Ceratiomyxaceae	<i>Ceratiomyxa</i>		
				Physarales	Physaraceae	<i>Fuligo</i> <i>Physarum</i>
	Myxogastromycetidae	Trichiales	Trichiaceae	<i>Arcyria</i> <i>Hemitrichia</i>		
				Stemonitales	Stemonitaceae	<i>Comairicha</i> <i>Diachea</i> <i>Stemonitis</i>
						Liceales
	Plasmodiophoromycetes		Plasmodiophorales	Plasmodiophoraceae	<i>Plasmodiophora</i> <i>Spongospora</i>	

**Tabla A.II:** División Eumycota: hongos verdaderos con pared Subdivisión Deuteromycotina

Clase	Subclase	Orden	Familia	Género
		Sporobolomycetales	Sporobolomycetaceae	<i>Sporobolomyces</i>
Blastomycetes		Cryptococcales	Cryptococcaceae	<i>Candida</i> <i>Cryptococcus</i> <i>Rhodotorula</i>
			Agonomycetaceae	<i>Papulaspora</i> <i>Rhizotocnia</i> <i>Sclerotium</i>
				<i>Acrosporium=Oidium</i> <i>Aspergillus</i> <i>Chromelosporium</i> <i>Epidermophyton</i> <i>Geotrichum</i> <i>Gliocladium</i> <i>Histoplasma</i> <i>Microsporium</i> <i>Monilia</i> <i>Oedocephalum</i> <i>Ostracoderma</i> <i>Ovulariopsis</i> <i>Penicillium</i> <i>Spiniger</i> <i>Trichoderma</i> <i>Trichophyton</i> <i>Trichothecium</i> <i>Verticillium</i>
Hyphomycetes		Moniliales	Moniliaceae	

**CONTINUACIÓN Tabla A.III: División Eumycota: hongos verdaderos con pared Subdivisión Deuteromycotina**

Clase	Subclase	Orden	Familia	Género	
Hyphomycetes			Dematiaceae	<i>Alternaria</i>	
				<i>Bipolaris</i>	
				<i>Cercospora</i>	
				<i>Cladosporium</i>	
				<i>Curvularia</i>	
				<i>Helicosporium</i>	
				<i>Helminthosporium</i>	
				<i>Orbimyces</i>	
				<i>Pithomyces</i>	
				<i>Spilocaea</i>	
Coelomycetes			Stibellaceae (Stilbaceae)	<i>Thielaviopsis</i>	
				<i>Dendrostilbella</i>	
				<i>Graphium</i>	
				<i>Stilbella</i>	
				Tuberculariaceae	<i>Epicoccum</i>
					<i>Fusarium</i>
					<i>Sphacelia</i>
					<i>Starkeyomyces</i>
					<i>Tubercularia</i>
				Melanconiales	
<i>Pestlotia</i>					
Sphaeropsidales		Sphaeropsidaceae	<i>Cytospora</i>		
			<i>Phoma</i>		
			<i>Phomopsis</i>		
			<i>Septoria</i>		
			Zythiaceae	<i>Endothiella</i>	

**Tabla A. IV:** División Eumycota: hongos verdaderos con pared Subdivisión Ascomycotina

Clase	Subclase	Orden	Familia	Género				
Holobasidiomycetes		Exobasidiales	Exobasidiaceae	<i>Exobasidium</i>				
			Boletaceae	<i>Boletus</i> <i>Strobilomyces</i>				
			Russulaceae	<i>Lactarius</i> <i>Russula</i>				
		Agaricales		Agaricaceae	<i>Agaricus</i>			
					<i>Amanita</i>			
				Cantharallaceae	<i>Cantharellus</i> <i>Cratarellus</i>			
					Copinaceae	<i>Coprinus</i>		
				Lepiotaceae	<i>Chlorophyllum</i> <i>Lepiota</i>			
				Strophariaceae	<i>Psilocybe</i>			
				Tricholomataceae	<i>Armillaria</i> <i>Armillariella</i> <i>Clitocybe</i> <i>Marasmius</i> <i>Panus</i> <i>Pleurotus</i>			
					Clavariaceae	<i>Clavaria</i> <i>Clavariadelphus</i> <i>Clavicornia</i> <i>Ramaria</i>		
						Aphylophorales	Schizophyllaceae	<i>Schizophyllum</i> <i>Corticium</i>
							Thelephoraceae	<i>Peniophora</i> <i>Sparassis</i> <i>Telephora</i>
					Hymenomycetidae			

**CONTINUACIÓN Tabla A.V:** División Eumycota: hongos verdaderos con pared Subdivisión Ascomycotina

Clase	Subclase	Orden	Familia	Género
			Hydnaceae	<i>Dentinum</i> <i>Echinodontium</i> <i>Hericium</i> <i>Hydnum</i> <i>Steccherinum</i>
			Polyporaceae	<i>Daedalea</i> <i>Fomes</i> <i>Ganoderma</i> <i>Heterobasidion</i> <i>Irpex</i> <i>Lenzites</i> <i>Merulius</i> <i>Polysporus</i> <i>Poria</i>
		Lycoperdales	Lycoperdaceae	<i>Calvatia</i> <i>Lycoperdon</i>
			Geastraceae	<i>Geastrum</i>
		Sclerodermatales	Sclerodermataceae	<i>Scleroderma</i> <i>Pisolithus</i>
	Gasteromycetidae	Tulostomatales	Calostomataceae	<i>Calostoma</i>
		Nidulariales	Nidulariaceae	<i>Crucibulum</i> <i>Cyathus</i>
		Phallales	Phallaceae	<i>Dictyophora</i> <i>Mutinus</i> <i>Phallus</i>

## ANEXO B

**Tabla B.1:** Condiciones de muestreo el 28 de noviembre de 2014

AULA	MATUTINO				VESPERTINO			
	%Hr prom	T°C interior	UFC	Observaciones	%Hr prom	T°C interior	UFC	Observaciones
5E-101	52.67	20	15	Luces encendidas Ventanas cerradas Puerta cerrada Sin alumnos Aula sin limpiar	8.33	23	4	Luces apagadas Ventanas abiertas Puerta cerrada - -
5E-102	50.37	20	2	Luces apagadas Ventanas abiertas Puerta cerrada Sin alumnos Aula sin limpiar	8.33	23	5	Luces apagadas Ventanas abiertas Puerta cerrada Sin alumnos -
5E-103	50.37	20	7	Luces encendidas Ventanas abiertas Puerta cerrada Sin alumnos Aula sin limpiar	8.33	23	3	Luces encendidas Ventanas cerradas Puerta cerrada - -
5E-201	51.35	20	2	Luces apagadas Ventanas cerradas Puerta cerrada Sin alumnos Aula sin limpiar	8.33	24	2	Luces apagadas Ventanas cerradas - - -
5E-202	51.35	20	7	Luces apagadas Ventanas cerradas Puerta cerrada Sin alumnos Aula sin limpiar	8.33	24	6	Luces apagadas Ventanas abiertas Puerta cerrada - -
5I-201	52.13	21	4	Luces apagadas Ventanas cerradas Puerta cerrada Sin alumnos Aula sin limpiar	8.41	25	23	Luces encendidas Ventanas cerradas - - -
5I-202	52.13	21	4	Luces apagadas Ventanas cerradas Puerta cerrada Sin alumnos Aula sin limpiar	8.41	25	0	Luces apagadas Ventanas cerradas Puerta cerrada Sin alumnos -
5I-203	52.81	22	9	Luces prendidas Ventanas cerradas Puerta cerrada Sin alumnos Aula sin limpiar	8.41	25	9	Luces encendidas Ventanas cerradas Puerta cerrada - -

**Tabla 16:** Condiciones de muestreo el 2 de diciembre de 2014

AULA	MATUTINO				VESPERTINO			
	%Hr prom	T°C interior	UFC	Observaciones	%Hr prom	T°C interior	UFC	Observaciones
5E-101	77.55	22	11	Luces encendidas Ventanas cerradas Puerta cerrada 34 alumnos -	15.37	23	3	Luces encendidas Ventanas abiertas Puerta cerrada Sin alumnos -
5E-102	77.55	22	17	Luces encendidas Ventanas abiertas Puerta cerrada 25 alumnos Aula sin limpiar	15.37	23	8	Luces encendidas Ventanas abiertas Puerta abierta 25 alumnos -
5E-103	77.55	21	10	Luces encendidas Ventanas abiertas Puerta cerrada 11 alumnos -	15.37	23	1	Luces encendidas Ventanas abiertas Puerta semiabierta 14 alumnos -
5E-201	77.55	21	6	Luces encendidas Ventanas cerradas Puerta cerrada Sin alumnos -	15.37	23	3	Luces encendidas Ventanas cerradas Puerta cerrada 4 alumnos -
5E-202	77.55	21	7	Luces encendidas Ventanas cerradas Puerta cerrada Sin alumnos Aula sin limpiar	15.37	23	0	Luces encendidas Ventanas cerradas Puerta cerrada Sin alumnos -
5I-201	77.55	22	4	Luces encendidas Ventanas cerradas Puerta cerrada Sin alumnos Aula sin limpiar	15.37	24	5	Luces encendidas Ventanas cerradas Puerta abierta 4 alumnos -
5I-202	77.55	21	3	Luces encendidas Ventanas cerradas Puerta cerrada Sin alumnos -	15.37	24	7	Luces apagadas Ventanas cerradas Puerta abierta 5 alumnos -
5I-203	77.55	21	5	Luces encendidas Ventanas cerradas Puerta cerrada 11 alumnos -	15.37	24	4	Luces encendidas Ventanas abiertas Puerta abierta 21 alumnos -

**Tabla B.3:** Condiciones de muestreo el 4 de diciembre de 2014

AULA	MATUTINO				VESPERTINO			
	%Hr prom	T°C interior	UFC	Observaciones	%Hr prom	T°C interior	UFC	Observaciones
5E-101	98.37	23	14	Luces apagadas Ventanas abiertas Puerta cerrada Sin alumnos -	52.22	23	8	Luces encendidas Ventanas cerradas Puerta cerrada Sin alumnos -
5E-102	98.37	23	9	Luces apagadas *Ventanas abiertas Puerta cerrada Sin alumnos *La mitad	52.22	23	2	Luces encendidas *Ventanas abiertas Puerta cerrada Sin alumnos *La mitad
5E-103	98.37	23	10	Luces apagadas *Ventanas abiertas Puerta cerrada Sin alumnos *La mitad	52.22	23	4	Luces encendidas Ventanas abiertas Puerta cerrada 17 alumnos -
5E-201	98.37	23	3	Luces apagadas Ventanas cerradas Puerta cerrada Sin alumnos -	52.22	23	4	Luces encendidas Ventanas cerradas Puerta cerrada 3 alumnos -
5E-202	98.37	23	5	Luces apagadas Ventana abiertas Puerta cerrada Sin alumnos -	52.22	23	1	Luces encendidas Ventanas cerradas Puerta abierta 6 alumnos -
5I-201	98.37	23	11	Luces apagadas *Ventana abiertas Puerta cerrada Sin alumnos *La mitad	52.22	24	2	Luces encendidas Ventanas cerradas Puerta cerrada 22 alumnos -
5I-202	98.37	23	6	Luces apagadas Ventanas cerradas Puerta cerrada Sin alumnos -	52.22	24	1	Luces apagadas Ventanas cerradas Puerta abierta Sin alumnos -
5I-203	98.37	23	7	Luces apagadas Ventanas cerradas Puerta cerrada Sin alumnos -	52.22	24	2	Luces encendidas Ventanas abiertas Puerta abierta 5 alumnos -

**Tabla B.4:** Condiciones de muestreo el 8 de diciembre de 2014

AULA	MATUTINO				VESPERTINO			
	%Hr prom	T°C interior	UFC	Observaciones	%Hr prom	T°C interior	UFC	Observaciones
5E-101	99.3	22	32	Luces encendidas Ventanas abiertas Puerta cerrada 16 alumnos -	29.5	24	16	Luces encendidas Ventanas cerradas Puerta cerrada Sin alumnos -
5E-102	99.3	22		Luces apagadas *Ventanas abiertas Puerta cerrada 1 alumno *Solo 1 abierta	29.5	24	17	Luces encendidas Ventanas cerradas Puerta abierta 8 alumnos -
5E-103	99.3	22	36	Luces apagadas Ventanas abiertas Puerta cerrada Sin alumnos *La mitad	29.5	24	18	Luces encendidas Ventanas cerradas Puerta cerrada Sin alumnos -
5E-201	99.3	22	15	Luces apagadas Ventanas cerradas Puerta cerrada Sin alumnos -	29.5	24	19	Luces encendidas Ventanas abiertas Puerta abierta Sin alumnos -
5E-202	99.3	22	9	Luces apagadas Ventana abiertas Puerta cerrada Sin alumnos -	29.5	24	7	Luces encendidas Ventanas abiertas Puerta abierta Sin alumnos -
5I-201	99.3	22	20	Luces encendidas Ventanas abiertas puerta abierta 35 alumnos En examen	29.5	24	16	Luces encendidas Ventanas abiertas Puerta abierta 7 alumnos -
5I-202	99.3	22	22	Luces apagadas Ventanas cerradas Puerta cerrada Sin alumnos -	29.5	25	17	Luces encendidas Ventanas abiertas Puerta abierta Sin alumnos -
5I-203	94.5	23	7	Luces apagadas *Ventanas abiertas Puerta cerrada Sin alumnos *La mitad. a 8:00 am	29.5	25	19	Luces encendidas Ventanas cerradas Puerta abierta 25 alumnos -

**Tabla 17:** Condiciones de muestreo el 10 de diciembre de 2014

AULA	MATUTINO				VESPERTINO			
	%Hr prom	T°C interior	UFC	Observaciones	%H prom	T°C interior	UFC	Observaciones
5E-101	94.47	21	7	Luces encendidas Ventanas abiertas Puerta cerrada Sin alumnos -	20.64	23	10	Luces encendidas Ventanas cerradas Puerta cerrada Sin alumnos -
5E-102	94.47	22	19	Luces encendidas *Ventanas abiertas Puerta cerrada Sin alumnos *Solo 1 abierta	20.64	23	5	Luces encendidas *Ventanas abiertas Puerta cerrada 25 alumnos *La mitad
5E-103	94.47	21	9	Luces apagadas Ventanas abiertas Puerta cerrada Sin alumnos *La mitad	20.64	24	2	Luces encendidas *Ventanas abiertas Puerta cerrada 6 alumnos *La mitad
5E-201	94.47	22	9	Luces apagadas Ventanas cerradas Puerta abierta Sin alumnos -	20.64	24	2	Luces encendidas Ventanas abiertas Puerta cerrada 4 alumnos -
5E-202	94.47	22	5	Luces apagadas Ventana abiertas Puerta cerrada Sin alumnos -	20.64	24	1	Luces apagadas Ventanas abiertas Puerta cerrada Sin alumnos -
5I-201	94.47	22	21	Luces apagadas Ventanas abiertas Puerta cerrada 35 alumnos En examen	20.64	25	4	Luces encendidas Ventanas abiertas Puerta abierta 28 alumnos Examen
5I-202	94.47	22	24	Luces apagadas Ventanas cerradas Puerta cerrada *8 alumnos *durante 9 min	20.64	25	4	Luces apagadas Ventanas abiertas Puerta abierta Sin alumnos -
5I-203	94.47	22	9	Luces apagadas Ventanas abiertas Puerta cerrada *12 alumnos *durante 11 min	20.64	26	12	Luces encendidas Ventanas cerradas Puerta cerrada 4 alumnos Examen

## VIII. BIBLIOGRAFÍA

1. Ampliación de Edificio 5I en la Unidad Regional Centro para los Programas Educativos de Ingeniería Química y Metalurgia. Infraestructura y adquisiciones. Subdirección de Obras y Proyectos de la Universidad de Sonora. Escala 1:50.000. Hermosillo, México. 2014. Plano 10 de 46.
2. Bitton, G., *Wastewater microbiology*. Editorial John Wiley & Sons, 3ra Edición, 4,5,29,30,373,384,463
3. Buchanan, B. *Sick Buildings, sick students*. American School Board Journal, 2007,48-50.
4. Caillaud,D.,Annesi-Maesano, I., *Conseil supérieur d'hygiène publique de France*. 2009, 8.
5. Castillo, J. *Micología General*. 1987, 17-18
6. Chithra,S., Shiva,S. *Indoor air quality investigations in a naturally ventilated school building located close to an urban roadway in Chennai, India*. Building and Environment, 2012, Volumen 54, 159-167.
7. Constans,C., Solans, X., Alonso,R. 2010. Micotoxinas en ambientes laborales. Barcelona, España.  
<http://www.insht.es/InshtWeb/Contenidos/Documentacion/TextosOnline/postersTécnicos/ficheros/Micotoxinas%20en%20ambientes%20laborales.pdf>. [8 abril 2015]
8. Cordero Clavijo, Juan Alfredo. 2007. Proyecto de Reducción de pérdidas de energía térmica en la piscina de la academia or. Durán Durán. Cuenca, Ecuador.<<http://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/755/4/CAPITULO%202.pdf>>. [27 enero 2015]
9. Coordinación de Químico Biólogo Oficinas, Ingeniería Química y Metalurgia Aulas. Infraestructura y adquisiciones. Subdirección de Obras y Proyectos de la Universidad de Sonora. Escala 1:75.000. Hermosillo, México. 2011. 1 plano.
10. Couderc, Claudia. 2006. Les champignons “microscopiques”: structure et reproduction.< <http://slideplayer.fr/slide/457940/#.VRKtSN821Pg>>. [18 febrero 2015]

11. De Gennaro, G., Rosario, P., *et al.* *Indoor air quality in schools*. Environmental Chemistry Letters, 2014, Volumen 12, 467-482.
12. Deacon, J., *Introducción a la micología moderna*. 1988, 11-12, 20
13. Etayo Salazar, Isabel. 2010. Los microorganismos: un grupo taxonómico heterogéneo. Navarra, España. <<http://docentes.educacion.navarra.es/metayos a/bach2/2biomicro1.html>>. [27 enero 2015]
14. Hanlin, R.; Ulloa, M. *Atlas de Micología Básica*. 1977,
15. Hongos y Setas. Editorial Roman.  
<<http://hongosysetas.galeon.com/estructura.html>>. [27 enero 2015]
16. Instituto Nacional de la Infraestructura Física Educativa, (2011). Normas y especificaciones para estudios, proyectos, construcción e instalaciones, [http://www.inifed.gob.mx/doc/normateca/tec/V2-EP/Volumen\\_2\\_Tomo\\_I\\_Planeacion\\_Programacion\\_y\\_Evaluacion.pdf](http://www.inifed.gob.mx/doc/normateca/tec/V2-EP/Volumen_2_Tomo_I_Planeacion_Programacion_y_Evaluacion.pdf). Enero14, 2015.
17. Koneman, E., Roberts, G., *Micología práctica de laboratorio*. Editorial Médica Panamericana, 1994, 107, 109, 114, 116-117, 120
18. Nishimura, K. 1999.  
<[http://www.pf.chibau.jp/gallery/fungi/c/Cladosporium\\_sphaerospermum\\_colony.htm](http://www.pf.chibau.jp/gallery/fungi/c/Cladosporium_sphaerospermum_colony.htm)>. [9 febrero 2015]
19. Ogórek, R., Płaskowska, E., Kalinowska, K., Fornalczy, P., Misztal, A., y Budziak, J. *The analysis of mycological air pollution in selected rooms of students hostels*. Medical Mycology, 2011, Volumen 18, 201-210.
20. Pérez, H., Sánchez, V. *Propuesta de diseño de monitoreo ambiental microbiológico para diagnóstico de niveles de contaminación en áreas de procesamiento aséptico*. 2010, Volumen 44, 10-11.
21. Pontón, J., Moragues, M., Gené, J., Guarro, J., Quindós, G. *Los hongos patógenos para el ser humano*. Revista Iberoamericana de Micología, 2002, 5.
22. Shaughnessy, R., Moschandreas, D. *A preliminary study on the association between ventilation rates in classrooms and student performance*. 2009, Volumen 16, 465-468.
23. Solé, M., Espadalé, R., Constans A. 1998. Calidad de aire interior: identificación de hongos. Barcelona, España.  
[http://www.insht.es/InshtWeb/Contenidos/Documentacion/FichasTecnicas/NT P/Ficheros/401a500/ntp\\_488.pdf](http://www.insht.es/InshtWeb/Contenidos/Documentacion/FichasTecnicas/NT P/Ficheros/401a500/ntp_488.pdf). [28 mayo 2015]

24. Stryjakowska-Sekulska, M. *Microbiological quality of indoor air in university rooms*. Polish Journal of Environmental Studies, 2007, Volumen 16, 623-632.
25. Universidad de Sonora, División de Ingeniería, Ingeniería Química. 2013. Manual del Cacei. 22.
26. Universidad de Sonora. Mapa Universitario.  
<<http://www.uson.mx/institucional/edificios/>>. [27 enero 2015]
27. Yang, W., Sohn, J., Kim, J., Son, B., y Park, J. *Indoor air quality investigation according to age of the school buildings in Korea*. Journal of Environmental Management, 2009, Volumen 90, 348-354.