



UNIVERSIDAD DE CUENCA

Facultad de Arquitectura y Urbanismo

Carrera de Arquitectura

Trabajo de titulación previo a obtención de título de Arquitecto.

“Determinación de la calidad del aire con la inclusión de vegetación en ambientes interiores de espacios educativos, y su inclusión arquitectónica.”

Autor: Juan David Mena Campos.

C.I.: 1804257358

Director: Arq. Juan Felipe Quesada Molina.

C.I.: 0102260148

Cuenca – Ecuador

21/05/2019



Resumen

Este presente trabajo de titulación tiene como objetivo buscar una alternativa ecológica, mediante la inclusión de vegetación a manera de jardines interiores, promover un sistema de renovación y depuración de aire dentro de los espacios educativos, lugares donde la aglomeración y capacidad de uso, provoca precariedad de las condiciones ambientales óptimas para el desarrollo de las actividades requeridas en estos espacios. Al implementar vegetación, se busca reducir la cantidad de gases contaminantes (tomando como referencia el dióxido de carbono interior para este trabajo), y a su vez, equilibrar la temperatura interior para evitar el uso de renovación de aire por infiltración exterior.

Para su efecto, se implementa un caso de estudio dentro de la Facultad de Arquitectura de la Universidad de Cuenca, en donde durante periodos de tiempo y ocupación iguales, se controla un aula tipo en dos condiciones distintas de equipamiento, es decir un antes y un después de la inclusión de vegetación, cada etapa constando durante una semana. El espacio es controlado mediante estaciones climáticas portátiles, con terminales para la medición de temperatura, humedad y partículas por millón de dióxido de carbono.

Tras un análisis cuantitativo y cualitativo, se logra observar que mediante la inclusión de vegetación propuesta se logra reducir la concentración de contaminante dentro del espacio, a su vez, reducir la temperatura interior, viéndose como único resultado contraproducente el aumento de la humedad interior, siendo un factor importante ante la percepción de conformidad de los usuarios del aula experimental.

Palabras claves

Depuración de aire. Vegetación en interiores. Arquitectura bioclimática. Espacios educativos. Eficiencia energética.



Abstract

The present degree work aim to find an ecological alternative, through the inclusion of indoor planting as inner gardens, to promote a system of air renovation and purification inside the educative spaces, places where the agglomeration and use ability, causes precariousness of the optimal environmental conditions for the development of the activities required in these spaces. By implementing vegetation, it is expected to reduce the amount of polluting gases (taking as reference the indoor carbon dioxide for this research), and also, to balance the interior temperature to avoid the use of air renewal by external infiltration.

For its effect, a case study is implemented within the Faculty of Architecture of the University of Cuenca, where during periods of equal time and occupation, a typical classroom is controlled in two different conditions of equipment, that is, a before and after the inclusion of vegetation, each stage consisting of one week. The space is controlled by portable climatic stations, with terminals for the measurement of temperature, humidity and particles per million carbon dioxide.

After a quantitative and qualitative analysis, it is possible to observe that by including the proposed vegetation, the concentration of pollutant inside the space is reduced, in turn, reducing the interior temperature, seeing as the only counterproductive result the increase of the interior humidity, being an important factor in the perception of conformity of the users of the experimental classroom

Keywords

Air depuration. Indoor planting. Bioclimatic architecture. Educational spaces. Energy efficiency.



INDICE

INTRODUCCIÓN

1. CAPITULO I: EL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

- 1.1. Determinación del problema
- 1.2. Planteamiento de la hipótesis
- 1.3. Determinación de los objetivos
- 1.4. Justificación del proyecto

2. CAPITULO II. MARCO TEÓRICO

- 2.1. La calidad de aire históricamente
- 2.2. Arquitectura bioclimática
- 2.3. CALIDAD DEL AIRE INTERIOR
- 2.4. Origen de los contaminantes
- 2.5. De los sistemas de ventilación y aire acondicionado
- 2.6. Vegetación para micro climatización y depuración de aire en interiores
- 2.7. Calidad de aire en Ecuador y la ciudad de Cuenca
- 2.8. La calidad de aire en ambientes escolares
- 2.9. Normativas y métodos de medición
 - 2.9.1. Normativas internacionales
 - 2.9.2. Normativa Ecuatoriana
 - 2.9.3. De los planes de alerta, alarma y emergencia de la calidad del aire
 - 2.9.4. Métodos de medición
- 2.10. Influencia de la vegetación en el IEQ. Investigaciones y antecedentes

3. CAPÍTULO II: METODOLOGÍA

- 3.1. Tipo y nivel de investigación
- 3.2. Diseño del experimento
 - 3.2.1. Etapa 1
 - 3.2.2. Etapa 2
- 3.3. Descripción del ámbito de la investigación
 - 3.3.1. Ubicación geográfica. Contexto de la ciudad
 - 3.3.2. Campus de aplicación
 - 3.3.3. Aula "Cero". Aula preparada para la experimentación
 - 3.3.4. Población y Muestra
 - 3.3.4.1. Población diana
 - 3.3.4.2. Población de referencia
 - 3.3.4.3. Muestra
 - 3.3.5. Determinación de variables y equipos y técnicas de monitoreo
 - 3.3.5.1. Equipo tecnológico para monitoreo de parámetros climáticos (datos cuantitativos)
 - 3.3.5.2. Normas y protocolos
 - 3.3.5.3. Método de levantamiento de datos cualitativos. Percepción del usuario
 - 3.3.6. Vegetación empleada
 - 3.3.6.1. Ficus Benjamina
 - 3.3.6.2. Chamaedorea seifrizi
 - 3.3.6.3. Aglaonema Modestum
 - 3.3.6.4. Adquisición de vegetación a implementarse
 - 3.3.7. Metodología de estimación de área foliar
- 3.4. Limitaciones

4. CAPITULO IV. RESULTADOS Y ANÁLISIS DE DATOS

- 4.1. Horarios de ocupación del Aula 0



- 4.2. Resultados de monitoreo climático interior. Datos Cuantitativos (Parámetros ambientales)
- 4.3. Resultado de encuestas
 - 4.3.1. Percepción de temperatura interior
 - 4.3.2. Percepción de variación de temperatura interior
 - 4.3.3. Conformidad de temperatura interior
 - 4.3.4. Percepción de humedad interior
 - 4.3.5. Percepción de calidad de aire interior
 - 4.3.6. Percepción de aroma interior
 - 4.3.7. Conformidad del aire interior
- 4.4. Resultados de estimación de área foliar
 - 4.4.1. Ejemplo de medición de hojas de FICUS BENJAMINA
 - 4.4.2. Ejemplo de medición de hojas de CHAMAEDOREA SEIFRIZII
 - 4.4.3. Ejemplo de medición de hojas de AGLAONEMA MODESTUM
- 4.5. Análisis y discusión

5. CAPÍTULO V: GENERACIÓN DE LINEAMIENTOS DE DISEÑO

- 5.1. Generación de lineamientos de diseño para aulas educativas
- 5.2. Consideraciones previas para el diseño físico de aulas educativas
- 5.3. Propuesta de parámetros de diseño
 - 5.3.1. Análisis de soleamiento e iluminación artificial para desarrollo y desempeño vegetal
 - 5.3.1.1. Luz natural
 - 5.3.1.2. Luz artificial
 - 5.3.2. Análisis de sistemas de irrigación y recolección de agua o desagüe
 - 5.3.3. Análisis de sustratos vegetales
 - 5.3.4. Descripción de sistemas constructivos para vegetación en modelo de: jardines verticales

6. CAPÍTULO VI: CONCLUSIONES, RECOMENDACIONES Y BIBLIOGRAFÍA

- 6.1. Conclusiones
- 6.2. Recomendaciones
- 6.3. Bibliografía

ANEXOS



ÍNDICE DE TABLAS Y GRÁFICOS

- Tabla 01.** Componentes del aire típico.
- Tabla 02.** Índices de concentración de componentes en el aire.
- Figura 01.** Diagrama de un edificio mostrando diversas fuentes de contaminantes de interior y exterior.
- Figura 02.** Mecanismo convencional de sistemas de ventilación mecánica.
- Tabla 03.** Efectos de la biodiversidad vegetal en las construcciones.
- Tabla 04.** Casos registrados de infecciones respiratorias agudas en el Ecuador.
- Tabla 05.** Índices de alerta para la concentración de agentes en el aire.
- Tabla 06.** Resumen de estándares climáticos de interés establecidos según normas nacionales e internacionales.
- Figura 03.** Ubicación de la ciudad de Cuenca en Ecuador y Latinoamérica.
- Figura 04.** Campus de aplicación del experimento.
- Figura 05.** Ubicación de la Universidad de aplicación del experimento dentro de la ciudad de Cuenca.
- Figura 06.** Ubicación del aula cero dentro de la Facultad de Arquitectura.
- Figura 07.** Planta del edificio que contiene el aula cero. 2da Planta alta.
- Figura 08.** Vistas interiores del aula cero. Fotografías in situ.
- Gráfica 1.** Distribución del grupo de experimentación por sexo y edad.
- Tabla 07.** Variables medidas en el experimento aplicado.
- Figura 09.** Colocación de terminales de monitoreo en el aula cero.
- Tabla 08.** Marca y modelos de sensores de medición climática.
- Figura 10.** Terminal de control térmico.
- Tabla 09.** Especificaciones técnicas de Sensor de temperatura Thermistor, marca: Apogee, modelo: ST-100.
- Figura 11.** Terminal de control de humedad relativa.
- Tabla 10.** Especificaciones técnicas de Sensor de humedad relativa. Marca: Omega, Modelo: HX71-V1.
- Figura 12.** Terminal de medición de dióxido de carbono.
- Tabla 11.** Especificaciones técnicas del sensor de dióxido de carbono. Marca: Vernier Modelo: Carbon Dioxide Gas Sensor
- Figura 13.** Ficus Benjamina, Fotografía de espécimen utilizado.
- Figura 14.** CHAMAEDOREA SEIFRIZII, fotografía de espécimen empleado.
- Figura 15.** Aglaonema Modestum, fotografía de espécimen empleado.
- Gráfica 2.** Ocupación del aula durante las etapas de experimentación.
- Gráfica 2.** Resultados de registro de temperatura interior. Semana 1 y semana 2.
- Gráfica 3.** Resultados de registro de humedad interior. Semana 1 y semana 2.
- Gráfica 4.** Resultados de registro de concentración de gas CO₂ interior. Semana 1 y semana 2.
- Tabla 12.** Resumen de valores mínimos, máximos y promedios de registros climáticos interiores durante el experimento.
- Tabla 13.** Cuadro tipo de cálculo de área de hoja individual.
- Tabla 14.** Cuadro tipo de cálculo de área de hoja individual.
- Tabla 15.** Cuadro tipo de cálculo de área de hoja individual.
- Tabla 16.** Resumen de resultados de estándares de confort ambiental del experimento.
- Gráfica 5.** Relación entre ocupación del aula y concentración de CO₂.
- Gráfica 6.** Ubicación del ambiente más desfavorable experimentado en la gráfica de Givoni.
- Gráfica 7.** Requerimientos básicos para diseño de aulas educativas. Propuesta inicial.
- Figura 16.** Tasa fotosintética en relación a longitud de onda de la luz.
- Figura 17.** Carta solar para Cuenca, Ecuador.
- Gráfica 8.** Incidencia solar por orientación para la ciudad de Cuenca.
- Gráfica 9.** Incidencia solar por fachada para el aula tipo propuesta.
- Gráfica 10.** Esquema de iluminación natural recomendada para aulas educativas.
- Figura 18.** Propuesta de ubicación en planta de muros vegetales para el aula tipo.
- Figura 19.** Propuesta de ubicación en planta de muros vegetales para el aula tipo.



- Figura 20.** Propuesta de sección de muros vegetales para el aula tipo.
- Figura 21.** Propuesta de jardín vertical con luminarias tubulares led de espectro rojo – azul. Sección y planta.
- Figura 22.** Propuesta de jardín vertical con luminarias tipo reflector. Sección y planta.
- Figura 23.** Propuesta de sistemas de irrigación varios. Esquemas en sección.
- Figura 24.** Sistema de irrigación y recolección de agua para muro verde de Mastop Totaaltechnik.
- Figura 25.** Detalle de jardín vertical hidropónico.
- Tabla 17.** Tipologías de jardín vertical según sistema constructivo empleado.
- Figura 26.** Sistemas de soporte para jardines verticales.
- Figura 27.** Detalle D1. Plantación en suelo.
- Figura 28.** Detalle D2. Sistema de recolección de agua por bomba y contenedor.
- Figura 29.** Detalle D1. Sistema para hierba arbustiva con bolsillo.
- Figura 30.** Detalle D4. Sistema de plantación colgante.



Cláusula de licencia y autorización para publicación en el Repositorio Institucional

Juan David Mena Campos en calidad de autor y titular de los derechos morales y patrimoniales del trabajo de titulación "Determinación de la calidad del aire con la inclusión de vegetación en ambientes interiores de espacios educativos, y su inclusión arquitectónica.", de conformidad con el Art. 114 del CÓDIGO ORGÁNICO DE LA ECONOMÍA SOCIAL DE LOS CONOCIMIENTOS, CREATIVIDAD E INNOVACIÓN reconozco a favor de la Universidad de Cuenca una licencia gratuita, intransferible y no exclusiva para el uso no comercial de la obra, con fines estrictamente académicos.

Asimismo, autorizo a la Universidad de Cuenca para que realice la publicación de este trabajo de titulación en el repositorio institucional, de conformidad a lo dispuesto en el Art. 144 de la Ley Orgánica de Educación Superior.

Cuenca, 21/05/2019

Juan David Mena Campos

C.I: 1804257358



Cláusula de Propiedad Intelectual

Juan David Mena Campos, autor del trabajo de titulación "Determinación de la calidad del aire con la inclusión de vegetación en ambientes interiores de espacios educativos, y su inclusión arquitectónica.", certifico que todas las ideas, opiniones y contenidos expuestos en la presente investigación son de exclusiva responsabilidad de su autor.

Cuenca, 21/05/2019

Juan David Mena Campos

C.I: 1804257358



INTRODUCCIÓN

El ambiente interior y su adecuado control requieren de una atención particular para lograr que las actividades humanas puedan desarrollarse en plenitud. Actividades de tipo laboral en oficinas, educativo en escuelas o simple estancia en hogares, pueden alterarse severamente al no poseer una buena *calidad de ambiente interior* (IEQ por sus siglas en inglés "Indoor Environment Quality").

La calidad del IEQ depende de cuatro factores que son: confort higrotérmico (CT), confort auditivo (CA), confort visual (CV), y la calidad de aire interior (IAQ, Indoor Air Quality). Este último, será el parámetro entorno al cual se desarrolla la presente investigación.

Muchas son las alternativas actuales que proponen diferentes propuestas y soluciones para el acondicionamiento interior entorno al control de temperatura, iluminación, y acústica de los espacios interiores. Pero, el control del ambiente interior posee escasas soluciones para un óptimo alcance del adecuado IAQ.

Debido a esta falta de alternativas, el trabajo desarrollado, plantea la investigación de la factibilidad de implementar sistemas depuradores interiores, que logren incrementar la calidad del aire, y, a su vez, mejoren las condiciones actuales de uso de recursos. El sistema propuesto a tratarse consta de la implementación de vegetación en espacios destinados al uso educativo, en el que, de manera controlada, se levanta información referida a los parámetros ambientales interiores, y datos sobre cómo percibe el usuario común (estudiantes) el ambiente interior, estableciéndose su nivel de satisfacción con el mismo. La experimentación se desarrolla en un ambiente común de educación de la Universidad de Cuenca, ubicada en la ciudad de Cuenca, Ecuador. El tiempo de experimentación es por un periodo de dos semanas, comparando los datos de una primera semana del aula en uso sin sistemas vegetales, y datos ambientales de una segunda semana de la misma aula con la implementación de vegetación al interior. Estos datos permiten determinar la influencia que la vegetación logra generar en un salón de clase y determinar su factibilidad como sistema potenciador de la IEQ.

Con ello, esta investigación, busca comprobar la inclusión del uso de sistemas vegetales como elementos y recursos arquitectónicos no solo estéticos, sino funcionales, capaces de actuar en la micro climatización interior, introduciéndose en el objetivo general actual de edificios sustentables.



1. CAPITULO I: EL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

1.1. Determinación del problema

Las actividades desarrolladas al interior de las aulas educativas requieren de niveles mayores de confort para ser cumplidas satisfactoriamente. Actividades de concentración como leer, escribir y estudiar, ameritan que la atención del estudiante se concentre en la actividad y no en agentes ambientales que puedan distraerlo, dado a que todos los parámetros ambientales están interconectados y la disconformidad de uno de ellos puede fácilmente distraer la mente del alumnado [3]. Los niveles deficientes de IEQ se han comprobado que puede limitar la o dificultar el rendimiento académico de los estudiantes. Un cambio en la modificación de un grado centígrado fuera del rango de entre 23 °C y 29 °C puede causar la misma incomodidad que el incremento de ruido en 3.9 dB por ejemplo [3].

Usualmente, la condición de la contaminación de aire en los interiores de edificaciones es mayor en comparación de la del exterior, debido a las emisiones adicionales a las de combustibles del exterior (más comúnmente), se suman emisiones químicas de plásticos, telas, mobiliarios, pinturas, entre otros, utilizados en interiores. [4-5]

De la misma manera, “la falta de una correcta ventilación del ambiente interior, puede desembocar en afecciones a la salud de los usuarios, quienes pueden desarrollar “enfermedades que conducen al ausentismo estudiantil, así como síntomas de salud adversos y disminución del rendimiento académico” (Haverinen-Shaughnessy, 2015).

Pero, la ventilación al mantener un sistema de intercambio de aire interior-exterior, afecta directamente a otros parámetros de confort como la temperatura interior de los espacios habitables, o su aislación acústica frente al ruido exterior. Los espacios de vivienda, mantienen como usuario a un delimitado número de integrantes, que comparado con el volumen de aire que poseen, no se tornan potenciales para representar inconvenientes.

El problema radica en lugares de alta concentración de usuarios, como es el caso de estudio en esta investigación, las aulas educativas. En estos espacios, por la dinámica natural de gases, donde la fisiología de las personas asimila el oxígeno del aire, y expulsa dióxido de carbono (entre otros contaminantes), por lo que un espacio completamente cerrado se torna en un ambiente de insuficiente aporte de oxígeno, ambiente que promueve el sueño y cansancio de los usuarios. La renovación de aire por ventilación, soluciona la escasez de aire “limpio” interior, pero en zonas de bajas temperaturas ambientales, se produce un efecto desfavorable de pérdida calórica interna afectando otro grado de confort.



1.2. Planteamiento de la hipótesis

Es inegable la capacidad de la vegetación en el proceso de climatización ambiental interior, de la cual se ha comprobado su potencial para limpieza del aire interior. A diferencia de los aires acondicionados convencionales, que solo filtran partículas de polvo, la vegetación tiene la capacidad de filtrar agentes gaseosos del aire urbano como, por ejemplo: Nitrógeno y óxidos de azufre, Dióxido de carbono (CO₂) y monóxido de carbono (CO). Como buenas noticias, casi en su totalidad, cualquier planta para interior tiene la capacidad de remover agentes como los VOCs. Cualquier brote verde, con iluminación adecuada, logra eliminar el CO₂ y liberar similares cantidades de oxígeno. [8]

Las inferencias de partida del proyecto propuesto parten de este conocimiento de la capacidad de las células vegetales para mediante el proceso de fotosíntesis, propiciado por la luz solar, asimilar compuestos como dióxido de carbono (CO₂) y liberar al ambiente oxígeno. Esta inferencia inicial se plantea como hipótesis proponiendo la capacidad y potencial que la vegetación tendría dentro de espacios de usos diurnos para cumplir con este mismo propósito, interactuando en contraposición con los usuarios de dichos espacios quienes mediante el proceso de respiración absorben el oxígeno presente en el ambiente y liberan CO₂ junto con otros compuestos al ambiente. Esta contraposición de procesos sugiere una adecuada interacción entre las personas y la vegetación en el espacio a usarse. Como producto de esta inferencia surge la hipótesis propuesta, sugiriendo que: *"La inclusión de vegetación en espacios interiores educativos de uso diurno, logra reducir los niveles concentración en el aire de contaminantes como el CO₂, mejorando el confort para los usuarios"*.

De esta pregunta principal, surgen diferentes incógnitas que se puedan responder mediante la línea base de investigación como son: ¿la inclusión de vegetación incrementa los niveles de humedad interior de los salones educativos?, ¿la temperatura interior de los salones de clase se reduce al incluir vegetación? y ¿La inclusión de vegetación propicia espacios adecuados para la actividad educativa? Estas preguntas, aportan al objetivo general de la investigación propuesta, y permite dirigir de manera complementaria los diferentes actores que se involucran en el IEQ.



1.3. Determinación de los objetivos

1.3.1. Objetivos de la investigación

1.3.2. Objetivo general

Determinar la eficiencia y rendimiento de la inclusión de especies vegetales en espacios interiores como depuradores del aire.

1.3.3. Objetivos específicos

1.3.3.1. Analizar las condiciones adecuadas para la existencia de plantas en interiores, y su interacción con el espacio y el usuario.

1.3.3.2. Establecer lineamientos de diseño, para el espacio caso de estudio, adecuados que logren satisfacer el confort humano para el uso educativo y la implementación de vegetación.

1.4. Justificación del proyecto

La ineficiente capacidad de las infraestructuras para ofrecer ambientes adecuados para el ser humano, son en muchas ocasiones provocadas por el diseño "hermético" que incrementen su eficiencia energética, reduciendo sus costos. Pero la aplicación de ciertas estrategias reduce la capacidad de renovación de aire de las estructuras, acompañada por una serie de malestares respiratorios por parte de los usuarios por el incremento de la contaminación al interior [7]. La calidad de ambiente interior que se promueve en las aulas de clase mantiene una relación directa con posibles riesgos a la salud de los usuarios, así como su bajo rendimiento académico [10] [13].

A nivel internacional, se ha mostrado como la deficiencia de parámetros de confort ambientales desembocan en una serie de problemas para los alumnos tales como ausentismo, congestión, fatiga, entre otros. En mayor medida, dichos malestares son reportados por una mala calidad de aire interior, además de ruido y temperatura inadecuada [10]. Dentro del país, son escasos los trabajos enfocados en este ámbito, pero proyectos como "Calidad del Aire", a cargo de la Fundación Natura, ha efectuado estudios del efecto de la contaminación atmosférica en la ciudad de Quito, en el que se mostró un incremento de enfermedades respiratorias en escolares, atribuido a la contaminación ambiental, sobre todo aquella de origen vehicular. Así mismo, otro estudio determino en el 2002, el riesgo potencial para desarrollar infecciones respiratorias en escolares. Un nuevo estudio en 2003 a cargo de Fundación Natura, determina el alto impacto económico que la calidad de aire representa



al país, la cual, en un periodo de 9 años, ascendió en 34 millones de dólares en costos de salud **[25]**.

Estas preocupaciones, levantaron interés en el potencial que la vegetación posee para mejorar las condiciones ambientales interiores, mismas que han sido comprobadas por trabajos, en donde demostraron, dentro de edificios destinados a oficinas, la capacidad de la vegetación interior en la remoción de contaminantes presentes en el aire interior, y como esta condición mejoro el rendimiento de los trabajadores, en aproximadamente 10%, con tan solo la remoción del 1% de los niveles de contaminación interior **[6]**. Adicionalmente, la inclusión de vegetación en interiores, contribuyen a un estado psicológico mayor de bienestar y comodidad **[50]**.

Dada la capacidad del reino vegetal de absorber el dióxido de carbono, entre otros contaminantes, y devolver oxígeno al ambiente, se busca explotar su potencial como "purificador natural de aire" llevados a los espacios internos de edificios educativos, de manera que a través de su implementación se pueda recrear entornos educativos más saludables para la habitabilidad, con una buena calidad de aire y un buen acondicionamiento ambiental interior.



2. CAPITULO II. MARCO TEÓRICO.

2.1. La calidad de aire históricamente

Históricamente, el problema con la calidad de aire interior era más evidente de lo que se pensaría. Empezando por la evidencia de hollín existente en varias cuevas prehistóricas, muestran los problemas ya existentes de contaminación por "falta de ventilación". Posteriormente, las chimeneas en los hogares europeos del siglo XII, presentaban un problema similar, siendo estas las contribuyentes de la contaminación interior por el humo provocado por las mismas. Hoy en día, aunque las estructuras no muestran señales visibles inmediatas de contaminación, es apreciable el problema que muchos edificios presentan por los síntomas encontrados en los usuarios. Del mismo modo, los diferentes cambios existentes en el diseño de los edificios contemporáneos, con el fin de mejorar la eficiencia energética, los han ido transformando en estructuras cada vez más herméticas, además de que se ha incrementado el uso de materiales sintéticos. Ambos cambios en la construcción moderna, fomenta una arquitectura mucho más asequible en cuanto a costos de funcionamiento, pero son estos cambios los mismos que han ocasionado una menor calidad de aire interior [21].

Pese a que los primeros estudios sobre la calidad de aire datan de los años 1970, fue hace ya diez años antes de ello que la calidad de aire interior se consideró un problema [17]. Las primeras premisas de la temática a tratarse se remontan para los años 70s, durante la crisis energética, cuando los edificios empezaron a diseñarse de forma que incrementen su eficiencia energética, reduciendo sus costos. Pero la aplicación de ciertas estrategias redujo la capacidad de renovación de aire de las estructuras, acompañada por una serie de malestares respiratorios por parte de los usuarios por el incremento de la contaminación al interior [7]. "El hombre por sí mismo debe ser considerado otra fuente de contaminación del aire interior, especialmente cuando vive en espacios cerrados, pobremente ventilados. Esto se vuelve más crítico cuando un gran número de personas están presentes en un espacio cerrado durante periodos largos de tiempo." (NASA, 1989).

Estas deficiencias propiciaban el denominado "síndrome del edificio enfermo", el cual, arquitectónicamente, es susceptible de mejoras por remodelación física, pero existen situaciones, en la que no resulta factible realizar reformas en las construcciones o en su defecto, no es favorable para contribuir al acondicionamiento del aire en los edificios [7].



2.2. Arquitectura bioclimática

El rápido crecimiento y expansión de las ciudades, las convierte en protagonista como causa de efectos de cambio climático, y a su vez, en principales centros de innovación para las mejoras de eficiencia energética en pro de mitigarlos. A más de ello, las buenas prácticas de diseño y construcción conllevan a una adecuación pertinente de los espacios enfocados a ofrecer beneficios de altos estándares de calidad ambiental interior, con aire más limpio, casas y edificios más cómodos, espacios de salud y trabajo más saludables y facturas reducidas [11].

La arquitectura bioclimática es un término que al día de hoy no posee novedad, pues se mantiene como el producto de una gran cantidad de trabajo investigativo de ya hace varios años atrás, enfocados en una lógica de conservación ambiental y desarrollo sostenible.

En términos generales, se puede definir a la arquitectura bioclimática, como una adecuación y el aprovechamiento de las condiciones medioambientales y materiales, con el objetivo de direccionar el diseño arquitectónico a proyectos que logren protegerse y beneficiarse de los cambios y procesos naturales del entorno, ofreciendo un entorno confortable al interior para el usuario, logrando su pleno desarrollo en la actividad destinada, con herramientas como materiales, implantación y orientación del proyecto, técnicas de protección activas o pasivas, y tecnologías "verdes". Por ello, el contexto de implantación vuelve a esta arquitectura única e irreplicable, aún entornos similares, con un carácter de pertenencia al lugar, rechazando por completo modelos genéricos para situaciones geográficas y ambientales distintas [12]. Mientras los sistemas pasivos, que en muchas ocasiones no son suficientes para alcanzar la meta de un adecuado ambiente interior, requieren una inversión mucho más elevada en un principio; los sistemas activos mantienen intrínseco un consumo frecuente de energía para lograr climatizar los ambientes interiores.

Un modelo similar, ajustado a las nuevas tecnologías emergentes, es el llamado High-tech, o un símil más orientado al medio ambiente, el eco-tech, modelo caracterizado por su "exhibicionismo" lógico de las estructuras que comprenden los alardes técnicos de control climático robotizado en la resolución de un edificio. Lastimosamente, debido al elevado costo que estos modelos requieren, solo pueden ser asimilados por grandes corporaciones privadas de alto nivel económico. [12]

Todos estos esfuerzos van dirigidos a la satisfacción de los niveles de confort, que, para la actualidad, se han vuelto aún más exigentes en temas de confort interior, a diferencia de periodos anteriores, como, por ejemplo, el periodo de desarrollo industrial, donde sus nuevas tecnologías pretendían posibilitar mejores condiciones de vida a los ocupantes, mejorando las propiedades térmicas de



los materiales empleados, rendimiento arquitectónico, entre otros. Esta época fue, por tanto, los inicios de discusión sobre la eficiencia energética en la arquitectura, y en la cual se empieza ya a hablar de la calidad del ambiente interior como un importante indicador de buenas prácticas de arquitectos e ingenieros **[13]**. Hoy en día, a nivel internacional ya se han propuesto como modalidad el respaldo a las tecnologías bioclimática, ejemplo de eso son los planes y directrices para optimizar el uso de la energía en los edificios escolares, propuestos por la Oficina de Eficiencia Energética (EEO) en Gran Bretaña **[16]**.

“La reducción del el consumo de energía y la mejora de la conservación de la energía en los edificios son cruciales para promover la eficiencia energética y sostenibilidad de los edificios. La eficiencia del edificio pasivo, respetuoso con el medio ambiente son soluciones viables a los problemas de la crisis energética y contaminación ambiental.” (N. Soares, 2013).



2.3. CALIDAD DEL AIRE INTERIOR

Al igual que el agua, el aire es un componente vital para la existencia de la vida, y, por ende, del mismo modo su higiene resulta importante. El aire exterior está compuesto principalmente por oxígeno y nitrógeno, y una serie de gases anexos en diferentes concentraciones, mencionando los principales en la Tabla 01. Cuando la concentración de estos componentes supera a los expuestos en la Tabla 02, se puede decir que el aire se encuentra contaminado, y lastimosamente, los valores en el ámbito urbano, tienden siempre a superar estos niveles. [24]

Componentes del aire seco			
(1'2928 kg/m ³ , a 0 °C 760 mm)			
Componente	Símbolo	En volumen %	Contenidos en el aire g/m ³
Nitrógeno	N ₂	78.0800	976.30
Oxígeno	O ₂	20.9400	299.00
Argón	Ar	0.9340	16.65
Anh. Carbónico	CO ₂	0.0315	0.62
Otros		0.1450	0.23
		100.0000	1292.80

Tabla 01. Componentes del aire típico.

Nota. Recuperado de Hojas técnicas. Calidad del aire. 2018, de Proclima sitio web.

		AIRE LIMPIO µg/m ³	AIRE CONTAMINADO µg/m ³ Media anual en una gran ciudad
Óxido de Carbono	CO	máx. 1000	6.000 a 225.000
Dióxido de Carbono	CO ₂	máx. 65·10 ⁴	65 a 125·10 ⁴
Anhídrido Sulfuroso	SO ₂	máx. 25	50 a 5.000
Comp. de Nitrógeno	NO _x	máx. 12	15 a 600
Metano	CH ₄	máx. 650	650 a 13.000
Partículas		máx. 20	70 a 700

Tabla 02. Índices de concentración de componentes en el aire.

Nota: Recuperado de Hojas técnicas. Calidad del aire. 2018, de Proclima sitio web.

Es indiscutible la relación intrínseca que existe entre la deficiencia en la calidad de aire de un espacio, sea este de trabajo o vivienda, y la aparición de síntomas que desemboquen en enfermedades para los usuarios. Lo más preocupante resulta en el tiempo que expende una persona en estos espacios, que ronda entre el 58 al 78% durante el día, y en su mayoría, comprenden espacios contaminados [19]. En una investigación realizada en Estados Unidos, encontró que los residentes pasaron aproximadamente el 88% del tiempo en espacios



interiores, un 7% en vehículos, y apenas un 5% en el exterior. Se sabe mucho menos sobre los riesgos para la salud de la contaminación del aire interior que del riesgo atribuible a la contaminación del aire exterior. **[21]**

En la actualidad, hablar de calidad de aire resulta un imperativo para todos los países, dado que se considera que mantener o no una buena calidad de aire es una de las principales determinantes de la salud y el bienestar. Así se determina por entidades como la OMS de la región europea y la UE, quienes plantean políticas que modulen los planes de acción para los países en pro de conseguir un ambiente más saludable. El marco legal desarrollado por la OMS concentra sus esfuerzos en la calidad de aire exterior, regulando por ejemplo emisiones de vehículos e industrias, pero en años anteriores ya se ha empezado a hablar de temas de IAQ, como el tratado en el Sexto Plan de Acción Ambiental. **[20]**

Actualmente existen procedimientos adecuados para medir los niveles de formaldehído, de óxidos de carbono y nitrógeno, de compuestos orgánicos volátiles y de radón, entre otros, cuyos niveles son aquellos que determinaran el IAQ **[17]**. Durante varios años, se atribuía la contaminación interior de origen biológico a la concentración de CO₂ metabólico proveniente de los ocupantes. Afortunadamente, en los últimos años se encontró errónea la idea de que los ocupantes son las principales y únicas fuentes de contaminación, sino que se determinó que el edificio en sí mismo es una fuente potencial de contaminación, siendo considerado también dentro de los análisis de IAQ. **[20]**

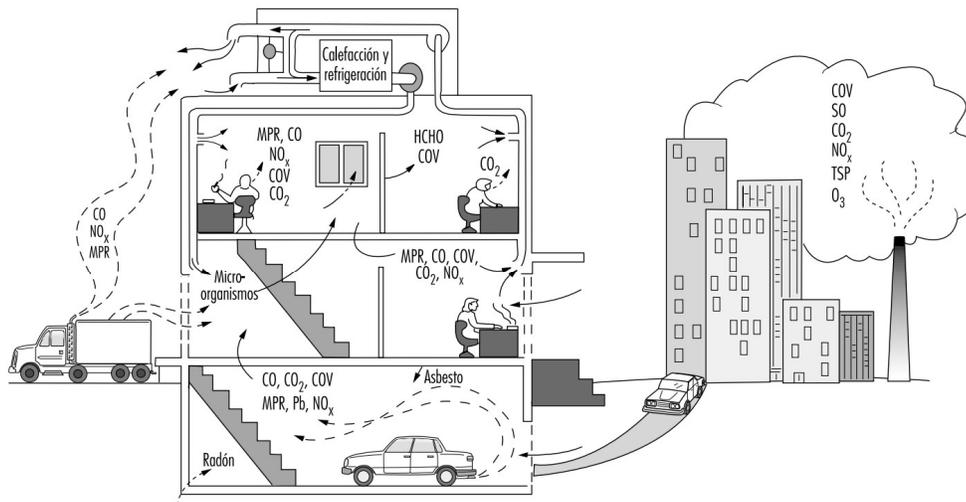
El impacto que el término "eficiencia energética" ha producido en el diseño y remodelación de los edificios ha expiado y sacrificado en muchas ocasiones la calidad del aire con el afán de reducir los costos de los mismos. Ventanas reducidas junto con la poca infiltración de aire ha ocasionado que los llamados "edificios energéticamente eficientes" contemplen una tasa del 50% más elevado de enfermedades en usuarios, que aquellos edificios bien ventilados **[9]**.



2.4. Origen de los contaminantes

Como se ha logrado apreciar anteriormente, la calidad del aire interior muchas veces puede resultar mucho más peligroso para la salud de los usuarios debido al extenso periodo de tiempo que estos expenden en estos espacios, además de las sustancias y partículas que cada ambiente emana. Por ello, es importante destacar la gravedad del problema, en comparación con el ambiente exterior, dada la poca disolución que estas partículas y sustancias pueden tener en relación al volumen del aire interior [17]. En la figura 44.2 se logra esquematizar muchas de las fuentes y formas más comunes de la contaminación en el ambiente interior.

Pero no solo la concentración de las sustancias resulta un factor determinante de las posibles complicaciones que las personas pueden suscitar, también existe una relación significativa, y en base a la cual existen normativas de control, que consideran el tiempo de exposición a ciertos químicos o sustancias en base a máximos permitidos. [20]



CO = monóxido de carbono; CO₂ = dióxido de carbono; HCHO = formaldehído; NO_x = óxidos de nitrógeno; Pb = plomo; MPR = materia particulada respirable; COV = compuestos orgánicos volátiles.

Figura 01. Diagrama de un edificio mostrando diversas fuentes de contaminantes de interior y exterior.

Nota: Recuperado de Aristotelis Avgelis & Agis M. Papadopoulos (2004) Indoor Air Quality Guidelines and Standards.

Como se puede apreciar son dos los factores principales que regulan el riesgo que los componentes del ambiente interior pueden lograr para los ocupantes. A continuación, se mencionará algunos de estos contaminantes para explicar las diferentes fuentes de los mismo, y su regulación, de existir, para cada uno de ellos.

Las principales fuentes de contaminación del aire en edificaciones son los propios ocupantes, materiales inadecuados o defectuosos de construcción, así como la mala aplicación de los mismos, la actividad realizada al interior, uso de líquidos, aerosoles o gases de limpieza y mantenimiento, gases de combustión de sistemas de HVAC o cocinas, y la interacción de gases con el ambiente exterior o con zonas de mayor contenido contaminante [17].



Los componentes contaminantes de origen exterior sujetos a fuentes de contaminación de como combustiones estacionaras, gases de vehículos y combustiones industriales. Desde esta perspectiva, se pueden citar 5 principales componentes contaminantes que son: monóxido de carbono (CO), óxidos de azufre, de nitrógeno, compuestos orgánicos volátiles (VOCs), hidrocarburos y otras partículas. La relación que sostiene el aire interior con el exterior representa un aumento proporcional, en donde al incrementarse los niveles de contaminación exterior, también lo hacen los niveles interiores (aunque en forma más lenta) [17]. En la misma medida, fuentes de emanación de gases de efecto invernadero propias del exterior del edificio, producto de los sistemas activos de climatización, aportan el incremento de la contaminación global del entorno. En este contexto, el mayor enemigo para la protección ambiental ligado a la climatización en edificios, es el elevado uso de combustibles fósiles [22].

En cambio, en la contaminación proveniente del interior, se puede mencionar los agentes por contaminación biológica, cuyo origen proviene de usualmente de agua estancada, materiales impregnados con agua, gases, etc., o mantenimiento inadecuado de humidificadores y torres de refrigeración [20], e igual de importante, los propios ocupantes. La proliferación de algunos de estos componentes se puede mitigar controlando adecuadamente la humedad interior, recomendando que esta se encuentre entre el 30 al 50 %. El agua estancada también se torna una incubadora de agentes patógenos biológicos para la estructura. El riesgo que estos contaminantes representa para los ocupantes pueden ser síntomas como estornudos, ojos llorosos, tos, dificultad para respirar, mareo, letargo, fiebre y problemas digestivos; así como enfermedades alérgicas, algunos tipos de asma, entre otros. Las reacciones alérgicas, aunque suelen suscitarse después de una constante exposición a agentes específicos durante periodos largos de tiempo [23]. Adicional a estos, fuentes como el mobiliario, compuestos adheridos a estos, sustancias o químicos utilizados en la limpieza y mantenimiento de la estructura, materiales de construcción con contenidos de toxinas peligrosas, encarecen aún más la calidad del aire respirado al interior. Asbestos, presentes en productos como planchas de asbesto cemento y telas para embalaje, propician afecciones de tipo pulmonar [23]; formaldehidos, presentes en la mayoría de productos para hogar y en productos de madera compuesta (tableros como contrachapado) o aislantes, se gasifica en el ambiente, siendo altamente contaminante, incurriendo en irritaciones [23]; los VOC, son quizá los más comunes en la construcción en forma de gas, liquido o sólidos, presentes en una amplia gama de productos como pinturas, barnices, cosméticos, diluyentes, conservantes de madera, aerosoles, desinfectantes, repelentes, copiadoras o impresoras, papel, pegamentos, y solo para mencionar algunos. Las afecciones varían entre irritaciones, dolor de cabeza o nauseas, perdida de coordinación, fatiga, daños al hígado, riñones o sistema nervioso central. En los peores casos, puede desarrollar varios tipos de cáncer. Algunos estudios demostraron que la concentración al interior puede duplicar o incluso ser cinco veces mayor a las encontradas en el exterior, y de manera más drástica, tras actividades como eliminación de pintura, puede ser 1000 veces más alto. [23]



Como se puede apreciar, las fuentes de contaminantes son más comunes de lo que se puede creer, y aparecen prácticamente en todos los elementos que conforman el espacio interior. Algunas de las opciones para regular el IAQ, así como de resguardar la salud humana, son la elección de materiales e insumos de trabajo dentro de una amplia gama que difícilmente no contendrá contaminantes potenciales. Otra alternativa es el uso de depuradores, sean estos fijos o móviles, encargados de receptar las partículas y químicos nocivos del aire, a costa de un gasto energético. Finalmente, otra opción, y con resultados positivos hasta ahora, como se comentará más adelante, es el uso de sistemas vivos (vegetación), depuradores del aire, que logren controlar de mejor manera y pasivamente las adversidades que presenta la calidad de clima interior.

2.5. De los sistemas de ventilación y aire acondicionado

"Consideré [el aire fresco] como un enemigo, y cerré con extremo cuidado cada grieta en las habitaciones que habité. La experiencia me ha convencido de mi error. Estoy convencido de que no hay aire común desde el exterior tan insalubre como el aire dentro de una habitación cerrada que a menudo se respira y no se cambia..." (Benjamin Franklin, 1866).

A diferencia de años anteriores, los sistemas de climatización activos al interior de los edificios, paso de convertirse de un lujo a una necesidad. Aproximadamente la mitad de la energía utilizada en edificios para los sectores residenciales y no residenciales se invierte en los sistemas de HVAC (por sus siglas en inglés Heating, Ventilating and Air Conditioning), superando incluso los requerimientos para el agua caliente sanitaria **[14] [15]**.

El problema del consumo energético para los sistemas activos reside en la combinación que suelen suscitarse en condiciones ambientales adversas que se contraponen en diferentes épocas del año, como por ejemplo el uso de calefacción (sea por ganancias internas, o calefacción solar activa), así como sistemas de ventilación o refrigeración en épocas de verano **[12]**. Estos sistemas, conforman los reguladores térmicos del espacio interior, los cuales se ajustarán a los requisitos climáticos, que al combinarse con ventilación pueden resultar sistemas mixtos de HVAC. En entornos o épocas frías, el ingreso de aire exterior se puede restringir a ciertas zonas, o en su mayoría de casos, a proporcionar de sistemas de bobinas con calentamiento en las unidades de ingreso de aire. Por el contrario, lugares o temporadas de excesivo calor, pueden suscitar dos situaciones diferentes, una en que la dinámica térmica interior se equilibre simplemente por ingreso del aire exterior, inducido adicionalmente por el movimiento y velocidad de este; y la segunda, en que un espacio requiera un mayor esfuerzo por refrescar el ambiente, en el que adicional a la ventilación se incluirían bobinas de enfriamiento **[19]**.

En breves rasgos, los defectos más comunes para un ambiente adecuadamente ventilado, suele ser problemas con la contaminación interior y exterior, producto de insuficientes entradas de aire o escaso volumen de renovación de aire. Del mismo modo, la incorrecta orientación o distribución de los puntos de ingreso del aire exterior, pueden ocasionar molestias como estratificación, zonas no ventiladas, y diferencias de presión que provoca corrientes de aire al interior, y genera implicaciones en los parámetros ambientales termo higrométricos al interior [17], y no de menor relevancia la posibilidad de que el ambiente exterior se encuentre más contaminado en relación al interior, en cuyo caso, serían necesarios procesos de depurado que retengan los elementos contaminantes como se muestra en la Figura 02. [24]

Según el tipo y tamaño de contaminante que se desea evacuar para evitar excesivas concentraciones en interiores, se pueden mencionar los siguientes, pero no los únicos, sistemas activos de ventilación: La ventilación mecánica, que puede ser específica o general, dependiendo del uso que tenga la edificación y del propósito de la extracción, que estará acorde al tamaño de las partículas a extraerse: tratamientos químicos, tratamientos térmicos, tratamientos mecánicos, limitación de ocupantes programadas, entre otros [19].

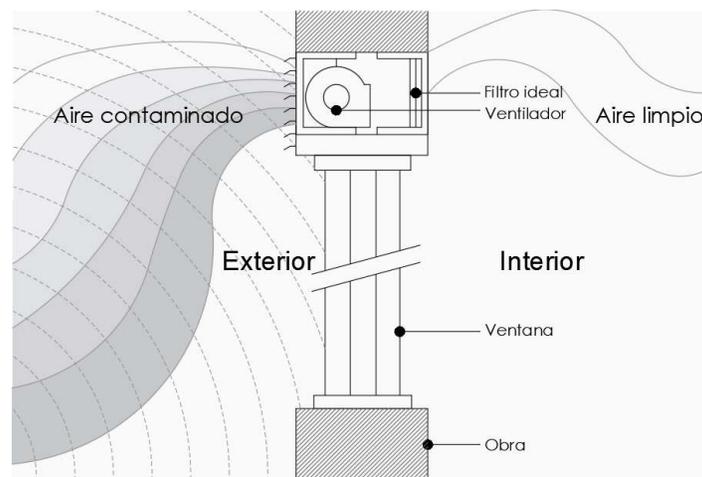


Figura 02. Mecanismo convencional de sistemas de ventilación mecánica.

Nota: Recuperado de F. Minichiello, Indoor air quality control by outdoor airflow variation in HVAC systems.

Además de estas problemáticas, muchos de los sistemas de HVAC, y con mayor frecuencia los de ventilación, poseen una caracterización escasa en relación a otras fuentes contaminantes en interiores, como materiales de construcción o productos de limpieza. Esto se debe a que los sistemas están diseñados para filtrar contaminantes, pero este efecto puede alterarse con su uso en el tiempo, tornándose en posibles fuentes de la contaminación que se pretende reducir, ya sea por liberación de partículas de los componentes, emisión de gases, u otros [18]. La planificación que los edificios mantienen con los sistemas activos convencionales de HVAC no siempre aportan con resultados satisfactorios, sea por cuestión de calidad de aire. [17]



Son varios los altercados que pueden incidir en la calidad de ventilación de sistemas cerrados como por ejemplo su falta de mantenimiento o calibración, flujos insuficientes de aire, baja eficiencia de los sistemas y arrastre de partículas presentes en el sistema. Dados estos inconvenientes de los sistemas mecánicos para la ventilación, y junto con los anteriormente expuestos en las deficiencias de ventilación de los edificios, no basta con controlar el intercambio de aire interior-exterior, pues el resultado puede ser contraproducente como se apreció en un edificio de oficinas de 19 pisos, el cual, al presurizar aire del exterior al interior, incurrió en un incremento del monóxido de carbono al interior al nivel del existente en la calle, con lo cual, no se logró mejorar los síntomas del síndrome del edificio enfermo. [18]

2.6. Vegetación para micro climatización y depuración de aire en interiores

Después del análisis mostrado, en que se presenta como principal problemática el elevado consumo energético para micro climatización en interiores, así como los inconvenientes que puede acarrear la deficiencia del IEQ, resulta necesario la búsqueda de nuevas alternativas que armonicen con los dos objetivos de amortización de consumo energético, y mejoramiento del IEQ interior.

La implementación de sistemas vegetales en edificios, es una alternativa relativamente nueva, con el potencial de reducir dichos consumos energéticos, y con una serie de beneficios ambientales, sea para estructuras nuevas o ya existentes, aplicándose en un enfoque sostenible para el desarrollo con calidad ambiental [22]. En este ámbito, la construcción y el diseño arquitectónico juegan un papel importante para la participación activa de la inclusión de dinámicas ecológicas para el desarrollo urbano, mejorando las relaciones sociedad-naturaleza, y alineadas a las necesidades locales, culturales y ambientales. Pero el papel que el arquitecto debe mantener en esta dinámica, es considerar a los ecosistemas vegetales, no solo como elementos ornamentales, sino planificando su adaptación con el objetivo de usarlas potencialmente con todos los beneficios bioclimáticos, salubres, e incluso económicos. El contar con sistemas vegetales pueden ofrecer beneficios como depuración de agua y aire, regulación del clima, producción de energía, sumideros de desechos, producción de energía, e incluso obtención de sustancias medicinales [35].

En ambientes interiores, se ha comprobado su potencial para limpieza del aire interior. A diferencia de los aires acondicionados convencionales, que solo filtran partículas de polvo, la vegetación tiene la capacidad de filtrar agentes gaseosos del aire urbano como, por ejemplo: Nitrógeno y óxidos de azufre, Dióxido de carbono (CO₂) y monóxido de carbono (CO). Como buenas noticias, casi en su totalidad, cualquier planta para interior tiene la capacidad



de remover agentes como los VOCs. Cualquier brote verde, con iluminación adecuada, logra eliminar el CO₂ y liberar similares cantidades de oxígeno. **[8]**

En un estudio realizado en China, se determinó también el potencial de la vegetación, bajo condiciones controladas en cámara hermética, para la remoción de formaldehído mediante plantas en macetas. En él se determinó la tasa de entrega de aire limpio de una planta, siendo este de un valor de 0.161 m³/h, siendo poco significativo en relación a la capacidad de filtros mecánicos que poseen una capacidad de entre 10 a 100 m³/h. Siendo así, para un cálculo referencial y bajo las norma ASHRAE 62.1-2010, se especifica la necesidad de renovación de aire en oficinas por un valor de 8.48 m³/h, y con una densidad de ocupación máxima de 5 personas/100m², el requerimiento para cumplir con estas condiciones mediante vegetación sería de aproximadamente de 894 plantas en maceta para dichos 100m², siendo impráctico su uso para la eliminación de formaldehídos. **[36]**

Debido a la gran variedad de plantas, contaminantes, y formas de aplicación, resulta complejo la determinación de eficiencia de la vegetación para depurar la totalidad del aire, tanto interior como exterior. Pese a ello, las estrategias de inclusión de infraestructura verde se vuelven más común cada vez, sea esta mediante envolventes como cubiertas verdes o muros vegetales, o en jardines. Aunque, su uso se vuelve más común, sigue encontrándose dificultades para la construcción, como los periodos extensos para cubrir una gran área, afecciones a la estructura principal por las raíces, problemas estructurales por exceso de peso dada a la retención de agua en los sustratos, o costos de renovación de especies o mantenimiento. **[22]**

Como se expresó antes, la gran variedad de vegetación y los propósitos para los que se pueden necesitar estas, convierte en una tarea dificultosa la elección de especies vegetales para su inclusión. En lo que compete a espacios interiores, no existen metodologías que permitan establecer parámetros de elección para su implementación, pero en el ámbito de envolventes, en Colombia, se determina una metodología por medio de una tabla de condicionantes que permite escoger vegetación adecuada según parámetros como uso, tamaños, habito, mantenimiento, entre otros. La metodología establecida en dicho estudio se desarrolla en dos etapas. La primera es el análisis de factibilidad de su inclusión. Para ello se recomienda revisar la Tabla 03, en la que se determinara si el propósito de incluir vegetación en la estructura se alinea a alguno de los objetivos expuestos ahí. **[35]**



Tabla 1. Efectos de la biodiversidad vegetal en las construcciones

Elemento	Efecto
Enfriamiento	Generación de sombras, incremento de la evapotranspiración, ahorro energético.
Reducción del efecto Isla de Calor	Reducción del calentamiento de superficies duras al ser reemplazadas por coberturas vegetales, reducción del consumo de energía por sistemas de aire acondicionado.
Mitigación de la contaminación atmosférica	La vegetación actúa como filtro verde, fija gases contaminantes y material particulado.
Mejora condiciones de drenaje	Incremento del tiempo de retención de aguas lluvias, lo que mitiga el impacto por inundaciones.
Mejora calidad de vida humana	Produce oxígeno y captura dióxido de carbono, actúa como barrera para el ruido, genera influencia positiva en el equilibrio psicossomático de los habitantes.
Aumenta vida útil de las construcciones	Protege las cubiertas y fachadas del agrietamiento y la degradación por elementos del ambiente como los rayos UV.
Generación de espacios verdes	Nuevas áreas para el disfrute y el esparcimiento, posibilidad de implementar estrategias de agricultura urbana.

Fuentes: (Wong & Chen, 2009; Lucket, 2009; Hitchmough & Fieldhouse, 2004).

Tabla 03. Efectos de la biodiversidad vegetal en las construcciones.

Nota: Recuperado de Tomás Bolaños-Silva. (2011). Consideraciones y selección de especies vegetales para su implementación en ecoenvolventes arquitectónicos: una herramienta metodológica. Revista nodo

Según las propiedades que se desee otorgar al edificio, los sistemas verdes poseerán características específicas de sustratos, especies botánicas, drenajes, entre otros. De estos quizá, el más complejo, es la selección de especies botánicas debido a que dependiendo el espécimen se conseguirá diferentes efectos y funciones, sean estos para efectos estructurales, valor agregado, depuradores de aire, termorreguladores o estéticos. Entre las condicionantes para la selección de especies vegetales se pueden mencionar:

- Información sobre la biología (morfología, fenología, floración, fructificación, anual, perenne, tipo de sustrato, requerimientos de agua, rango de temperatura).
- Contexto del lugar: condiciones climáticas del sitio a implantar.
- Elementos de políticas públicas nacionales y/o locales: políticas sobre biodiversidad, por ejemplo.
- Apariencia, las plantas herbáceas ofrecen diversas formas y colores.
- Elegir la altura final de las plantas.
- Seleccionar siempre especies nativas, es decir, las propias del país y de la región donde se realizará el proyecto, y no recurrir a especies exóticas o foráneas (especies introducidas, oriundas de otros países o regiones), puesto que algunas pueden tener un potencial invasor que atenta contra la biodiversidad local.

Este punto es altamente importante en la selección de especies para envolventes exteriores, debido a que dichas especies logran una adaptación más adecuada al medio típico exterior. Sin embargo, para el fin del trabajo presentado, se opta por obviar esta recomendación debido a que las especies nativas no lograrían adaptarse a espacios interiores que cuentan con condiciones de iluminación, temperatura y humedad diferentes a las del exterior.



- Control de oferta de especies, requerimientos biológicos, mantenimiento y disponibilidad de individuos para su posible reemplazo.

Finalmente, la matriz de selección de especies, procurando evitar la subjetividad en la elección de especies vegetales, recrea una tabla de valoración numérica para cada parámetro a considerarse, valorando las diferentes características de la especie botánica [35]. (Para ampliación de la descripción de cada intervalo de la matriz se puede recurrir al documento completo expuesto en la bibliografía de este documento).

2.7. Calidad de aire en Ecuador y la ciudad de Cuenca

Según la Organización Mundial de la Salud, se establece al aire limpio como un requerimiento básico de la salud humana y su bienestar, por lo que la contaminación del aire se mantiene como una amenaza significativa a la integridad de las personas a nivel mundial. Estas declaraciones, despertó en Ecuador la necesidad de alinearse y focalizar esfuerzos con el objetivo de alcanzar una calidad de aire adecuada para sus ciudadanos.

La calidad de aire en Ecuador ha sido poco tratada sobre todo en términos de espacios interiores. Son escasos los estudios, análisis e investigaciones sobre la contaminación del aire y sus efectos en la salud, pero también se lo relaciona, aunque no se han establecido aún, con posibles efectos contraproducentes en la economía del país. Los problemas para realizar análisis competentes en este ámbito se ven restringidos a la falta de información y/o monitoreo en el territorio. Así pues, en la ciudad de Guayaquil, no existe redes permanentes de monitoreo de la calidad de aire. La ciudad de Quito, capital del país, es la principal fuente de información de este tema, y en Cuenca, con datos existentes por parte de la Empresa de Telecomunicaciones, Agua Potable y Alcantarillado de Cuenca (ETAPA), se ha determinado que, en comparación a la ciudad de Quito, son de menor consideración los niveles de contaminación. Para el año 2010, Ecuador presentó su "Plan nacional de la calidad de aire", en el cual estructura diferentes políticas y estrategias ambientales alineados con propósitos como: el uso eficiente de recursos (agua, aire, suelo); disminuir la vulnerabilidad social, económica y ambiental; prevención y control de la contaminación ambiental, incrementar la participación ciudadana, entre otros. Para cumplir con este objetivo, algunas de las acciones tomadas incluían la medición constante de existencia de contaminantes del aire, así como la determinación de sus niveles de concentración en el tiempo, logrando un diagnóstico adecuado. Desafortunadamente, se concluyó tras este proceso que los datos obtenidos fue información insuficiente y poco sistematizada, lo que impide tener una lectura consistente de las condiciones del país. [25]



En el 2015, diferentes objetivos de desarrollo sostenible fueron tratados en las Naciones Unidas, haciendo hincapié en el desempeño energético y el entorno climático cambiante. Otro evento enfocado en el mismo ámbito, se manifestó en Quito, siendo la sede en la cual se desarrolló la conferencia de Hábitat III, el cual dicto normas y propuestas para un futuro sostenible de la humanidad.

Con estos antecedentes, Ecuador plantea también en su plan del buen vivir, desarrollado para el periodo 2013 – 2017, enfocarse a temas relacionados con la habitabilidad y eficiencia energética, pero esta vez, se plantea sin dejar de lado términos como vivienda digna y confort. [26]

Dentro del Plan Nacional del Buen Vivir, se gestionan proyectos ambientales enfocados a obtener una adecuada calidad del recurso aire. Los monitoreos efectuados en 10 ciudades del país, mostraron registraron valores fuera de los rangos permisibles, considerándose a Santo Domingo y Milagro como las ciudades de mayor riesgo.

A nivel nacional, las emisiones de gases de efecto invernadero incrementaron más del 50% en relación a los 16 ultimo años, siendo el mayor culpable el sector agrícola, seguido por sectores como la silvicultura. Además, existen proyectos previos de mecanismos de desarrollo limpio, están haciendo esfuerzos por reducir las emisiones de CO2 hacia el ambiente y la atmosfera. [27]

Dentro del territorio, proyectos como “Calidad del Aire”, a cargo de la Fundación Natura, ha efectuado estudios del efecto de la contaminación atmosférica en la ciudad de Quito. Para el año 2000, se mostró un incremento de enfermedades respiratorias en escolares de Quito, atribuido a la contaminación ambiental, sobre todo aquella de origen vehicular. Así mismo, otro estudio determino en el 2002, el riesgo potencial para desarrollar infecciones respiratorias en escolares, en sitios de mayor concentración vehicular. En el 2003, la Fundación Natura, en un nuevo estudio, determina el alto impacto económico que la calidad de aire representa al país, mostrando en la Tabla 04 los casos ligados a infecciones respiratorias, la cual, en un periodo de 9 años, ascendió en 34 millones de dólares en costos de salud. Quito, en su “Informe anual de la calidad de aire” correspondiente al 2006, hallo como principal problema de contaminación las emisiones de particulado fino. [25]

Provincia	Casos registrados de Infecciones Respiratorias Agudas
Carchi	18 360
Imbabura	30 302
Pichincha	140 005
Cotopaxi	23 092
Tungurahua	25 200
Bolívar	2 642
Chimborazo	31 764
Cañar	12 749
Azuay	41 339
Loja	36 660
Esmeraldas	51 334
Manabí	156 152
Los Ríos	60 708
Guayas	232 540
El Oro	68 190
Sucumbíos	12 734
Napo	1 390
Orellana	5 314
Pastaza	6 871
Morona Santiago	21 148
Zamora Chinchipe	11 533
Galápagos	1 717
TOTAL	991 744

Tabla 04. Casos registrados de infecciones respiratorias agudas en el Ecuador.

Nota: Recuperado de Ministerio del ambiente Ecuador. Plan Nacional de la Calidad del Aire.



En la ciudad de Cuenca, lugar donde se desarrolla la fase experimental y desarrollo de este trabajo, ha sido también participe de varios estudios sobre calidad de aire, sin embargo, se limita a estudios en exteriores.

Se presentó un estudio basado en la contaminación del aire del Centro Histórico de esta ciudad, en el cual se determinó niveles elevados, por sobre los recomendados en normativa, de VOC, NO y SO₂. Otros estudios puntuales, muestran niveles, por debajo de las recomendaciones máximas de la Organización Mundial de la Salud (OMS), de compuestos como el NO₂ y O₃, siendo en el centro histórico los niveles más altos encontrados.

A finales del año 2003, por un periodo de casi dos años, la Universidad de Cuenca, junto al Centro de Estudios Ambientales, la Agencia Belga de Cooperación Internacional y la Comisión de Gestión Ambiental de la Municipalidad de Cuenca, monitorearon las emisiones producida por vehículos a gasolina. De estos estudios, se obtuvo que los niveles de partículas finas superan a los permitidos en la normativa, mientras que las emisiones de gases en algunas zonas no cumplen con los niveles legales [25].

2.8. La calidad de aire en ambientes escolares

En el ámbito educativo y laboral, son amplios los estudios realizados en relación a la calidad del aire interior y los efectos sobre la salud y rendimiento de los ocupantes. Existen varios trabajos que justifican la importancia de la regulación y control del ambiente interior, y no solo en cuando al IAQ.

Para el alumnado de un centro educativo, la falta de una ventilación suficiente, puede generar los problemas antes vistos como síntomas de infecciones respiratorias o irritaciones, pero para estos casos en particular, también, representa problemas de aprendizaje [30] [33]. La importancia del control del aire en las aulas es una preocupación mayor dado que los problemas o impactos no son fácilmente reconocibles en niños particularmente. A corto plazo, puede generarse reducción de la productividad del personal, y degradar el entorno de aprendizaje estudiantil [31]. Además, la situación en infantes y niños requiere de mayores esfuerzos para garantizar la calidad ambiental, dado que el sistema inmune a esa edad no está desarrollado en su totalidad, convirtiéndolos en seres más propensos a las complicaciones explicadas anteriormente. [34]

En un estudio realizado en Hong Kong, se encontró que, al interior de las escuelas analizadas, los niveles de CO₂, VOCs, y polvo, estaban por encima de los normados y recomendados. En otro análisis de Canadá, se encontró una correlación importante entre la humedad interior y el ausentismo, y una mejora del 20% al regular este parámetro. [31]



Los factores determinantes para establecer la calidad de aire en ambientes educativos se extienden a la actividad humana, número de ocupantes, duración de clases y el local en sí mismo. La actividad humana, influye como fuente de contaminación, dado que los niveles de TVOC, mostro que el CO₂ proveniente de los humanos fueron la mayor contribución en la contaminación interior **[31]**. La concentración de CO₂ es un componente potencial en la contaminación interior dado que el ocupante asimila el oxígeno interior “reemplazándolo” por esto. Por ello la concentración de CO₂ es un buen indicador de los niveles de contaminación interior o las tasas de ventilación. Cuanto mayor es la concentración del CO₂, menos eficiente resulta la ventilación. **[32]**

Un estudio experimental revelo que el nivel de ocupación afecta directa y negativamente la calidad del aire interior, basados en la concentración de dióxido de carbono como índice de evaluación. En la actividad humana de estudio, que representa niveles superiores a la actividad sedentaria, en la que se emiten 19 l/h de CO₂, por lo que este factor multiplicado por una mayor cantidad de estudiantes, se torna un factor relevante en la percepción del usuario. Así, se demuestra una relación proporcional entre el porcentaje de personas insatisfechas por la calidad del aire interior y los niveles medidos de CO₂. También juega un papel importante el tiempo de exposición temporal a estos ambientes. **[33]**

Está comprobado así, que la renovación de aire insuficiente ocasiona directamente una calidad de aire interior deficiente, pero, ¿es necesario aumentar la tasa de ventilación? Debido a que la infiltración de aire exterior al interior, en las épocas frías, representan un mayor consumo energético en calefacción **[30]**, se debe encontrar otra alternativa que logre regular los niveles de contaminación interior sin comprometer los parámetros de confort térmico, y a su vez, sin necesidad de intensificar el desgaste energético de la estructura.

Más allá del bienestar al que tiene derecho todos los ocupantes, el clima interior es de suma importancia para no comprometer la salud de los estudiantes y a su vez maximizar el rendimiento académico **[33]**. Por ello el IAQ debe ser propicio para tales propósitos. Todos los esfuerzos por preservar la calidad ambiental en interiores educativos, acarrea beneficios en términos de salud, comodidad, aprendizaje, academia, e incluso economía. **[34]**

Búsquedas en bases de datos como Science-Direct, PubMed, revelan un incremento en el interés y las investigaciones relacionadas a esta temática **[34]**. Desafortunadamente, y como se logró ver en apéndices anteriores, los estudios a nivel nacional son muy escasos en cuanto a calidad de aire se refiere, más aun, la calidad del aire interior en todo tipo de edificio



2.9. Normativas y métodos de medición

2.9.1. Normativas internacionales

"Diferentes organizaciones internacionales, como la Organización Mundial de la Salud (OMS) y el Consejo Internacional de Investigación de Edificios (International Council of Building Research, CIBC), organizaciones privadas como la ASHRAE, países como Estados Unidos y Canadá, entre otros, están estableciendo normas y directrices de exposición." (Guardino X, 1998).

EPA, por sus siglas en inglés "Environmental Protection Agency", en Estados Unidos, establece ya parámetros o márgenes aceptables en cuanto a la concentración de ciertos contaminantes, pretendiendo velar por el bienestar humano, evitando los efectos adversos que estos puedan tener. De la misma forma, la ASHRAE-92, utiliza dichos criterios para su determinación de la tasa de renovación de aire en edificios. Aunque estos análisis logran dar una pauta para la conservación del IAQ, no se especifican temas como el tipo de exposición. Con respecto a sustancias de mayor riesgo o sustancias cancerígenas, también establecen un factor denominado unidad de riesgo, intentando determinar la probabilidad de contraer la enfermedad al ser expuesto durante toda su vida a en $1 \mu\text{g}/\text{m}^3$ del contaminante, como arsénico, cromo, níquel, entre otros [17].

2.9.2. Normativa Ecuatoriana

Al igual que las normas internacionales, Ecuador desarrollo una norma con el fin de preservar la salud de las personas, preservar la calidad del medio ambiente y ecosistemas, para cuyo objetivo, establecen límites máximos permisibles de contaminantes en el aire a nivel de suelo.

Los contaminantes tratados en esta normativa se dividen en dos categorías, los considerados convencionales, entre los que se encuentran:

- Partículas Sedimentables.
- Material Particulado de diámetro aerodinámico menor a 10 (diez) micrones. Se abrevia PM10.
- Material Particulado de diámetro aerodinámico menor a 2,5 (dos enteros cinco décimos) micrones. Se abrevia PM2,5.
- Dióxido de Nitrógeno NO₂.
- Dióxido de Azufre SO₂.
- Monóxido de Carbono CO.
- Ozono O₃.

Y aquellos contaminantes no convencionales con efectos tóxicos y/o carcinogénicos, considerados los siguientes:

- Benceno (C₆H₆).
- Cadmio (Cd).



- Mercurio inorgánico (vapores) (Hg).

Para el interés de este trabajo, se muestra la norma de niveles permisibles de dióxido de carbono (CO₂):

Dióxido de Carbono

Es un gas incoloro e inodoro formado a partir de la combustión de sustancias con contenido de carbono. En interiores, sus principales fuentes son la respiración humana y quema de tabaco. La concentración elevada, mayor a 30.000 ppm en el ambiente, puede ocasionar dolores de cabeza, mareos, somnolencia y problemas respiratorios. Los niveles exteriores usuales fluctúan entre 300y 400 ppm, llegando a 550 o más ppm en la zona urbana.

Acorde a la (LEP-VLA) del INSHT, la exposición permitida en entorno profesional como oficinas y escuelas, varía entre 8 horas diarias ante 5.000 ppm, y exposiciones cortas hasta 15 minutos de 15.000ppm. En los entornos mencionados, la concentración usual de este componente se encuentra en rangos de 2.000 hasta 3.000 ppm. [37]

2.9.3. De los planes de alerta, alarma y emergencia de la calidad del aire.

La Autoridad Ambiental de Aplicación Responsable acreditada ante el Sistema Único de Manejo Ambiental establecerá un Plan de Alerta, de Alarma y de Emergencia ante Situaciones Críticas de Contaminación del Aire, basado en el establecimiento de tres niveles de concentración de contaminantes. Las acciones tomadas en cada nivel se establecen a continuación:

En Nivel de Alerta y Alarma, se deberá informar al público, mediante los medios de comunicación, del establecimiento del Nivel de Alerta; restringir la circulación de vehículos, así como la operación de fuentes fijas de combustión en la zona en que se está verificando el nivel de alerta para uno o más contaminantes específicos.

En Nivel de Emergencia, se informará al público del establecimiento del Nivel de Emergencia. Se debe prohibir la circulación y el estacionamiento de vehículos, así como la operación de fuentes fijas de combustión en la zona en que se está verificando el nivel de emergencia. Además, se debe extender estas prohibiciones a todo el conjunto de fuentes fijas de combustión, así como vehículos automotores, presentes en la región bajo responsabilidad de la Autoridad Ambiental de Aplicación Responsable acreditada ante el Sistema Único de Manejo Ambiental. [28]

Se definen los siguientes niveles de alerta, de alarma y de emergencia en lo referente a la calidad del aire. Cada uno de los tres niveles será declarado por la Autoridad Ambiental de Aplicación Responsable acreditada ante el Sistema Único de Manejo Ambiental cuando uno o más de los contaminantes criterio indicados exceda la concentración establecida en la (Tabla 05) o cuando se considere que las condiciones atmosféricas que se esperan sean desfavorables en las próximas 24 horas.



CONTAMINANTE Y PERIODO DE TIEMPO		ALERTA	ALARMA	EMERGENCIA
Monóxido de Carbono Concentración promedio en ocho horas ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)		15000	30000	40000
Ozono Concentración promedio en ocho horas ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)		200	400	600
Dióxido de Nitrógeno Concentración promedio en una hora ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)		1000	2000	3000
Dióxido de Azufre Concentración promedio en veinticuatro horas ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)		200	1000	1800
Material particulado PM 10 Concentración en veinticuatro horas ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)		250	400	500
Material Particulado PM 2,5 Concentración en veinticuatro horas ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)		150	250	350
Contaminante no convencional	Nombre, referencia y descripción del método			

Tabla 05. Índices de alerta para la concentración de agentes en el aire.

Nota: Recuperado de Norma Ecuatoriana de Calidad del Aire, 2011. Texto Unificado de Legislación Secundaria del Ministerio del Ambiente.

2.9.4. Métodos de medición

Uno de los indicadores más importantes de la calidad de aire de un ambiente es la percepción de las personas, quienes reconocen olores o cualidades irritantes ante ciertos componentes, por lo que los valores de referencia actualmente utilizados tienden a cubrir la posibilidad de percepción por un gran número de ocupantes. Esto se explica debido a que los sentidos del ser humano son sensibles a efectos olfativos e irritantes de cerca de medio millón de compuestos químicos. Claro que, la concentración en muchos casos, no es perceptible a menos que se encuentre en niveles críticos, pero eso no significa que las concentraciones menores no estén afectando el bienestar de los usuarios. Por ello esta connotación solo es aplicable a ambientes industriales con contaminantes específicos. Caso contrario, en edificios no industriales con concentraciones mucho menores de millares de sustancias en el aire, no se puede predecir la calidad del aire mediante este "método". [17]

Para lograr determinar estos contaminantes al interior, pueden usarse métodos activos de monitoreo o muestreo, ya sea por lapsos de tiempo, o de tiempo completo.

En Ecuador, la responsabilidad del monitoreo de las concentraciones de contaminantes en el aire, está bajo la dirección de la Autoridad Ambiental de Aplicación Responsable acreditada ante el Sistema Único de Manejo Ambiental. Los equipos, métodos y procedimientos usados, tienen referencia en los detallados en la legislación ambiental federal de los Estados Unidos de América (Code of Federal Regulations, Anexos 40 CFR 50), por las Directivas de la Comunidad Europea y Normas de la American Society for Testing and Materials (ASTM). [28]

Los métodos para medición de contaminantes en el aire, se especifican en la Tabla 2. Métodos de medición de concentraciones de contaminantes criterio del aire, presente en la "Norma Ecuatoriana de Calidad del Aire". Lastimosamente, solo se encuentran presente los diferentes componentes



señalados en la normativa ecuatoriana, presentada anteriormente. En ella, se citan diferentes métodos, dependiendo del contaminante, como:

- Uso de envases, para captación de muestras de partículas colectadas, siendo clasificadas en solubles e insolubles.
- Uso de los denominados métodos de medición continua, tanto del tipo Microbalanza Oscilante como el tipo Atenuación Beta. En el primer caso, el equipo muestreador, equipado con entrada aerodinámica PM10, posee un transductor de masa de las oscilaciones inducidas por el material particulado. En el segundo tipo, el equipo muestreador, con entrada PM10, contiene una fuente de radiación beta que determina la ganancia de peso en un filtro, a medida que este experimenta acumulación de partículas.
- Podrá ser utilizado el método pasivo referido en la Norma Europea EN 13528-1:2002, EN 13528-2:2002, EN 13528-3:2002, y deben aplicarse en conjunto en áreas sin riesgo de exceder los valores límite que fueron determinados previamente.
- Determinar la concentración de monóxido de carbono mediante el cambio en absorción de energía infrarroja en diferentes longitudes de onda, entre otros. **[28]**

El dióxido de carbono (CO₂), aunque no consta en los cuadros de la normativa ecuatoriana, también resulta útil como indicador de la calidad de aire interior o el buen sistema de ventilación de un edificio, más aún en aquellos con niveles elevados de ocupación. El Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo INSHT, considera valores de hasta 1000 ppm, como los aceptables al interior. Este índice resulta tan solo como un parámetro indicativo mas no perceptivo, de la calidad del aire interior **[29]**. En otros entornos, se ha encontrado también una relación inversa proporcional significativa en cuanto a los niveles de CO₂ (entre otros contaminantes) y las tasas de renovación de aire. **[18]**



2.10. Influencia de la vegetación en el IEQ. Investigaciones y antecedentes.

Como parte de los esfuerzos globales por incurrir en esta búsqueda de nuevos métodos para alcanzar los mejores estándares de calidad de ambiente interior, varias investigaciones ya han aportado en la construcción de conocimiento del efecto positivo que la inclusión de vegetación logra en interiores.

Así, desde ya los años 80, entidades como la NASA, realizan investigaciones en búsqueda de nuevas formas para tratar el IAQ, quienes, tras un proceso experimental, determinan el potencial de diferentes especies vegetales capaces de reducir ciertos contaminantes específicos del aire en espacios interiores (proyecto previsto para su integración en estaciones espaciales), siendo favorable su resultado como elemento depurador del aire en interiores [7].

La problemática de calidad de ambiente en espacios de alta concentración de personas, despertó también investigaciones más profundas para entender la causalidad y percepción de los usuarios. La determinación de la contaminación en interiores en estudios como el realizado en Tianjin, China, muestran una clara realidad de la problemática actual, donde se realiza un análisis sobre la calidad del ambiente interior en cuatro edificios públicos. El estudio comprende la determinación de la concentración de contaminantes como CO₂ y formaldehído en comedores y oficinas respectivamente, ambos ocasionados por un déficit de ventilación o renovación de aire. De la misma manera, se encuentra un déficit en la limpieza y mantenimiento de los sistemas de "HVAC (heating, Ventilation and Air Conditioning)". Todos estos factores encarecen el IEQ de los locales comerciales, y por ende el confort percibido por sus usuarios [9]. Del mismo modo, un estudio exhaustivo para evaluar la conexión entre IEQ en edificios finlandeses de 297 escuelas primarias y la salud y rendimiento académico de estudiantes, mediante encuestas de síntomas de salud y confort, demuestra índices de disconfort más comúnmente en el ámbito acústico, térmico y la calidad del aire, obteniéndose de este muestreo disconformidad ante el ruido (11.0%) y la congestión del aire / mala calidad del aire interior (IAQ) (7.0%), que también se encontraron con mayor frecuencia por encima del 95% CI en el grupo, junto con la alta temperatura interna y polvo o suciedad. [10]

En cabio, entidades académicas como la Universidad tecnológica de Sydeney, en años más recientes, comprobaron el impacto de la vegetación en trabajadores en el ámbito de espacios interiores en edificios de oficinas y plazas de trabajo. Producto de ello, comprueban el beneficio que la vegetación ofrece al ambiente donde se desenvuelven los trabajadores, entre los cuales consta la reducción de la contaminación del aire, reducción de síntomas y enfermedades, disminución del estrés, incremento del rendimiento y productividad, así como también la satisfacción del trabajador [8]. Otra investigación similar, muestra la preferencia y el valor agregado que estudiantes del Politécnico de Torino perciben en los espacios que poseen sistemas de vegetación interior en relación a aquellos que no, justificando el atractivo que



presentan y la sensación de disminución de estrés que esta conexión con la naturaleza propicia **[50]**. Más allá de la contribución al IAQ y el confort psicológico humano, que la inclusión de vegetación otorga a espacios interiores, también se ha comprobado dentro del acondicionamiento bioclimático interior su influencia en términos térmicos y acústicos, demostrando que la vegetación interior vertical fue capaz de reducir el aumento de la temperatura en más de 5°C y reducir niveles de sonido entre un 2% a 8% bajo **[51]**.

Los beneficios conferidos a la implementación de especies vegetales en espacios interiores son un efecto científicamente comprobado, por lo que su aplicación es el campo de estudio que compete a este trabajo. Al igual que en los espacios de trabajo, los espacios educativos requieren de un ambiente sano y confortable que propicien las actividades pedagógicas tanto por parte del personal docente, así como también del alumnado. Un índice deficiente de IEQ en las aulas representa un riesgo para la salud del usuario, así como también afecta su rendimiento.

Continuando con estas premisas investigativas, este estudio se centra en la determinación de la eficiencia y rendimiento de la inclusión de especies vegetales en espacios interiores educativos como depuradores del ambiente interior, analizando las condiciones adecuadas para la co-existencia de plantas y su interacción con el espacio y el usuario.



3. CAPÍTULO II: METODOLOGÍA

3.1. Tipo y nivel de investigación

Considerando que en el estudio realizado se estableció un ensayo de campo, en el cual se manipularon variables tales como infiltración de aire y presencia de vegetación, dentro de un ambiente de aula monitoreado en situación real, la investigación se enmarca dentro del tipo **Investigación experimental**. También se considera como **investigación hipotética-deductiva** en el cual se procede a verificar el efecto positivo que se asume de las investigaciones revisadas, sobre la vegetación en interiores, esta vez aplicada a entornos educativos, contemplando su posterior verificación.

El nivel de la investigación es de carácter integrativo, aprehensivo y perceptual con el fin de obtener la mayor cantidad de datos acerca de las diferentes interacciones del ambiente, establecidos por parámetros numéricos ambientales, y niveles perceptivos de confort de los usuarios, para una posterior correlación entre ambos tras métodos de análisis y comparación entre periodos del experimento.

3.2. Diseño del experimento

Para el planteamiento del experimento se emplea un enfoque combinado, siendo considerados el análisis de un aula "cero", mediante su evaluación climática a través de dispositivos de medición cuantitativa, y de la misma manera, el análisis de la percepción de los usuarios mediante encuestas cualitativas cronológicas según el confort de cada individuo se va afectando transcurrido el tiempo de estancia al interior del aula. La obtención de datos de ambos sistemas de medición, se someten a un análisis comparativo para asociar la información cualitativa y cuantitativa.

El análisis se realiza mediante la experimentación en un espacio educativo de uso diurno en la ciudad de Cuenca, donde se logre determinar el potencial que posee la inclusión de paisajes vegetales interiores. Los parámetros a ser evaluados son principalmente los niveles de contaminación de CO₂ (dióxido de carbono), y el confort perceptivo del ambiente por parte de los estudiantes (las mediciones se comparan con los estándares establecidos según normas internacionales y locales resumidos en la **Tabla 06**. Adicionalmente se realizan mediciones paralelas higrotérmicas. Complementando este análisis, se culmina el estudio con el planteamiento de ciertos criterios de diseño del espacio para su integración arquitectónica, que permita y facilite la implementación de paisajes vegetales en interiores, con las condiciones óptimas para su desarrollo, como son radiación solar o lumínica diaria, requerimiento de suelo, e irrigación.



El diseño metodológico de esta investigación está distribuido en dos etapas. La primera consta de la toma paralela de los datos cuantitativos y cualitativos en el aula "cero", entendiéndose por aula cero a un salón de clases típico del centro de educación superior "Universidad de Cuenca", adecuado para el propósito, en donde se encontrará únicamente el personal docente y el alumnado durante el periodo de clases regular del grupo. En la segunda, se propone la misma dinámica de toma de datos, con la diferencia que estarán incluidas las especies vegetales en contenedores para comparar el ambiente recreado antes y después de su implementación.

El tiempo de duración de levantamiento de datos es de una semana, asemejándose al propuesto por investigaciones similares, las cuales han obtenido resultados significativos y relevantes para la construcción del conocimiento. En ellos los periodos de tiempo son de 5 días (laborables) y otro durante una semana completa [52] [53].

Tabla 06. Resumen de estándares climáticos de interés establecidos según normas nacionales e internacionales.

Nota: Recuperado de Indoor Environmental Quality of Urban Residential Buildings in Cuenca—Ecuador: Comfort Standard. Felipe Quesada Molina, David Bustillos Yaguana.

	Norma	Categoría	Valores
CONFORT HIGROTÉRMICO	PPD-PMV ISO 7730	20% PPD	Invierno: Tn=22°C (± 3.5°C)
			Verano: Tn=24°C (± 2.5°C)
		10% PPD	Invierno: Tn=22°C (± 2.5°C)
			Verano: Tn=24°C (± 2.5°C)
	ASHRAE 55 (Adaptativa)	20% PPD	Invierno: Tn=22°C (± 2.5°C)
			Verano: Tn=17.8°C + 0.31Tm (± 3.5°C)
		10% PPD	Invierno: Tn=22°C (± 2.5°C)
			Verano: Tn=17.8°C + 0.31Tm (± 2.5°C)
	EN 15251	20% PPD	Tn=18.8°C + 0.33Tm7 (± 3.0°C).
		10% PPD	Tn=18.8°C + 0.33Tm7 (± 2.0°C).
RITE, 2007	Estándar	Invierno: Tmin=20°C / Tmax=23°C Verano: Tmin=23°C / Tmax=25°C	
NEC-11, 2011	Estándar	Tmin=18°C / Tmax=26°C	
CALIDAD DE AIRE INTERIOR	ASHRAE 62.1 2007	Estándar	Máx 1000 ppm o 650 ppm sobre CO" exterior. ≥80% de satisfacción
	UNE 100011, 1991	Estándar	Máx 1000 ppm
	NEC-11, 2011	Estándar	Máx 650 ppm de CO2



3.2.1. Etapa 1.

La etapa uno contempla el registro de datos del espacio en su estado inicial (sin vegetación). Durante este periodo se llevarán a cabo las actividades cotidianas en los horarios establecidos normales. Se obtendrán los datos cuantitativos desde la estación climática programada para obtener datos cada 5 minutos, procurando que esta se mantenga inalterada de su posición inicial. El funcionamiento del aparato será establecido durante un periodo total de 7 días continuos, estableciéndose como primera hora las 01 horas del día lunes, y la hora final las 24 horas del día domingo.

Las encuestas al usuario son realizadas de manera gradual con el tiempo, aplicadas en cada hora de tiempo transcurrida al interior del espacio. El usuario será solicitado que marque la casilla en base a su propia percepción del espacio.

Una vez concluido el periodo de obtención de datos, se procederá a ventilar la habitación en su totalidad para recrear el ambiente inicial, comprobando mediante la estación climática que los parámetros ambientales volvieron al estado inicial.

3.2.2. Etapa 2.

Durante la segunda etapa se procede a incluir la vegetación dentro del espacio. La especie vegetal se implementa en fundas plásticas negras a manera de maceta. Esta vegetación se agrupa en la zona posterior del aula, contando con un total de 45 especímenes de la misma especie.

El espacio del usuario se conserva constante, así como la ubicación de la estación climática. La obtención de datos se realiza durante el mismo periodo de tiempo de la etapa uno, constando con el mismo inicio y final durante otra semana subsiguiente. Del mismo modo las encuestas serán aplicadas en cada hora acorde al diseño de la etapa uno.

Una vez culminada esta etapa se procederá a retirar la estación climática y a ventilar nuevamente el aula, así como retirar los sellos antes colocados en las aperturas de la misma, dando por concluida la última fase experimental en el aula.



3.3. Descripción del ámbito de la investigación

3.3.1. Ubicación geográfica. Contexto de la ciudad.

La investigación desarrollada, se realiza dentro del casco urbano de la ciudad de Cuenca, ubicada al sur de la Sierra ecuatoriana (*Figuras 03*). Las coordenadas geográficas de la ciudad son 2°53' latitud Sur y 79°0' longitud Oeste, y una altura de 2538 msnm. aproximadamente.

La temperatura de la ciudad oscila entre los 10.1°C a 21°C, contando con una temperatura media anual de 16.3°C. Al encontrarse en la zona ecuatorial, se puede apreciar dos épocas marcadas. La temporada de invierno, comprende los meses de diciembre a mayo, y el verano con la época más seca de junio a noviembre. El promedio anual de precipitaciones es de 73 mm/m²; el mes más seco es agosto con 13 mm/m²; mientras que el mes de abril es el que tiene las mayores precipitaciones del año con un promedio de 118mm/m². La humedad relativa oscila entre 40% y 85%. [31] [32].



Figura 03. Ubicación de la ciudad de Cuenca en Ecuador y Latinoamérica.

Nota: Grafico generado por el autor.



3.3.2. Campus de aplicación

La unidad educativa donde se aplica el experimento es la institución pública Universidad de Cuenca, ubicada en el centro del casco urbano de la ciudad (ver *Figura 04* y *05*), en las coordenadas latitud $2^{\circ}54'6.70''$ Sur y longitud $79^{\circ}0'37.93''$ Oeste.



Figura 04. Campus de aplicación del experimento.
Nota: Imagen extraída del visor en línea Google maps.

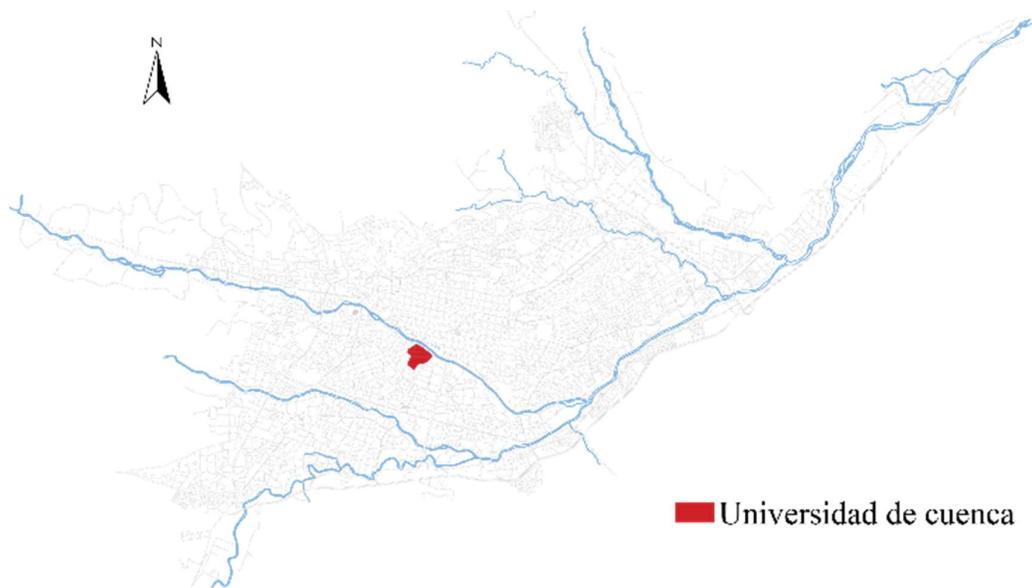


Figura 05. Ubicación de la Universidad de aplicación del experimento dentro de la ciudad de Cuenca.
Nota: Figura generada por el autor.



3.3.3. Aula "Cero". Aula preparada para la experimentación.

El experimento llevado a cabo se está enfocado a la obtención de datos en un ambiente "típico" educativo (aula) con una adecuación física para regular factores de infiltraciones de aire. El espacio escogido, es el aula denominada D202, ubicada en la tercera planta alta del edificio de Postgrados, dentro de la Facultad de Arquitectura. (ver figura 06).

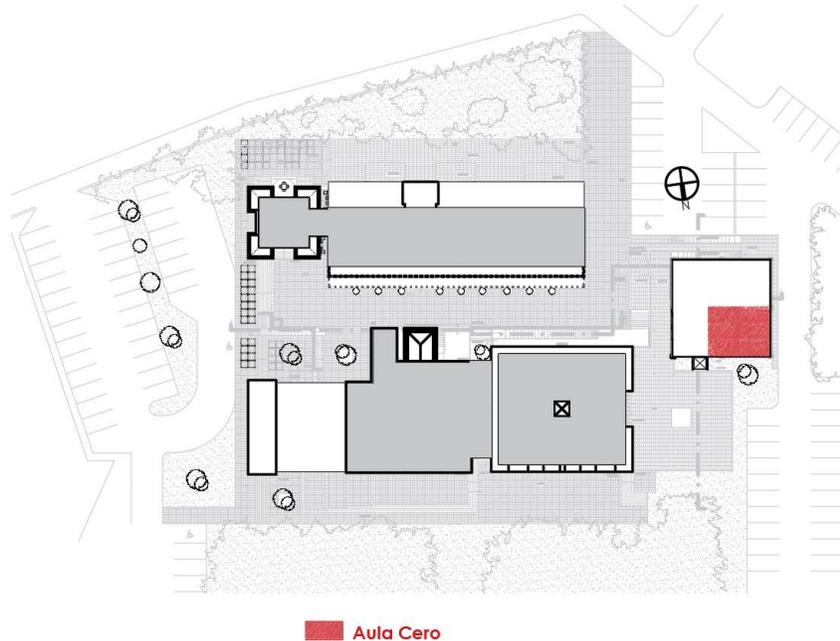


Figura 06. Ubicación del aula cero dentro de la Facultad de Arquitectura.

Nota: Figura generada por el autor.

La habitación cuenta con un espacio interior de 68.4 m^2 , y un volumen de 184.6 m^3 , con una proporción rectangular en planta como se puede ver en la Figura 07. En su fachada norte cuenta con una ventana dispuesta en franja horizontal con 5 paños abatibles y uno fijo, con una dimensión total de $3,6 \text{ m}$ de longitud y $0,6 \text{ m}$ de altura, a una distancia de 1.6 m del piso. El ingreso consta de una puerta de $2,1 \times 0,9 \text{ m}$, con acceso desde el pasillo de distribución localizado en la fachada este. Se puede apreciar el interior del aulario en la Figura 8.

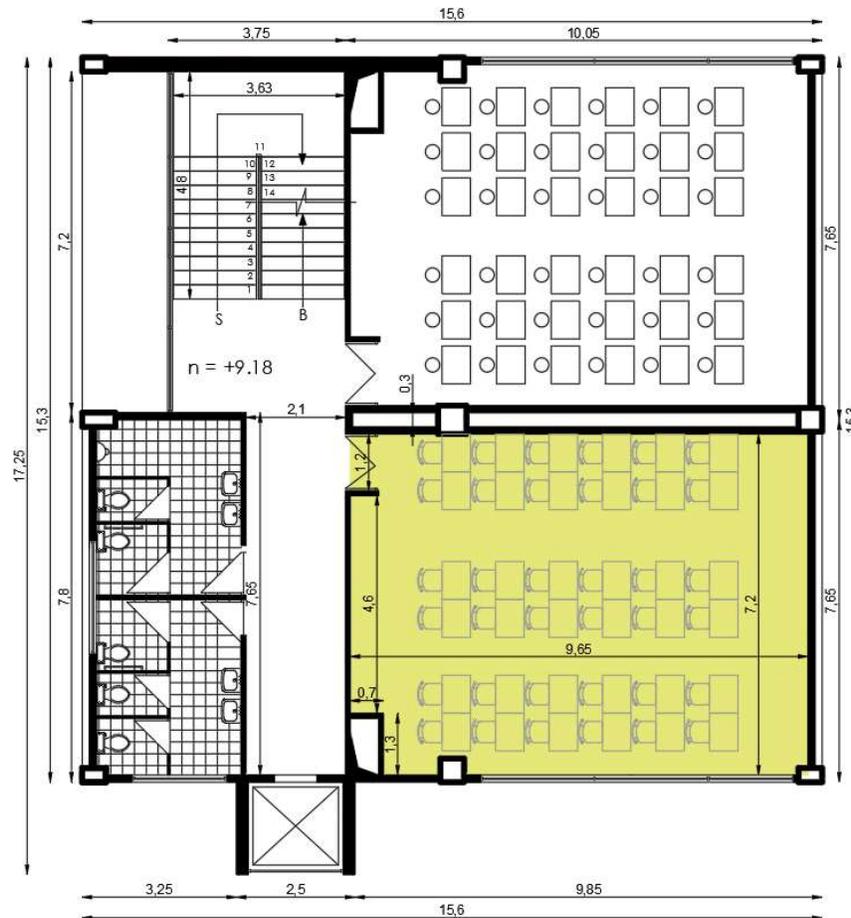


Figura 07. Planta del edificio que contiene el aula cero. 2da Planta alta.

Nota: Figura generada por el autor.

Las ventanas se encuentran selladas en el perímetro con silicón fría, y los bordes del marco de los paños abatibles se sellan con cinta gris procurando evitar infiltraciones de aire del exterior. La puerta conservara su uso cotidiano debido a que se plantea recrear un ambiente natural de las aulas educativas, donde los estudiantes tienen libre albedrío para ingresar y salir del espacio, la única condicionante modificada es la capacidad de ventilación natural del espacio (renovación de aire), y la presencia o no de vegetación. El propósito es aislar la habitación y las propiedades de interés, de la influencia de estos factores no esenciales que puedan modificar el objetivo del experimento, separando y aislando las propiedades climáticas de utilidad para el estudio.



Figura 08. Vistas interiores del aula cero. Fotografías en sitio.
Nota: Figura generada por el autor.

3.3.4. Población y Muestra

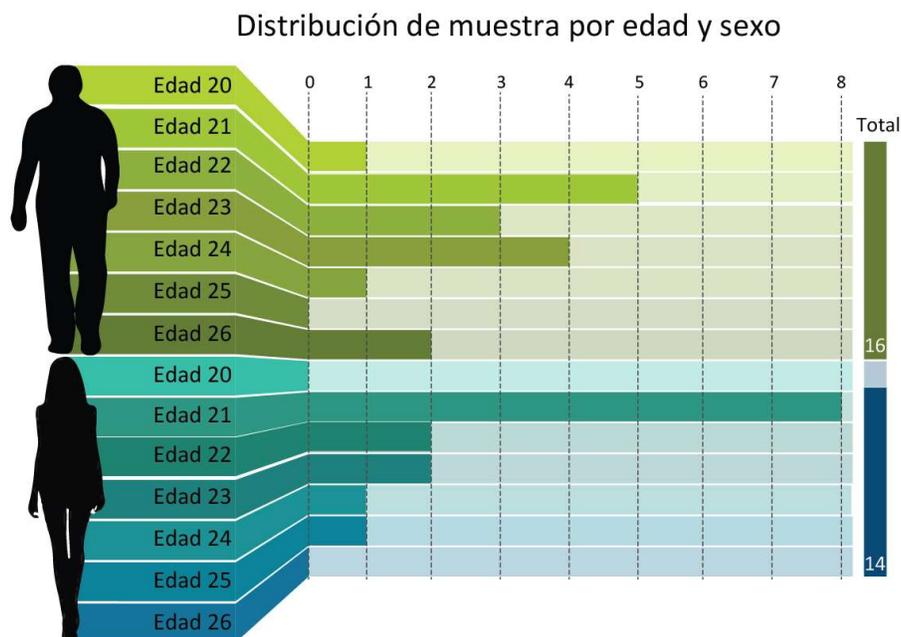
3.3.4.1. Población diana (población generalizable): El presente estudio, plantea confirmar la potencialidad de la implementación de especies vegetales con el objetivo de mejorar los niveles de confort interior, incrementar el rendimiento académico y eficiencia energética de los edificios educativos, esperando sea generalizable a todo centro de formación académica de diferentes niveles de educación.



3.3.4.2. Población de referencia: Dentro del sitio físico en donde se aplica el experimento, se determina a grupos de estudiantes que reciben formación académica de tercer nivel (universitarios), restringidos a aquellos que reciben instrucción dentro de la Facultad de Arquitectura. En ella no se encuentra restricción de género. Los rangos de edad admisibles quedan restringidos a los 18 años hasta los 25 años.

3.3.4.3. Muestra: La muestra se considera no probabilística debido a que la selección del grupo de control es determinada en función de su accesibilidad a criterio personal e intencional del investigador, por lo que no representa significancia a la generalización de los resultados, extrapolables a otros tipos de población que varíen de las condiciones de las aquí mostradas.

Para el caso de estudio fue asignado a un número constante de estudiantes (grupo de estudio), pertenecientes al tercer año de carrera de la Facultad de Arquitectura y Urbanismo de la Universidad de Cuenca. Este grupo consta de una repartición casi homogénea de hombres y mujeres, y edades similares comprendidas entre los 20 y 23 años. La distribución por edad y sexo se presenta en las Gráfica 1.



Gráfica 11. Distribución del grupo de experimentación por sexo y edad.

Nota: Gráfico generado por el autor.



3.3.5. Determinación de variables y equipos y técnicas de monitoreo

Variables	Dimensiones	Indicadores o rangos	Método de medición
Parámetros climáticos interiores	Temperatura	°C	Sensor térmico
	Humedad relativa	%	Sensor de humedad
	Concentración de dióxido de carbono	ppm	Sensor de gas CO2
Percepción del usuario	Percepción de temperatura	-3 a +3	Encuesta
	Percepción de variación de temperatura	-3 a +3	Encuesta
	Conformidad de la temperatura	1 a 7	Encuesta
	Percepción de la humedad	-3 a +3	Encuesta
	Percepción de la calidad de aire	-3 a +3	Encuesta
	Percepción del aroma	-3 a +3	Encuesta
	Conformidad del aire interior	1 a 7	Encuesta
Cantidad de vegetación	Área foliar	m2	Metodología aplicada

Tabla 07. Variables medidas en el experimento aplicado.

Como se mencionó anteriormente, el objetivo de este trabajo compete a un estudio mixto, cuantitativo - cualitativo, sobre la calidad de aire en interiores. Para ello, se logra usar métodos diferentes para cada fin, siendo un levantamiento de información en sitio el utilizado para los valores climáticos cuantitativos, entre los que constan valores de temperatura, humedad y ppm de CO₂; y una encuesta de percepción climática, para los valores cualitativos. Para ello, se determinan las variables mostradas en la Tabla 07, con su respectivo método de medición. [33]

3.3.5.1. Equipo tecnológico para monitoreo de parámetros climáticos (datos cuantitativos)

Para el propósito de recolección de datos cuantitativos, se procederá a utilizar una estación ambiental, misma que se programó para obtener datos de temperatura, humedad y concentración de CO₂ dentro del aula escogida cada 5 minutos durante el periodo de tiempo que el experimento duró.

Debido a que en el presente trabajo no se plantea la búsqueda de confort ambiental mediante ventilación, los datos continuos recogidos no seguirán el procedimiento típico para la determinación de ventilación dinámica. En su defecto, el nivel de CO₂ ambiental del exterior no será requerido y no será determinado en este trabajo.

De la misma manera, el uso de monitores de CO₂ facilita el trabajo debido a su fácil acceso, y al utilizarse un monitor portátil con capacidad suficiente de registro de partículas hasta concentraciones de 6000 ppm, concentraciones usuales en aulas mal ventiladas, facilita el montaje del mismo. Los datos a



obtenerse, deberán correlacionarse con la ocupación del salón, estableciéndose cantidad de usuarios y nivel de actividad física. [30]

Los instrumentos de medición fueron adquiridos en la Universidad de Cuenca, contando con una estación ambiental de cuatro terminales climáticos. Cada terminal contempla a la obtención de un parámetro de confort detallados a continuación:

- Terminal termómetro. Sensor Térmico.
- Terminal higrómetro. Sensor de humedad.
- Terminal medidor de gas. Sensor de gas de CO₂.
- Terminal de radiación solar (no utilizado).

De entre estos cuatro terminales se utilizará únicamente los medidores de temperatura, humedad, y concentración de CO₂.

Para su efecto el medidor será colocado en base a la normativa y especificación técnica del producto, siendo esta recomendada en utilizarlo a la altura útil del espacio. En el caso del experimento, los terminales de medición se colocan a la altura promedio de la boca de una persona sentada debido a que es la zona inmediata de inhalación y expulsión de CO₂, así como el rango de apreciación inmediato del ambiente para los usuarios dentro de la actividad al interior (figura 09). El aparato fue colocado mediante un pedestal de acero a la altura de 1,5m del nivel del piso, y en el centro geométrico en planta del aula.



Figura 09. Colocación de terminales de monitoreo en el aula cero.



Instrumento	Características	Datos
Caja de integración con instalación (Procesador)	Marca: DataLights Modelo: DL-Logger2015-mR	-
Sensor de temperatura (Thermistor)	Marca: Apogee Modelo: ST-100	°C
Sensor de humedad relativa	Marca: Omega Modelo: HX71-V1	HR, %
Sensor de dióxido de carbono	Marca: Vernier Modelo: Carbon Dioxide Gas Sensor	CO ₂ , ppm
Piranómetro	Marca: Apogee Modelo: SP-212	Radiación, W/m ²

Tabla 08. Marca y modelos de sensores de medición climática.

Validez y confiabilidad del instrumento

- **Sensor de temperatura Thermistor, marca: Apogee, modelo: ST-100**

Sensor de alta precisión (± 0.1 C de 0 a 70 C) montado en una carcasa a prueba de agua, diseñado para medida de aire, tierra o agua. Fabricado en Estados Unidos por la empresa Apogee Instruments, Inc.

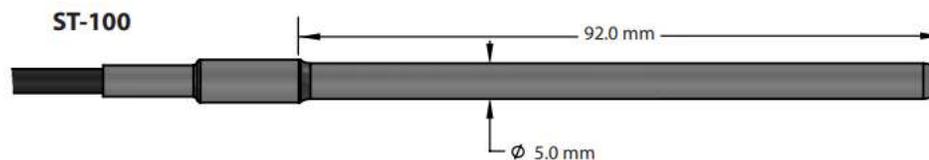


Figura 10. Terminal de control térmico.

Nota: Recuperado de TEMPERATURE SENSORS. 2018, de Apogee Instruments

Rango de medición	-50 a 70 C
Incertidumbre de medición	0.1 C (de 0 a 70 C); 0.2 C (de -25 a 0 C); 0.4 C (de -50 a -25 C)
Repetibilidad de medición	menos de 0.05 C
Deriva a largo plazo (inestabilidad)	Menos de 0.02 C al año (cuando se usa en ambientes sin condensación donde la temperatura promedio anual es menor a 30 C; las temperaturas continuamente altas o los ambientes continuamente húmedos aumentan la velocidad de deriva)
Tiempo de equilibrio	30 segundos



Auto calentamiento	Menos de 0.01 C (típico, suponiendo una excitación pulsada de 2.5 V DC); 0.08 C a 5 C (máximo, suponiendo la excitación de entrada continua de 2.5 V DC)
Ambiente de operabilidad	-50 a 70 C ; 0 a 100% de humedad relativa
Requerimiento de voltaje de entrada	Excitación de 2.5 V DC (recomendado, ver OPERACIÓN Y Sección MEDICIÓN)
Requerimiento de voltaje de salida	0 a 2.5 V DC (suponiendo la entrada de excitación de 2.5 V DCC)
Drenaje común	0.1 mA DC a 70 C (máximo, suponiendo una entrada continua de excitación de 2.5 V DC)
Dimensiones	100mm de largo ; 6mm de diámetro
Masa	60 gramos
Cable	5 m de cable de par trenzado apantallado de dos conductores; cable adicional disponible en múltiplos de 5 m; Chaqueta TPR (alta resistencia al agua, alta Estabilidad UV, flexibilidad en condiciones frías); cables conductores

Tabla 09. Especificaciones técnicas de Sensor de temperatura Thermistor, marca: Apogee, modelo: ST-100.

Nota: Recuperado de TEMPERATURE SENSORS. 2018, de Apogee Instruments

Este sensor cuenta con un Certificado de Conformidad, estableciéndose su compromiso y cumplimiento con las legislaciones de 2014/30 / Directiva de Compatibilidad Electromagnética de la UE (EMC), y Directiva 2011/65 / Restricción de la UE de Sustancias Peligrosas (RoHS 2).., correspondientes a:

- EN 61326-1: 2013 Equipos eléctricos para medición, control y uso en laboratorio: requisitos de EMC
- EN 50581: 2012 Documentación técnica para la evaluación de productos eléctricos y electrónicos con respecto a la restricción de sustancias peligrosas

En este certificado, se especifica el cumplimiento de la restricción de materia prima restringida como el cadmio, cromo hexavalente, plomo, mercurio, bifenilos polibromados (PBB), difenilos polibromados (PBDE). **[39]**

- **Sensor de humedad relativa. Marca: Omega, Modelo: HX71-V1**

Sensor de humedad relativa de señal de salida linealizada y compensada por temperatura de 4 a 20 mA, 0 a 1 Vdc o 0 a 5 Vdc según el modelo seleccionado. Trabaja en una escala de 0 a 100% para la humedad relativa.

Consta de un condensador de polímero de película delgada detecta la humedad relativa y es protegido por una tapa de acero inoxidable que se quita



fácilmente para la limpieza. La carcasa de acero inoxidable Nema-4 y la conexión de entrada de cable proporcionan protección a prueba de intemperie. [40]



HX71 MODEL

Figura 11. Terminal de control de humedad relativa.

Nota: Recuperado de HX71 SERIES RH Probe/Transmitter. OMEGA sitio web.

Rango de medición	5 - 95% (sin condensación)
Precisión	± 4% de HR a 22 ° C (72 ° F) de 15 a 85% RH; ± 4.5% de HR a 22 ° C (72 ° F) por debajo de 15 y por encima del 85% de HR
Repetibilidad	± 1% de HR
Rango de temperatura operable	-25 a 85°C (-13 a 185°F)
Salida	
Modelo HX71-MA, HX71-MA-NB	4 a 20 mA (escalado para 0 a 100% de HR)
Modelo HX71-V1, HX71-V1-NB	0 a 5 Vdc (escalado para 0 a 100% RH)
Modelo HX71-V2, HX71-V2-NB	0 a 1 Vdc (escalado para 0 a 100% RH)
Poder	
Modelo HX71-MA, HX71-MA-NB	8 - 12 Vdc @ 20mA
Modelo HX71-V1, HX71-V2 HX71-V1-NB, HX71-V2-NB	8 - 24 Vdc @ 20mA
Resistencia Max Loop	Ohmios = (suministro V - 8 V) /0.02 A
Tipo de sensor:	Condensador de polímero de película delgada
Vivienda del recinto	
Versión de tubo:	Acero inoxidable 316, NEMA 4
Versión del tubo	Policarbonato, NEMA 4
Conexiones eléctricas:	2 m (6 ') de 4 conductores de PVC blindado con cables desnudos.
Dimensiones:	Ver la sección "Montaje"
Peso:	200 gramos
Aprobaciones:	

Tabla 10. Especificaciones técnicas de Sensor de humedad relativa. Marca: Omega, Modelo: HX71-V1.

Nota: Recuperado de HX71 SERIES RH Probe/Transmitter. OMEGA sitio web.



• **Sensor de dióxido de carbono. Marca: Vernier Modelo: Carbon Dioxide Gas Sensor.**

El sensor de gas de CO₂ Vernier mide los niveles gaseosos de dióxido de carbono mediante el control de la cantidad de radiación infrarroja absorbida por el dióxido de carbono moléculas.

El sensor tiene dos rangos: bajo (0-10,000 ppm) y alto (0-100,000 ppm). Los estudiantes pueden usar el sensor de CO₂ para medir el cambio en los niveles de dióxido de carbono para una variedad de sistemas, incluyendo:

- Una cámara que contiene pequeños seres vivos como grillos, gusanos o semillas germinadas
- Un terrario de plantas sometidas a ciclos de respiración y fotosíntesis.
- Un salón de clases.
- Una atmósfera cerrada que contiene hidróxido de sodio o hidróxido de potasio como carroñeros de CO₂.
- La reacción química entre el ácido clorhídrico y el bicarbonato de sodio.
- Gas de dióxido de carbono que se difunde a través de un tubo de difusión de gas.
- Fermentación o respiración de azúcares.
- Respiración humana bajo diversas condiciones (en reposo vs. después del ejercicio). [38]



Figura 22. Terminal de medición de dióxido de carbono.

Nota: Recuperado de CO₂ Gas Sensor. 2018, de Vernier Software & Technology

Rango de medición del sensor de gas de CO ₂	Rango bajo: de 0 a 10.000 ppm de CO ₂ Rango alto: de 0 a 100,000 ppm de CO ₂
Baja precisión típica de rango (a presión estándar, 1 atm)	0 a 1,000 ppm ± 100 ppm 1,000 a 10,000 ppm ± 10% de lectura
Precisión típica de alto rango	0 a 1,000 ppm ± 100 ppm 1,000 a 100,000 ppm ± 20% de lectura



Tiempo de respuesta	95% de la lectura a gran escala en 120 segundos
Tiempo de calentamiento	90 segundos
Efecto de presión	0.19% de lectura / mm de Hg de presión estándar
Rango de señal de salida	de 0 a 4.0 V
Potencial de entrada	5 V (± 0.25 V)
Modo de muestreo de gas	Difusión
Rango de temperatura de funcionamiento normal	25 ° C (± 5 ° C)
Rango de humedad de funcionamiento del	5 al 95% (sin condensación)
Rango de temperatura de almacenamiento	-40 a 65 ° C
Resolución de 13 bits	0 a 10,000 ppm CO ₂ : 1.5 ppm 0 a 100,000 ppm CO ₂ : 15 ppm
Resolución de 12 bits	0 a 10,000 ppm CO ₂ : 3 ppm 0 a 100,000 ppm CO ₂ : 30 ppm
Resolución de 10 bits	0 a 10,000 ppm CO ₂ : 12 ppm 0 a 100,000 ppm CO ₂ : 120 ppm

Tabla 11. Especificaciones técnicas del sensor de dióxido de carbono. Marca: Vernier Modelo: Carbon Dioxide Gas Sensor

Nota: Recuperado de CO₂ Gas Sensor. 2018, de Vernier Software & Technology

Preparativos previos y calibración

- **Adquisición de equipo de monitoreo climático:** La obtención de los equipos necesarios para el experimento se programa previo a las semanas de aplicación del experimento, procurando asegurar su disponibilidad, correcto funcionamiento y calibración. Para el trabajo realizado solo se contará con una estación de monitoreo que se ubica en la zona central del aula.
- **Calibración y colocación del equipo de monitoreo climático:** Días previos al ensayo en campo, se procura calibrar y sincronizar la estación climática con la central (computador) a usarse, programado horarios, intervalos de toma de datos, y especificaciones de la estación. Para ello, se utiliza el manual de usuario estableciéndose los siguientes puntos principales de calibración y colocación de la estación:
 - Conecte el sensor a la interfaz (LabQuest Mini, LabQuest 2, etc.).
 - Inicie el software de recopilación de datos apropiado (Logger Pro, Logger Lite, Aplicación LabQuest) si aún no se está ejecutando, y elija Nuevo en el menú Archivo.
 - El software identificará el sensor y cargará una configuración de recopilación de datos predeterminada.



Usando el producto

- Configure el interruptor de rango en el sensor.
- Deje que el sensor de CO₂ de gas se caliente durante aproximadamente 90 segundos antes de recoger datos. Durante el calentamiento, las lecturas serán muy bajas.
- El sensor de gas CO₂ es sensible a la humedad alta. No lo use en un ambiente de condensación.
- La mayoría de los experimentos utilizará el rango bajo (0-10,000 ppm). El rango alto sería apropiado al medir la respiración humana ya que el aire espirado es típicamente 40,000-60,000 ppm de CO₂.
- El sensor de gas CO₂ es algo sensible a los cambios de temperatura. En la mayoría de los casos, las variaciones en las lecturas de CO₂ debido a los cambios de temperatura son pequeñas (<100 ppm en rango bajo, <1000 ppm en rango alto). El sensor está diseñado para operar entre 20 y 30 ° C. Se puede usar fuera de esta temperatura; sin embargo, las lecturas serán menos precisas, incluso si calibra el sensor a la temperatura más baja o más alta. Con un buen diseño experimental, la variación en las lecturas de CO₂ debido a un cambio de temperatura será insignificante en comparación con el cambio general en la concentración de CO₂. Si todo un experimento debe llevarse a cabo a una temperatura constante, puede mejorar la precisión de las lecturas calibrando el sensor a esa temperatura. Esto no lo hace prohibir tomar lecturas usando temperaturas de incubación o lecturas al aire libre en temperaturas más cálidas o más frías que el rango de 20 a 30 ° C. Permita suficiente tiempo para que su sensor de gas CO₂ se estabilice a las temperaturas de funcionamiento deseadas.
- Para recolectar datos en un ambiente controlado, se recomienda que use la botella de muestreo de gas de 250 ml que se incluye con su sensor.
- Los mejores resultados se obtienen cuando solo un sensor de CO₂ está conectado a un interfaz a la vez. El consumo actual de dos o más sensores de gas CO₂ conectado a la misma interfaz puede causar datos erróneos. **[38]**

Nota: Es muy importante llevar a cabo las mediciones con el sensor de CO₂ alejado de la zona de respiración debido a que en la respiración se expiran entre 30.000 y 40.000 ppm de dióxido de carbono, con lo que puede darse lecturas falsas **[37]**. Para ello, se prevé un espacio libre en la zona céntrica, donde será colocada la estación, con un margen de seguridad que no será ocupada por los estudiantes.



3.3.5.2. Normas y protocolos.

Debido a lo expuesto en el marco teórico acerca de la falta de normativa nacional acerca de las mediciones de CO₂ como agente contaminante del aire, se ha tomado la norma española **“NTP 549: El dióxido de carbono en la evaluación de la calidad del aire”** establecida por el Ministerio de trabajo y asuntos sociales España, para la determinación de la calidad de aire en interiores. Del mismo modo, se aplicará la guía de uso de los equipos de medición definida por cada uno de los fabricantes. El más importante será el generado por la empresa Vernier, para el sensor de gas de CO₂, ofertado en su página web.

3.3.5.3. Método de levantamiento de datos cualitativos. Percepción del usuario.

La encuesta es una técnica de adquisición de información de interés perceptual, el cual, mediante un cuestionario previamente elaborado, se logró conocer la opinión o valoración de los usuarios sobre su sensación de conformidad dentro del espacio de experimentación.

La encuesta propuesta consta de una primera sección direccionada a datos personales de los usuarios, incluyendo el nombre, edad, sexo, fecha y hora de levantamiento de información. Una segunda sección se direcciona a la sensación percibida por el usuario dentro del espacio, estableciéndose como sensación a tres factores de confort ambiental los cuales son: Temperatura, humedad y calidad de aire.

El parámetro de temperatura fue medido bajo tres condiciones, la sensación percibida en el momento del llenado de la encuesta, y la variación percibida durante el día, y la conformidad del encuestado al momento. La humedad se levantó como un solo factor, estableciendo la percepción del lugar en una escala de húmedo a seco. La calidad de aire se determina mediante tres parámetros, preguntando la sensación del mismo en cuanto a pureza (viciado - fresco), olor (mal oliente - sin olor), y la conformidad del encuestado. [52]



Las escalas establecidas en esta encuesta fueron obtenidas del estudio similares como "Perceived Indoor Environment and Occupants' Comfort in European "Modern" Office Buildings: The OFFICAIR Study", realizado por Ioannis A. Sakellaris, Dikaia E. Saraga. Durante los periodos de evaluación del espacio previsto la encuesta formula un rango globalizado en escala de 7 valores, siendo estos -3, -2, -1, 0, +1, +2, +3, entendiéndose el nivel 0 como el grado de conformidad del usuario, y los extremos como índices máximos de disconformidad. Del mismo modo, para las preguntas de conformidad, se aplica una escala de 1 a 7, siendo 1 inconforme y 7 conforme. El modelo de encuesta completo se encuentra en la sección de anexos, Cuadro x.

Únicamente los estudiantes fueron destinados a realizar las encuestas, debido a que estos eran los únicos en utilizar el espacio de manera constante o continua durante las clases.

La aplicación de las encuestas se programa material físico en fotocopias para ser llenadas por cada uno de los ocupantes cada hora transcurrida, en ella podrán marcar una casilla en base a su experiencia y satisfacción del ambiente interior. Para ello, se preparan suficientes copias para alcanzar el objetivo, considerándose para la cantidad de copias el número de ocupantes y las horas de exposición al interior.

3.3.6. Vegetación empleada

Debido a que los jardines interiores al igual que exteriores buscan proporcionar un elemento estético que agregue valor a los espacios, estos requieren variedad de especies para ofrecer alternativas como elementos de composición. Esto motiva a que la implementación del experimento se dé de igual manera y lo más aproximado a la realidad, donde para el propósito de investigación se decidió incluir al menos tres especies vegetales diferentes que permitan en un supuesto ofrecer alternativas de composición de paisajes interiores. Las especies incluidas fueron *FICUS BENJAMINA*, *CHAMAEDOREA SEIFRIZII* y *AGLAONEMA MODESTUM*.



3.3.6.1. FICUS BENJAMINA

Nombre científico: *Ficus benjamina* L.

Nombre común: *Ficus benjamina*, *Ficus* de hoja pequeña, Matapalo, Árbol benjamín.

Familia: Moraceae.

Origen: India, Java y Bali.

Tipología: Árbol de pequeño porte, perennifolio.

Raíces: Desarrolla raíces aéreas.

Hojas: pequeñas y con un color verde brillante y forma oval. Presentan, al crecer, unas ondulaciones muy características de la especie.

Flores: pequeñas, en inflorescencias a modo de siconos, de color blanquecino-amarillento. Sin importancia ornamental.

Frutos: Pequeño, esférico y con un gracioso color rojo sangre que lo hace resaltar aún más.



Figura 13. Ficus Benjamina, Fotografía de espécimen utilizado.

Nota: Figura generada por el autor.

Esta vegetación ya ha sido participe de experimentación en espacios interiores. Se han usado varios especímenes de ficus para su implementación en aeropuertos, centros comerciales y otras áreas, donde la mayor preocupación son los efectos secundarios de la iluminación continua (entre 16 y 24 horas al día según el uso del edificio) en las plantaciones. También se distingue los posibles efectos que diferentes clases de fuentes de luz artificial tienen sobre las plantas y cuál de ellas es superior. Se han cultivado *Ficus benjamina* por 5 meses y luego mantuvieron plantas en el interior durante 12 semanas bajo las luces INC o CWF a diferentes intensidades de luz durante diferentes periodos de iluminación al día. El contenido de clorofila varía entre las plantas según la altitud de cultivo y tiempo de iluminación. Especímenes expuestos a mayor tiempo de iluminación reducen su porcentaje de calidad versus aquellas expuestas a menores periodos [54].



3.3.6.2. CHAMAEDOREA SEIFRIZII

Nombre científico: Chamaedorea seifrizii

Nombre común: Palma bambú, Palmera bambú, Palmera Seifriz de bambú.

Familia: Arecaceae (antes Palmaceae).

Origen: México.

Hojas: Pinnadas de unos sesenta centímetros de largo y compuestas por doce a dieciocho pares de folíolos lanceolados de color verde brillante por ambas caras.

Luz: Ubicar en sombra o semisombra. Es una planta de interior perfecta, tolerante a la luz tenue y a abusos generales.

Temperaturas: Soporta leves y cortas heladas de hasta menos -2°C .

Humedad: Uno de sus requerimientos es una buena humedad ambiental para que no se sequen las puntas de las hojas.

Suelo: Requiere suelos fértiles y ricos en materia orgánica y riegos abundantes.

Como se menciona anteriormente, las plantas seleccionadas surgen de la lista de top 10 plantas que remueven contaminantes del aire, emitido por la NASA. Entre ellas, Seifrizii ocupa el 3er lugar con un puntaje de 8,4 sobre 10, basado en la capacidad de eliminar vapores químicos y toxinas del aire interior. También posee un carácter de fácil crecimiento y mantenimiento, con resistencia a la infestación de insectos y evaporación de las hojas.



Figura14. CHAMAEDOREA SEIFRIZII, fotografía de espécimen empleado.
Nota: Figura generada por el autor.



3.3.6.3. AGLAONEMA MODESTUM

Nombres comunes: Aglaonema

Familia: Aráceas

Origen geográfico: sur de China y norte de Tailandia

Tipología: herbácea perenne, de crecimiento lento y vertical. Muy decorativo debido a su follaje. Puede alcanzar los 2 m de altura, aunque generalmente ronda los 50- 100 cm de longitud.

Hojas: en espiral, ovales muy alargadas, ápice acuminado, base aguda-cuneada, provistas de largo pecíolo, márgenes ondulados y recubiertas por una pátina cerosa. Tiene un tamaño de 20 x 10 cm, de color verde brillante oscuro con vetas blancas en su nervio principal. Venación pinnada.

Flores: inflorescencia con espádice central de 5 cm de longitud, rodeado por la espata

Floración: en verano

Fruto: baya de color rojo

Temperatura: la adecuada para su desarrollo, 25 °C durante el día, y no debe ser inferior a 16-20 °C durante la noche.

Exposición: Tolera desde sombra al sol tamizado. Vivienda mal iluminada o alejada de la ventana es muy bueno. No tolera sol directo.

Humedad ambiente: mínima del 70 % por lo que se debe rociar con frecuencia con un vaporizador, aunque tolere las atmósferas secas. Es conveniente poner un plato debajo de la maceta, ya sea con gravilla o arcilla, pero húmedos, evitando la asfixia radicular.

Esta planta es versátil para cultivarse en varios sustratos o soportes, desde suelos fértiles, o medios artificiales sobreviviendo en turba y perlita, en arena, o puede cultivarse hidropónicamente. Requiere de niveles medios o bajos de sombra, evitando la incidencia directa del sol. Se desempeñan admirablemente en condiciones demasiado oscuras para la mayoría de los demás trópicos. Tendrán éxito en poca luz, ya sea como plantas de interiores. No se deben mantener en temperaturas menores a 7 °C pues puede dañar su follaje [56].



Figura 15. Aglaonema Modestum, fotografía de espécimen empleado.
Nota: Figura generada por el autor.



3.3.6.4. Adquisición de vegetación a implementarse

Para el experimento programado se requerirá una gran cantidad de vegetación, la cual será colocada al interior del aula durante la etapa dos del ensayo. Los especímenes vegetales serán obtenidos en un vivero localizado en la periferia de la ciudad de Cuenca. El origen de la vegetación solicitada es de la ciudad de Santo Domingo, Ecuador. Se procede a pedir los especímenes considerando que estén dentro del mismo rango de edad y en tamaños. Las mismas se preparan para su entrega en funda de polietileno, o funda plástica color negra.

3.3.7. Metodología de estimación de área foliar

El método utilizado para la estimación de área foliar aplicada en la investigación se basa en trabajos similares realizados en India, en el que se desarrolla un procedimiento rápido y exacto para la determinación de área de hojas vegetales. El caso de aplicación del trabajo mencionado compete a 70 hojas de diferentes contornos y formas, siendo aplicable a múltiples tipos de hojas sin distinción. Los resultados obtenidos de este experimento demuestran una exactitud superior al 99%, lo que hace de este método óptimo, rápido y seguro para el propósito de la investigación desarrollada. [43]

Procedimiento:

- a. Adquisición de las muestras vegetales. En el caso del estudio se midieron la totalidad de hojas presentes en el 15% de la muestra total para el caso de ficus benjamina debido a su mayor cantidad de especímenes. Para el caso de aglaonema modestum y chamaedorea seifrizii, se midió el 40% de la muestra por su reducida cantidad de hojas. En resumen, el total de plantas para estimación de área foliar fueron: 3 ficus benjamina, 4 aglaonema modestum y 4 chamaedorea seifrizii.
- b. Adquisición de imagen digital. Obtenida mediante cámaras digitales de color (usada en el proyecto: Canon PowerShot SX510 HS), se aplica la fotografía de la hoja junto a una pieza de contraste al fondo de 2x2 cm, la misma que permitirá realizar la relación de área mediante pixeles en el proceso posterior. La imagen es guardada en formato .JPEG.
- c. Transformación de color de imagen. Se procede a eliminar el ruido de fondo, posibles luces o contrastes intensos y se desatura la imagen a un



espacio monocromático o escala de grises. Esto permite definir el contorno de la hoja para su posterior relleno.

- d. Segmentación de la imagen. En esta última fase, la imagen se corrige de posibles errores físicos como manchas, agujeros entre otros, por lo que se procede a diferenciar el fondo de la hoja, y rellenar posibles espacios que tras el proceso de inversión de color pudieron haberse considerado como vacíos. El relleno de la región se realiza aplicando pinceles de color negro hacia el interior de la hoja.

- e. Medición de área foliar. Finalmente, una vez definidas las áreas de hoja y de la pieza de papel de 2x2cm, se calcula mediante selección de área ambas zonas para calcular la cantidad de pixeles presente en ambas regiones. Una vez realizado este proceso, se comparan las regiones mediante la relación:

$$Ah = \frac{Ph}{Pc} Ac$$

En donde: Ah: área de hoja; Ph: pixeles de hoja; Pc: pixeles de cuadrado; Ac: Área de cuadrado.

3.4. Limitaciones

Para el presente trabajo, se plantea hallar cuantitativamente la relación existente entre la cantidad de contaminación presente en un aula educativa y la capacidad de vegetación para limpiar o depurar el aire interior de la misma.

Para lograr el objetivo, en el diseño, aplicación y análisis del experimento se encontraron las siguientes limitaciones:

- Debido a lo expuesto en el marco teórico, los métodos de medición y control de calidad de aire interior se rigen a rangos admisibles de contaminación por componente presente en el ambiente. Para el presente trabajo, se ha considerado únicamente el CO₂ como compuesto para la determinación del nivel de contaminación interior, siendo este un indicador justificado para determinar la pureza del IAQ **[18] [29] [33]**.
- De lo anterior, también se puede destacar la importancia de la posibilidad adquisitiva de los aparatos de control y medición. En este caso, el dispositivo de medición que posibilitó la investigación posee únicamente un terminal contador de partículas de CO₂ en cuanto a componentes en el aire se refiere, pero que no encarece la factibilidad de sus resultados para la significancia del conocimiento.



- También, se explica en el marco teórico la sustancial diferencia que posee la inclusión de una u otra especie vegetal en un ambiente en términos de capacidad de depuración, concentración de humedad, y más aún área foliar. Por lo tanto, la vegetación incluida en la experimentación se deduce de una lista previa adquirida del estudio realizado por la NASA, en la que determinan 10 especies vegetales con mayor poder de depuración [7].
- La aplicación real de los llamados “land-scapes” en muros vegetales, requiere una vasta variedad de especímenes para poseer valor estético agregado. De esta forma, se ha optado por incluir al menos 3 especies diferentes de vegetación, simulando un paisaje interior ordinario.
- Finalmente, y con énfasis en la práctica de simulación a condiciones similares a las de las aulas convencionales, se determina un escaso control en la infiltración de aire exterior del aula al momento de abrir o cerrar la puerta (pese a esfuerzos continuos de mantenerla cerrada), y del mismo modo, no se regula la asistencia obligatoria a las clases por parte de los estudiantes, lo que formula irregularidades en la cantidad de CO₂ emitida en mismos días de la semana.



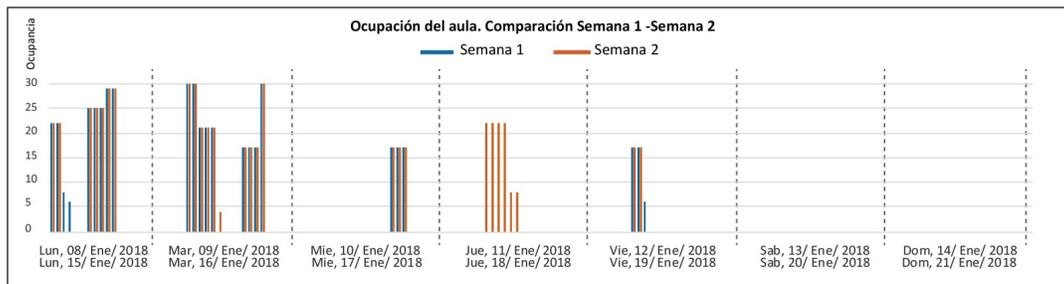
4. CAPITULO IV. RESULTADOS Y ANÁLISIS DE DATOS.

4.1. Horarios de ocupación del Aula 0.

La Facultad de Arquitectura y Urbanismo Labora durante un horario continuo a partir de las 7h00 por la mañana hasta las 22h00 por la noche. Los cursos y sus horarios poseen distributivos repartidos en horas de clase por la mañana, tarde o noche, sin contar con un horario continuo únicamente diurno o nocturno.

El horario de los estudiantes del curso escogido se distribuye heterogéneamente durante el día y la semana. Los días de mayor carga horaria se concentran en el lunes y martes, con un total de 7 y 9 horas clase al día respectivamente. El tiempo más prolongado de estancia constante dentro del aula se produce en los mismos días, permaneciendo por hasta 5 horas constantes en el aulario. Los fines de semana el aula posee una ocupación de 0, debido a que estos dos días no son laborables en la facultad (ver Gráfica 2).

Existe una irregularidad horaria producida en los días jueves. Mientras que el jueves 11 de la primera semana, debido a la cancelación de clases por la ejecución de otras actividades, la ocupación de ese día es de 0, el jueves subsiguiente, la ocupación se dio en horario normal de clase, siendo un factor a tomar en cuenta este día para el propósito de la investigación.



Gráfica 2. Ocupación del aula durante las etapas de experimentación.

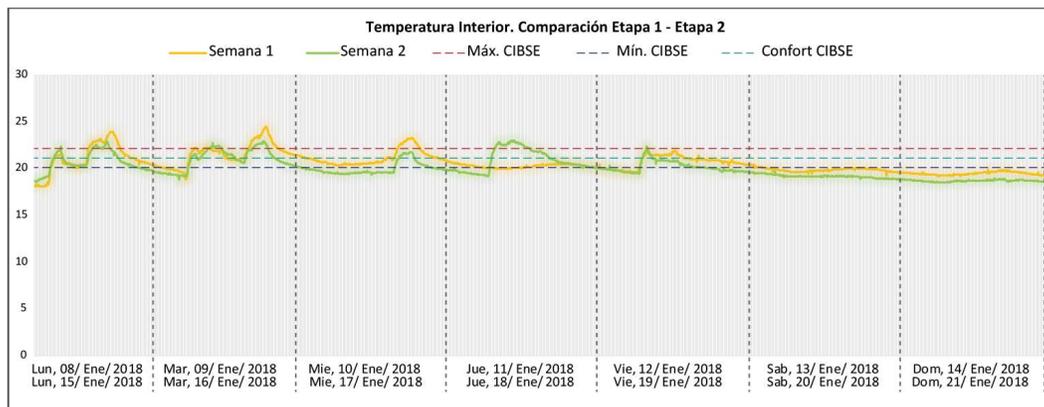
Nota: Gráfica generada por el autor.



4.2. Resultados de monitoreo climático interior. Datos Cuantitativos (Parámetros ambientales).

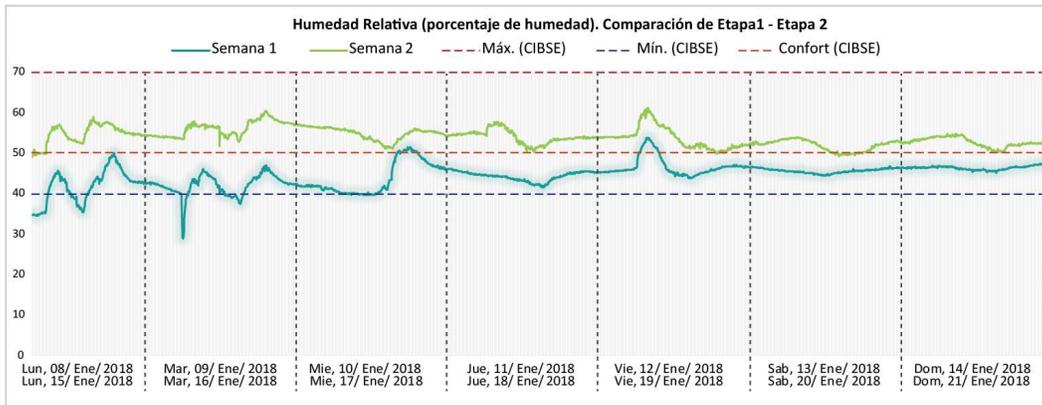
4.2.1. Confort higrotérmico

En rasgos generales, el aula presento durante el primer periodo temperaturas interiores oscilantes entre los 18.1 °C y 24.5 °C, siendo el día lunes, al momento de inicio del experimento la temperatura más baja, y a las 19h00 del día martes 09 la más alta registrada. La segunda semana, durante las primeras horas del día lunes de igual manera se registra los mínimos con 18.5 °C, y picos térmicos de 23 °C a las 11h00 del día viernes 18. El rango de variación térmica durante todo el experimento es de 6.4 para la etapa 1 y de 4.5 °C para la etapa 2. La comparación de las temperaturas registradas se muestra en el Gráfico 3.



Gráfica 12. Resultados de registro de temperatura interior. Semana 1 y semana 2.

Por otra parte, la humedad registrada en ambos periodos se mantiene constante para cada una de las etapas con ligeras variaciones al día. La humedad relativa mínima durante el periodo de experimentación es de 29.0% para la primera semana y 49.2% durante la segunda semana; y las máximas registradas fueron para la semana uno y dos de 53.9% y 61.3% respectivamente. Los rangos de variación para cada semana fueron de 24.8% y 12% para la semana uno y dos, obteniéndose una diferencia entre los máximos de ambas etapas de 7.4% de humedad relativa. Estos datos se muestran en la Gráfica 4 a continuación.



Gráfica 13. Resultados de registro de humedad interior. Semana 1 y semana 2.

4.2.2. Resultados de encuestas de confort higrotérmico

Las encuestas de percepción del ambiente interior aplicadas a los estudiantes fueron recopiladas una vez culminada la segunda etapa de la experimentación, obteniéndose un total de 466 fichas correspondientes a la etapa y semana 1, y 554 fichas correspondientes a la etapa y semana 2.

Los resultados se tabularon y analizaron por separado cada parámetro obteniéndose los siguientes resultados para cada campo:

4.2.2.1. Percepción de temperatura interior

Este campo obtuvo el 78% de votos correspondientes al nivel +2 de la escala presentada en la encuesta, es decir una percepción de un ambiente interior "caluroso". Un 19% de las fichas mostraron una percepción de "muy caluroso" o índice +3, y solo el 3% del grupo encontró el ambiente como "abrigado" o índice +1. Esta tendencia se mantuvo durante todos los días, siendo los días martes y jueves, los periodos que mayor voto tuvieron en el nivel +3 de la escala, con un 93%.

4.2.2.2. Percepción de variación de temperatura interior

La variación de la temperatura interior se mostró prácticamente inalterada durante las dos semanas experimentales, siendo esta prácticamente constante en ambas etapas. El 88% de las fichas mostraron prevalencia del nivel -2 de la escala establecida, entendiéndose por poco variante la temperatura interior. Debido a que los estudiantes percibían la temperatura interior siempre caliente. El resto de votos corresponden a la casilla -3, perteneciente a la percepción de variación casi nula de temperatura.



4.2.2.3. Conformidad de temperatura interior

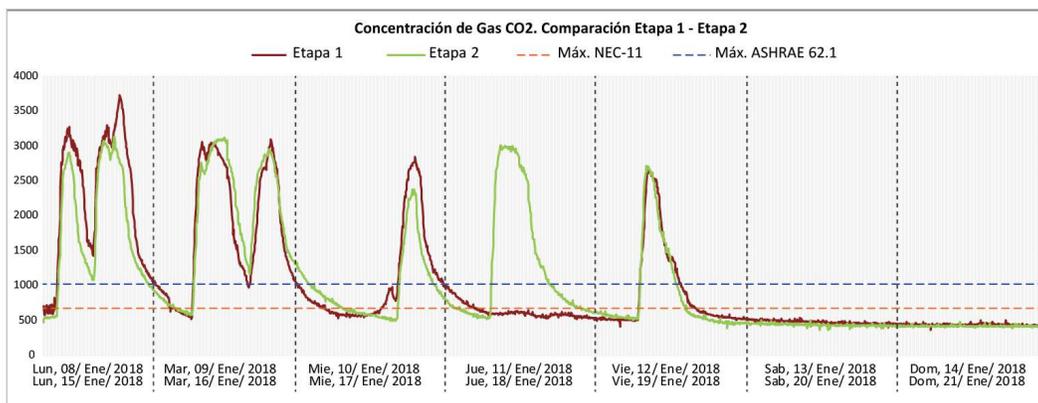
Este parámetro muestra una mayor variación correspondiente a la percepción por cada estudiante. Durante las dos semanas, un 36% del grupo mostro una conformidad de "6" en el ambiente interior, mencionando que se sienten mejor en una habitación abrigada (en comparación al clima "frio" del exterior). Otro 28% mostro conformidad de 4, siendo el valor medio de la escala, de los cuales muchos establecían que el ambiente se encontraba caluroso para ellos pero que era preferente al exterior. Finalmente, un 20% y 16% de las fichas indicaron niveles de 3 y 2 correspondientemente. Establecieron que la temperatura interior era demasiada alta y en pocos casos, sofocante, pero que podían permanecer aun en el lugar.

4.2.2.4. Percepción de humedad interior

Durante la experimentación, la humedad fue el parámetro de confort más criticado por los estudiantes, junto con la calidad de aire. Las fichas arrojaron resultados constantes con una prevalencia del 97% de votos a los niveles -2 y -3 de la escala, es decir, encontraban húmedo el ambiente interior. Este incremento en la humedad, produjo sensaciones incomodas en la sensación cutánea del cuerpo. La diferencia de votos, optaron por el valor de -1, siendo aun en la escala un indicador de humedad del ambiente. La relación entre la primera y segunda semana de experimentación, revela un incremento del 26% de votos a los niveles -2 y -3.

4.2.3. Calidad de aire.

Los registros de concentración de CO₂ (ppm) en los dos períodos de monitoreo se presentan en la Gráfica 5. La diferencia en cuanto a los niveles de CO₂ durante ambos periodos mantienen una relación de disminución durante la semana dos en comparación a la primera semana. Los registros de concentración de gas CO₂ mostraron niveles alarmantes en ambos periodos con valores máximos de 3732.2 ppm y 3140.2 ppm para la semana uno y semana dos. Los mínimos registrados son 372.3 y 366.2 partículas por millón. En la mayoría del tiempo de ocupación del aula, los niveles se encuentran muy por encima de los límites permitidos de varias normativas.



Gráfica 14. Resultados de registro de concentración de gas CO₂ interior. Semana 1 y semana 2.



Semana 1				Semana 2			
	Humedad	CO2	Temperatura		Humedad	CO2	Temperatura
Máximo	53.955	3732.299	24.503	Máximo	61.304	3140.259	23.075
Mínimo	29.077	372.314	18.106	Mínimo	49.268	366.211	18.529
Media	44.563	1035.717	20.572	Media	54.078	1075.276	20.107
Mediana	45.288	601.196	20.353	Mediana	53.979	640.869	19.818

Tabla 12. Resumen de valores mínimos, máximos y promedios de registros climáticos interiores durante el experimento.

4.2.4. Resultado de encuestas de percepción de calidad de aire

4.2.5. Percepción de calidad de aire interior

Como se menciona anteriormente, este factor posee también una prevalencia de percepción negativa de "aire limpio" en el interior del aula. Durante la primera semana, los resultados muestran un 78% de votos pertenecientes al nivel -2, y un 21% para el índice -3, siendo el aire considerado como viciado. En la semana subsiguiente, el 63% de estudiantes optaron por el índice -3, mientras que un 26% marco el índice -2. En palabras de algunos encuestados, el aire se tornó más asimilable durante la etapa 2 de la experimentación, pero mucho más pesado sensitivamente al cuerpo. Este es una opinión constante en los estudiantes y un factor importante a considerarse, producto del incremento de la humedad relativa interior.

4.2.6. Percepción de aroma interior

Para la determinación de percepción de la calidad de aire, el aroma juega un papel importante, y para el caso de la experimentación, muestra una correlación directa con el parámetro anterior. Durante las dos semanas de experimentación, se observa una prevalencia del 82% de votos por el índice -2. Este considera al ambiente interior como mal oliente. Junto con la sensación cutánea, producida por la humedad, la sensación olfativa también se vio afectada en la experimentación, tornándose menos tolerable mientras más tiempo de ocupación consecutivo tenía el salón de clase.

4.2.7. Conformidad del aire interior

Finalmente, la conformidad con respecto a la calidad del aire interior tuvo muy escasa valoración positiva. La totalidad de las fichas durante la etapa 1, marcan como percepción los índices 1 y 2 de la escala propuesta, pertenecientes a niveles máximos de inconformidad. En la etapa subsiguiente, apenas un 8% de votos fueron dirigidos a un nivel 3 o medio de conformidad. En su mayoría, la descripción de la experimentación por parte del grupo de estudiantes, atribuyen los bajos niveles de conformidad con mayor énfasis al aumento de la humedad interior y el aroma



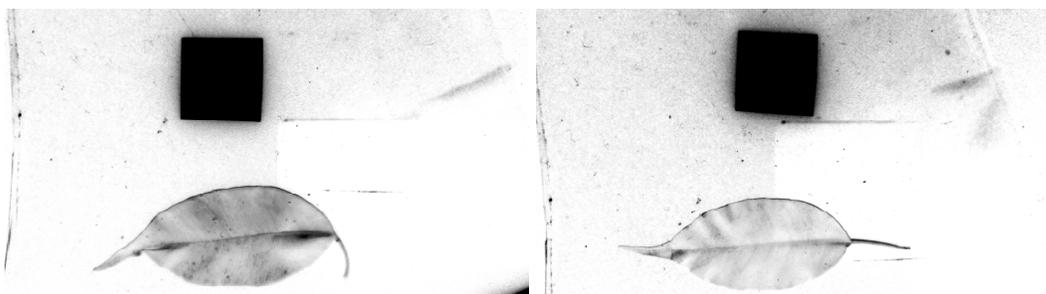
4.3. Resultados de estimación de área foliar.

4.3.1. Ejemplo de medición de hojas de FICUS BENJAMINA

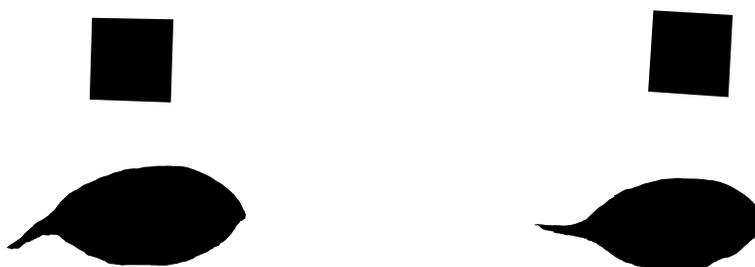
a. Imagen segmentada. Imagen RGB, foto original.



b. Imagen binaria invertida y desaturada. Imagen RGB



c. Imagen sobrepuesta y rellenada. Imagen RGB.



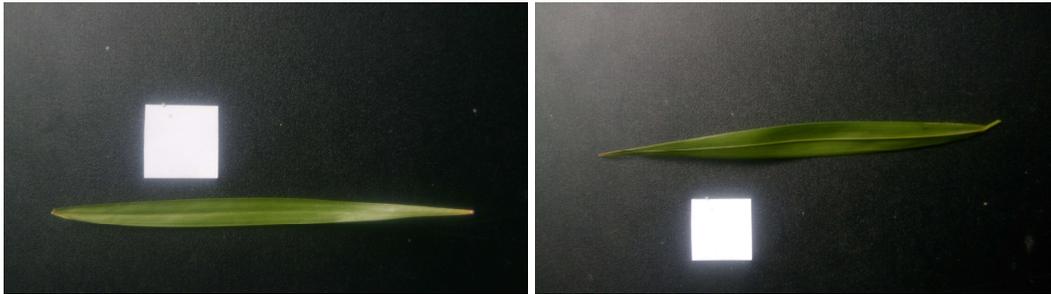
d. Tabla 13. Cuadro tipo de cálculo de área de hoja individual.

Área de hojas de especie Ficus Benjamina				
No.	Pixeles de celda	Pixeles de hoja	Área de celda	Área de hoja
	Px.	Px.	cm2	cm2
1	658296	1934775	2	5.87813081
2	423696	2111743	2	9.968198897
3	645040	2025656	2	6.280714374
4	768600	1802494	2	4.690330471
5	677716	2337204	2	6.897296213

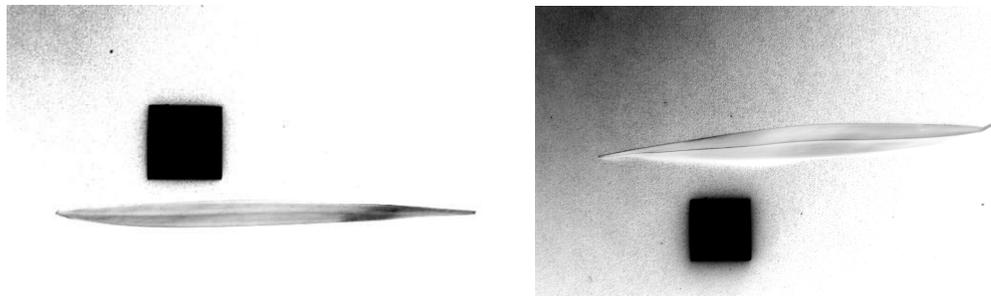


4.3.2. Ejemplo de medición de hojas de CHAMAEDOREA SEIFRIZII

a. Imagen segmentada. Imagen RGB, foto original.



b. Imagen binaria invertida y desaturada. Imagen RGB



c. Imagen sobrepuesta y rellenada. Imagen RGB.



d. Tabla 14. Cuadro tipo de cálculo de área de hoja individual.

Área de hojas de Chamaedora Seifrizzii				
No.	Pixeles de celda	Pixeles de hoja	Área de celda	Área de hoja
	Px.	Px.	cm2	cm2
1	231792	969906	2	8.368761648
2	193174	2179061	2	22.56060339
3	214836	1047970	2	9.755999926
4	637554	1027583	2	3.223516753
5	526232	932384	2	3.543623345

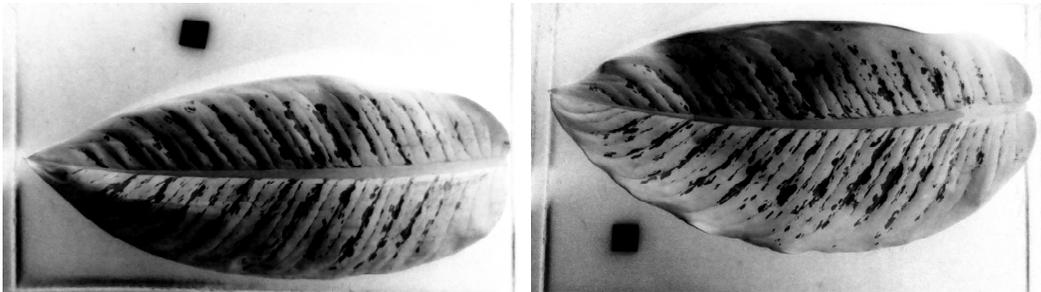


4.3.3. Ejemplo de medición de hojas de *AGLAONEMA MODESTUM*

a. Imagen segmentada. Imagen RGB, foto original.



b. Imagen binaria invertida y desaturada. Imagen RGB



c. Imagen sobrepuesta y rellenada. Imagen RGB.



d. Tabla 15. Cuadro tipo de cálculo de área de hoja individual.

Área de hoja de <i>Aglaonema Modestum</i>				
No.	Pixeles de celda	Pixeles de hoja	Área de celda	Área de hoja
	Px.	Px.	cm ²	cm ²
1	89497	9226447	2	206.184498
2	77826	9179009	2	235.885411
3	76853	7845034	2	204.156871
4	75856	8435694	2	222.413362
4	73568	8864595	2	240.990512



Área de follaje total			
Especie	Promedio de follaje por unidad	Unidades	Área de follaje
	cm²	u	cm²
AGLAONEMA MODESTUM	945.8558788	10	9458.55879
CHAMAEDOREA SEIFRIZII	4260.107931	10	42601.0793
FICUS BENJAMINA	874.1249864	20	17482.4997
Área total		40	69542.1378

Tabla 16. Resumen de área foliar por especie y área foliar total.

4.4. Análisis y comparación de resultados

El estudio de parámetros ambientales demuestra que los niveles de temperatura y humedad registrados durante toda la fase experimental están en todo momento dentro de los rangos permisibles de entre 18 y 26 °C para la temperatura, y entre 30 y 70 % para la humedad. Los rangos de temperatura interior muestran en su mayoría aceptación y conformidad por parte de la percepción de los estudiantes, caso que no ocurre con la humedad. También se demuestra una disminución de temperatura al momento de la implementación de vegetación de entre 0.4 °C hasta casi 1.2 °C.

Caso contrario, el parámetro de humedad interior, se vio afectado desfavorablemente con resultados que muestran que pese a la que los valores de humedad se encuentran dentro de rangos admisibles, los valores experimentados en la clase encarecen completamente la sensación de calidad de ambiente interior. Tanto en la semana 1 como en la 2, las percepciones poseen las valoraciones más desfavorables para este parámetro, incrementando el porcentaje de disconformidad en la etapa 2 provocada por la vegetación incluida.

Factor	Norma/Estándar	C.N.	V.P.
Confort higrotérmico	NEC-11, ISO 7730, ASHRAE 55 (18°C- 26 °C apróx.)	+	+2
	CIBSE (21 °C +/- 1 °C)	+/-	
	CIBSE (40% - 70%, 50% recomendada)	+	
	ISO 7730 (HR 30% - 70%)	+	-2
	NEC-11 (40% - 65%)	+	
Calidad de aire interior	EN 15251. Cat.III (máx. 1150ppm)	-	
	ASHRAE Standard 62.1, UNE 100011 (máx. 1000 ppm)	-	-2
	NEC-11 (máx. 650 ppm)	-	

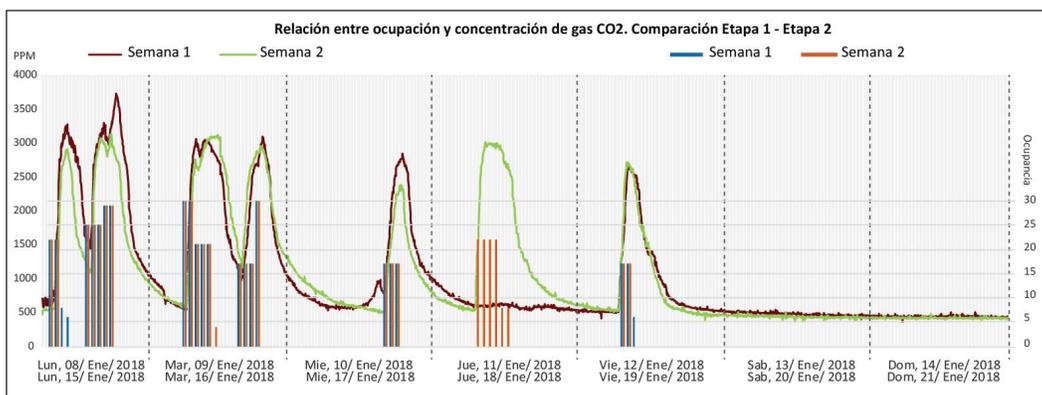
Tabla 16. Resumen de resultados de estándares de confort ambiental del experimento.



En el parámetro de calidad de aire, objetivo de esta investigación, se lograron resultados relativamente bajos, pero que demuestran el efecto directo de la vegetación en la calidad de aire interior. Si bien durante ambos periodos, los niveles de concentración de CO₂ están muy por encima de los admisibles de 650ppm o 1000ppm, por hasta 3 o 5 veces los límites (dependiendo la norma), se demostró una oscilación reducida durante la segunda semana en la que incluían las especies vegetales.

El tiempo de depuración del pico máximo de concentración de CO₂ para llegar a niveles bajos promedios fue de 11 horas aproximadamente para la etapa 1 bajando de un nivel de 3732 ppm a 521ppm, y en un tiempo de 4 horas durante la etapa dos se logra reducir 2158 ppm (reducción de 3140 ppm a 982 ppm). Este último valor fue logrado mediante la implementación de 40 especímenes vegetales (de 3 diferentes especies), que alcanzaron un total de 69542.1 m² de área foliar, estimado una depuración aproximada de 0.03 ppm/cm².

También resulta importante la incidencia de la ocupación de personas y su contribución a las condiciones de contaminación ambiental. Se puede apreciar que durante las mañanas de los días lunes (periodo de tiempo que empieza el experimento desde un punto 0 o condiciones ambientales normales), un total de 22 personas durante dos horas, pueden aportar a la contaminación del aire en 2350 ppm aproximadamente, es decir 106.8 ppm por persona. En la siguiente gráfica, se aprecia los niveles de contaminación por CO₂ en comparación a la ocupación del aula, mostrando la directa relación del problema de contaminación y el factor de ocupación elevado de las personas como fuente de ella.



Gráfica 15. Relación entre ocupación del aula y concentración de CO₂.

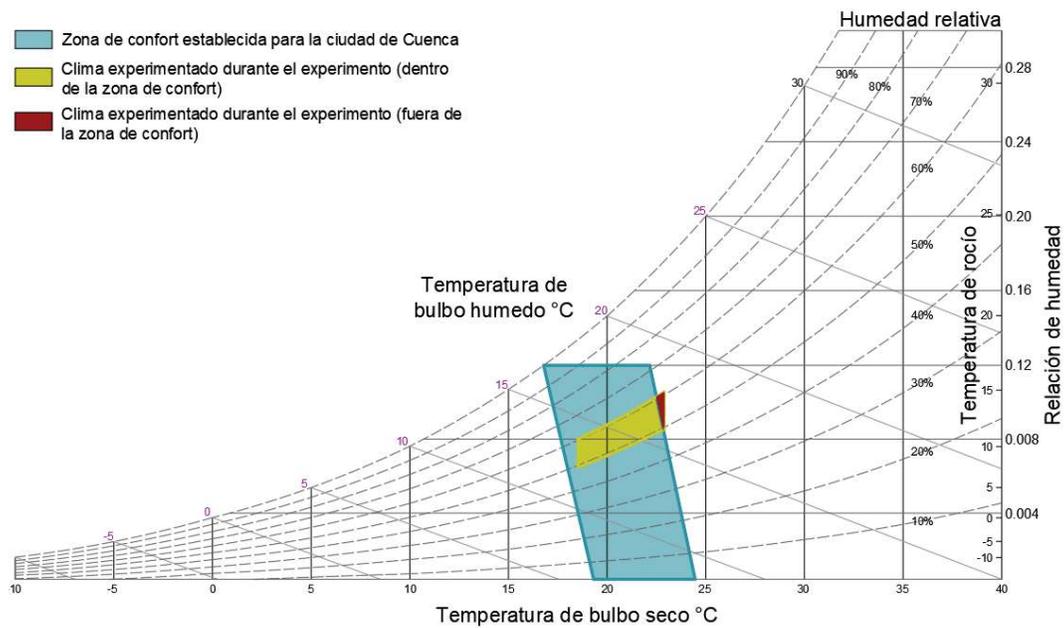
Los altos valores de contaminación del aire se correlacionan directamente a los altos grados de insatisfacción por parte de la percepción de los alumnos, quienes en su mayoría reportan inconformidad con respecto al olor y limpieza, percibida al aspirar el aire interior. Es evidente que en los niveles de emergencia de concentración de CO₂ experimentados en el aula afectaron drásticamente la calidad del ambiente, junto con la humedad.

Aunque no siempre las experiencias y opiniones de los usuarios mantienen una relación consecuente entre la satisfacción y los niveles admisibles [52], como fue el caso de los valores de humedad, se conserva una relación directa entre los



rangos de confort establecidos en normativa, y la satisfacción de los ocupantes dentro de ellos.

Finalmente, los resultados ambientales se grafican dentro del denominado diagrama de Givoni o diagrama psicossométrico. En él, se aprecia que los extremos climáticos experimentados en este estudio, tanto inferiores como superiores, se encuentran en un 91% dentro del área de confort, y apenas el 9% restante fuera de ella, cosa que no ocurre con la satisfacción del usuario quienes casi en el 90% del tiempo, se encuentran en percepción de disconformidad con el ambiente interior experimentado.



Gráfica 16. Ubicación del ambiente más desfavorable experimentado en la gráfica de Givoni.



5. CAPÍTULO V: GENERACIÓN DE LINEAMIENTOS DE DISEÑO

5.1. Generación de lineamientos de diseño para aulas educativas

Para las propuestas de diseño del presente trabajo, se concentra los esfuerzos entorno a la adecuación del espacio físico en donde se imparten las cátedras dentro de los espacios educativos, es decir las aulas, debido a que son estos lugares los que poseen la capacidad y la necesidad de albergar a una cantidad elevada de ocupantes o estudiantes. Para el efecto de generación de lineamientos de diseño se especifican las siguientes limitaciones y criterios a tratarse.

Limitaciones

No se presenta lineamientos para espacios sociales o de circulación de los entornos educativos. Estos espacios no poseen requerimientos continuos de elevada capacidad de ocupación ni permanencia.

- El trabajo no se centra en determinación de condiciones físicas de control acústico, térmico o lumínico.
- La interacción entre factores climáticos y la presencia de vegetación, no se cuantifico en este trabajo de investigación, por lo que la combinación de estrategias bioclimáticas, exceptuando la inclusión de vegetación como método de depuración de aire, no serán abordadas.
- Debido a que la educación es una actividad humana constante en todas las edades, y que cada una de ellas requiere condiciones diferentes de confort, los lineamientos no considerarán variaciones o condicionantes basados en el tipo de ocupante, propósito para el cual se recomienda análisis más detallados posteriores.
- Las pautas y lineamientos aquí desarrollados, no contemplará especímenes específicos de vegetación debido a la gran variedad de la misma, sin embargo, se tratará contenido de alternativas para ciertos tipos de vegetación.
- Los lineamientos presentados, contemplan alternativas posibles para la inclusión de vegetación en las aulas educativas, más aún no son las únicas posibilidades.
- El entorno de descripción de los lineamientos, se verá condicionado al entorno geográfico del trabajo, es decir condiciones climáticas de la ciudad de Cuenca.
- Las recomendaciones y lineamientos de materiales, no se restringen a las presentadas en este trabajo dado la gran cantidad de opciones en cuanto a materiales de construcción se refiere.

Criterios



- a. Análisis de soleamiento e iluminación artificial para desarrollo y desempeño vegetal.
- b. Análisis de sistemas de irrigación y recolección de agua o desagüe.
- c. Análisis de sustratos vegetales.
- d. Descripción de sistemas constructivos para vegetación en modelo de jardines verticales.

5.2. Consideraciones previas para el diseño físico de aulas educativas.

Un adecuado diseño físico de aulas educativas debe propiciar ambientes adecuados en temas de confort térmico, acústico, visual, y de calidad de aire, conjuntamente con una adecuada distribución de mobiliario interior, espacios de circulación y distribución de ventanas y puertas, de manera que no interrumpen la actividad desarrollada al interior.

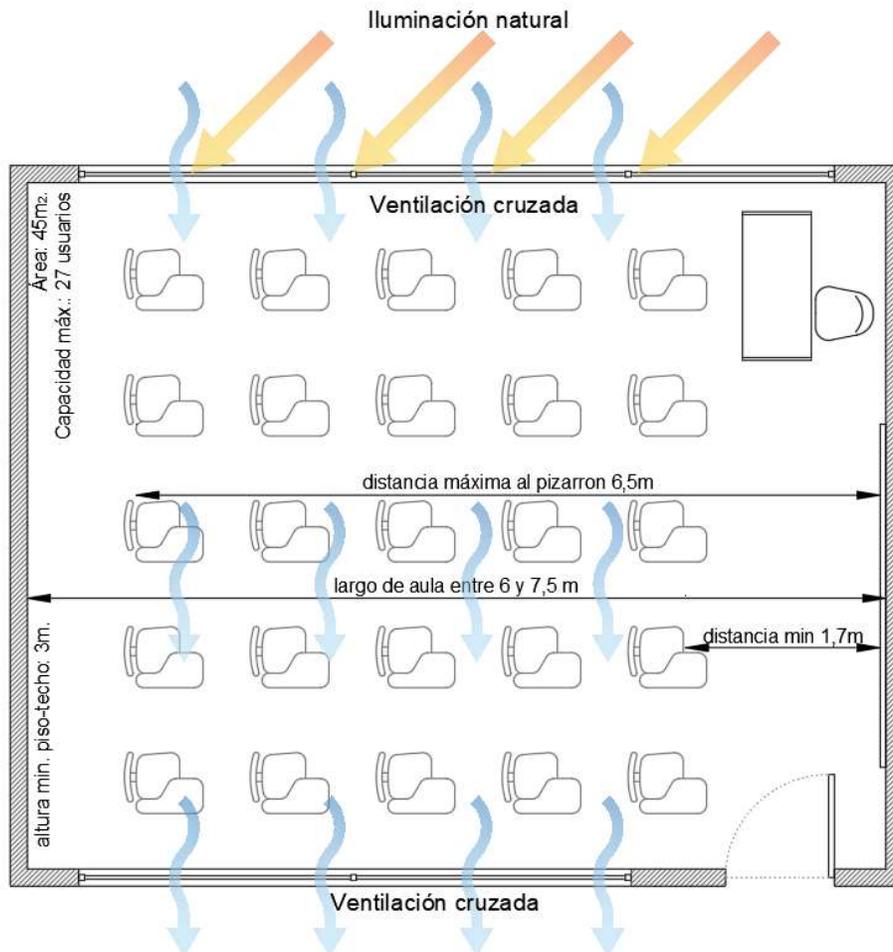
Las condiciones climáticas, cuentan con una serie de estrategias de diseño para lograr la micro climatización al interior, siendo un conjunto armonizado de selección de materiales, orientación, elementos de sombra, apertura de vanos, entre otros. Para propósitos mínimos ambientales, se exige iluminación y ventilación natural directa. En cuanto al mobiliario, se puede destacar que este en las aulas tipo, en las que recomendablemente se deben diseñar con la mayor posibilidad de adaptación a diferentes actividades, sea de tipo móvil, incluyendo mesas, sillas, repisas, u otros elementos que permitan la conformación de diferentes tipologías de distribución en base a los requerimientos de la actividad programada. **[42]**

El tamaño del aula estará basado en tipo de aula o actividad a impartirse, la capacidad programa y tipo de asientos o mobiliarios a emplearse (puede variar por edad, actividad, tipo de alumno, entre otros. Se recomienda que por cada usuario se programe entre 1.64 y 2.00 m² de aula, entre mayor sea el área por estudiante, mayor serán las posibilidades de usos. De la misma manera, mientras más cuadrada sea el aula, mejor y mayores opciones dará para la misma. Proporciones adecuadas fluctúan entre 2:3 o 3:4 en relación de ancho/largo. Estas proporciones deben facilitar el trabajo pedagógico y las condiciones antropométricas de los alumnos. No debe existir elementos físicos de obstrucción entre el muro de enseñanza y los alumnos. **[41] [42]**

Las distancias mínimas aceptables para salones educativos se pueden resumir en los siguientes puntos:

- La altura libre de los espacios docentes será como mínimo de 3.00 metros.
- A efectos del dimensionamiento de las aulas, la longitud libre del lado menor ha de ser igual o superior a 6.00 m.
 - Los pizarrones o paneles de enseñanza tendrán el borde inferior a una altura mínima de 0.60m y el borde superior a una altura máxima de 2.00m. La distancia mínima entre el panel de enseñanza y los estudiantes será 1.70 m, siendo 2.00 la óptima. La separación máxima a las últimas filas de pupitres no deberá

exceder de 6.50 m, y el ancho mínimo de la pizarra deberá ser de al menos 3m. [41]



Gráfica 17. Requerimientos básicos para diseño de aulas educativas. Propuesta inicial.

5.3. Propuesta de parámetros de diseño

5.3.1. Análisis de soleamiento e iluminación artificial para desarrollo y desempeño vegetal.

Las plantas, al igual que la vida en general, requiere ciertas formas de energía, en el caso de vegetación en particular es tomada del sol. Debido a que la radiación solar provee de luz y calor, la cantidad irradiada sobre una planta determinara ciertos comportamientos y funcionalidades como su crecimiento, proceso de respiración y fotosíntesis, entre otros.



La radiación sobre una determinada zona estará determinada por su latitud, altitud y estación climática. Esta radiación se produce por medio de ondas que dependiendo de su longitud lograra diferentes espectros, y, por ende, diferentes intensidades.

Para la vegetación la incidencia de rayos solares es indispensable para cumplir procesos como formación de clorofila (componente responsable del color verdoso de la mayoría de plantas); funcionamiento de estomas, que cumplen procesos dentro de la respiración y fotosíntesis, esta última solo puede tener lugar en espectros de luz rojo y azul, como se aprecia en el gráfico x. Aproximadamente solo el 12% de la energía incidente en las hojas bien iluminadas se utiliza para dicho proceso. La luz también juega papel importante en el crecimiento, forma y calidad de la vegetación, así como la estratificación de entornos compuestos como bosques. [44]

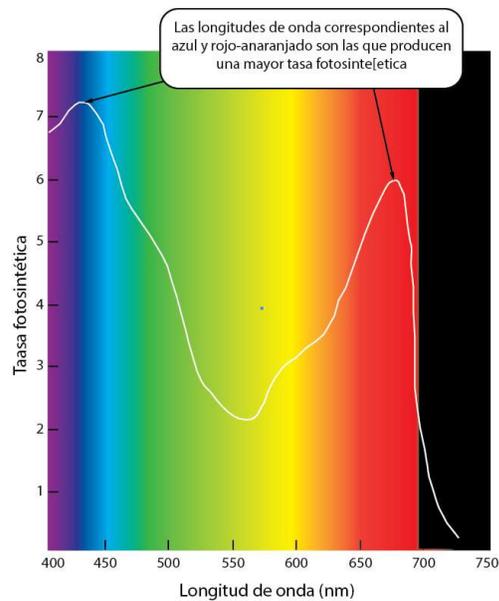


Figura 16. Tasa fotosintética en relación a longitud de onda de la luz.

Nota: Recuperado de Iluminet. Sitio web <http://www.iluminet.com/leds-grow/>

Dependiendo de la cantidad de energía solar que una determinada especie necesita se pueden distinguir 3 tipos de vegetación que son:

- Demandantes de luz, que requiere abundante luz solar para su mejor desarrollo.
- Portador de sombra, son especies que pueden desarrollarse bajo sombra.
- Demandantes de sombra, que requieren niveles constantes de sombra para su desarrollo normal.

La importancia de iluminación se ha demostrado que puede potenciar los procesos de depuración de la vegetación en entornos controlados. Los valores de remoción de CO₂ en condiciones de baja intensidad lumínica conlleva a bajos valores de rendimiento, mientras que el incremento a condiciones lumínicas similares a las existentes en interiores junto a ventanas, eleva considerablemente el rendimiento de un sistema verde para depuración de aire. Este problema se debe a la fitorremediación de CO₂, producido la baja incidencia de luz solar, por lo que, dependiendo de la vegetación empleada, un número excesivo de plantas interiores en macetas son necesarias para crear una diferencia considerable en la reducción de CO₂, siendo poco práctico. En investigaciones similares (Torpy et al, 2014) comprueba la variación de μmol de CO₂ removido por plantas en macetas, mismas que alteraron de entre 10 y 50 $\mu\text{mol l m}^{-2}\text{s}^{-1}$ en condiciones lumínicas de entre 460 a 2300lx, y dado a que los niveles de iluminación recomendados en oficinas y salones de clase se



encuentran entre los 300 y 450 lx, la remoción de CO₂ en ambientes y condiciones de este tipo sería casi nula en la mayoría de casos. [45]

Condiciones de diseño para iluminación de vegetación

Para asegurar el correcto desarrollo de la vegetación se plantea dos alternativas de iluminación, siendo estas artificial o natural. Para el caso de la iluminación natural se contempla el aula tipo mostrada en el gráfico x la cual se analizará acorde a la latitud de la ciudad de Cuenca y su correspondiente carta solar. Para el caso de iluminación artificial, se recomendará el uso de ciertas luminarias para lograr niveles varios de intensidad lumínica y espectros de luz.

5.3.1.1. Luz natural

Dada la ubicación geográfica de la ciudad de Cuenca, la cual se encuentra ligeramente por debajo de la línea ecuatorial, a 2,54°S, representa inconvenientes al momento de decidir la posición óptima de vegetación en interiores debido a que el recorrido solar varía su dirección durante el año, ocasionando temporadas en que el sol incidirá mayormente en las fachadas norte, y otra temporada que incidirá en la fachada sur, como se muestra en el gráfico:

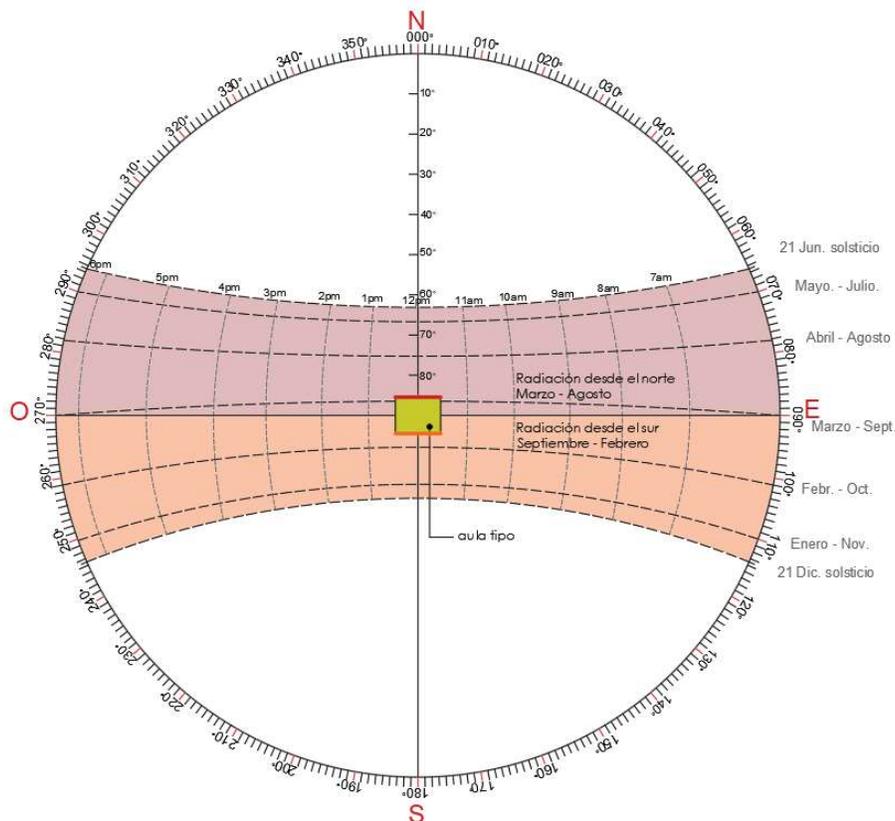


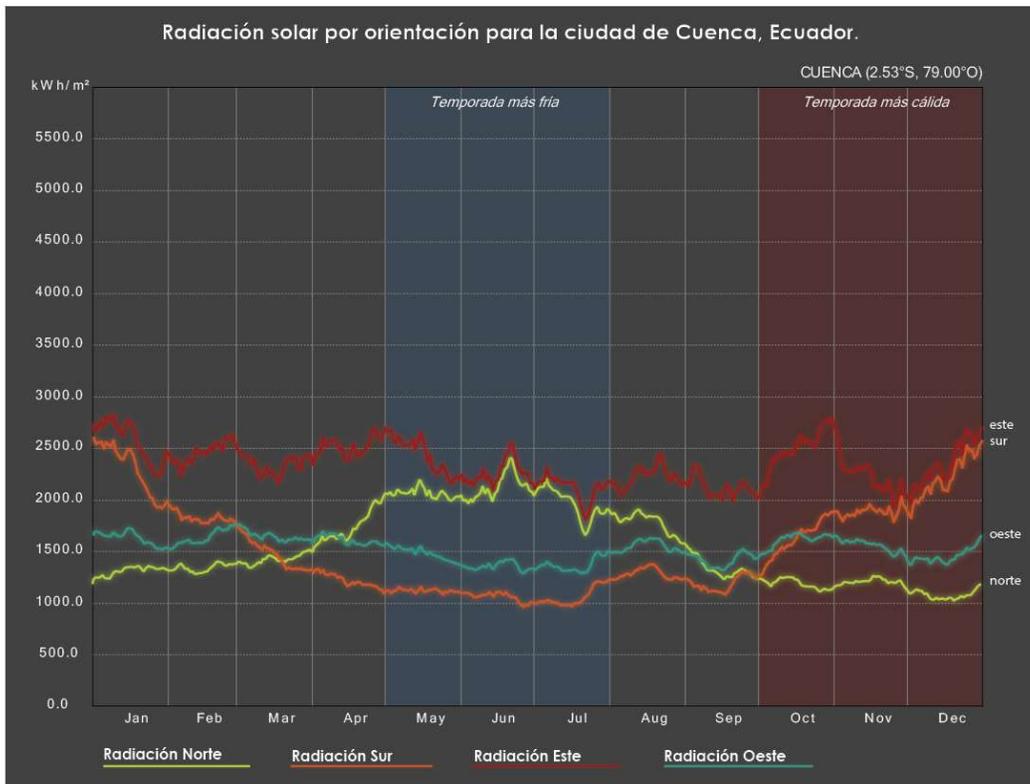
Figura 17. Carta solar para Cuenca, Ecuador.

Nota: Simulación generada en Solar tool analysis, del software Ecotect. Redibujado en CAD.



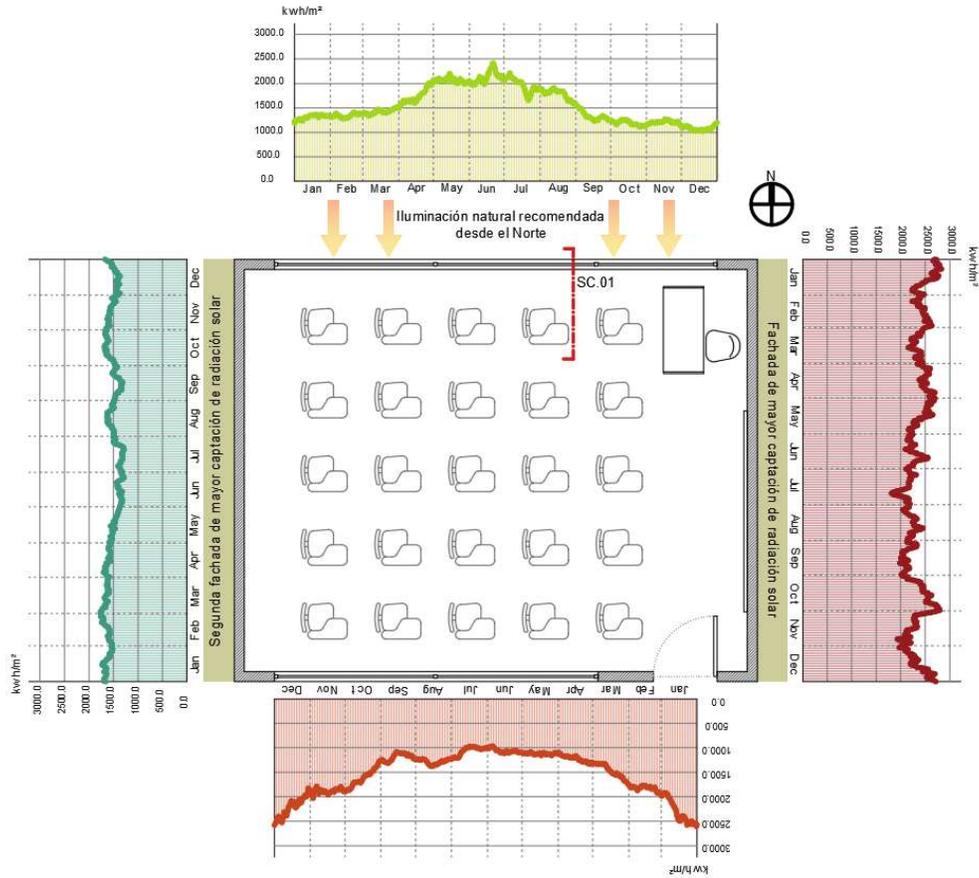
En la gráfica 9 se puede apreciar la cantidad de radiación solar que incide en cada orientación, siendo la de mayor incidencia la orientación este, la cual no posee solo los picos de mayor intensidad de radiación, sino también, mayor constancia y presencia durante todo el año. La orientación oeste posee menor incidencia solar promedio durante el año, pero igual permanencia y regularidad, mientras que la orientación sur los picos más bajos en la temporada fría. En conclusión, para la implementación de vegetación al interior de un espacio, la fachada este posee las condiciones más óptimas de radiación solar para el óptimo rendimiento del sistema vegetal durante el año. Esto no impide la ubicación de vegetación en otras zonas u orientaciones, siendo la segunda más estable en cuanto a radiación la orientación oeste.

Sin embargo, una recomendación importante para el diseño de espacios educativos adecuados, es que la luz natural ingrese preferiblemente desde las orientaciones, norte o sur, con preferencia de la orientación que ingrese por el lado izquierdo del estudiante, como se muestra en los gráficos 10 y 11.

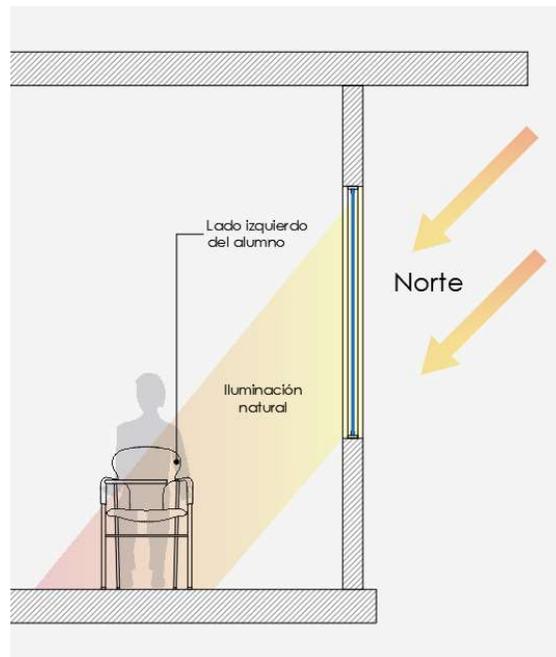


Gráfica 18. Incidencia solar por orientación para la ciudad de Cuenca.

Nota: Gráfica generada con weather tool de software Ecotect.



Gráfica 19. Incidencia solar por fachada para el aula tipo propuesta.
Nota: Gráfica generada en software CAD.



Gráfica 20. Esquema de iluminación natural recomendada para aulas educativas.



Debido a esta disposición y condiciones previas de iluminación natural para aulas educativas, los paños orientados hacia el lado norte y sur quedan restringidos para uso de colocación de los muros verdes. Esto conlleva al uso de los paños este u oeste para este fin. Bajo este criterio, como propuesta, pero no como única alternativa, se plantea la siguiente alternativa de disposición de muro verde (ver figuras 18 y 19).

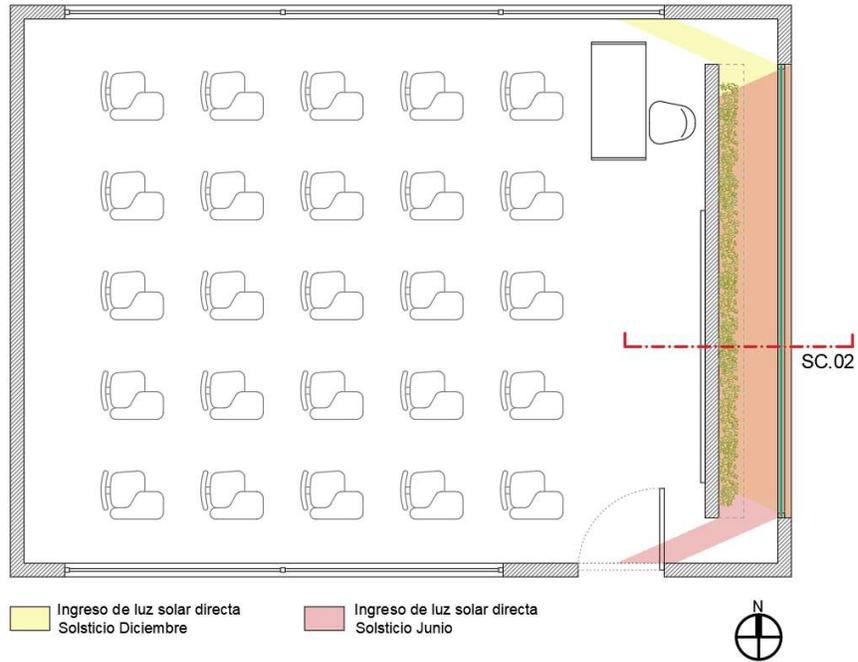


Figura 18. Propuesta de ubicación en planta de muros vegetales para el aula tipo.

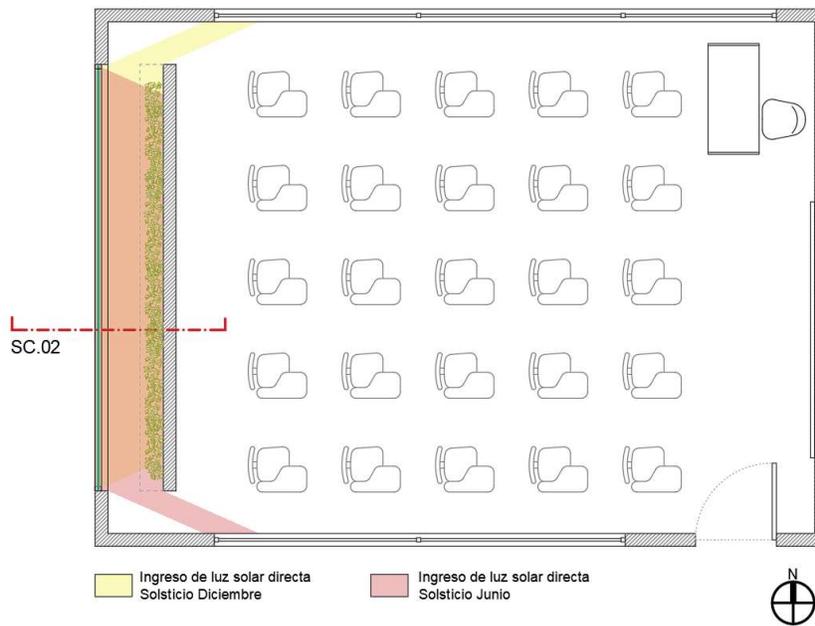


Figura 19. Propuesta de ubicación en planta de muros vegetales para el aula tipo.

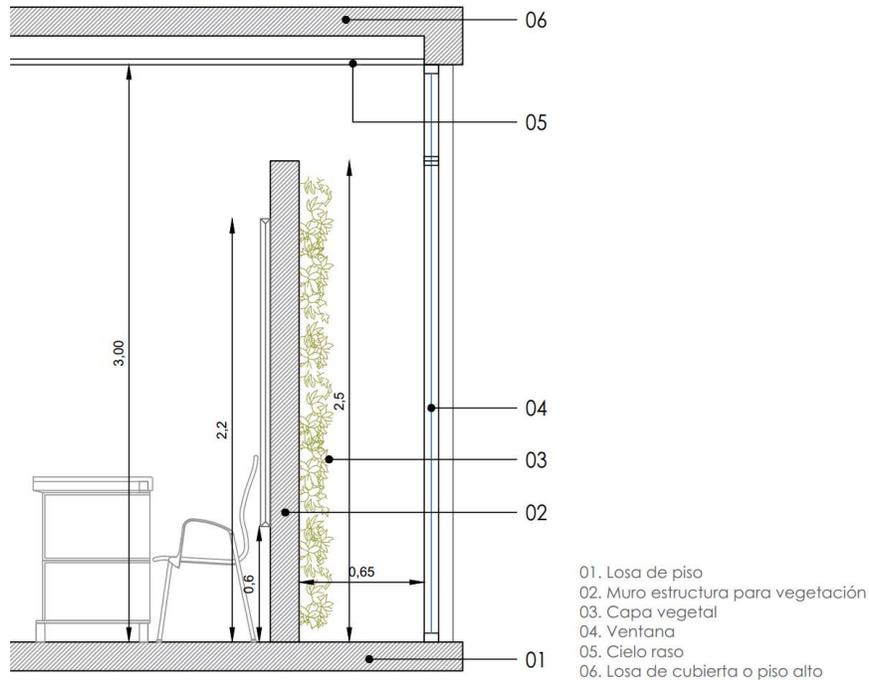


Figura 20. Propuesta de sección de muros vegetales para el aula tipo.

5.3.1.2. Luz artificial

La implementación de luz artificial para el desarrollo de muros vegetales en interiores arquitectónicos es otra alternativa que puede promover potencialmente su eficiencia como depuradores del aire interior. Si bien es cierto que la iluminación artificial acarrea costos energéticos adicionales, posibilita en mayor medida la ubicación y distribución espacial de los elementos vegetales.

Por otra parte, es importante entender que las condiciones de luz artificial varían de las de la luz natural debido a que la fuente emisora se puede controlar en intensidad, horario, y distribución. Como se mencionó anteriormente, para que la vegetación tenga un adecuado funcionamiento y un óptimo potencial de depuración, requiere ciertos niveles de iluminación [45], junto con un espectro adecuado de emisión lumínica [44]. Los rangos promedios de iluminación para vegetación pueden variar según la especie entre:

- Vegetación de demanda baja de luz: 500 a 1600 lx.
- Vegetación de demanda media de luz: 800 a 2150 lx.
- Vegetación de demanda alta de luz: más de 2150 lx. [46]

Cabe delimitar que los niveles y requerimientos de iluminación puede variar según el tipo de vegetación que se incluya en el espacio físico. Para ello, será recomendable consultar con expertos para reconocer el tipo de iluminación necesaria, el tiempo mínimo de exposición, entre otros parámetros que afecten a la especie escogida.

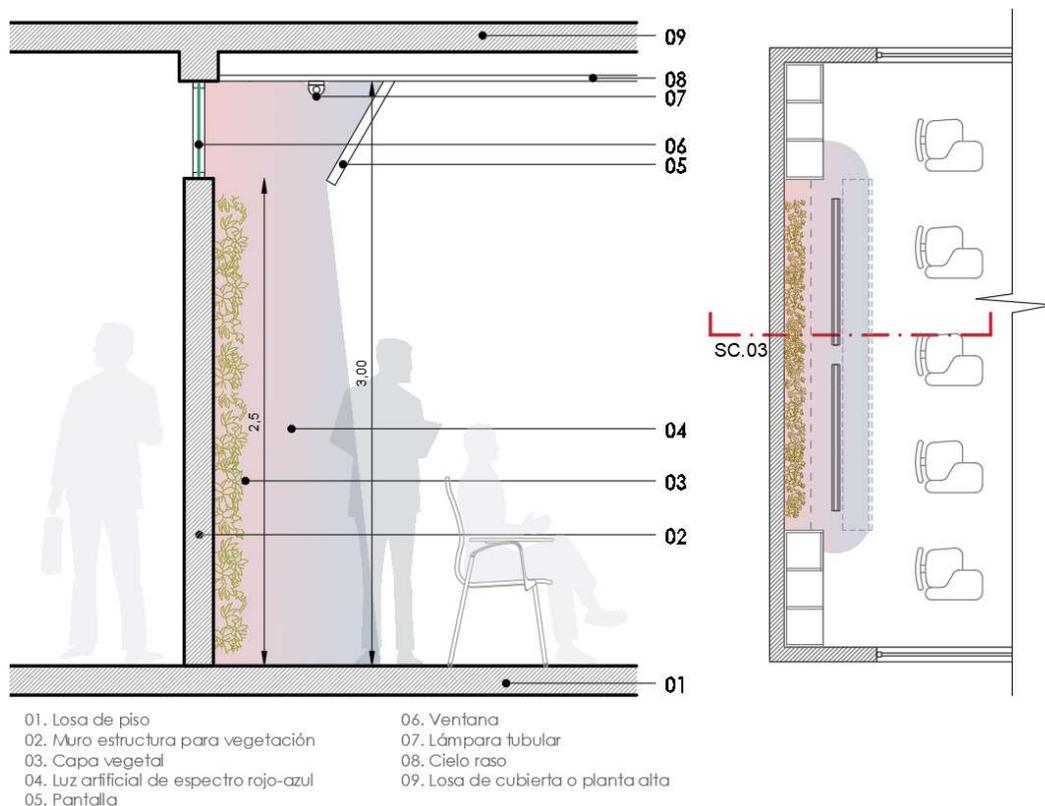


También se debe prever la incidencia que otras fuentes de emisión lumínica pueda tener sobre el usuario común (estudiantes), para quienes el espectro o intensidad de emisión puedan resultar molestos o incluso peligrosos. Por ello la planificación de ubicación de luminarias y estrategias de pantallas dentro del aula de clase será importante para programación de la inclusión de muros vegetales.

Partiendo de estas consideraciones, se presentan dos tipos de distribución lumínica para la inclusión de vegetación en un aula de clase tipo, de forma que no presente alteraciones en el entorno regular de clase.

En el primer caso, se muestra un jardín vertical irradiado por luminarias tubulares led de espectro rojo – azul, tipo “GreenPower LED. Tissue Culture Module” de la marca Philips, que promueve el crecimiento de vegetación y posee bajo consumo energético (Figura 21). Debido a que el haz de luz producido por esta luminaria es de tipo radial, se coloca una pantalla en el cielo raso para impedir la expansión de la radiación hacia la zona de pupitres del aula clase, restringiendo su incidencia directa sobre el área del muro vegetal.

En el segundo caso, se aplica como fuente emisora una serie de luminarias tipo reflector, los cuales se encargarán de direccionar la luz proveniente de una luminaria de bulbo esférico tipo “GreenPower LED. Flowering lamp”, de la misma marca Philips, aplicable a diferentes especies de tipo horticultura o arbustivas de bajo tamaño (Figura 22).



- | | |
|--|------------------------------------|
| 01. Losa de piso | 06. Ventana |
| 02. Muro estructura para vegetación | 07. Lámpara tubular |
| 03. Capa vegetal | 08. Cielo raso |
| 04. Luz artificial de espectro rojo-azul | 09. Losa de cubierta o planta alta |
| 05. Pantalla | |

Figura 21. Propuesta de jardín vertical con luminarias tubulares led de espectro rojo – azul. Sección y planta.

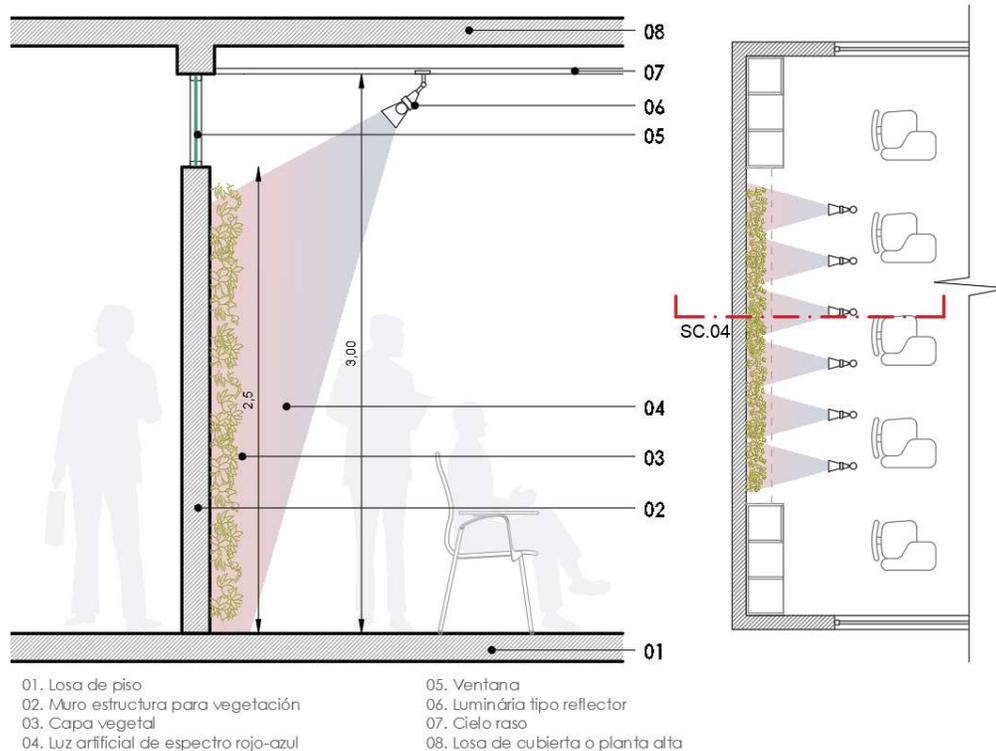


Figura 22. Propuesta de jardín vertical con luminarias tipo reflector. Sección y planta.

5.3.2. Análisis de sistemas de irrigación y recolección de agua o desagüe.

Para un adecuado desarrollo de vegetación, el agua y los nutrientes juegan un papel decisivo en los jardines interiores. En estos, resulta difícil el suministro manual de agua y componentes de tipo fertilizantes debido a la estructura que compone el soporte del sustrato para la vegetación.

Según el tipo de vegetación empleada, esta requerirá cierto un suministro periódico u ocasional de nutrientes y agua en cantidades adecuadas, de forma que la planta no se vea afectada por exceso o escasez de estos componentes. Para ello, un buen sistema de riego y drenaje será necesario para el cuidado y mantenimiento de los jardines verticales, adoptando diferentes métodos para ambas acciones según el tipo de vegetación, sistema empleado y clima, pero dada la condición de jardines interiores, parámetros como la precipitación ambiental no influyen en el riego de la vegetación, siendo esta más controlada.

El suministro de agua se realiza mediante instalaciones sanitarias de agua (que puede dividirse en irrigación con agua potable o tanques de recolección de agua lluvia o subterránea). La tubería de irrigación continua se ubica en la parte superior del muro verde. Por gravedad, el agua irrigada en esta zona decantará hacia los sustratos o zonas inferiores. Otra opción es la colocación de tuberías o mangueras de irrigación en cada nivel de contenedores en caso de usar este sistema, permitiendo una red que alimenta a cada recipiente. Los sistemas



pueden tener sistemas de filtrado de agua para evitar posibles obstrucciones [47]. Las posibilidades de irrigación se muestran en los siguientes esquemas, no siendo los únicos posibles para su empleo en sistemas de jardines verdes interiores (ver figura 23).

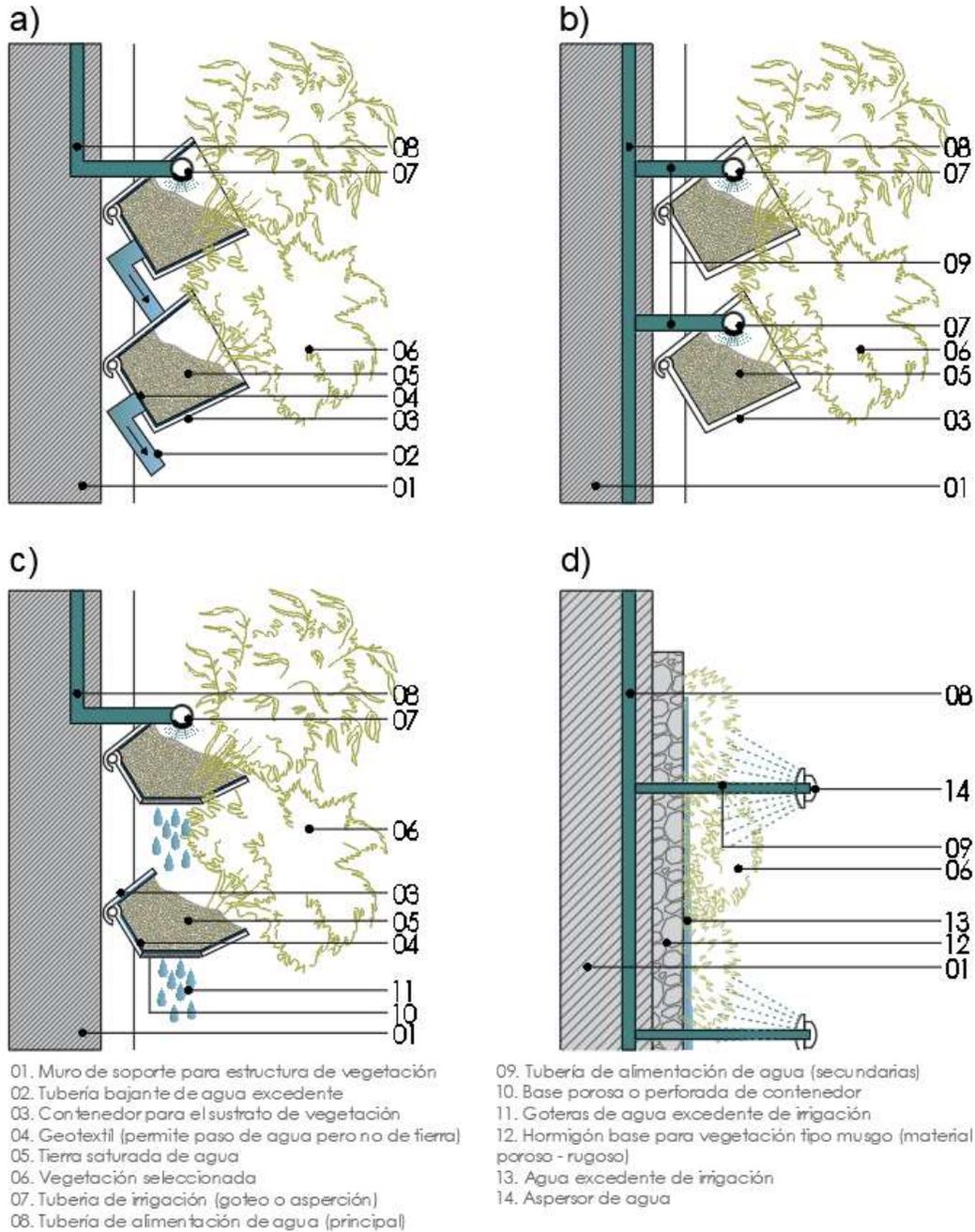


Figura 23. Propuesta de sistemas de irrigación varios. Esquemas en sección.

- a. Sistema de irrigación por aspersor en tubería principal y con filtración por gravedad.
- b. Sistema de irrigación por aspersor en red de tuberías independientes.
- c. Sistema de irrigación por aspersor y sistema de decantación por goteo.
- d. Sistema de aspersión horizontal.



El agua excedente se drena por gravedad hacia las zonas bajas de los sistemas de muros verdes, la cual puede desembocar como parte del sistema de irrigación en sistemas continuos sobrepuestos, o como fluido en contenedores de reciclaje o drenaje a la salida de agua lluvia general de las edificaciones. El procedimiento óptimo para ahorro de recursos, es que los sistemas vegetales posean un sistema de reciclaje en la parte inferior del muro verde, donde el agua excedente pueda retenerse para posteriores irrigaciones mediante sistemas de bombeo o similares [48]. En este caso, los sistemas de recolección de agua deben contar con sensores de presión, nivel y monitoreo de requerimiento de suministro de agua. Contenedores o estructuras modulares permiten optimizar el drenaje y reutilización de agua excedente mediante la sobre posición de módulos, siendo mejores aquellos con bases inclinadas o cóncavas, perforadas o porosas. [47]

Con estas consideraciones, en el siguiente esquema se muestra una composición completa y adecuada de irrigación y drenajes de agua para sistemas de jardines verticales:

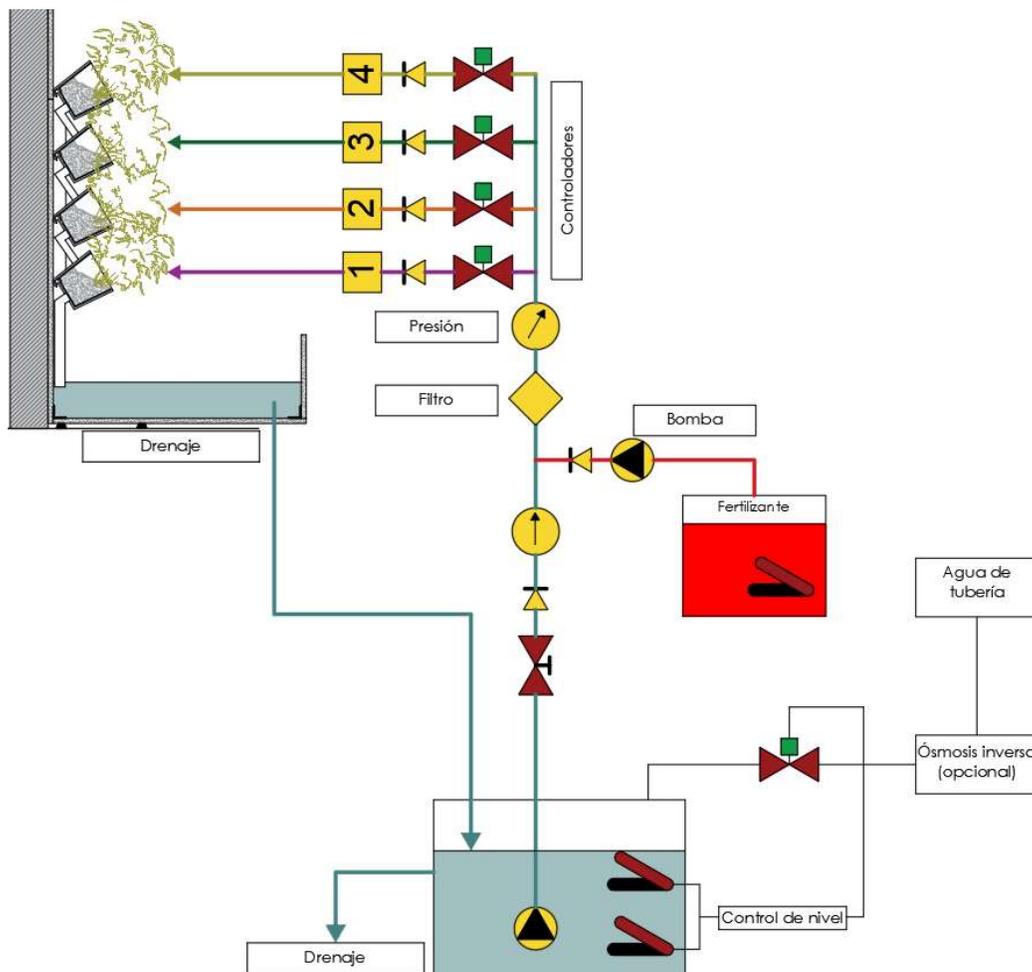


Figura 24. Sistema de irrigación y recolección de agua para muro verde de Mastop Totaaltechnik.



Si bien es cierto que los beneficios de la vegetación de follaje en interiores pueden ser estéticamente agradables y funcionalmente factibles, debe tenerse en cuenta que las condiciones de excesiva humedad de la planta pueden en realidad promover el crecimiento de microorganismos no saludables [55].

5.3.3. Análisis de sustratos vegetales.

La vegetación usualmente requiere de un medio físico de soporte en el cual sujetarse y del cual pueda absorber los nutrientes necesarios para su desarrollo. Los sistemas actuales, proponen sistemas de sustratos ligeros para jardines verticales debido a que cada elemento se encuentra suspendido. Un sustrato sólido (para jardines verticales de tipo convencional, con "contenedor"), debe proveer de la materia y nutrientes necesarios para que la planta logre abastecer sus requerimientos y cumplir sus funciones biológicas. Comúnmente, estos se llenan de suelos orgánicos (compuestos orgánicos e inorgánicos) a los que se incluye nutrientes para ser mejorado, y compuestos orgánicos e inorgánicos adicionales para aligerar su peso, y maximizar su retenibilidad de agua. Estos compuestos adicionales pueden ser espumas artificiales, o material granular como cascara de arroz, fibra de coco, minerales granulares, tela reciclada, entre otros [47]. Algunos de los sustratos de soporte comerciales son por ejemplo la lana de roca, la cual resulta poco "eco-amigable" debido a que requiere cantidades excesivas de energía para su producción. La fibra de coco quizá sea la más óptima, al igual que la cascara de arroz, ya que ambas son productos de "descarte o desecho". La turba, o materia orgánica descompuesta, es un material natural no renovable debido a su excesivo tiempo de producción (miles de años para su concentración) [49]. Algunos modelos de contenedores se presentan en la sección "d. Descripción de sistemas constructivos para vegetación en modelo de: jardines verticales."

Otro medio utilizado, para jardines verticales que no requieren contenedor, son los sistemas de cultivo hidropónicos, en el cual la planta absorbe los nutrientes de un sistema continuo de irrigación, y logra soporte en capas absorbentes. Este sistema consigue menos peso que los anteriores, pero requiere de un mayor abastecimiento de agua con nutrientes, siendo el riego una actividad constante [47]. Un ejemplo de detalle de jardín vertical hidropónico se muestra en la Figura 25. Esta tipología de cultivo sería poco viable dentro de un ambiente interior, debido a que el riego constante ocasionaría niveles excesivos de humedad interior (muy por encima de los considerados con vegetación en contenedor), ocasionando pérdida del confort higrotérmico interior.

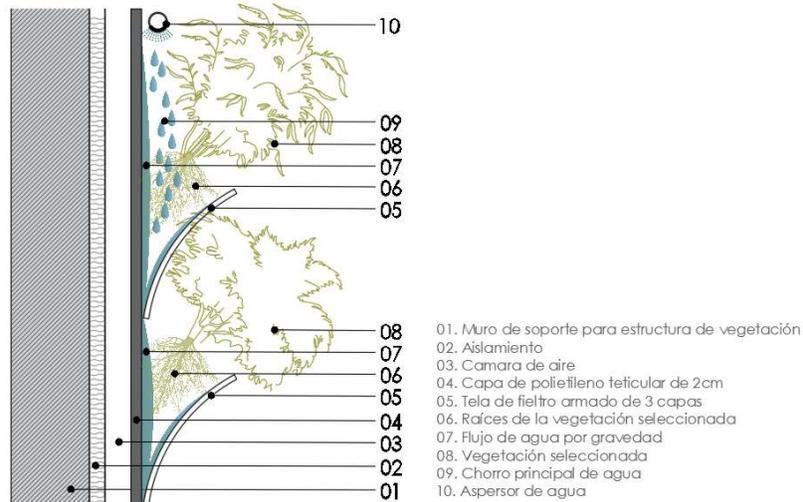


Figura 25. Detalle de jardín vertical hidropónico.

5.3.4. Descripción de sistemas constructivos para vegetación en modelo de: jardines verticales.

La generación de jardines verticales tiene dos conformaciones principales según la naturaleza de la vegetación empleada. La primera, compete a vegetación tipo arbustiva o hierbas, las que se asientan necesariamente sobre el sustrato inmediato para su desarrollo, estas no recubren grandes áreas por si solas, por lo que su configuración amerita una gran cantidad de especímenes. La segunda compete a pantallas vegetales creadas a partir de plantas tipo enredaderas, colgantes o trepadoras, las cuales forman un telón vegetal a partir de tallos y hojas que se entrelazan en otros elementos o se mantienen suspendidos desde el sustrato de cultivo de la. En el cuadro ~~x~~ se puede apreciar las posibilidades para conformación de muros verdes y sus posibles permutaciones.

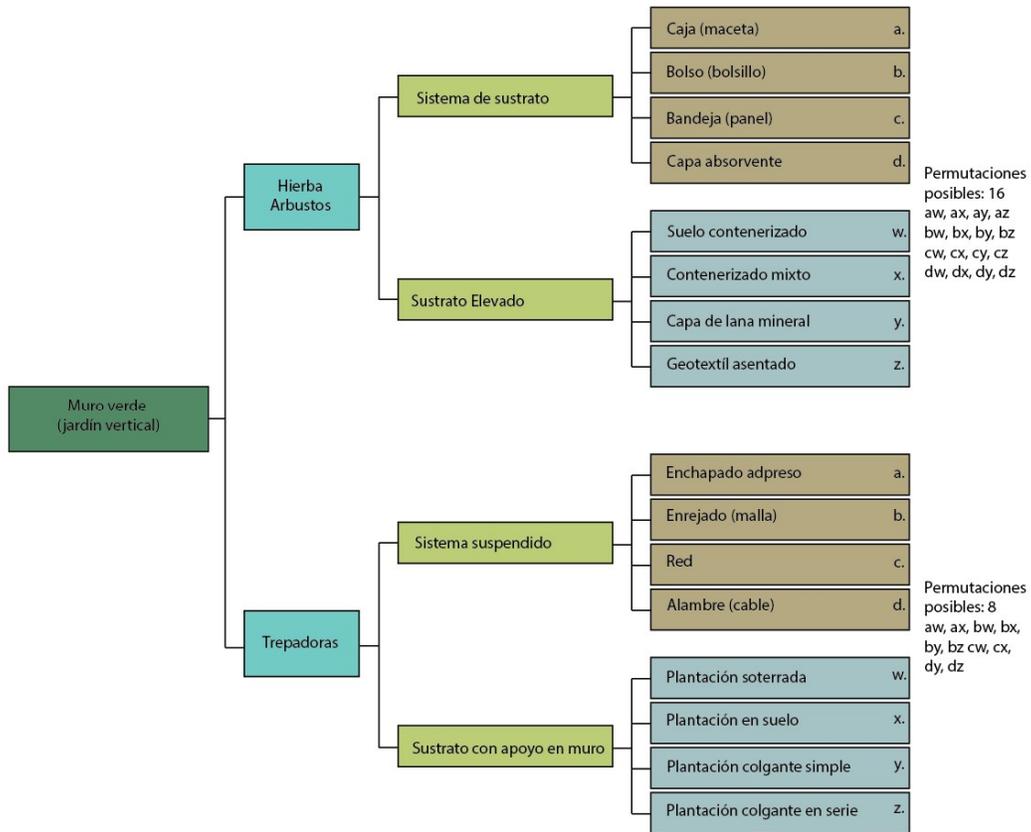


Tabla 17. Tipologías de jardín vertical según sistema constructivo empleado.

Para el primer caso se presentan varias alternativas constructivas presentadas en los siguientes esquemas, mostrando varias de las permutaciones antes vistas (figura 26):

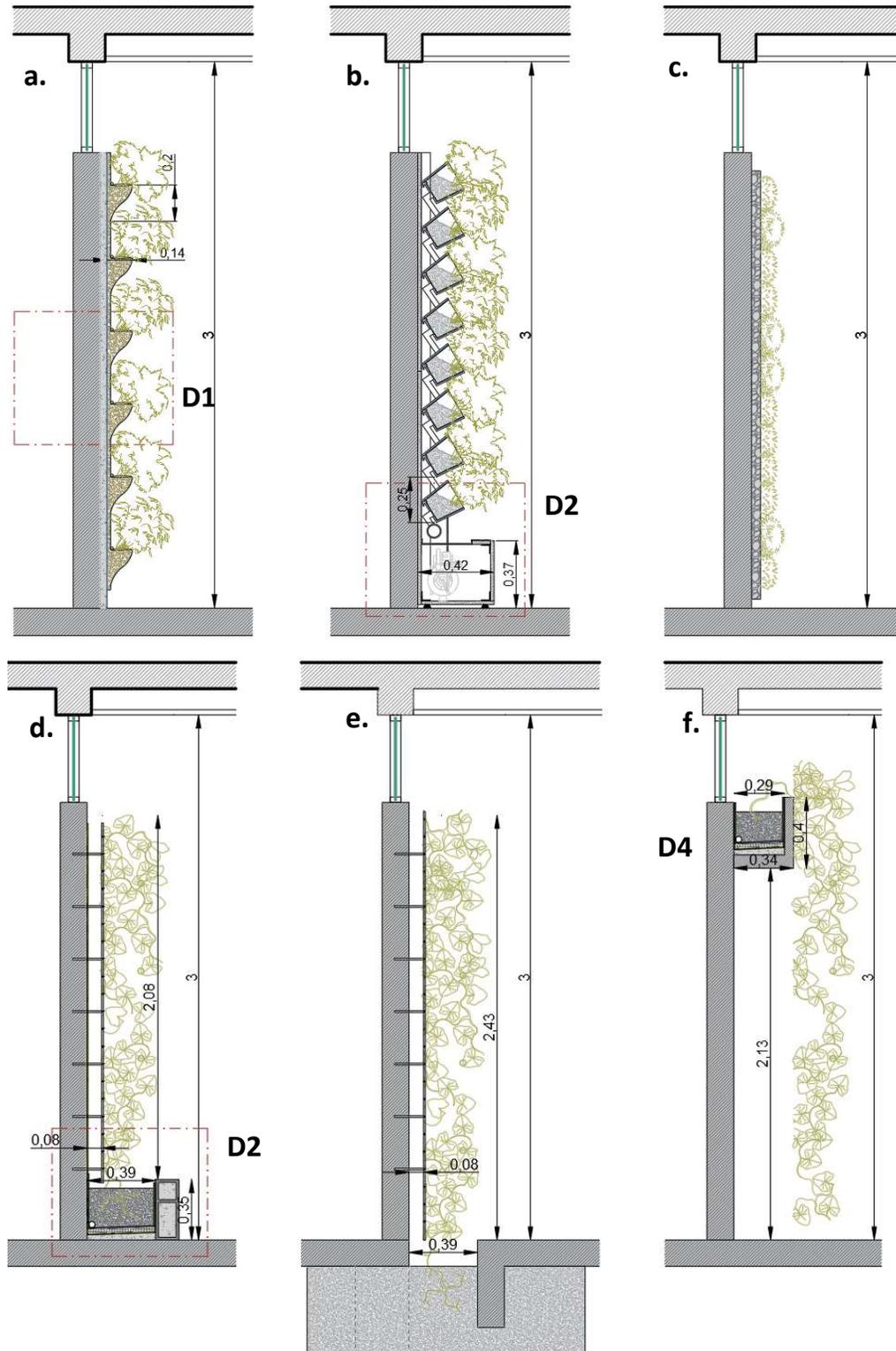
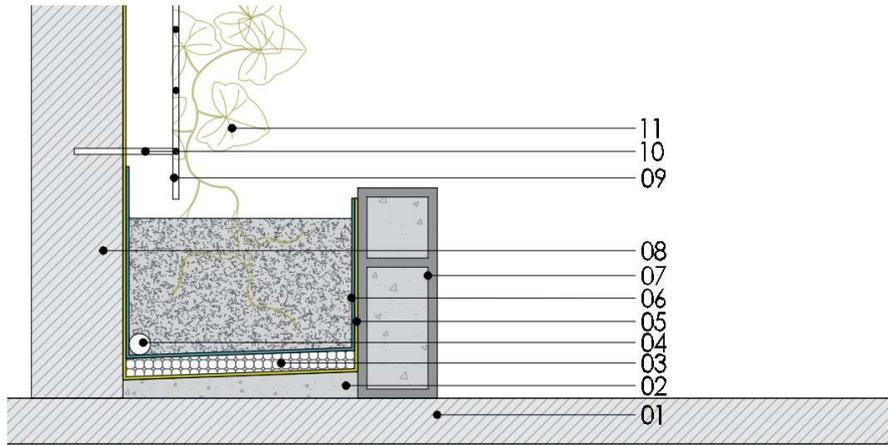


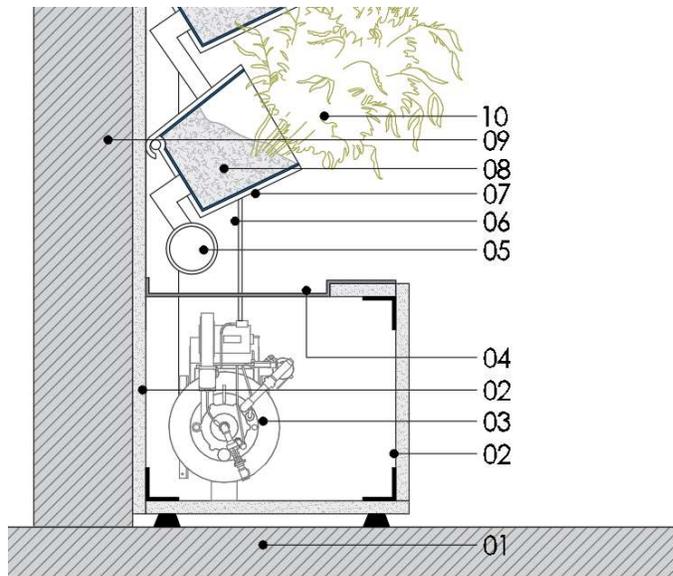
Figura 26. Sistemas de soporte para jardines verticales.

- a. Sistema para hierba arbustiva de bolso con suelo conterizado. Permutación bw.
- b. Sistema para hierba arbustiva de caja con suelo conterizado mixto. Permutación ax.
- c. Sistema para hierba arbustiva de capa absorbente con capa de lana mineral. Permutación dy.
- d. Sistema para trepadoras de enrejado y plantación en suelo. Permutación by.
- e. Sistema para trepadoras de enrejado y plantación soterrada. Permutación bw.
- f. Sistema para trepadoras de alambre y plantación colgante. Permutación dy.



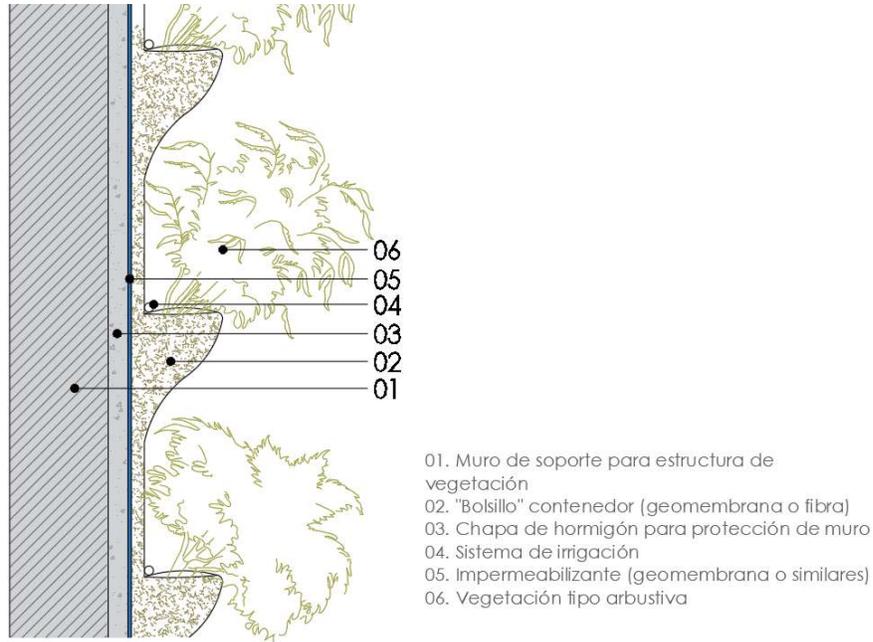
- | | |
|--|--|
| 01. Losa de piso | 07. Bordillo de piezas de mampostería con recubrimiento enlucido |
| 02. Chapa de hormigón con pendiente (mín. 2%) | 08. Muro de soporte para estructura de vegetación |
| 03. Celda de drenaje (permite paso de agua pero no tierra) | 09. Malla electrosoldada Ø6, o similares |
| 04. Tubería de drenaje de PVC | 10. Conector de soporte entre muro y malla |
| 05. Geomembrana o impermeabilizantes | 11. Vegetación de tipo trepadora o enredadera |
| 06. Lámina geotextil | |

Figura 27. Detalle D2. Plantación en suelo.



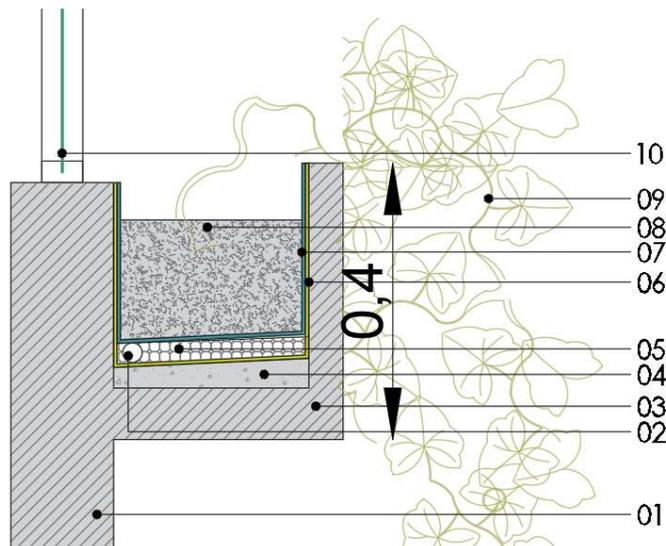
- | | |
|--|--|
| 01. Losa de piso | 06. Perfil estructural para contenedores |
| 02. Panel contenedor resistente al agua (fibrocemento o similar) | 07. Contenedor de material metálico, plástico, u otros |
| 03. Sistema de irrigación | 08. Sustrato de vegetación |
| 04. Bandeja de recolección de tejido vegetal o agua | 09. Muro de soporte para estructura de vegetación |
| 05. Tubería de drenaje | 10. Vegetación de tipo arbustiva |

Figura 28. Detalle D3. Sistema de recolección de agua por bomba y contenedor.



- 01. Muro de soporte para estructura de vegetación
- 02. "Bolsillo" contenedor (geomembrana o fibra)
- 03. Chapa de hormigón para protección de muro
- 04. Sistema de irrigación
- 05. Impermeabilizante (geomembrana o similares)
- 06. Vegetación tipo arbustiva

Figura 29. Detalle D1. Sistema para hierba arbustiva con bolsillo.



- 01. Muro de soporte para estructura de vegetación
- 02. Tubería de drenaje de PVC
- 03. Contenedor de hormigón para sustrato de vegetación
- 04. Chapa de hormigón con pendiente (mín. 2%)
- 05. Celda de drenaje (permite paso de agua pero no tierra)
- 06. Geomembrana o impermeabilizantes
- 07. Lámina geotextil
- 08. Sustrato de vegetación
- 09. Vegetación de tipo colgante
- 10. Ventana

Figura 30. Detalle D4. Sistema de plantación colgante.



6. CAPÍTULO VI: CONCLUSIONES, RECOMENDACIONES Y BIBLIOGRAFÍA

6.1. Conclusiones

Del estudio realizado, se puede comprobar que la implementación de especies vegetales en espacios educativos interiores, posee implicaciones ambientales reales, entre las cuales, el principal, es su real incidencia en la depuración del gas CO₂ como uno de los componentes contaminantes del aire interior. Pese a que las diferencias de valores registrados de este componente suponen una variación mínima en relación a sistemas de ventilación como la natural (considerando que el aire exterior este más limpio que el interior), es potencial el uso que se puede otorgar a la inclusión de vegetación para aulas educativas, combinado con otros sistemas de ventilación y acondicionamiento térmico y acústico. Resulta importante notar también, que los niveles que puede alcanzar un aula convencional, privada de ventilación o sistemas de renovación de aire, con una carga de ocupación elevada, son críticos, superando por mucho los permisibles por diferentes normas, lo que se infiere puede poseer afecciones severas en la salud y rendimiento estudiantil.

Referente a parámetros adicionales como lo es la temperatura y humedad, se determina que de ellos el que influyó más en la sensación de inconformidad ambiental fue el ambiente “pesado” generado por el aumento de humedad, el cual también pudo afectar la sensación de satisfacción del factor térmico, como se ha experimentado en otras investigaciones, en las que un factor altera la percepción de otros [10]. Este factor de humedad, también altera la sensación percibida por los estudiantes en cuanto a la calidad de aire experimentada, y no debido a la apreciación de contaminantes específicamente.

Otro factor importante concluido es que la zona de confort establecida por los gráficos convencionales psicrométricos no concuerdan con las expectativas o percepciones reales de los usuarios del aula de la ciudad de Cuenca, pues estos en su mayor parte, pese a estar en microclimas dentro de esta zona, sentían inconformidad con el ambiente experimentado.

6.2. Recomendaciones

Esta investigación encontró resultados aplicados al espacio real y típico de uso educativo, siendo extensos los factores que pueden incidir en los resultados. Por ello, se han analizado los principales con el fin de alcanzar conocimiento sobre esta temática. Aun así, son múltiples los factores que se pueden mejorar para futuras investigaciones como un mejor control y manejo de horarios de uso, una tasa constante de ocupación del aula, y análisis de la diferencia con el ambiente exterior.



Pese a ello, la investigación deja abierta una serie de opciones que pueden seguirse investigando y profundizado para futuros trabajos así como son:

- Potencial de especies vegetales específicas para la depuración de aire interior en espacios educativos o de alta tasa de ocupación.
- Incidencia de la vegetación interior en el incremento de la humedad del ambiente, y su efecto sobre los usuarios.
- Análisis de funcionamiento e interoperabilidad de sistemas de HVAC en combinación con sistemas vegetales para alcanzar confort interior.
- Análisis de potencial vegetal en espacios educativos en relación a su capacidad de depuración, debido a que se infiere que este depende de factores como la luz, área de follaje, entre otros **[8]**.
- Análisis de rendimientos de sistemas de vegetación interior y su ubicación en los espacios, entre otros.



6.3. Bibliografía

- [1] G. Clausen and D. P. Wyon, "The combined effects of many different indoor environmental factors on acceptability and office work performance," *HVAC R Res.*, vol. 14, no. 1, pp. 103–113, 2008.
- [2] a. C. K. Lai, K. W. Mui, L. T. Wong, and L. Y. Law, "An evaluation model for indoor environmental quality (IEQ) acceptance in residential buildings," *Energy Build.*, vol. 41, pp. 930–936, 2009.
- [3] Toderasc Mihai, Vlad Iordache. (2015). "Determining the indoor environment quality for an educational building". *ELSEVIER*, vol. 85, pp. 567. 2018, De ScienceDirect.
- [4] Wood RA, Burchett MD, Alquezar R, Orwell R, Tarran J and Torpy F, 2006, The potted-plant microcosm substantially reduces indoor air VOC pollution: I. Office field-study, *Water Air Soil Pollut*, vol. 175, pp. 163-180.
- [5] Irga PJ, Torpy FR, Burchett MD, 2013, Can hydroculture be used to enhance the performance of indoor plants for the removal of air pollutants? *Atmos Environ*, 77, pp. 267-271.
- [6] Djukanovic R, Wargocki P, Fanger PO, 2002, Cost-benefit analysis of improved air quality in an office building, *Proceedings: Indoor Air*, pp. 808-813.
- [7] B.C. Wolverson, Ph.D. (1989). *Interior Landscape Plants for Indoor Air Pollution Abatement*. Science and Technology Laboratory. Final Report, pp. 1. 2018.
- [8] Dr Fraser Torpy. (2007). *Indoor Plants Work*. University of technology, Sydney, xxx, 1-3. 2018, De Environmental Quality Research Group.
- [9] Yuxia Sun, Pan Wang, Qingnan Zhang, Hongting Ma, Jing Hou, Xiangrui Kong. (2015). *Indoor Air Pollution and Human Perception in Public Buildings in Tianjin, China*. Elsevier, 121, 1-3. 2018, De ScienceDirect.
- [10] Mari Turunen, Oluyemi Toyinbo. (2014). *Indoor environmental quality in school buildings, and the health and wellbeing of students*. *ELSEVIER*, 217, 733-734. 2018, De ScienceDirect.
- [11] Petrichenko, K., Aden N. and Tsakiris, A. (2016). *Tools for Energy Efficiency in Buildings. A Guide for policy-makers and experts*. Working paper, C2E2, Copenhagen and WRI, Washington D.C.
- [12] D'Amico F. (2000). *Arquitectura bioclimática, conceptos básicos y panorama actual*. pp. 1-9. 2018, De Boletín CF+S.
- [13] Toderasc Mihai, Vlad Iordache. (2015). *Determining the indoor environment quality for an educational building*. *ELSEVIER*, vol. 85, pp. 566-574. 2018, De ScienceDirect.
- [14] L. Pérez-Lombard. (2008). *A review on buildings energy consumption information*. *ELSEVIER*, 40, 394-398. 2018, De ScienceDirect.
- [15] N. Soares. (2013). *Review of passive PCM latent heat thermal energy storage systems towards buildings' energy efficiency*. *ELSEVIER*, 59, 82-85. 2018, De ScienceDirect.
- [16] C. Filippín. (1999). *Benchmarking the energy efficiency and greenhouse gases emissions of school buildings in central Argentina*. *Building and environment*, 35, 407-409. 2018, De Pergamon.
- [17] Guardino X. (1998). *Enciclopedia de salud y seguridad en el trabajo*. España: Ministerio de Trabajo y Asuntos Sociales. Subdirección General de Publicaciones.
- [18] Stuart A. Batterman & Harriet Burge (1995) *HVAC Systems As Emission Sources Affecting Indoor Air Quality: A Critical Review*, *HVAC&R Research*, 1:1, 61-78
- [19] F. Minichiello (1999) *Indoor air quality control by outdoor airflow variation in HVAC systems*, *International Journal of Ambient Energy*, 20:3, 115-124
- [20] Aristotelis Avgelis & Agis M. Papadopoulos (2004) *Indoor Air Quality Guidelines and Standards - A State of the Art Review*, *International Journal of Ventilation*, 3:3, 267-278



- [21] A.P. Jones. (1999). Indoor air quality and health. *Atmospheric Environment*, 33, 4535-4539. 2018, De ELSEVIER.
- [22] Rodríguez-Salinas, P., Ruiz Morales, M., Franco, A., Pérez-Fernández, A. R., Lobato-Calleros, O. (2017). Efecto de amortiguamiento térmico de una barrera verde de Arundo donax como elemento de bioclimatización en edificios.
- [23] Indoor Pollutants and Sources. Basic Information on Pollutants and Sources of Indoor Air Pollution. 2018, de United States Environmental Protection Agency Sitio web: <https://www.epa.gov/mold/indoor-pollutants-and-sources>
- [24] (2014). Hojas técnicas. Calidad del aire. 2018, de Proclima Sitio web: http://www.proclima.es/wp-content/uploads/2014/06/calidad_del_aire.pdf
- [25] Ministerio del ambiente Ecuador. (2010). Plan Nacional de la Calidad del Aire. Pp 1-39. 2018
- [26] Instituto Nacional de Eficiencia Energética y Energías Renovables. En Estrategias para mejorar las condiciones de habitabilidad y el consumo de energía en viviendas. pp. 51. Ecuador.
- [27] Secretaría Nacional de Planificación y Desarrollo. (2013). Plan Nacional del Buen Vivir. pp 273-275.
- [28] Norma Ecuatoriana de Calidad del Aire, 2011. Texto Unificado de Legislación Secundaria del Ministerio del Ambiente. Libro VI, pp 1-10.
- [29] Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo INSHT. Ministerio de Empleo y Seguridad Social. Gobierno de España. Sitio web: http://www.insht.es/Ergonomia2/Contenidos/Promocionales/Calidad%20del%20ambiente%20interior/ficheros/Consultas%20frecuentes_CAI.pdf
- [30] World Health Organization. (2011). Methods for monitoring indoor air quality in schools. pp15-25. 2018.
- [31] S.C. Lee, M. Chang. (2000). Indoor and outdoor air quality investigation at schools in Hong Kong. *Chemosphere*, vol 41, pp 109-111. 2018, De ELSEVIER.
- [32] Gurumurthy Ramachandran , John L. Adgate , Sudipto Banerjee , Timothy R. Church, David Jones , Ann Fredrickson & Ken Sexton (2005) Indoor Air Quality in Two Urban Elementary Schools—Measurements of Airborne Fungi, Carpet Allergens, CO₂, Temperature, and Relative Humidity, *Journal of Occupational and Environmental Hygiene*, 2:11, 553-558
- [33] Yacine ALLAB, Andrea KINDINIS. (2014). INDOOR CLIMATE QUALITY ASSESSMENT IN HIGH SCHOOL CLASSROOM: VENTILATION STRATEGIES AND OCCUPANCY MANAGEMENT. pp 1-8. 2018.
- [34] Moshood Olawale Fadeyi. (2014). Evaluation of indoor environmental quality conditions in elementary schools' classrooms in the United Arab Emirates. *Frontiers of architectural research*, 3, 166-170. 2018, De ScienceDirect.
- [35] Tomás Bolaños-Silva. (2011). Consideraciones y selección de especies vegetales para su implementación en ecoenvolventes arquitectónicos: una herramienta metodológica. *Revista nodo* N° 10, 5, 5-19. 2018.
- [36] Zhiqiang Wang, Jingjing Pei. (2014). Experimental investigation of the formaldehyde removal mechanisms in a dynamic botanical filtration system for indoor air purification. *Journal of Hazardous Materials*, 280, 235-240. 2018, De ELSEVIER.
- [37] NTP 549: El dióxido de carbono en la evaluación de la calidad del aire interior. Centro nacional de condiciones de trabajo. Ministerio de Trabajo y Estudios Sociales España. España, 2000.
- [38] (2016). CO₂ Gas Sensor. 2018, de Vernier Software & Technology Sitio web: <https://www.vernier.com/files/manuals/co2-bta/co2-bta.pdf>
- [39] (2018). TEMPERATURE SENSORS. 2018, de Apogee Instruments Sitio web: <https://www.apogeeinstruments.com/content/ST-100-110-200-300-manual.pdf>



- [40] HX71 SERIES RH Probe/Transmitter. 2018, de OMEGA Sitio web: <https://www.omega.com/manuals/manualpdf/M4543.pdf>
- [41] Ministerio de educación Lima, Perú. (2006). NORMAS TÉCNICAS PARA EL DISEÑO DE LOCALES ESCOLARES DE PRIMARIA Y SECUNDARIA. 2018, de Ministerio de educación Lima, Perú Sitio web: http://www.minedu.gob.pe/oinfo/xtras/NormaTecnica_PrimaryySecundaria_ago2006.pdf
- [42] Arizona State University. (2013). Classroom Design Guide. 2018, de Arizona State University Sitio web: https://www.asu.edu/fm/documents/project_guidelines/Classroom-Design-Guidelines.pdf
- [43] Piyush Chaudhary. (2012). Fast and Accurate Method for Leaf Area Measurement. International Journal of Computer Applications, 49, 22-24. 2018.
- [44] MD Kamal Bhusal. (2010). Solar radiation and its effects on vegetation. 2018, de sovnr Sitio web: <http://forestrycomponents.blogspot.com/2010/03/solar-radiation-and-its-effects-on.html>
- [45] FR Torpy, PJ Irga. (2016). Green wall technology for the phytoremediation of indoor air: a system for the reduction of high CO₂ concentrations. Springer Science+Business Media Dordrecht , 1-2. 2018
- [46] Foliage design systems. (2018). The estimated light tolerance for each live plant is defined as:. 2018, de Foliage design systems Sitio web: <https://www.foliagedesign.com/products/live-plants/>
- [47] Laurence M, Sabin R. Plant wall and modules for growing plants. US 2011/0107667 A1; 2011.
- [48] C.Y. Jim. (2015). Greenwall classification and critical design-management assessments. Ecological Engineering, 77, 348-362. 2018, De ELSEVIER.
- [49] Jianjun Chen, Dennis B. McConnell, Cynthia A. Robinson, Russell D. Caldwell & Yingfeng Huang (2002) Production and Interior Performances of Tropical Ornamental Foliage Plants Grown in Container Substrates Amended with Composts, Compost Science & Utilization, 10:3, 217-225.
- [50] Montacchini E., Tedesco S., Rondinone T. (2017). Indoor Environment Quality (User Comfort, Health and Behaviour). Greenery for a university campus: does it affect indoor environmental quality and user well-being? 122, 289-292. 2018. De ELSEVIER.
- [51] N. Fernández-Bregón, M. Urrestarazu, D. L. Valera. (2012). Effects of a vertical greenery system on selected thermal and sound mitigation parameters for indoor building walls. Journal of Food, Agriculture & Environment, 10, 1025-1027. 2018, De WFLPublisher.
- [52] Felipe Quesada Molina, David Bustillos Yaguana. (2018). Indoor Environmental Quality of Urban Residential Buildings in Cuenca—Ecuador: Comfort Standard. Buildings, 90, 1-19. 2018, De MDPI.
- [53] Vilcekova S, Meciarova L, Burdova EK, Katunska J, Kosicanova D, Doroudiani S. (2017). Indoor environmental quality of classrooms and occupants' comfort in a special education school in Slovak Republic. Building and Environment. 2018.
- [54] K. Steinkamp, C.A. Conover, R.T. Poole. Acclimatization of Ficus benjamina: A Review. CFREC - Apopka Research Report Index. 2018.
- [55] Godofredo U. Stuart Jr., M.D.. (2015). Chamaedorea seifrizii Burret. 2018, de STUARTXCHANGE Sitio web: <http://www.stuartxchange.org/Sipritsi.html>
- [56] Edward F. Gilman. 1999. Aglaonema modestum Chinese Evergreen. pp 1-2. 2018, De UF/IFAS Extension.



Anexos

Anexo 1. Definición de términos

ADMINISTRACIÓN AMBIENTAL.- Es la organización que establece un Estado para llevar a cabo la gestión ambiental. Comprende la estructura y funcionamiento de las instituciones para orientar y ejecutar los procesos, la determinación de procedimientos y la operación de las acciones derivadas.

AIRE.- O también aire ambiente, es cualquier porción no confinada de la atmósfera, y se define como mezcla gaseosa cuya composición normal es, de por lo menos, veinte por ciento (20%) de oxígeno, setenta y nueve por ciento (79%) nitrógeno y proporciones variables de gases inertes y vapor de agua, en relación volumétrica.

AMBIENTE.- Entorno que afecta y condiciona las circunstancias de vida de personas y seres vivos en general, y de la sociedad en su conjunto. Incluye el agua, aire, suelo, recursos naturales, flora, fauna, seres humanos, y su interrelación.

APROVECHAMIENTO SUSTENTABLE.- Es la utilización de organismos, ecosistemas y otros recursos naturales en niveles que permitan su renovación, sin cambiar su estructura general.

ASPECTO AMBIENTAL.- Elemento de las actividades de la organización, productos o servicios que pueden interactuar con el ambiente. Un aspecto ambiental significativo es uno que tiene o puede tener un impacto ambiental significativo.

CALIDAD AMBIENTAL.- Conjunto de indicadores que reflejan las condiciones de los recursos naturales y/o del ambiente urbano.

CARGA CONTAMINANTE.- Masa de un contaminante específico que ha sido descargada en el ambiente, en un período determinado.

CELDA ELECTROQUÍMICA.- Parte del sistema de medición de emisiones, mediante analizador portátil de gases, que mide el gas de interés y genera una salida proporcional a la concentración de dicho gas.

CHIMENEA.- Conducto que facilita el transporte hacia la atmósfera de los productos de combustión generados en la fuente fija.

COMBUSTIÓN.- Oxidación rápida, que consiste en una combinación del oxígeno con aquellos materiales o sustancias capaces de oxidarse, dando como resultado la generación de gases, partículas, luz y calor.

COMBUSTIBLES FÓSILES.- Son aquellos hidrocarburos encontrados en estado natural, ejemplos, petróleo, carbón, gas natural, y sus derivados.

COMBUSTIBLES FÓSILES GASEOSOS.- Son aquellos derivados del petróleo o del gas natural, tales como butano, propano, metano, isobutano, propileno, butileno o cualquiera de sus combinaciones.

COMBUSTIBLES FÓSILES LÍQUIDOS.- Son aquellos derivados del petróleo, tales como petróleo crudo, diesel, búnker, kerosene, naftas.

COMBUSTIBLES FÓSILES SÓLIDOS.- Se refiere a las variedades de carbón mineral cuyo contenido fijo de carbono varía desde 10% a 90% en peso, y al coque de petróleo.



CONTAMINACIÓN.- Es la presencia en el ambiente de sustancias, elementos, energía o combinación de ellas, en concentraciones y permanencia superiores o inferiores a las establecidas en la legislación vigente.

CONTAMINANTE.- Cualquier elemento, compuesto, sustancia, derivado químico o biológico, energías, radiaciones, vibraciones, ruidos, o combinación de ellos; que causa un efecto adverso al aire, agua, suelo, recursos naturales, flora, fauna, seres humanos, a su interrelación o al ambiente en general.

CONTAMINACIÓN DEL AIRE.- La presencia de sustancias en la atmósfera, que resultan de actividades humanas o de procesos naturales, presentes en concentración suficiente, por un tiempo suficiente y bajo circunstancias tales que interfieren con el confort, la salud o el bienestar de los seres humanos o del ambiente.

CONTAMINANTES DEL AIRE.- Cualquier sustancia o material emitido a la atmósfera, sea por actividad humana o por procesos naturales, y que afecta adversamente al hombre o al ambiente.

CONTAMINANTES COMUNES DEL AIRE.- Contaminantes del aire para los cuales se especifica un valor máximo de concentración permitida, a nivel del suelo, en el aire ambiente, para diferentes períodos de tiempo, según la normativa aplicable.

CONTAMINANTE PELIGROSO DEL AIRE.- Son aquellos contaminantes del aire no contemplados en las normas de calidad del aire para contaminantes comunes, que pueden presentar una amenaza de efectos adversos en la salud humana o en el ambiente. Algunos de estos contaminantes, pero que no se limitan a los mismos, son asbesto, berilio, mercurio, benceno, cloruro de vinilo.

CONTROL DE LA CONTAMINACIÓN AMBIENTAL.- Se enfoca en reducir, minimizar o controlar los contaminantes que se han formado en un proceso o actividad y que son o pueden ser liberados o emitidos (output) al ambiente.

COSTO AMBIENTAL.- Son los gastos necesarios para la protección, conservación, mejoramiento y rehabilitación del medio ambiente.

DAÑO AMBIENTAL.- Es toda pérdida, disminución, detrimento o menoscabo significativo de las condiciones preexistentes en el medio ambiente o uno de sus componentes. Afecta al funcionamiento del ecosistema o a la renovación de sus recursos.

DAÑOS SOCIALES.- Son los ocasionados a la salud humana, al paisaje, al sosiego público y a los bienes públicos o privados, directamente afectados por actividad contaminante.

DERECHOS AMBIENTALES COLECTIVOS.- Son aquellos compartidos por la comunidad para gozar de un medio ambiente sano y libre de contaminación. Involucra valores estéticos, escénicos, recreativos: de integridad física y mental y en general de la calidad de vida.

DESARROLLO SUSTENTABLE.- Es el mejoramiento de la calidad de la vida humana dentro de la capacidad de carga de los ecosistemas; implican la satisfacción de las necesidades actuales sin comprometer la satisfacción de las necesidades de las futuras generaciones.

DESEMPEÑO AMBIENTAL.- Actividad en una zona, entorno y circunstancias en las que se encuentra un ser u objeto. Condiciones y circunstancias que rodean a las personas, animales o cosas.



DIVERSIDAD BIOLÓGICA O BIODIVERSIDAD.- Es el conjunto de organismo vivos incluidos en los ecosistemas terrestres, marinos, acuáticos y del aire. Comprende la diversidad genética, de especies, ecosistemas y paisajes.

SINDROME DEL EDIFICIO ENFERMO.- SBS. Edificios en los cuales un porcentaje mayor al 20 % de personas experimentan efectos agudos sobre la salud y el bienestar, como resultado de la presencia de contaminantes de aire interior (OMS 1982).

ECOSISTEMA.- Es la unidad básica de integración organismo-ambiente, que resulta de las relaciones existentes entre los seres vivos y los elementos inanimados de un área dada.

EMISIÓN.- La descarga de sustancias en la atmósfera. Para propósitos de la norma de calidad del aire, la emisión se refiere a la descarga de sustancias provenientes de actividades humanas.

EMISIONES BIOGENICAS.- Descarga de gases, especialmente hidrocarburos, generada por determinadas especies vegetales.

EMISIONES FUGITIVAS DE HIDROCARBUROS.- Hidrocarburos volátiles que escapan de los tanques de almacenamiento estacionario o vehicular.

EPISODIO CRÍTICO DE CONTAMINACIÓN DEL AIRE.- Es la presencia de altas concentraciones de contaminantes comunes del aire y por períodos cortos de tiempo, como resultado de condiciones meteorológicas desfavorables que impiden la dispersión de los contaminantes previamente emitidos.

ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL.- Son estudios técnicos que proporcionan antecedentes para la predicción e identificación de los impactos ambientales. Además, describen las medidas para prevenir, controlar, mitigar y compensar las alteraciones ambientales significativas.

EVALUACIÓN DE IMPACTO AMBIENTAL.- Es el procedimiento administrativo de carácter técnico que tiene por objeto determinar obligatoriamente y en forma previa, la viabilidad ambiental de un proyecto, obra o actividad pública o privada. Tiene dos fases; el estudio de impacto ambiental y la declaratoria de impacto ambiental. Su aplicación abarca desde la fase de pre factibilidad hasta la de abandono o desmantelamiento del proyecto, obra o actividad pasando por las fases intermedias.

FACTOR DE EMISIÓN.- Un factor de emisión es una relación entre la cantidad de contaminante emitido a la atmósfera y una unidad de actividad.

GASES DE EFECTO INVERNADERO.- Gases cuya presencia contribuyen al calentamiento global.

GESTIÓN AMBIENTAL.- Conjunto de políticas, normas, actividades operativas y administrativas de planeamiento, financiamiento y control estrechamente vinculadas, que deben ser ejecutadas por el Estado y la sociedad para garantizar el desarrollo sustentable y una óptima calidad de vida.

IMPACTO AMBIENTAL.- Es la alteración positiva o negativa del medio ambiente, provocada directa o indirectamente por un proyecto o actividad en un área determinada
INFORMACIÓN AMBIENTAL.- Es toda la información calificada que procesa la Red Nacional de Información y Vigilancia Ambiental. La información ambiental se sustenta en sistemas de monitoreo y otras acciones de inspección y vigilancia; es de carácter público y debe difundirse periódicamente.



INSTRUMENTOS DE GESTIÓN AMBIENTAL.- Para efectos de esta Ley constituyen los mecanismos de orden técnico, jurídico, o de otro tipo conducentes a lograr racionalidad y eficiencia en la gestión ambiental, a través de los instrumentos técnicos y legales se establecen las obligaciones de las personas respecto al medio ambiente.

LÍNEA BASE.- Denota el estado de un sistema alterado en un momento en particular, antes de un cambio posterior. Se define también como las condiciones en el momento de la investigación dentro de un área que puede estar influenciada por actividades humanas.

MATERIAL PARTICULADO.- Está constituido por material sólido o líquido en forma de aerosol, presente en la atmósfera.

MEDIO AMBIENTE.- Sistema global constituido por elementos naturales y artificiales, físicos, químicos o biológicos, socioculturales y sus interacciones, en permanente modificación por la naturaleza o la acción humana, que rige la existencia y desarrollo de la vida en sus diversas manifestaciones.

MEJORAMIENTO.- Es el incremento de la capacidad de un ecosistema o de una población para satisfacer una función particular o para rendir un producto determinado. VIII | Ministerio del Ambiente

MICRÓN.- Millonésima parte de un metro.

MODELO DE DISPERSIÓN.- Técnica de investigación que utiliza una representación matemática y física de un sistema, en este caso el sistema consiste de una o varias fuentes fijas de emisión, de las condiciones meteorológicas y topográficas de la región, y que se utiliza para predecir la(s) concentración(es) resultante(s) de uno o más contaminantes emitidos.

MONITOREO.- Es el proceso programado de coleccionar muestras, efectuar mediciones, y realizar el subsiguiente análisis y registro.

NORMA DE CALIDAD DE AIRE.- Es el conjunto de valores establecidos como límite máximo permisible de concentración, a nivel del suelo de un contaminante del aire durante un tiempo promedio de muestreo determinado, de finido con el propósito de proteger la salud y el ambiente.

NORMA DE EMISIÓN.- Es el valor que señala la descarga máxima permitida de los contaminantes del aire.

OLOR OFENSIVO.- Es el olor, generado por sustancias o actividades industriales, comerciales o de servicio, que produce molestia aunque no cause daño a la salud humana.

OPACIDAD.- Grado de reducción de luminosidad que ocasiona una sustancia al paso por ella de la luz visible.

PARÁMETRO, COMPONENTE O CARACTERÍSTICA.- Variable o propiedad física, química, biológica, combinación de las anteriores, elemento o sustancia que sirve para caracterizar la calidad del recurso agua, aire o suelo.

PARTÍCULAS SEDIMENTABLES.- Material particulado, sólido o líquido, en general de tamaño mayor a 10 micrones, y que es capaz de permanecer en suspensión temporal en el aire ambiente.

PARTÍCULAS TOTALES.- Para efectos de emisiones desde fuentes de combustión, se designa como partículas totales al material particulado que es captado en un sistema



de muestreo similar en características al descrito en el método 5 de medición de emisiones de partículas, publicado por la US EPA.

PRECAUCIÓN.- Es la adopción de medidas eficaces para impedir la degradación del ambiente, incluso en ausencia de un apropiado sustento técnico o científico.

PRESERVACIÓN DE LA NATURALEZA.- Es el conjunto de políticas, planes, programas, normas y acciones destinadas a asegurar, en ausencia de todo tipo de disturbio antrópico, el mantenimiento de las condiciones que hacen posible el desarrollo de los ecosistemas.

PREVENCIÓN DE LA CONTAMINACIÓN AMBIENTAL.- Uso de procesos, prácticas, materiales o productos que evitan, reducen o controlan la contaminación.

POLVOS.- Partículas formadas por fractura de materiales sólidos, que pueden provenir de la manipulación del carbón, cemento o granos, también son emitidos en procesos mecánicos como serrar madera, lijar metales. Son capaces de permanecer suspendidos temporalmente pero no se difunden. Su tamaño de partícula está comprendido entre 1 a 10000 micras.

PUNTOS DE MEDICIÓN.- Son puntos específicos, localizados en las líneas de muestreo, en los cuales se realizan las mediciones y se extrae la muestra respectiva.

RED DE MONITOREO.- Conjunto articulado de equipos e instrumentos destinados a la medición de la Concentración de Contaminantes.

REGULADO AMBIENTAL O REGULADO.- Toda persona natural o jurídica u organización de derecho público o privado, cuya actividad en forma directa o indirecta está sujeta a control de la autoridad ambiental.

REPOSICIÓN.- Es la acción de reponer el ambiente o uno de sus componentes a una calidad similar a la que tenía con anterioridad al daño causado.

RESTAURACIÓN.- Es el retorno de un ecosistema o población deteriorada a su condición original.

SECTOR.- Para efectos de la gestión ambiental se considera sector al área de gestión relacionada con la conservación de los ecosistemas y la biodiversidad, integración del patrimonio genético, control y prevención de la contaminación ambiental, aprovechamiento de los recursos naturales, ambiente humano, desarrollo de actividades productivas y de servicios, mitigación de riesgos y desastres naturales antrópicos y otros.

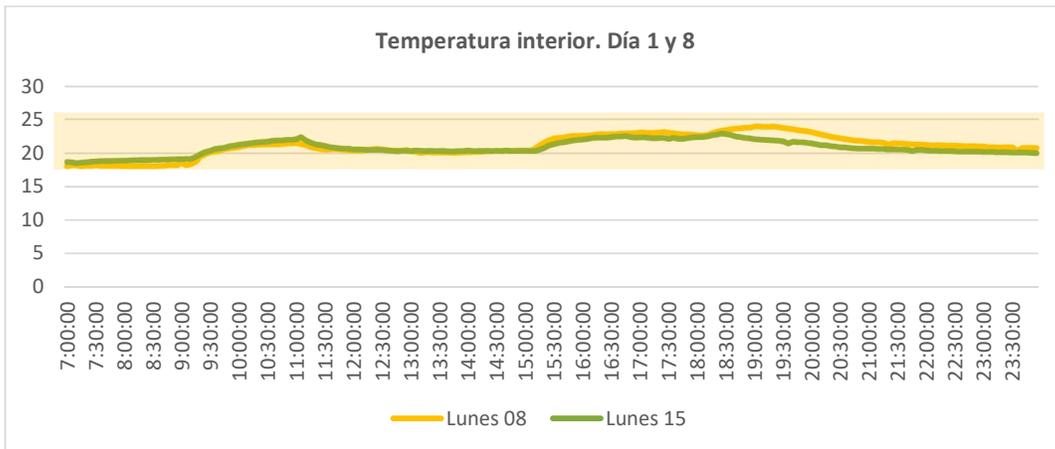
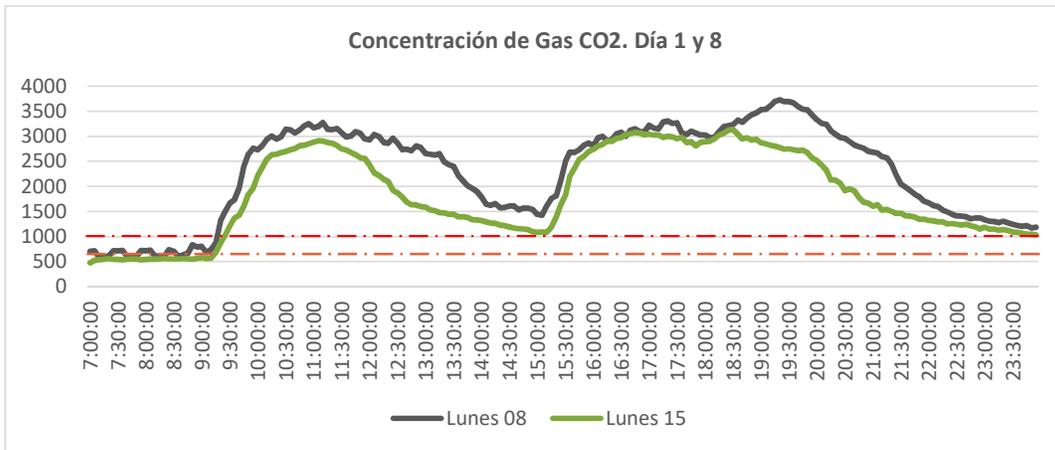
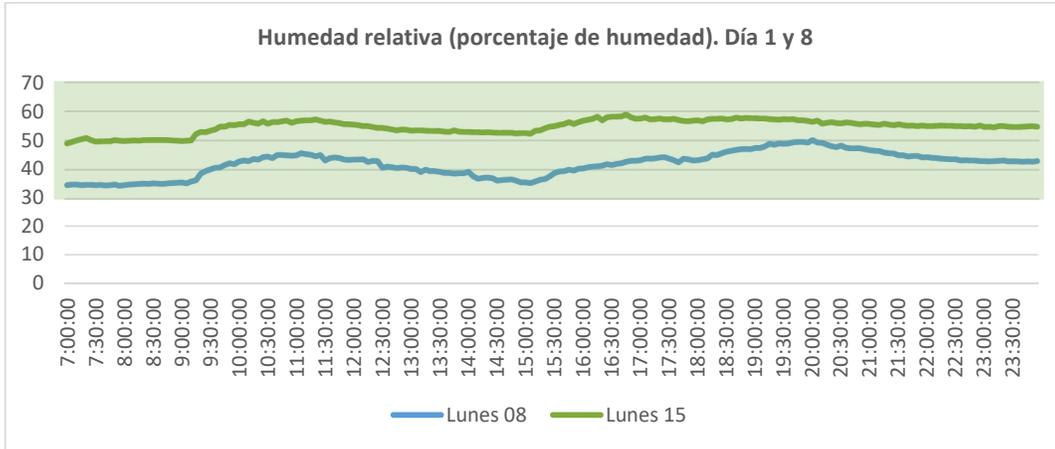
TECNOLOGÍAS ALTERNATIVAS.- Aquellas que suponen la utilización de fuentes de energía permanente, ambientalmente limpias y con posibilidad de uso generalizado en lugar de las tecnologías convencionales.



Anexo 2. Modelo de encuesta de percepción aplicada.

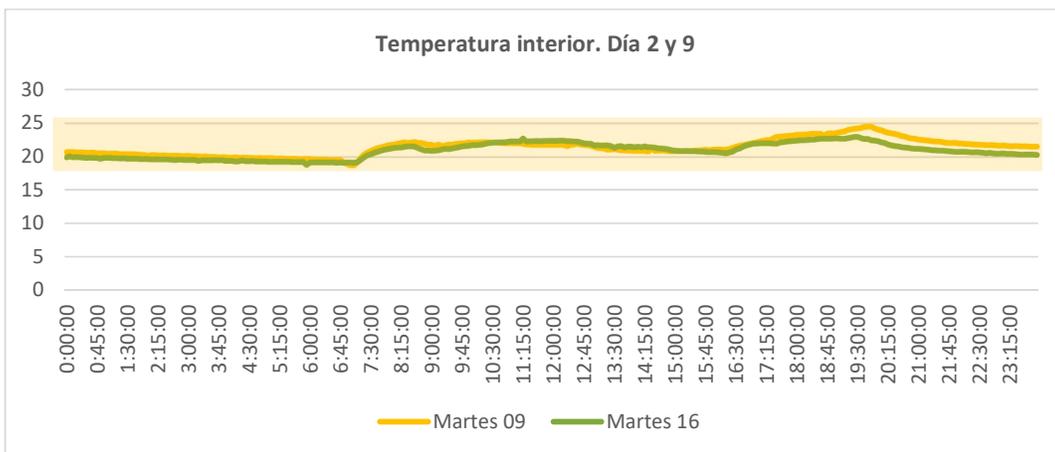
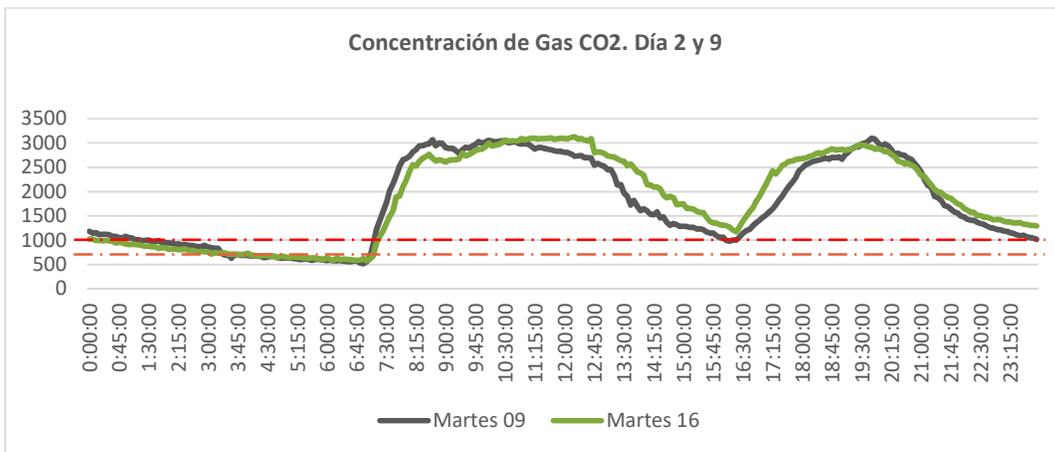
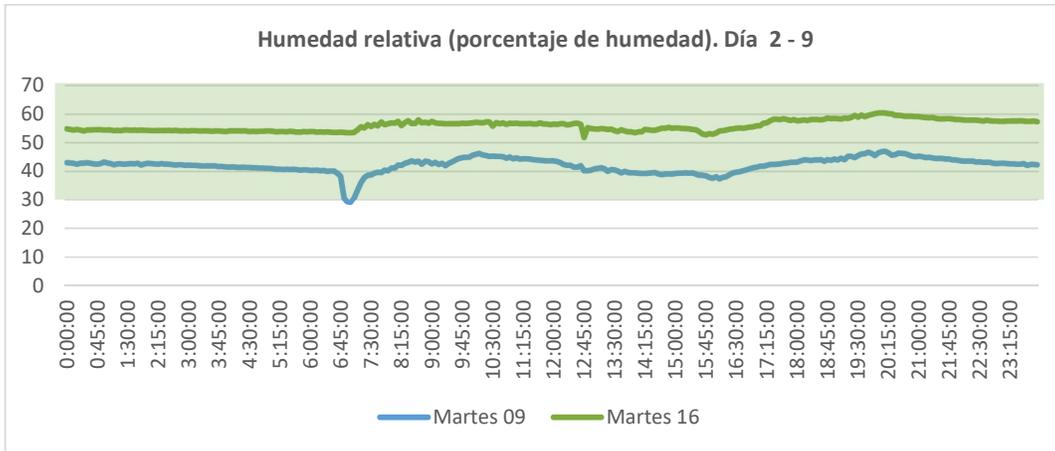
UNIVERSIDAD DE CUENCA						
FACULTAD DE ARQUITECTURA Y URBANISMO						
“Encuesta de percepción del confort térmico y de calidad de aire en aula de clase.”						
1.1 Nombre:						
1.2 Edad:						
1.3 Sexo:		1.3.1 Masculino		1.3.2 Femenino		
1.4.1 Fecha			1.4.2 Hora			
2.1 ¿Cómo describirías las condiciones al interior de su entorno, en cuanto a:?						
2.1.1 Temperatura.						
Muy frío	Frío	Poco frío	Fresco	Abrigado	Caliente	Muy caliente
-3	-2	-1	0	+1	+2	+3
2.1.2 Variación de temperatura durante el día.						
Poco variante			Muy Variante			
-3	-2	-1	0	+1	+2	+3
2.1.3 Conformidad.						
Poco confortable			Muy confortable			
1	2	3	4	5	6	7
2.1.4 Humedad.						
Humedo			Seco			
-3	-2	-1	0	+1	+2	+3
2.1.5 Calidad de aire						
Viciado			Fresco			
-3	-2	-1	0	+1	+2	+3
2.1.5 Aroma						
Maloliente			Sin olor			
-3	-2	-1	0	+1	+2	+3
2.1.6 Conformidad.						
Inconfortable			Confortable			
1	2	3	4	5	6	7
2.1.7 Confort visual						
Inconfortable			Confortable			
1	2	3	4	5	6	7

Anexo 3. Gráficos de registro de datos ambientales por día.



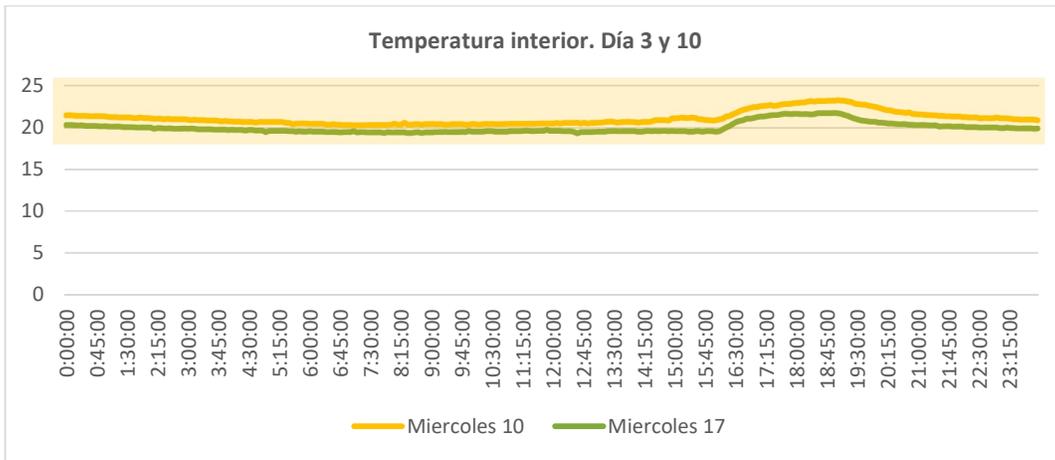
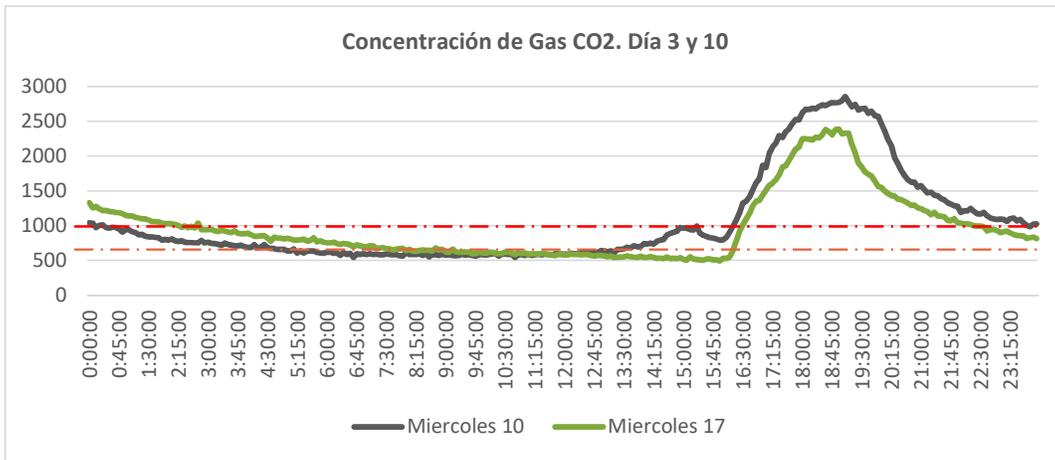
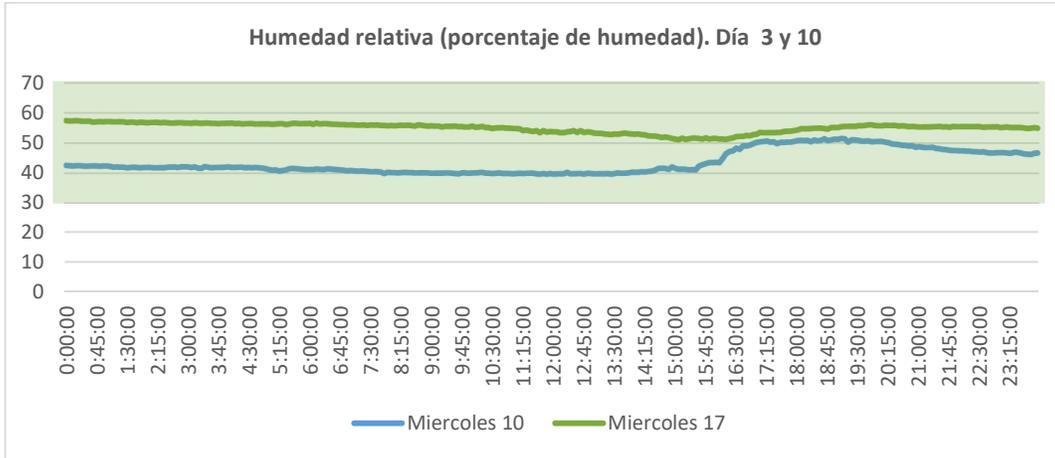
Lunes 08			
	Humedad	CO2	Temperatura
Máximo	50.146	3732.299	23.969
Mínimo	34.521	585.937	18.106
Media	42.052	2309.893	21.169
Mediana	42.993	2682.495	21.143

Lunes 15			
	Humedad	CO2	Temperatura
Máximo	58.984	3140.259	22.920
Mínimo	49.048	476.074	18.529
Media	54.817	1856.426	20.841
Mediana	55.188	1635.742	20.574



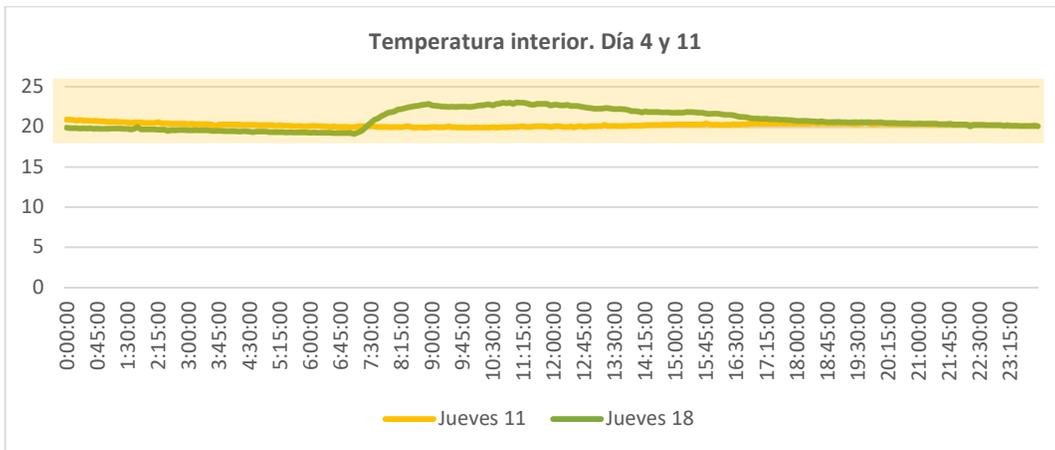
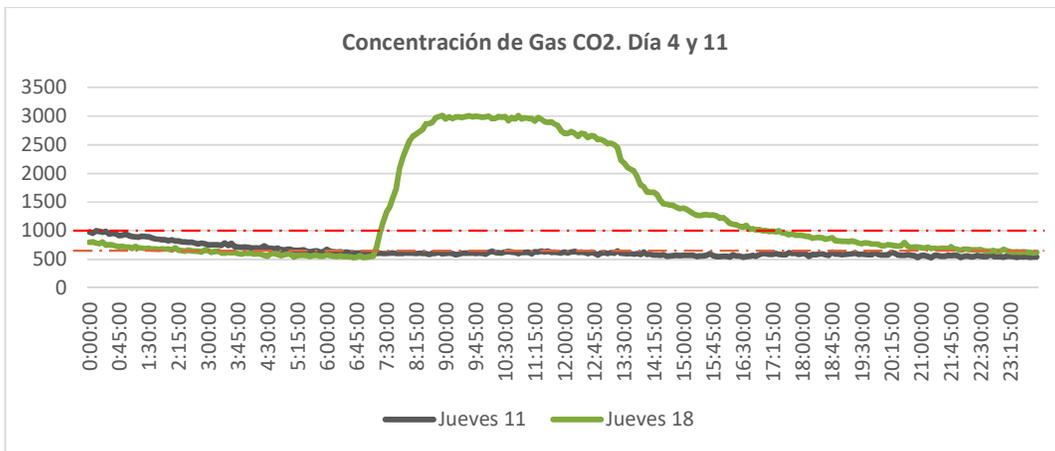
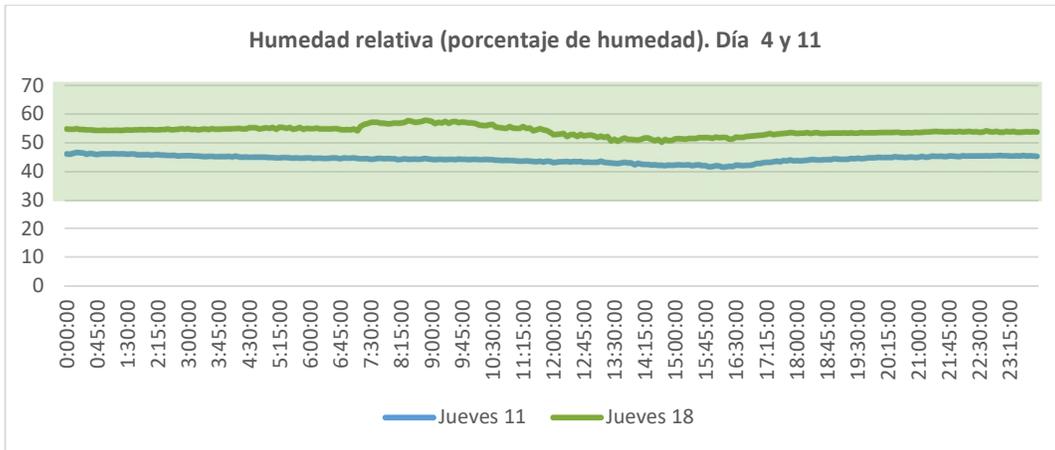
Martes 09			
	Humedad	CO2	Temperatura
Máximo	47.046	3097.534	24.503
Mínimo	29.077	521.851	18.812
Media	42.183	1754.750	21.465
Mediana	42.578	1486.206	21.593

Martes 16			
	Humedad	CO2	Temperatura
Máximo	60.474	3128.052	22.972
Mínimo	51.880	579.834	18.860
Media	56.040	1846.377	20.957
Mediana	55.969	1834.106	20.994



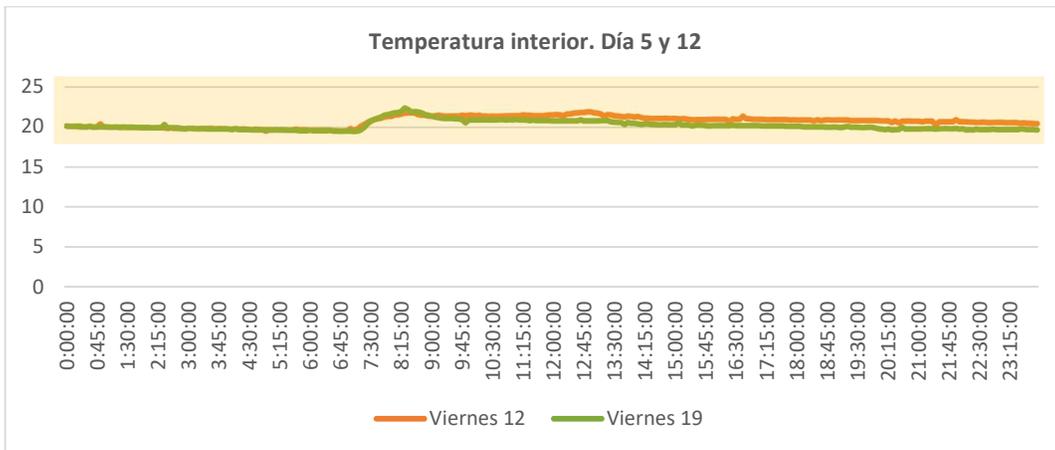
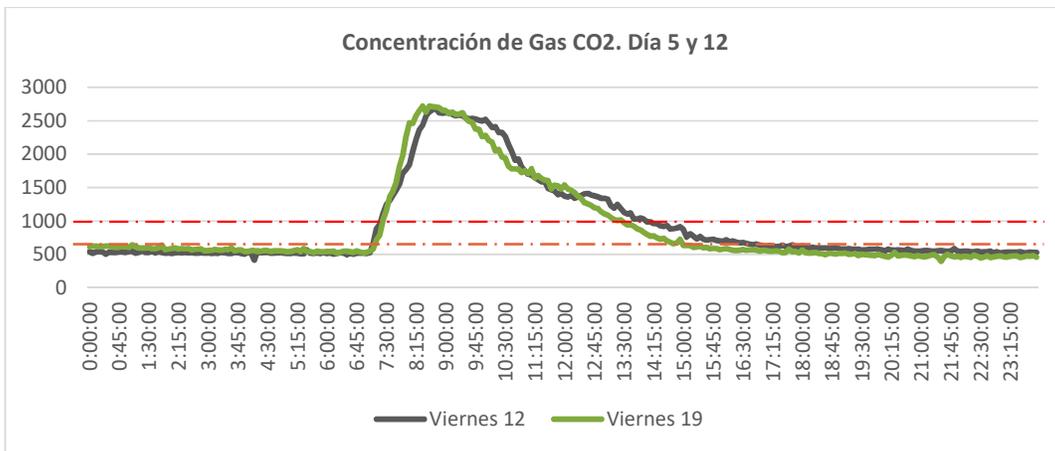
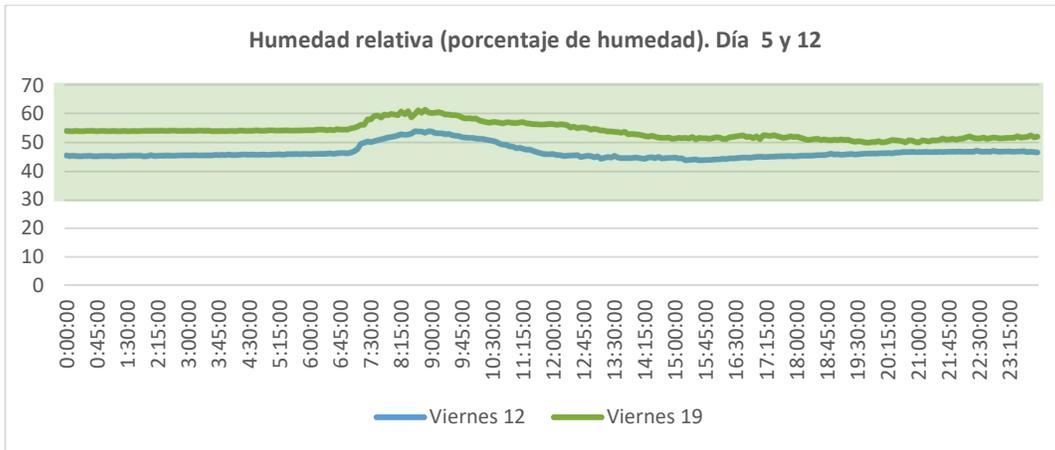
Miércoles 10			
	Humedad	CO2	Temperatura
Máximo	51.611	2856.445	23.284
Mínimo	39.697	540.161	20.304
Media	43.655	1064.470	21.170
Mediana	41.907	779.724	20.944

Miércoles 17			
	Humedad	CO2	Temperatura
Máximo	57.495	2386.474	21.795
Mínimo	51.172	494.385	19.384
Media	55.105	968.043	20.045
Mediana	55.493	825.500	19.794



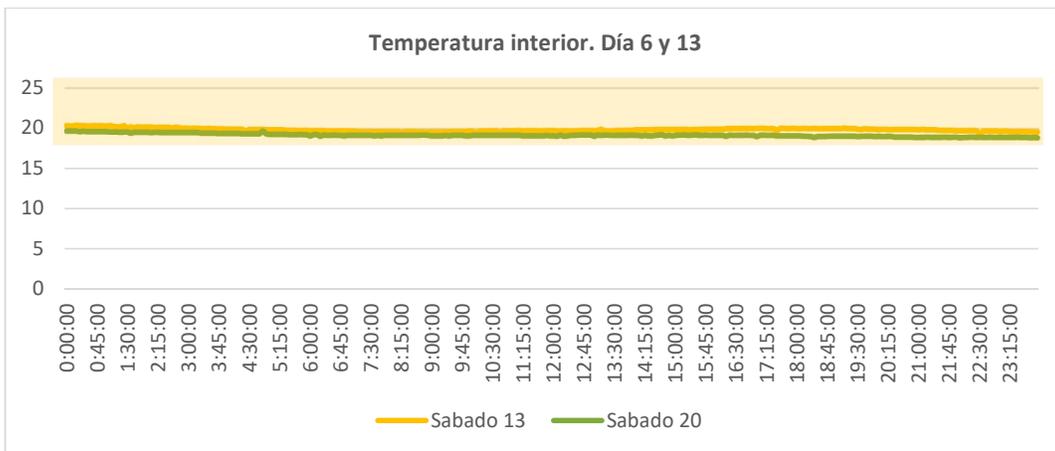
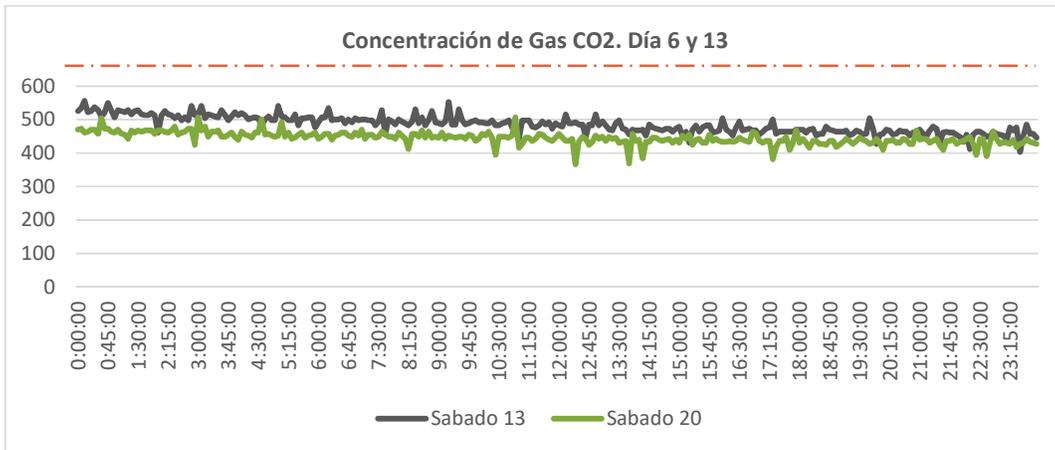
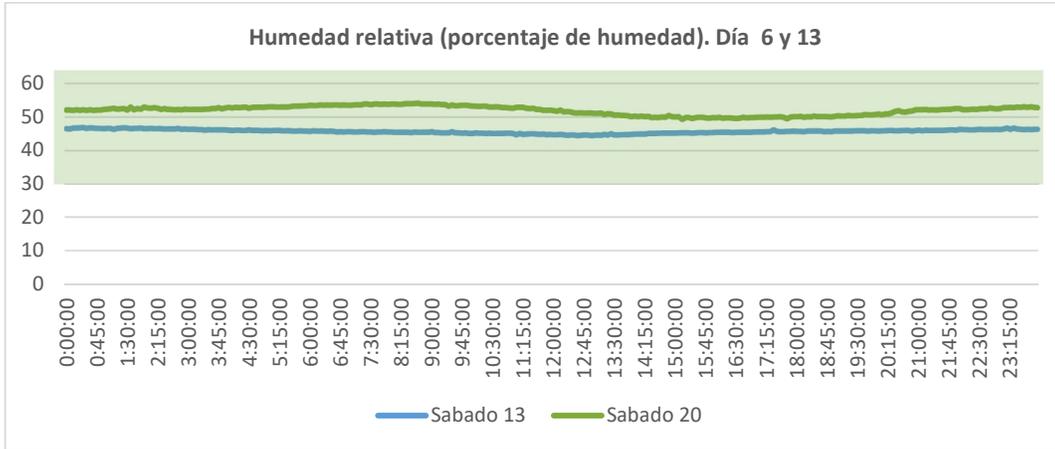
Jueves 11			
	Humedad	CO2	Temperatura
Máximo	46.704	997.925	20.944
Mínimo	41.650	527.954	19.963
Media	44.435	638.538	20.296
Mediana	44.592	604.248	20.304

Jueves 18			
	Humedad	CO2	Temperatura
Máximo	57.886	3015.136	23.075
Mínimo	50.269	524.902	19.193
Media	54.153	1312.457	20.921
Mediana	54.138	808.716	20.599



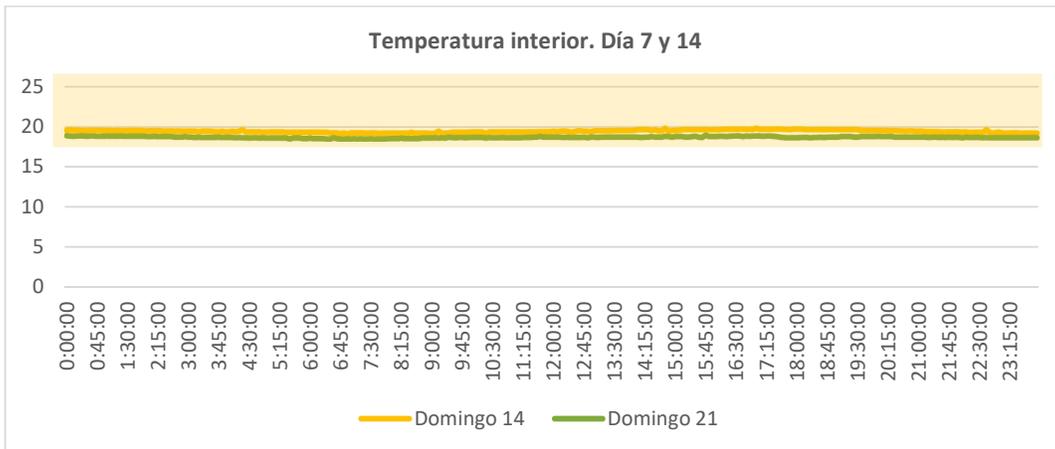
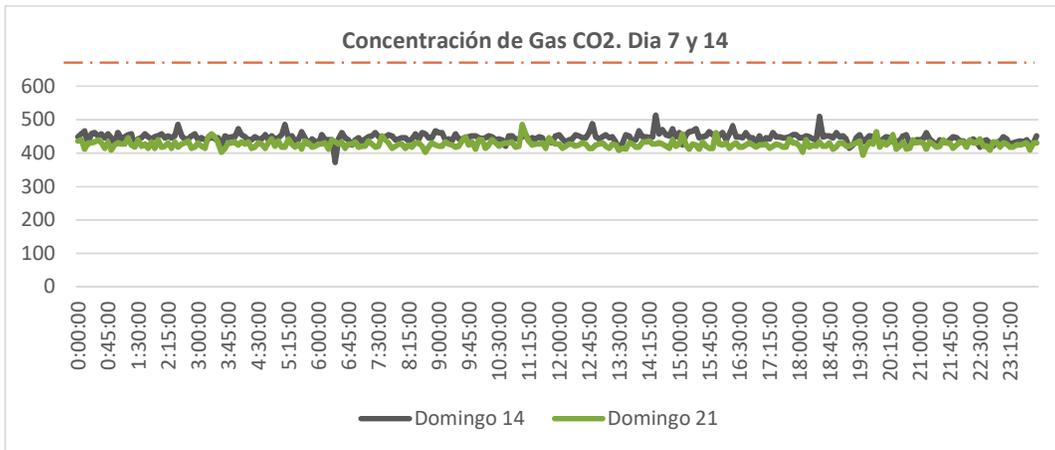
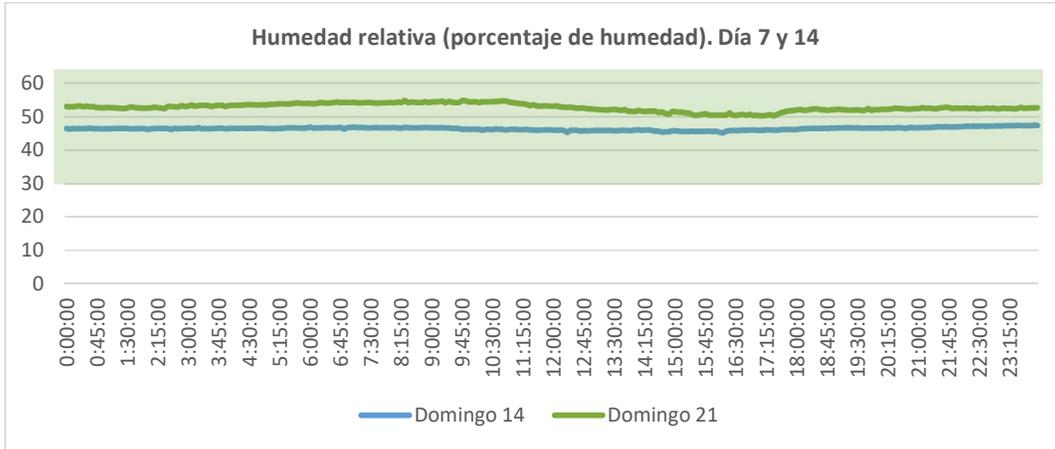
Viernes 12			
	Humedad	CO2	Temperatura
Máximo	53.955	2694.702	21.896
Mínimo	43.848	415.039	19.529
Media	46.681	931.687	20.709
Mediana	45.837	582.886	20.845

Viernes 19			
	Humedad	CO2	Temperatura
Máximo	61.304	2722.168	22.405
Mínimo	49.927	396.728	19.480
Media	53.870	896.072	20.232
Mediana	53.955	573.730	20.061



Sabado 13			
	Humedad	CO2	Temperatura
Máximo	46.875	555.420	20.451
Mínimo	44.482	402.832	19.241
Media	45.729	485.039	19.889
Mediana	45.801	483.704	19.866

Sabado 20			
	Humedad	CO2	Temperatura
Máximo	54.102	506.592	19.721
Mínimo	49.268	366.211	18.907
Media	51.955	444.953	19.226
Mediana	52.283	445.557	19.193



Domingo 14			
	Humedad	CO2	Temperatura
Máximo	47.461	512.695	19.866
Mínimo	45.166	372.314	19.145
Media	46.452	446.129	19.483
Mediana	46.521	445.557	19.480

Domingo 21			
	Humedad	CO2	Temperatura
Máximo	54.858	485.229	19.002
Mínimo	50.293	393.677	18.529
Media	52.786	426.451	18.733
Mediana	52.673	427.246	18.718



Anexo 3. Ocupación de aula durante el experimento por día.

