

UNIVERSIDAD DEL TURABO  
School of Science and Technology  
Graduate Studies and Research



**PROGRAMA GRADUADO EN CIENCIAS AMBIENTALES**

**21 de marzo de 2011**  
Fecha de Defensa

Recomendamos que la tesis de Néstor R. Moyet De León  
titulada

**VARIACIÓN DEL PORCIENTO DE HUMEDAD RELATIVA EN LOS SALONES DE  
CLASAS VERSUS DIFERENTES TIPOS DE MATERIALES EDUCATIVOS  
EXPUESTOS Y NO EXPUESTOS A DICHA HUMEDAD, EN UNA ESCUELA  
ELEMENTAL DEL DISTRITO DE CAGUAS II**

sea aceptada como requisito parcial para el grado de:

**MAESTRÍA EN CIENCIAS AMBIENTALES  
CON ESPECIALIDAD EN ANALISIS AMBIENTAL  
(OPCIÓN EN QUÍMICA)**

Teresa Lipsett Ruiz, PhD  
Asesora de Investigación

Santander Nieto Ramos, PhD  
Miembro

Pedro Modesto, MEM  
Miembro

Teresa Lipsett Ruiz, PhD  
Decana

Fred C Schaffner, PhD  
Decano Asociado, Estudios Graduados  
e Investigación

UNIVERSIDAD DEL TURABO

VARIACIÓN DEL PORCIENTO DE HUMEDAD RELATIVA EN LOS SALONES  
DE CLASES VERSUS DIFERENTES TIPOS DE MATERIALES EDUCATIVOS  
EXPUESTOS Y NO EXPUESTOS A DICHA HUMEDAD, EN ESCUELA UNA  
ELEMENTAL DEL DISTRITO DE CAGUAS II

Por

Néstor R Moyet De León  
BS, Pedagogía Ciencias Naturales, Universidad de Puerto Rico Cayey

TESIS

Escuela de Ciencias y Tecnología  
Universidad del Turabo  
Requisito parcial para el grado de  
Maestría en Ciencias Ambientales  
Especialidad en Análisis Ambiental  
(Opción en Química)

Gurabo, Puerto Rico

septiembre, 2011

**UNIVERSIDAD DEL TURABO**

Una tesis sometida como requisito parcial para el grado de  
Maestría en Ciencias Ambientales

**Variación Del Porcentaje De Humedad Relativa En Los Salones De Clases  
Versus Diferentes Tipos De Materiales Educativos Expuestos Y No  
Expuestos A Dicha Humedad, En Una Escuela Elemental Del Distrito De  
Caguas II**

Néstor R Moyet De León

Aprobado:



Teresa Lipsett, PhD  
Asesor de Investigación



Santander Nieto Ramos, PhD  
Miembro del Comité



Pedro Modesto, MEM  
Miembro del Comité

© Copyright 2011  
Néstor R Moyet De León. Todo los Derechos Reservados.

## **Dedicatoria**

A Dios sobre todas las cosas y a la memoria de mis padres Lázaro Moyet Del Valle y Rosa De León Moyet, ya que me han permitido lograr esta gran meta. A mis hermanos y sobrinos, por creer, en que lograr una meta es alcanzar con fe lo inalcanzable. A mis padres en vida y en su eterno descanso les agradezco por que hoy entiendo que el que más sabe, es el que más entiende y no necesariamente el más inteligente. También les agradezco por enseñarme que la responsabilidad y la humildad son la receta para alcanzar las metas en la vida. Que con mis virtudes de ejemplo y con mis defectos pueda aceptar mis errores, ellos simplemente me brindaron la clave para poder vivir en este mundo...

Gracias papi, gracias mami... los amaré por siempre...

## **Agradecimientos**

Le agradezco a Dios omnipotente, por darme la vida y la oportunidad de crecer en salud física y espiritual, por brindarme sabiduría, paciencia y esmero para poder lograr el objetivo de obtener el grado de maestría. Sería algo complicado el agradecer a tantas personas que confiaron en mi capacidad para vivir la experiencia de realizar estudios graduados. Pero aun así mencionaré todos aquellos que me ayudaron de muy cerca.

Agradezco de manera muy especial a la Dra Teresa Lipsett, por su ayuda incondicional, dirección, motivación y por darme la oportunidad de trabajar junto a ella en proyectos innovadores. Al Profesor Pedro Modesto por su asesoría, orientación y por transmitirme seguridad en todo lo relacionado a la investigación. También agradezco al Dr Santander Nieto Ramos por su ayuda incondicional hacia mi investigación.

A mi familia, amigos, estudiantes y compañeros de trabajo que de alguna forma u otra me ayudaron con sus consejos, sugerencias, ánimo y sobre todo fe en que lo podía lograr. En fin le agradezco a todas aquellas personas que han aportado su granito de arena en la formación de mi investigación de tesis; gracias por confiar en mí y por brindarme la confianza en mí mismo.

## Tabla de Contenido

	página
Lista de Tablas.....	viii
Lista de Figuras.....	xi
Lista de Apéndice.....	xiv
Abstract.....	xv
Resumen.....	xvii
Capítulo Uno. Introducción.....	1
Fundamentos del Problema.....	1
Calidad del Ambiente Interior y Calidad de Aire Interior.....	2
Origen de los Contaminantes del Aire Interior.....	4
Planteamiento del Problema.....	7
Justificación del Estudio.....	9
Preguntas de Investigación.....	13
Hipótesis.....	14
Capítulo Dos. Revisión de Literatura.....	15
Historia de la Calidad de Aire Interior.....	15
La Situación Actual.....	16
Reglamentaciones Federales.....	18
Capítulo Tres. Metodología.....	21
Localización y Colindancias Municipales de Caguas.....	21
Metodología.....	22

	página
Calibración del Instrumento.....	26
Datos Meteorológicos.....	27
Capítulo Cuatro. Resultados.....	28
Capítulo Cinco. Discusión.....	45
Conclusiones.....	47
Limitaciones .....	48
Recomendaciones .....	49
Literatura Citada.....	52



## Lista de Tablas

	página
Tabla 4.01.	Datos de la densidad poblacional en los salones.....31
Tabla 4.02.	Medidas promedios de la Humedad Relativa (HR) (%) y la medida Recomendada por ASHRAE, en el primer y segundo periodo.....32
Tabla 4.03.	Datos sobre los niveles de Humedad Relativa en S-001 comparados con el S-C.....33
Tabla 4.04.	Datos sobre los niveles de Humedad Relativa en S-002 comparados con el S-C .....35
Tabla 4.05.	Datos sobre los niveles de Humedad Relativa en S-003 comparados con el S-C .....37
Tabla 4.06.	Datos sobre los niveles de Humedad Relativa en S-004 comparados con el S-C .....39
Tabla 4.07.	Datos sobre los niveles de Humedad Relativa en S-005 comparados con el S-C .....41
Tabla 4.08.	Datos sobre los niveles de Humedad Relativa en todos los salones comparados con el S-C .....43
Tabla A.01.	Resumen de los promedios de las temperaturas y humedad relativa en el interior del S-001 y en el exterior de la escuela durante el P-1 .....71
Tabla A.02.	Resumen de los promedios de las temperaturas y humedad relativa en el interior del S-001 y en el exterior de la escuela durante el P-2 .....72

Tabla A.03.	Resumen de los promedios de las temperaturas y humedad relativa en el interior del S-002 y en el exterior de la escuela durante el P-1 .....	73
Tabla A.04.	Resumen de los promedios de las temperaturas y humedad relativa en el interior del S-002 y en el exterior de la escuela durante el P-2 .....	73
Tabla A.05.	Resumen de los promedios de las temperaturas y humedad relativa en el interior del S-003 y en el exterior de la escuela durante el P-1 .....	74
Tabla A.06.	Resumen de los promedios de las temperaturas y humedad relativa en el interior del S-003 y en el exterior de la escuela durante el P-2 .....	74
Tabla A.07.	Resumen de los promedios de las temperaturas y humedad relativa en el interior del S-004 y en el exterior de la escuela durante el P-1 .....	75
Tabla A.08.	Resumen de los promedios de las temperaturas y humedad relativa en el interior del S-004 y en el exterior de la escuela durante el P-2 .....	75
Tabla A.09.	Resumen de los promedios de las temperaturas y humedad relativa en el interior del S-005 y en el exterior de la escuela durante el P-1 .....	76
Tabla A.10.	Resumen de los promedios de las temperaturas y humedad relativa en el interior del S-005 y en el exterior de la escuela durante el P-2 .....	76

Tabla A.11.	Datos climatológicos para los días de muestreo en el exterior de los salones de la escuela de Caguas .....	78
Tabla A.12.	Promedio de los datos climatológicos diarios para el mes de diciembre 2008 .....	79
Tabla A.13.	Promedio de los datos meteorológicos para cada semana del mes de diciembre 2008 .....	82
Tabla A.14.	Contenido de humedad de materiales Higroscópicos .....	83

## Lista de Figuras

	página
Figura 4.01. Parámetros de Humedad Relativa, S-001 y S-C en el P1.....	34
Figura 4.02. Parámetros de Humedad Relativa, S-001 y S-C en el P2.....	34
Figura 4.03. Parámetros de Humedad Relativa, S-002 y S-C en el P1.....	36
Figura 4.04. Parámetros de Humedad Relativa, S-002 y S-C en el P2.....	36
Figura 4.05. Parámetros de Humedad Relativa, S-003 y S-C en el P1.....	38
Figura 4.06. Parámetros de Humedad Relativa, S-003 y S-C en el P2.....	38
Figura 4.07. Parámetros de Humedad Relativa, S-004 y S-C en el P1.....	40
Figura 4.08. Parámetros de Humedad Relativa, S-004 y S-C en el P2.....	40
Figura 4.09. Parámetros de Humedad Relativa, S-005 y S-C en el P1.....	42
Figura 4.10. Parámetros de Humedad Relativa, S-005 y S-C en el P2.....	42
Figura 4.11. Recomendaciones para la Humedad Relativa Interior .....	65
Figura 4.12. Temperatura versus Tiempo, S-001 y S-C en P1 .....	66

Figura 4.13.	Temperatura versus Tiempo, S-001 y S-C en P2 .....	66
Figura 4.14.	Temperatura versus Tiempo, S-002 y S-C en P1 .....	67
Figura 4.15.	Temperatura versus Tiempo, S-002 y S-C en P2 .....	67
Figura 4.16.	Temperatura versus Tiempo, S-003 y S-C en P1 .....	68
Figura 4.17.	Temperatura versus Tiempo, S-003 y S-C en P2 .....	68
Figura 4.18.	Temperatura versus Tiempo, S-004 y S-C en P1 .....	69
Figura 4.19.	Temperatura versus Tiempo, S-004 y S-C en P2 .....	69
Figura 4.20.	Temperatura versus Tiempo, S-005 y S-C en P1 .....	70
Figura 4.21.	Temperatura versus Tiempo, S-005 y S-C en P2 .....	70
Figura 4.22.	Contenido de humedad versus Materiales, S-001 (AM Y PM) .....	84
Figura 4.23.	Contenido de humedad versus Materiales, S-002 (AM Y PM) .....	84
Figura 4.24.	Contenido de humedad versus Materiales, S-003 (AM Y PM) .....	85
Figura 4.25.	Contenido de humedad versus Materiales, S-004 (AM Y PM) .....	85

Figura 4.26.	Contenido de humedad versus Materiales, S-005 (AM Y PM) .....	86
Figura 4.27.	Contenido de humedad versus Materiales, S-C (AM Y PM) .....	86
Figura 4.28.	Contenido de humedad promedio versus Materiales Salones Experimentales y Salón Control (AM Y PM) .....	87

## Lista de Apéndices

	página
Apéndice Uno. Nomenclatura.....	64
Apéndice Dos. Recomendaciones para la Humedad Relativa Interior.....	65
Apéndice Tres. Gráficos de la variabilidad de las temperaturas (°C) en los salones experimentales y el Salón control.....	66
Apéndice Cuatro. Resumen de los promedios de las temperaturas y humedad relativa en el interior de los salones y en el exterior de la escuela durante el P-1 y P-2.....	71
Apéndice Cinco. Datos climatológicos.....	78
Apéndice Seis. Datos de las condiciones meteorológicas para los días en que se realizaron las observaciones de calidad de aire.....	79
Apéndice Siete. Resumen del contenido de humedad de varios materiales dentro de cada salón experimental y el salón control durante la mañana y en la tarde.....	83

## **Abstract**

Néstor R Moyet De León (Master of Environmental Science)

Percent Variation Of Relative Humidity In Classrooms Versus Different Types Of Educational Materials Exposed And Not Exposed To This Humidity, In An Elementary School Of Caguas II School District.  
(September/2011)

Abstract of a Master Degree Thesis at the Universidad del Turabo.

Thesis supervised by Teresa Lipsett Ruiz, PhD

No. of pages in text 87

The control of the reduction in indoor relative humidity (RH) is used to prevent contamination of indoor air quality as a result of fungal growth. The indoor temperature levels are analyzed in addition to humidity since both measurements are a better indicator of potential environmental indoor problems.

Were used five classrooms as experimental group and a classroom as a control group. In the experimental group the hygroscopic materials (absorbs moisture), were exposed to relative humidity and temperature, but in the control group the hygroscopic materials were not exposed. By comparing the results of the indoor relative humidity in the experimental group versus the control group, it was proved that there was a reduction in the levels of relative humidity in the classrooms in the experimental group.

Materials such as wood, paper, cardboard, fabrics and books are called hygroscopic materials because all of them absorb humidity. These five experimental classrooms were identified with no stored hygroscopic materials (or exposed to humidity), but in the control classroom the entire



hygroscopic material was stored in plastic boxes. The five experimental and the control classroom are in the Elementary School of Caguas II District.

Three of the five experimental classrooms (S-001, S-002 and S-004), (60.0% of the classrooms) showed 47.9% of the measured data in both periods (P-1 and P-2), and obtained a reduction in RH levels recorded, when compared with the levels of RH in the classroom control (CC). Even though this reduction, more than 80.0% of the experimental classroom as well as in the control classroom in both periods, these levels of RH does not comply with ASHRAE standards. The humidity content of hygroscopic materials was lower in the afternoon and higher in the morning. The results indicate that indoor air RH was absorbed during the night. By contrast, the humidity content of hygroscopic materials released into indoor air during the morning and afternoon hours, because its humidity content was higher in the morning and lower in the afternoon. Both the excess of population density and evaporation of humidity from hygroscopic materials, contribute to high levels of indoor air RH and consequently the failure of HR levels recommended by ASHRAE. It was clearly observed that 80.0% of the indoor temperature levels in the P-1 and 60.0% in the P-2 from the experimental classrooms meet the levels recommended by ASHRAE.

## **Resumen**

Néstor R Moyet De León (Maestro en Ciencias Ambientales)

Variación Del Porcentaje De Humedad Relativa En Los Salones De Clases Versus Diferentes Tipos De Materiales Educativos Expuestos Y No Expuestos A Dicha Humedad, En Una Escuela Elemental Del Distrito De Caguas II. (septiembre/2011).

Resumen de una tesis de Maestría de la Universidad del Turabo.

Tesis supervisada por Teresa Lipsett Ruiz, PhD

Núm. de páginas en el texto 87

El control de la reducción de los niveles de humedad relativa (HR) interior es usado para prevenir la contaminación de la calidad de aire interior a causa de crecimiento de hongos. Los niveles de temperatura interior también son analizados ya que el resultado de ambas medidas es un posible indicador de problemas en ambientes interiores.

Se utilizaron cinco salones como grupo experimental y un salón como grupo control. En el grupo experimental los materiales higroscópicos (absorben humedad), estaban expuestos a la humedad relativa y temperatura, pero en el grupo control no fueron expuestos. Al comparar los resultados de la humedad relativa interior en el grupo experimental versus el grupo control, se pudo demostrar que ocurrió una reducción en estos niveles de humedad relativa en los salones del grupo experimental.

Materiales como madera, papel, cartón, telas y libros, son llamados materiales higroscópicos porque absorben humedad. Los cinco salones experimentales tenían materiales higroscópicos no almacenados o sea

expuestos a la humedad, pero en el salón utilizado como control, todo el material higroscópico fue almacenado en cajones de plástico. Estos salones experimentales y el control están en una Escuela Elemental del Distrito Escolar de Caguas II.

Tres de los cinco salones experimentales (S-001, S-002 y S-004), o sea el 60.0% de los salones mostraron que el 47.9% de los datos medidos en ambos periodos (P-1 y P-2), obtuvieron una reducción en los niveles de humedad relativa (HR) registrados, al compararlos con los niveles de humedad relativa (HR) en el salón control (S-C). A pesar de esta reducción, sobre el 80.0% de los salones experimentales, como también en el salón control en ambos periodos, estos niveles de humedad relativa (HR) del aire interior no cumplen con los estándares de La Sociedad Americana de Ingenieros de Refrigeración, Calefacción y Aires Acondicionados (ASHRAE, por sus siglas en inglés).

El contenido de humedad de los materiales higroscópicos era menor en la tarde y mayor en horas de la mañana, los resultados indican que la HR del aire interior era absorbida durante la noche. Por el contrario, los materiales higroscópicos liberaban su contenido de humedad al aire interior en horas de la mañana y en la tarde, debido a que su contenido de humedad era mayor en horas de la mañana y menor en horas de la tarde. Tanto el exceso de la densidad poblacional y la evaporación del contenido de humedad por parte de los materiales higroscópicos, contribuyen a elevar los niveles de HR del aire interior y como consecuencia el incumplimiento de los niveles de HR recomendados por ASHRAE. Observamos claramente que 80.0% de los niveles de temperatura interior durante el P-1 y en el P-2 el

60.0% de los salones experimentales cumplen con los niveles recomendados por ASHRAE.

## **Capítulo Uno**

### **Introducción**

#### **Fundamentos del Problema**

Los problemas asociados a los ambientes interiores son uno de los problemas más comunes de la salud ambiental (Ledford 1994). La contaminación del aire interior se produce en un edificio, cuando en el mismo falta la ventilación, o dicho de otra manera, cuando no sale el suficiente aire interior y el aire exterior no entra para ocupar ese espacio (Simonson et al. 2006). De acuerdo con la Agencia para la Protección del Medio Ambiente de EEUU (EPA, por sus siglas en inglés), "La tasa en la que el aire exterior sustituye al aire interior se describe como la tasa de intercambio de aire. Cuando hay muy poca infiltración, ventilación natural o ventilación mecánica, la tasa de intercambio de aire es baja y los niveles de contaminación pueden aumentar" (EPA 2003).

La Sociedad Americana de Ingenieros de Refrigeración, Calefacción y Aires Acondicionados (ASHRAE, por sus siglas en inglés) (ASHRAE/ANSI 2003), define Calidad de Aire Interior (CAI), como la naturaleza del aire dentro de un edificio donde no existen contaminantes a niveles nocivos. Estos niveles son determinados por las autoridades apropiadas y en los mismos el 80.0% de la población no expresa insatisfacción con el aire interior. La contaminación del aire interior es un problema y a la vez un riesgo para todos, pero en particular para aquellos individuos que padecen de alergias, asma y otras enfermedades respiratorias (EPA 2003).

Uno de varios factores que afectan la calidad de aire interior es el control de la humedad (Rudd et al. 2005). La humedad es el vapor de agua presente en el aire. La humedad relativa, en cambio, es la cantidad de agua que se encuentra en el aire con respecto a la cantidad máxima de vapor de agua que el aire puede contener a una determinada temperatura (Rudd et al. 2005). En la calidad del aire interior inciden factores físicos (temperatura, humedad relativa y corrientes de aire), factores químicos (concentración de gases por ejemplo: dióxido de carbono, monóxido de carbono, dióxidos de azufre, radón) y factores microbiológicos (Mitchell et al. 2007).

Estudios como los de la Organización Mundial de la Salud (OMS), revelan que más de 100 millones de personas en América Latina y el Caribe están expuestas a niveles de contaminantes del aire que exceden los “valores recomendados” para la buena salud de las personas (Graudenz 2004). El Síndrome de Edificios Enfermos (SBS, por sus siglas en inglés), es el resultado de la pobre calidad del aire interior y se asocia con síntomas, como el cansancio, dolor de cabeza, mareos, náusea, tos, congestión nasal, e irritaciones de la piel (EPA 2007).

### **Calidad del Ambiente Interior y Calidad de Aire Interior**

Los problemas de Calidad de Aire son el resultado de las actividades realizadas por las personas que están en ese lugar. Los indicadores de enfermedades relacionadas a la calidad de aire en el interior de un edificio incluyen tos o presión en el pecho, fiebre y dolor muscular (Wargocki et al. 2002). Los grupos de personas más susceptibles a este fenómeno son los asmáticos, alérgicos, personas con enfermedades respiratorias, niños,

ancianos y personas con el sistema inmunológico comprometido (Wargocki et al. 2002).

El ambiente interior, ha sido reconocido como una fuente importante de exposición a los alérgenos y sustancias químicas tóxicas. La exposición a los alérgenos y las toxinas pueden agravar las afecciones respiratorias (Richardson et al. 2005). Si la calidad de aire interior es deficiente se debe cotejar la ventilación. La función de la ventilación es remover y diluir todo aquel contaminante en el interior o remover la humedad (Wargocki et al. 2002).

Una buena calidad del ambiente interior es importante porque la mayoría de la gente pasa más de 90% de su tiempo dentro de edificios (Richardson et al. 2005). Ambientes interiores abarcan hogares, escuelas, lugares de trabajo, transporte (automóviles, trenes, aviones) y otros lugares cerrados donde las personas pasan una parte de su día. Debido a la naturaleza diversa de estos entornos se presentan riesgos para la salud pública (Wu et al. 2007). Hay conciencia de que el ambiente interior es una fuente de factores de riesgo para la salud. Por ejemplo los edificios modernos son "sellados" con aislamiento térmico para mejorar la eficiencia energética, lo que ocasiona el deterioro de la calidad del aire interior (Richardson et al. 2005).

La calidad del medio ambiente en interiores tiene un impacto significativo en la salud de los niños y en su bienestar (Wu and Takaro 2007). Los informes del Instituto de Medicina (IOM, por sus siglas en inglés) sugieren que los contaminantes del aire interior puede conducir a la elaboración y/o exacerbación de una variedad de enfermedades y los síntomas, como alergias, asma, infecciones, neumonitis por

hipersensibilidad, fiebre por inhalación, mucosidad, irritación del sistema nervioso central, efectos psicológicos, dermatitis y algunas formas de cáncer (IOM 2000 2004). La contaminación del aire interior es un problema importante para la salud humana (Jones 1999). Los estudios han demostrado que las sustancias químicas a las que la mayoría de las personas están expuestas todos los días constituyen un riesgo adicional en el desarrollo de diversas patologías (Guo et al. 2003; Sundell 2004).

### **Origen de los Contaminantes del Aire Interior**

Las personas están expuestas a una variedad de contaminantes con efectos dañinos a la salud, que se emiten no sólo de fuentes exteriores pero pueden tener también sus fuentes en el ambiente interior (Koistinen et al. 2008). La temperatura y humedad del aire inadecuada, contaminantes microbiológicos y químicos, tales como, CO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>, partículas, polen, el humo del tabaco y compuestos orgánicos volátiles (COV) de los materiales de construcción y muebles, son la causa principal de los problemas de salud (Dorgan et al. 1998). Estudios indican una pérdida de productividad promedio de 10.0% a causa de una pobre calidad del ambiente interior, aunque un valor de 6.0% es ampliamente aceptado (Dorgan et al. 1998). La pérdida económica global causada por la pobre calidad del ambiente interior en edificios comerciales de EE.UU. se estimó cerca de \$40 a \$160 mil millones por año (Fisk 2000).

Actualmente se le atribuye a la exposición de contaminantes del aire en interiores un impacto muy grande a la salud, tanto en la morbilidad como en la mortalidad de la población mundial (Molina 2009). En cuanto a la contaminación del aire en exteriores tenemos que los problemas predominantes en cada región dependen de aspectos climáticos,



socioeconómicos y culturales, sobre todo en los países subdesarrollados y principalmente en las zonas rurales, en tanto que en los países desarrollados este problema resulta más frecuente en las zonas urbanas (Molina 2009). Los principales contaminantes relacionados con la calidad del aire son el dióxido de azufre (SO<sub>2</sub>), el monóxido de carbono (CO), los óxidos de nitrógeno (Mitchell 2007; Mathiew-Nolf 2002).

Los contaminantes de origen biológico que se encuentran en los ambientes interiores son los virus, las bacterias, los hongos, las esporas de hongo, el polen, las escamas de piel, partes de insectos y excrementos de animales (Fernández 2009). Estas partículas se encuentran en un rango menor de uno a varios micrones de tamaño. Cuando esta materia biológica se desplaza por el aire se agrega a partículas de polvo de diferentes tamaños por ellos todos los tamaños de particulado pueden incluirlas (Fernández 2009). Contaminantes biológicos como; bacterias, hongos, polen y virus pueden aparecer como consecuencia de problemas de humedad relativa y temperatura del aire interior. Una de las bacterias de ambientes interiores es la *Legionella*, que puede causar enfermedades de Legionela y Fiebre de Pontiac (Arnold 2001).

En los edificios con problemas de humedad se encuentran una variedad de moho que es un hongo saprofito (Ochmanski y Barabasz 2000). El moho requiere una temperatura adecuada, humedad, oxígeno y nutrientes para germinar y crecer (Sedlbauer 2001). Hay un alto riesgo de exposición a fuentes internas de moho, que no son visibles hasta que han echado raíces, momento en el cual la colonia moho está completamente desarrollada. Las esporas del moho tienen un diámetro de 2.0 - 10.0 µm. La mayoría son menores de 5.0 µm. Cientos de especies de moho se

encuentran en el ambiente interior, incluyendo *Alternaria* sp., *Cladosporium* sp., *Aspergillus* sp., *Penicillium* sp. Y *Fusarium* sp. (Flannigan et al. 1991 y Ochmanski y Barabasz 2000; Nolard 2001; Portnoy et al. 2001; Zureik et al. 2002; Hargreaves et al. 2003). La exposición a las esporas de estos productores de micotoxinas y glucanos, causan múltiples reacciones alérgicas, especialmente a personas más sensibles (Mitchell 2007).

El problema de la humedad está asociado al crecimiento y sensibilidad a organismos como la *Legionella* (Richardson 2005; Mitchell 2007; Guardino 2003). Se reconoce que los sistemas de humidificación tienen el potencial de desarrollar una multitud de organismos capaces de causar respuestas inflamatorias graves del sistema respiratorio (Mitchell 2007; Daisey 2003; Guardino 2003; Liccardi 2001). También existe una asociación directa entre la baja humedad relativa ( $\leq 30\%$ ) o aire seco y la salud. El aire seco generalmente causa resequedad en la piel, irritaciones en los ojos y fatiga.

Cuando las esporas se depositan en una superficie húmeda, que ocurre con una alta humedad relativa ( $\geq 60\%$ ), comienzan a crecer y a alimentarse de la superficie a la cual están adheridas. Este moho puede crecer en madera, papel, alfombras, cartulinas, cajas de cartón, como también en paños y/o mapas usados y no secados. Estos crecen cuando se acumula la humedad o exceso de agua dentro de las casas y edificios. No hay una forma específica para eliminar todo el moho y las esporas que los ocasionan. No obstante, la clave en evitar su propagación es eliminar la fuente de humedad en dicha superficie (EPA 1991).

## **Planteamiento del problema**

La pobre calidad del aire interior (IAQ, por sus siglas en inglés) en las escuelas está asociada con ausentismo y disminución del rendimiento académico de los niños y adultos que están expuestos (EPA 2003). Los estudiantes y personal escolar pueden experimentar náuseas, mareos, dolores de cabeza, somnolencia, fatiga, infecciones en las vías respiratorias, irritación de los ojos, nariz y garganta y también puede provocar episodios de asma. El resultado de esto es que la productividad de estudiantes y el personal se ve afectada por las consecuencias de una pobre calidad de aire interior (Everett et al. 2010).

La escuela debe proporcionar un mejor ambiente interior para los niños aparte de sus hogares. Los niños suelen pasar hasta 10 horas al día en la escuela y por lo menos 1 100 horas al año (Leickly 2003). Por esta razón la calidad del aire en interiores en la escuela puede tener un impacto sustancial sobre la salud de los niños. Se ha sugerido que la exposición a contaminantes del aire y alérgenos en la escuela se asoció con un aumento de prevalencia de síntomas respiratorios y el asma (Smedje et al. 1997). Es muy importante para la salud de los niños y del personal docente y no docente, reducir la exposición a los contaminantes y alérgenos en la escuela de esta manera mejorará la calidad del ambiente interior (Zhang et al. 2006).

Una mala calidad del aire interior en las escuelas es el resultado de un fracaso en el control de la humedad, temperatura y fuentes de contaminación y también es el resultado de una forma inadecuada de ventilación dentro de los salones de clases. Las escuelas se enfrentan a grandes desafíos para mantener una buena calidad del aire interior. En las

escuelas hay cuatro (4) veces la cantidad ocupantes en una misma área, en comparación con edificios de oficinas (Everett et al. 2010). Las fuentes de contaminación del aire interior en las escuelas son variadas. Estas incluyen las emisiones de los pesticidas, productos de limpieza, equipo de oficina, suministros de arte profesional, nuevo mobiliario y acabados y los contaminantes que se derivan de las plagas de insectos, ventilación y sistema de aire acondicionado. Por último, cuando los presupuestos son limitados, el mantenimiento es realizado con menos frecuencia (Everett et al. 2010).

La poca o ninguna evaluación de la calidad del aire interior, los problemas de salud y comodidad en dichas escuelas y el entendimiento de la exposición y la relación de los síntomas y los efectos negativos a la salud aún siguen siendo inconclusos (Godwin and Batterman 2007). La emisión de los contaminantes se pueden producir en el entorno escolar, como por ejemplo, cafeterías, ebanisterías, gimnasios, piscinas y laboratorios de ciencias (a menudo sin sistemas de extracción) (Godwin and Batterman 2007).

La calidad del aire interior en las escuelas debe alcanzar los requisitos básicos y debe ser considerada como una de alta prioridad ya que los niños son más sensibles. Esto se debe a que todavía se están desarrollando físicamente y son más propensos a las consecuencias de los contaminantes. Los adultos tienen una mayor capacidad para metabolizar y excretar toxinas del medio ambiente, sin embargo los niños respiran un mayor volumen de aire en relación con el peso de su cuerpo (Zeiler and Boxem 2009). Una buena calidad del aire en las escuelas aporta a la capacidad de aprendizaje de los niños. Una mala calidad del aire interior en

escuelas influye en el rendimiento y la asistencia de estudiantes, principalmente por causa de los efectos sobre la salud (Zeiler and Boxem 2009).

### **Justificación del estudio**

El control de la humedad ha estado ligado al crecimiento de hongos y la incidencia de enfermedades respiratorias (Wargocki 2002). Estos factores impactan el proceso de enseñanza aprendizaje (Wargocki 2002). La calidad de aire interior inadecuada puede impactar la salud, comodidad y la productividad a los ocupantes de un edificio (EPA 2003). Este estudio fue dirigido a identificar la capacidad de absorción de humedad y por lo tanto reducción de los altos niveles de humedad en los salones experimentales que contienen materiales higroscópicos no almacenados versus los niveles de humedad en el salón control el cual el material higroscópico estaba almacenado.

Esto evitaría que las esporas de *Aspergillus Fumigatus*, que se alimentan de materia orgánica muerta o en decadencia se hallan suspendidas en la atmósfera. Se estima que diariamente un promedio de 200 esporas son inhaladas y eliminadas normalmente por el sistema inmunológico del cuerpo. Estas son la principal causa de muerte en pacientes con inmunodeficiencias, factor desencadenante de asma severa y factor determinante en la calidad ambiental en edificios entre otros (Hoppe 1983). La especie más común de *Aspergillus* que se encuentra en lugares húmedos es *A. Versicolor*, que se ha encontrado mayormente en el empapelado de paredes, suelos de madera y otros materiales (Hoppe 1983).

El moho es un hongo saprofito que requiere una temperatura adecuada, humedad, oxígeno y nutrientes para germinar y crecer

(Ochmanski y Barabasz 2000). La humedad anormal dentro de un edificio es el mayor contribuidor a la actividad microbiológica dentro de éste y ha sido bien documentada tanto por la comunidad científica. Los nutrientes para la germinación de las esporas y su crecimiento están fácilmente disponibles en el polvo, suciedad y materiales complejos tales como la madera, el papel, pegamentos, fibras acústicas, pinturas y textiles (Hooppe 1983). En las escuelas, los estudiantes están en contacto directo con todos estos materiales, que en presencia de humedad pueden crecer los hongos y contaminar la calidad de aire en el interior.

La humedad en los edificios, incluso en ausencia de moho, tiene una correlación con las enfermedades, especialmente problemas respiratorios (Instituto de Medicina 2004), aunque no está claro a qué nivel de humedad corresponde, esto es motivo de preocupación. La higroscopicidad es una propiedad que poseen los materiales granulares que depende de la porosidad del material y está definida como la capacidad para absorber o ceder la humedad del ambiente que lo rodea (Roels et al. 2009).

Según la investigación de Simonson et al. (2002) existe una transferencia entre la humedad del aire interior y los materiales higroscópicos como la madera y sus derivados, que pueden reducir significativamente la humedad interior máxima (hasta el 35.0% de humedad relativa). Los resultados de Simonson et al. (2006) muestran que los niveles de temperatura interior en lugares con materiales higroscópicos, son iguales que en lugares con materiales no higroscópicos, pero los valores de la humedad son significativamente diferentes en ambos escenarios.

El síndrome de edificios enfermos (SBS, por sus siglas en inglés), este término es usado para describir situaciones las cuales la experiencia de los

ocupantes afecta la salud y la comodidad durante el tiempo que usan el edificio, no hay enfermedades específicas o causas que puedan ser identificadas (Arnold 2001). Algunos de los indicadores para este término son; cuando los ocupantes expresan incomodidad, dolor de cabeza, ojos, nariz, irritación de garganta, tos seca, piel seca o irritada, mareos, náusea, dificultad en concentrarse, fatiga y sensibilidad a olores. Las causas de los síntomas la mayoría de las veces no se conocen. Y muchos de los síntomas desaparecen tan rápido los ocupantes salen de edificio (Arnold 2001). La EPA ha determinado que este síndrome está relacionado con el mal desempeño de los estudiantes, tanto intelectualmente, como socialmente (EPA 2007).

Para todos los tipos de ventilación, las condiciones de humedad en el interior muestran una mayor dispersión, en lugares con materiales higroscópicos, los resultados de la humedad relativa están por debajo del valor mínimo y por encima del valor máximo, al compararlos con los resultados obtenidos en lugares con materiales no higroscópicos (Simonson et al. 2006). El modelo higrotérmico para edificios, utiliza ecuaciones para el transporte de calor, aire y humedad (HAM, por sus siglas en inglés) sobre las partes porosas de los materiales (Simonson et al. 2006).

La humedad interior excesiva ocurre durante horas de la noche, cuando el área está desocupada y es cuando los niveles de temperatura pueden llegar de 23.0 °C hasta 29.0 °C y la humedad relativa puede sobrepasar el 65.0% (West et al. 2006). La única forma de evitar estos problemas es estabilizando el ambiente o controlando la humedad. Esta es una de las razones por las cuales el control de la humedad se está convirtiendo en una parte muy importante de la calidad de aire interior.

Esto quiere decir deshumidificar cuando el aire es muy húmedo y humidificar cuando se seca demasiado (EPA 2003).

Algunos hongos producen compuestos orgánicos volátiles (COV) y olores. La exposición prolongada a estas sustancias atenta contra la salud y/o contribuye al síndrome de edificios enfermos (Kowalski 2000). La presencia de humedad o alta humedad relativa (HR) es un catalizador suficiente para la germinación y el crecimiento de esporas de hongos (Kowalski 2000). Los materiales que normalmente están presentes en los edificios proporcionan nutrientes para el crecimiento de hongos. Estos incluyen materiales derivados de la madera o celulosa y materiales orgánicos que se encuentran en las alfombras y cortinas (Kowalski 2000). El control de la humedad proporciona un medio de prevención o limitación para el crecimiento de las esporas, pero los niveles de humedad de un 60 por ciento o menos no son una garantía, ya que el contenido de humedad de los materiales de los edificios es un factor más crítico (Kowalski 2000).

Vivir o trabajar en un edificio con humedad o problemas de humedad aumenta los riesgos de infecciones respiratorias incluyendo la congestión común, bronquitis, rinitis o sinusitis (Kilpelainen et al. 2001; Koskinen et al. 1999; Pirhonen et al. 1996). Problemas de humedad, concentraciones de colonias de esporas y en muchos casos evidencia de hongos, están relacionados con la humedad relativa (Frannigan 1994). Los ácaros del polvo, hongos y cucarachas son alérgenos en el interior e irritantes relacionados a la humedad interior y son todos muy comunes en lugares urbanizados (Eggleston et al. 1999; Perry et al. 2003; Rosentreich et al. 1997). Para garantizar un ambiente de trabajo agradable, es importante asegurarse que la humedad relativa no baje del 30%. Cuando la humedad



relativa es menor del 30%, el riesgo de enfermedades aumenta. Una humedad relativa sobre 60%, ocasiona exceso de humedad y por consecuencia condensación y posible crecimiento de hongos (ASHRAE 2001).

### **Preguntas de Investigación**

1. ¿ Existe diferencia estadísticamente significativa en los niveles de humedad relativa en aquellos salones con materiales higroscópicos expuestos a HR del aire interior versus los salones con materiales higroscópicos no expuestos a HR del aire interior ?
2. ¿ Están los niños de una escuela elemental del Distrito Escolar Caguas II, expuestos a niveles de humedad relativa en el interior del salón de clases que excedan los límites recomendados por ASHRAE ?
3. ¿ Están los niños de una escuela elemental del Distrito Escolar de Caguas II, expuestos a niveles de temperatura en el interior del salón de clases que excedan los límites recomendados por ASHRAE ?
4. ¿ Podrían reducirse los niveles en el porcentaje de humedad relativa en los salones de clases del grupo experimental donde los materiales higroscópicos estaban expuestos a dicha humedad relativa ?

**Hipótesis**

La capacidad de absorción de los materiales higroscópicos expuestos a HR del aire interior, provoca la reducción de los niveles altos de humedad relativa en los salones de una escuela elemental en el distrito escolar de Caguas II. Por lo contrario, si no hay materiales higroscópicos expuestos a HR del aire interior o éstos están almacenados, no habría una reducción significativa de los niveles altos de humedad relativa.

## **Capítulo Dos**

### **Revisión de Literatura**

#### **Historia de la Calidad de Aire Interior**

Por muchos siglos doctores y trabajadores en salud pública han comprendido como el ambiente interior en los edificios puede causar o exacerbar enfermedades al ser humano (Sundell 2004). Varios siglos a.C., el famoso griego "Padre de la medicina" Hipócrates era consciente de los efectos adversos de la contaminación del aire en las abarrotadas ciudades y en las minas y los israelitas bíblicos entendían los peligros de vivir en viviendas húmedas (Sundell 2004). La enfermera famosa del siglo 19, Florencia Nightingale era consciente de la conexión entre la salud y las viviendas de la población (Sundell 2004).

El conocimiento de las exposiciones a contaminantes en ambientes interiores aumentó con la aparición de "síndrome del edificio enfermo" entre los trabajadores de oficina (Stein 1950). Podría decirse que este fenómeno fue una consecuencia no deseada de los cambios en los diseños de edificios en respuesta a la crisis de energía, además de aumentar la utilización de nuevos productos químicos y plásticos. Una mala ventilación y hacinamiento en las viviendas contribuyeron a la epidemia de la tuberculosis hace un siglo en Estados Unidos (Stein 1950) y sigue siendo un importante problema en los países en desarrollo, causando 2 millones de muertes en 2002 (Organización Mundial de la Salud (OMS) 2004).

Aunque el problema de la tuberculosis mejoró significativamente con una buena iluminación, aire fresco y controlando el problema de

hacinamiento en las viviendas. Hoy en día, la insuficiencia de ventilación y control de la humedad en viviendas sigue contribuyendo con el asma, el moho induciendo enfermedades, el envenenamiento por monóxido de carbono y otras enfermedades (Krieger y Higgins 2002; Matte y Jacobs, 2000).

### **La Situación Actual**

El estilo de vida de la población urbana ha estado cambiando rápidamente a través de las últimas décadas. El aumento de la realización de trabajo en lugares cerrados, hasta en países tropicales como Puerto Rico, ha hecho que el tema de calidad de aire interior (CAI), sea muy importante para nuestra calidad de vida (Graudenz 2004). Hoy en día muchas personas confunden el colocar un sistema de acondicionador de aire con una mejoría en los problemas respiratorios, sin embargo un estudio realizado demostró que un grupo de individuos trabajando bajo un sistema de acondicionador de aire tuvieron mayor prevalencia a problemas nasales, irritación de ojos, sinusitis y de catarro, cuando fueron comparados con individuos trabajando bajo ventilación natural (Graudenz 2004).

Muchos estudios han reportado un aumento en la prevalencia de problemas respiratorios. Hay indicadores de que las condiciones de asma han aumentado en lugares industrializados y esto puede ser causado en parte por alérgicas o no alérgicas reacciones a problemas en la calidad de aire interior (Ronmark et al. 1997; Norback et al. 1999). Existe evidencia clara que los problemas de calidad de aire interior están relacionados con problemas respiratorios y el asma (Colloff et al. 1992). La calidad de aire interior es medida por las emisiones del mismo edificio y/o materiales, actividades que se realizan y por la cantidad de personas y/o mascotas en el

lugar (Luczynska et al. 1990; Colloff et al. 1992). La capacidad de absorción de humedad en las paredes, materiales de revestimiento, así como muebles y textiles dentro de los edificios, define la capacidad higroscópica de una habitación, que puede tener un papel importante en la reducción de los niveles altos de humedad relativa (Ramos and Freitas 2009).

Además de la temperatura, la humedad relativa (HR) es uno de los parámetros clave del clima interior. La humedad relativa del aire es determinada por la medida de la generación de humedad en interiores, por el cambio de aire desde el exterior al interior y por la liberación o absorción de humedad por materiales de superficie higroscópica, así como el flujo de humedad a través de la estructura del edificio (Kurnitski et al. 2006). La importancia del intercambio de humedad entre el aire interior y el material higroscópico de la superficie se ha discutido en numerosos estudios (Isetti et al. 1988) demostró que la capacidad de almacenamiento de humedad de los materiales tiene un efecto significativo sobre la humedad relativa en interiores. En el pasado, la humedad interior no era vista como un parámetro importante para calidad de ambiente interior en edificios, pero recientemente se relaciona al crecimiento de hongos (moho) y pobre calidad de aire interior con altos niveles de humedad. Por tal razón ha sido de vital importancia el diseño de parámetros de humedad interior (Fischer and Bayer 2003; Lstiburek 2002; Bornehag et al. 2001; Hens 2000).

El equilibrio higroscópico ocurre cuando una masa de material granular con un contenido de humedad dado, alcanza el equilibrio con el aire, a una determinada humedad relativa y a una misma temperatura. Bajo estas condiciones se obtiene la humedad relativa de equilibrio en el aire y la humedad relativa de equilibrio en el producto (Díaz 2005). Los materiales

pueden ganar humedad (absorción) o perder humedad (desorción), de acuerdo a distintas combinaciones de temperatura y humedad relativa del aire que se mantiene en equilibrio con esa temperatura y humedad relativa; ese contenido de humedad es denominado "humedad de equilibrio" (Roels et al. 2009).

Los investigadores Thomas y Burch (1990) han aplicado modelos simples y detallados, así como experimentos de laboratorio y de campo para mostrar el resultado de como los materiales higroscópicos almacenan humedad. La higroscopicidad condiciona el comportamiento de algunos materiales, por ejemplo materiales almacenados, la capacidad de preservación de éstos depende de la interacción entre variables físicas, químicas y biológicas, algunas de los cuales dependen principalmente del medio que los rodea. En este sistema el equilibrio se alcanza cuando el aire y el material granular igualan sus presiones de vapor, de tal manera que no hay migración de la humedad en ningún sentido (Ramarao et al. 2003).

### **Reglamentaciones Federales**

A partir de octubre 26 de 1948, ocurre una inversión de temperatura en la atmósfera en el oeste de Pensilvania, Ohio y en los estados vecinos. La lluvia dispersó una niebla cargada de partículas y otros contaminantes industriales provenientes de la ciudad de Donora, a unos 30 kilómetros al sur de Pittsburgh, donde 14 000 personas se enfermaron, 400 personas requirieron hospitalización y 20 personas murieron. Fue cuando por primera vez hubo un esfuerzo para documentar los impactos en la salud por la contaminación atmosférica en los Estados Unidos, llevado a cabo por la División de Higiene Industrial del Departamento de Salud Pública (Helfand et al. 2001). En 1955, el Congreso de los EEUU, aprobó la Ley de Control de

Contaminación del Aire, donde los fondos fueron proporcionados al Servicio de Salud Pública para realizar investigaciones sobre las causas y el control de la contaminación del aire. Dicha ley se vio reforzada por la Ley de Aire Limpio del 1963, 1970 y 1990, para el cumplimiento de las normas de emisión a la atmósfera y otros medios de control que han hecho mejoras drásticas en la calidad del aire y a la salud pública de los EEUU (Helfand et al. 2001).

La Ley del Aire Limpio (Clean Air Act) de 1970 identificó un conjunto específico de contaminantes tóxicos que son comunes en el aire ambiental: los contaminantes criterio. En 1990 se creó un nuevo conjunto de contaminantes tóxicos del aire cuando se enmendó la Ley del Aire Limpio. Las Enmiendas de la Ley del Aire Limpio de 1990 identificaron 189 contaminantes peligrosos del aire, que deben regularse para proteger la salud humana (EPA 1991). Desde 1971, la Agencia de Protección Ambiental (EPA, por sus siglas en inglés) y el Instituto Nacional para la Seguridad y Salud Ocupacional (NIOSH, por sus siglas en inglés) han llevado a cabo más de 600 investigaciones de calidad del aire en interiores (EPA 1991).

La Ley de Aire Limpio, que fue modificada por última vez en 1990, requiere que la EPA establezca las Normas Nacionales de calidad del aire (40 CFR parte 50) para los contaminantes considerados perjudiciales para la salud pública y el medio ambiente. La Ley de Aire Limpio ha establecido dos tipos de normas nacionales de calidad del aire. Las normas primarias que establecen límites para proteger la salud pública, la cual incluye la salud de poblaciones "sensibles", tales como los asmáticos, los niños y los ancianos. El asma se considera como uno de los problemas de salud pública más

serios en Puerto Rico. Las tasas de morbilidad y mortalidad por asma son más altas en comparación con los Estados Unidos. Otros estudios han reflejado que el asma es la segunda condición más prevalente y la primera causa de hospitalizaciones en Puerto Rico comparada con otras condiciones, además de que se encuentra entre las primeras cinco (5) causas más frecuentes de visitas al médico (DS 2006).

Las normas secundarias establecen los límites para proteger el bienestar público, la cual incluye la protección contra una mínima visibilidad, el daño a los animales, cultivos, vegetación y edificios (EPA 2003). ASHRAE, ha desarrollado estándares para mantener una calidad del ambiente interior en condiciones aceptables. Uno de los estándares es llamado el estándar ASHRAE 55, el cual cubre varios parámetros ambientales como: temperatura, radiación, humedad y movimiento del aire. Donde se indica que la temperatura recomendada para el ambiente en interiores debe estar entre 22.8 °C y 26.1 °C. También indica que la humedad relativa recomendada debe estar entre 30% y 60%. Otro de los estándares es ASHRAE 62, el cual recomienda un máximo de ocupantes por área en escuelas elementales de 25 a 35 estudiantes por 100 m<sup>2</sup> y para los niveles recomendados de concentración de CO<sub>2</sub>, no mayor de 1 000 µg/m<sup>3</sup> (Shiaw-Fen y Li-Wen 2002; ASHRAE 2003).



## **Capítulo Tres**

### **Metodología**

#### **Localización y Colindancias Municipales de Caguas**

Caguas se encuentra en el extremo oriental de la Cordillera Central rodeado por las Sierras de Cayey y Luquillo. Colinda por el norte con Guaynabo, San Juan y Trujillo Alto, por el sur con Cayey y San Lorenzo, oeste con Aguas Buenas, Cidra y Cayey y por este con Gurabo y San Lorenzo (Servicio de Extensión Agrícola 2005).

Su territorio se extiende a través del amplio Valle de Caguas o Del Turabo, entre la Sierra de Cayey y ramificaciones de la Cordillera Central. Sus elevaciones mayores son el cerro Lucero con 880.0 metros, Altos de la Mesa con 369.0 metros y los Altos de San Luis con 270.0 m de altura. El Río Grande de Loíza divide a este municipio de Gurabo. También lo riegan el Río Turabo, el Cagüitas, Cañaboncito, Bairoa y Cañas.

Con una superficie de 147.10 kilómetros cuadrados, Caguas tiene una población de 140 502.0 y una densidad poblacional de 955.10 habitantes por kilómetro cuadrado o 2 397.60 habitantes por milla cuadrada (US Census Bureau 2000). Existen aproximadamente 48 fincas en el municipio de Caguas, con cabidas entre 3 930.0 a 98 250.0 metros cuadrados dedicadas al cultivo principalmente de productos farináceos (plátanos, ñames, malangas, guineos), frutales (variedades de cítricas), hortalizas (recao, cilantrillo, ají dulce), plantas ornamentales de follaje y a empresas pecuarias (caballos, cerdos, pollos parrilleros, gallinas ponedoras y aves exóticas (Servicio de Extensión Agrícola 2005). Los pueblos de Caguas y San Juan (zonas Norte y Este de Puerto Rico), son los de mayor

prevalencia de enfermedades respiratorias (Bolaños 2007). Estas dos ciudades comprenden según la clasificación de Ecosistemas de Puerto Rico por L. Holdrige una zona húmedad subtropical (San Juan) y una zona más húmeda subtropical (Caguas) (Bolaños 2007).

### **Metodología**

La escuela elemental de Caguas, pertenece al Departamento de Educación del Distrito Escolar de Caguas II. De las 11 escuelas elementales que administra este distrito, se consideró la escuela bajo estudio porque según la información anónima obtenida por el personal docente de la escuela, existe una alta insidencia de estudiantes con problemas respiratorios. Las escuelas rurales y urbanas del distrito de Caguas I y Caguas II, en su mayoría se asemejan en condiciones y características dentro y fuera del plantel. Se estableció una muestra representativa que fue seleccionada aleatoriamente; 5 salones de 12 salones de clase en total que tiene la escuela. Esta muestra representa el 42.0% de los salones de clase que hay en la escuela. Los salones donde se observaron los parámetros de calidad de aire interior, están localizados en el primer nivel de la escuela, dichos salones son utilizados diariamente por 132 estudiantes que representan el 45.2% de la población estudiantil de la escuela, no se consideró los salones del segundo nivel, ya que la escuela solo cuenta con dos salones en dicho nivel.

La actividad de muestreo en el aire interior y exterior de los salones de clase, se realizó utilizando el (GE Protimeter MMS BLD-5800 kit), este equipo tiene un instrumento portátil que es un sistema de medición de humedad (MMS, por sus siglas en inglés) de la compañía General Electric (GE), que fue utilizado como calibrador o “Calibration Check” (BLD-5086) y

como medidor del “Contenido de Humedad” de los materiales higroscópicos. Dicho instrumento puede detectar la humedad hasta un máximo de 19.0 mm por debajo de la superficie de los materiales. Se utilizaron además tres instrumentos portátiles de medición directa (Hygromaster Protimeter Thermo-Hygrometer BLD-7700). El cual es un instrumento que se puede utilizar para mediciones al momento de humedad y temperatura y como un registrador de datos para el seguimiento de las tendencias de temperatura y humedad (GE 2010). Tiene varias aplicaciones, como por ejemplo, medición de humedad, calidad del aire interior, salud ambiental, HVAC, restauración por inundación, entre otros. Según la GE (2010) las especificaciones son las siguientes; tiene un rango de temperatura de 0.0 °C a 50.0 °C ( $\pm 0.3$  °C). Una superficie de sonda para una humedad relativa de 41.0% a 90.0% HR ( $\pm 2.0\%$  HR). Y unas dimensiones: 0.3 x 2.0 en (8 mm x 50 mm).

Se registraron niveles de humedad relativa en % y temperatura en °C, dichos parámetros fueron recopilados en el interior de un salón control, en salones experimentales y en el exterior al mismo tiempo. Niveles bajos de humedad relativa, fue visto como consecuencia de materiales higroscópicos no almacenados al ser comparados con los niveles de humedad relativa medidos en el salón control, donde el material higroscópico estuvo almacenado en recipientes aislantes o de plásticos. Se utilizaron tres Hygromaster Protimeter Thermo-Hygrometer, uno en el salón control, otro en el salón experimental y el último en el exterior de los salones. En nuestro estudio se analizó el efecto de un salón con “Materiales Higroscópicos NO expuestos a la humedad del aire interior” (salón control) versus varios salones con “Materiales Higroscópicos Expuestos a la humedad del aire interior” (salones experimentales).

También se identificaron varios materiales higroscópicos (libros, cajas de cartón, cartulinas, papeles, artículos de madera), dentro de cada salón para medir el contenido de humedad en la mañana y en la tarde y luego fueron comparados con el contenido de humedad de los materiales higroscópicos en el salón control, donde todos los materiales higroscópicos no estaban expuestos a la humedad relativa del aire interior. Lo ideal sería aislar todo material higroscópico que hay dentro de los salones de clase para evitar los posibles problemas de crecimiento de hongos a consecuencia de la humedad relativa del aire absorbida por los mismos (Simonson et al. 2006).

Se les preguntó a los maestros el tiempo de uso del salón, periodo de tiempo el cual están las puertas y ventanas abiertas o cerradas y otros factores que se relacionen a la ventilación (Weis 2006). Los salones también se identificaron en cuanto a tamaño en metros cuadrados (tabla 4.01), donde ASHRAE (2003) establece un máximo de 25 estudiantes por cada 100 m<sup>2</sup> y de esta forma se compararon los resultados con la densidad poblacional. Simonson et al. (2006) concluye que para todos los tipos de ventilación, las condiciones de humedad relativa del aire en el interior muestran una mayor dispersión, en lugares con materiales higroscópicos expuestos que en lugares que no los hay o que éstos no esten expuestos a dicha humedad.

El instrumento fue colocado aproximadamente a una altura entre 1.0 a 1.5 m sobre el suelo y localizado en un área del salón donde no tuviera impacto directo de la respiración de los estudiantes ni del personal presente en el salón de clase. En todos los salones el área utilizada para colocar el instrumento fue en la parte posterior del salón. El instrumento además, fue programado para realizar un ensayo continuo analizando el aire cada 30

minutos durante el tiempo de 9 horas. De acuerdo con la Agencia para la Protección del Medio Ambiente (EPA, por sus siglas en inglés), en Puerto Rico las temperaturas y lluvias varían mucho entre distintas zonas de la Isla. Puerto Rico presenta dos épocas una seca y otra húmeda. La época seca va de diciembre a abril y la lluviosa de mayo a septiembre. Puerto Rico se encuentra en la zona climática tropical y por lo tanto presenta condiciones térmicas similares durante todo el año. A pesar que el estudio fue realizado en época seca (diciembre), el análisis de los resultados va dirigido a la absorción de la humedad relativa del aire interior por los materiales higroscópicos midiendo su contenido de humedad en la mañana y en la tarde. Según EPA 2003, sin importar la época (seca o lluviosa), estos materiales higroscópicos absorberán parte de la humedad relativa del aire interior que esté presente.

En total se tomaron 19 lecturas (cada 0.5 hr) en 1 día por salón y 5 días por cada periodo (P1 y P2) que comprenden 9 horas cada uno, en los 5 salones de la escuela. Estas lecturas del primer y segundo periodo del estudio se realizaron en el mes de diciembre del 2008. Por lo tanto se tomaron un total de 95 muestras de humedad y temperatura por cada periodo (P1 y P2), para un gran total de 190 muestras de cada medida. Luego de realizar el muestreo de aire en los respectivos salones de de la escuela, se determinó según los resultados obtenidos los salones que manifestaron niveles de humedad relativa iguales (=), menores (<) o mayores (>) que los niveles de humedad relativa interior registrados en el salón control.

### **Calibración del Instrumento**

La calibración del equipo se realizó diariamente para verificar y asegurar el buen funcionamiento del equipo. Dicha calibración se realizó haciendo las medidas de los niveles de humedad relativa y temperatura, usando los tres sensores (Protimeter Thermo-Hygrometer BLD-7700) y con el sensor (GE Protimeter MMS BLD-5800) como este último tenía un calibrador llamado (Device Protimeter MMS de 17-19), se comparaban las medidas de humedad relativa y temperatura de este sensor con los tres sensores que se usaron en el estudio.

Primero el GE Protimeter BLD 5800 se le colocaba el Device Protimeter MMS y tenía que dar un registro de un índice no menor de 17 y no mayor de 19. Luego se colocaban los tres Protimeter en modo de encendido y registraban lecturas de humedad relativa con un  $\pm 2.0\%$  de tolerancia y lecturas de temperatura con un  $\pm 0.3$  °C de tolerancia. Al finalizar la calibración del día, dos de los instrumentos fueron colocados en los respectivos salones (control y experimental) y uno en el exterior, el objetivo de la calibración era asegurar el buen funcionamiento del equipo.

## **Datos Meteorológicos**

La interpretación de las observaciones hechas para evaluar las condiciones del aire requiere que se obtenga información sobre las características atmosféricas del lugar. Con tal propósito se utilizan comúnmente datos referentes a condiciones meteorológicas y climatológicas. Los datos meteorológicos fueron obtenidos de la estación meteorológica, localizada en Rio Cañas en Caguas, Puerto Rico.

Los últimos datos internacionales indican que en la actualidad el aumento del asma y las alergias en los niños es más pronunciado en los más países en desarrollo (Asher et al. 2006). Como uno de los causantes de estas dos condiciones, es el crecimiento de los ácaros del polvo que aumentan considerablemente cuando la humedad relativa supera el 50% (EPA 2005). Las razones no están claras, pero esta tendencia podría atribuirse a los cambios asociados con factores de meteorológicos y el estilo de vida durante el proceso de modernización (Douwes y Pearce 2002). Entre otros factores, el aumento en el nivel de contaminación atmosférica puede afectar de los niños y adultos que padecen de asma y alergias (Schneider y Freeman 2001; Watts 2006) y a esto se le atribuye la contaminación del aire interior, que es otro gran problema de salud en los países en desarrollo (Bruce et al. 2000).

## **Capítulo Cuatro**

### **Resultados**

Los resultados para las niveles de humedad relativa y temperatura interior y exterior del primer y segundo periodo del muestreo han sido resumidas en las Tablas A.01. a la A.05. para cada uno de los salones donde se realizó el análisis de la comparación de los niveles de humedad relativa en los salones experimentales versus en el salón control. Además se muestran los gráficos de humedad relativa durante el horario de 7:00 AM a 4:00 PM (Figuras 4.01. a 4.10.). En el Apéndice Tres se muestran los gráficos resultantes de las observaciones realizadas con el instrumento para los parámetros de temperatura en los salones experimentales y en el salón control. En el Apéndice Cuatro se encuentra el resumen de los promedios de las temperaturas y humedad relativa en el interior de los salones y en el exterior de la escuela durante el P-1 y P-2.

En el Apéndice Cinco se resumen los datos meteorológicos de los días de muestreo del P-1 y P-2 del estudio; en el exterior de los salones de clases de la escuela. En el Apéndice Cinco, podemos notar que las condiciones meteorológicas generales durante los 10 días en que se estudió los niveles de humedad y temperatura fuera de los salones seleccionados en ambos periodos no existe una variación significativa. Los datos de las condiciones meteorológicas para los días en que se realizaron las observaciones de calidad de aire, están resumidas en el Apéndice Seis. Las mismas fueron tomadas de la base de datos de Weather Station History, la estación meteorológica localizada en Río Cañas en Caguas, Puerto Rico.



En el Apéndice Siete podemos ver un resumen del contenido de humedad de varios materiales dentro de cada salón experimental y el salón control durante la mañana y en la tarde. Los cinco salones experimentales estudiados tenían “Materiales Higroscópicos Expuestos a la humedad relativa del aire interior”; donde se encontraron niveles de humedad relativa del aire interior más bajos que en el salón control que tenía los “Materiales Higroscópicos NO expuestos a la humedad relativa del aire interior”. Para evidenciar este factor se tomaron fotografías del interior de cada salón, los salones experimentales y del salón control.

Para las medidas del contenido de humedad de los materiales higroscópicos se utilizó el instrumento (GE Protimeter BLD-5800), utilizando un sensor de medición directa del contenido de humedad de materiales. Se observó que el contenido de humedad de los materiales higroscópicos en la mañana (AM) fue más alto que en la tarde (PM), esto significa que todos esos materiales higroscópicos absorbieron la humedad durante los periodos de la noche y en la mañana, por lo tanto al transcurrir el día que es cuando la temperatura va en aumento, comienza a evaporarse el agua contenida en los mismos.

La densidad poblacional en un salón de clases para estudiantes del nivel elemental debe ser de 25 estudiantes por cada 100 m<sup>2</sup> (ASHRAE 2003). En la tabla 4.01. se puede apreciar que todos los salones tienen una densidad poblacional mayor a la recomendada por ASHRAE. El exceso de densidad poblacional para el S-001 fue de 48.0%, para el S-002 fue de 60.0%, para el S-003 fue de 64.0%, para el S-004 fue de 52.0% y para el S-005 fue de 32.0%.

El exceso de densidad poblacional para el S-C fue de 76.0%, siendo el salón con la más alta densidad poblacional. A pesar que todos los salones tienen una densidad poblacional mayor a la recomendada por ASHRAE, el 60.0% de los salones (S-001, S-002 y S-004) tienen niveles de HR del aire interior más bajos que el S-C. A pesar que en S-C no habían materiales higroscópicos expuestos a la HR del aire interior, tenía la mayor densidad poblacional y por ende unos niveles de HR del aire interior por encima de los recomendados por ASHRAE.

Es muy importante entender que bajo condiciones de alta humedad, la evaporación de la transpiración de la piel se disminuye. Los esfuerzos del cuerpo por mantener una temperatura aceptable pueden ser considerablemente afectados. Estas condiciones dañan la capacidad de una persona de trabajar en un ambiente caluroso (Zeiler and Boxem 2009). Mucha sangre llega a la superficie externa del cuerpo. Relativamente menos sangre llega a los músculos activos, el cerebro y otros órganos internos. Como consecuencia de ello, la fuerza del cuerpo se disminuye y el cansancio llega antes de lo normal. La persona pierde su capacidad de estar alerta y la capacidad mental puede ser afectada también (Zeiler and Boxem 2009). En adición a ese problema tenemos que recordar según Frannigan (1994) que los niveles altos de humedad y concentraciones de colonias de esporas en muchos casos ocasionan el crecimiento de hongos.

Tabla 4.01. Datos de la densidad poblacional en los salones.

Salón	No. Personas	Área del salón (m <sup>2</sup> )	Densidad del salón (#/100m <sup>2</sup> )
S-001	21	57	37
S-002	23	57	40
S-003	23	56	41
S-004	22	58	38
S-005	18	55	33
S-C	25	57	44

El 100% de los salones experimentales y el salón control exceden la cantidad máxima de estudiantes por cada 100 m<sup>2</sup> según ASHRAE (2003) la densidad poblacional en un salón de clases en donde los estudiantes del nivel elemental deben ser de 25 estudiantes por cada 100 m<sup>2</sup>.

Tabla 4.02. Medidas promedios de HR (%) para los salones experimentales y el S-C y la medida recomendada por ASHRAE, en el primer y segundo periodo.

Salón	Promedio	Promedio	HR Recomendada
	HR Interior (%)	HR Interior (%)	
	P-1	P-2	
S-001	69.1	61.2	30% - 60%
<b>S-C</b>	<b>71.5</b>	<b>67.4</b>	30% - 60%
S-002	71.6	68.3	30% - 60%
<b>S-C</b>	<b>71.2</b>	<b>69.0</b>	30% - 60%
S-003	75.2	73.3	30% - 60%
<b>S-C</b>	<b>72.1</b>	<b>71.0</b>	30% - 60%
S-004	75.2	63.8	30% - 60%
<b>S-C</b>	<b>81.4</b>	<b>65.8</b>	30% - 60%
S-005	71.6	73.5	30% - 60%
<b>S-C</b>	<b>67.8</b>	<b>71.0</b>	30% - 60%

En el salón número uno (S-001) se observó que durante el segundo periodo (P-2), la HR cumple con la recomendada por ASHRAE, considerando una tolerancia del instrumento de un  $\pm 2.0\%$ . Es notable que en el primer periodo (P-1), el 100% de los salones y en el segundo periodo (P-2), el 80% de los salones, exceden la HR recomendada.

Tabla 4.03. Datos sobre los niveles de Humedad Relativa en S-001 comparados con el S-C.

Salón		HR		HR	
		Datos	%	Datos	%
		P1		P2	
	Igual	4	21.0	0	0
S-001	<b>Menor</b>	<b>15</b>	<b>79.0</b>	<b>19</b>	<b>100</b>
	Mayor	0	0	0	0

La Tabla 4.03. presenta el resultado del análisis de las Figuras 4.01. y 4.02. Donde observamos que para el S-001 en el P1 el 79.0% y en el P2 el 100% de las medidas de los niveles de HR en los salones experimentales son menores que en el S-C. Por lo tanto hubo reducción significativa de los altos niveles de HR en el S-001 versus el S-C.

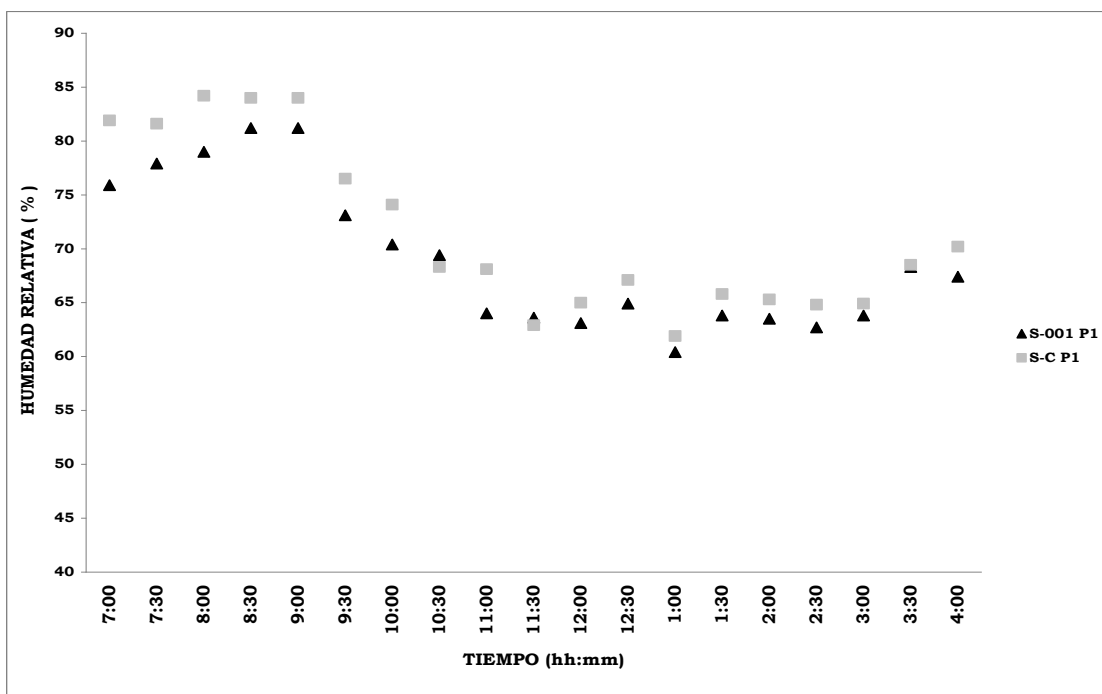


Figura 4.01. Humedad Relativa versus Tiempo, S-001 y S-C en el P1.

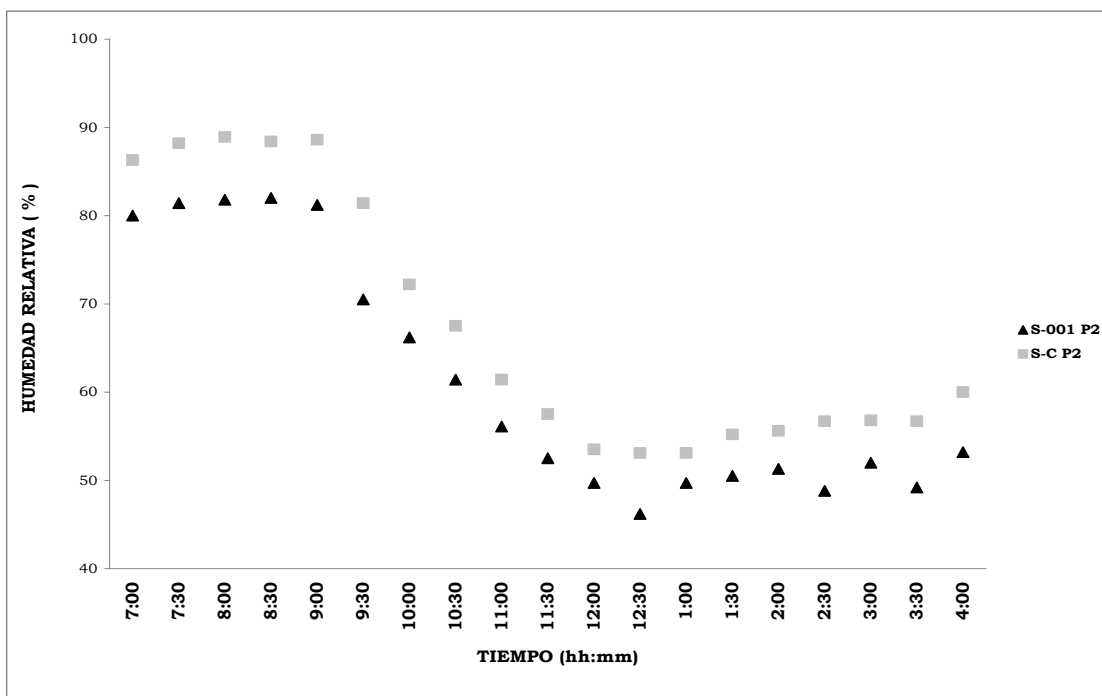


Figura 4.02. Humedad Relativa versus Tiempo, S-001 y S-C en el P2.

Tabla 4.04. Datos sobre los niveles de Humedad Relativa en S-002 comparados con el S-C.

Salón		HR		HR	
		Datos	%	Datos	%
		P1		P2	
	Igual	6	31.5	5	26.3
S-002	<b>Menor</b>	<b>7</b>	<b>37.0</b>	<b>9</b>	<b>47.4</b>
	Mayor	6	31.5	5	26.3

La Tabla 4.04. presenta el resultado del análisis de las Figuras 4.03. y 4.04. Donde observamos que para el S-002 en el P1 el 37.0% y en el P2 el 47.4% de las medidas de los niveles de HR en los salones experimentales son menores que en el S-C. Por lo tanto hubo una reducción de los altos niveles de HR en el S-002 versus el S-C.

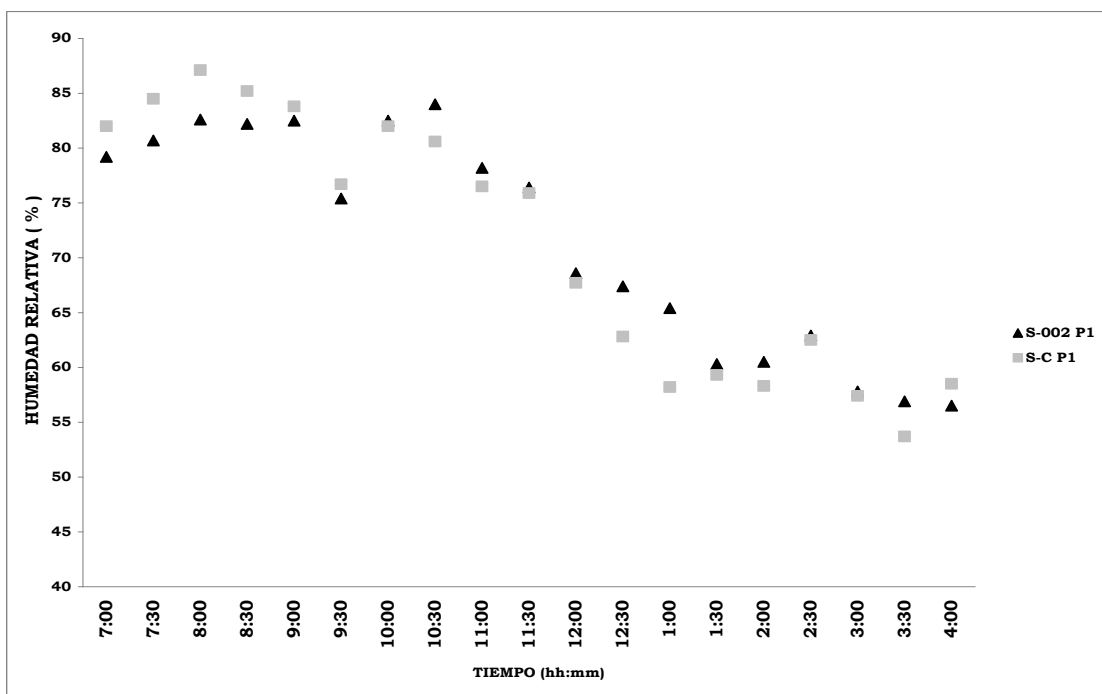


Figura 4.03. Humedad Relativa versus Tiempo, S-002 y S-C en el P1.

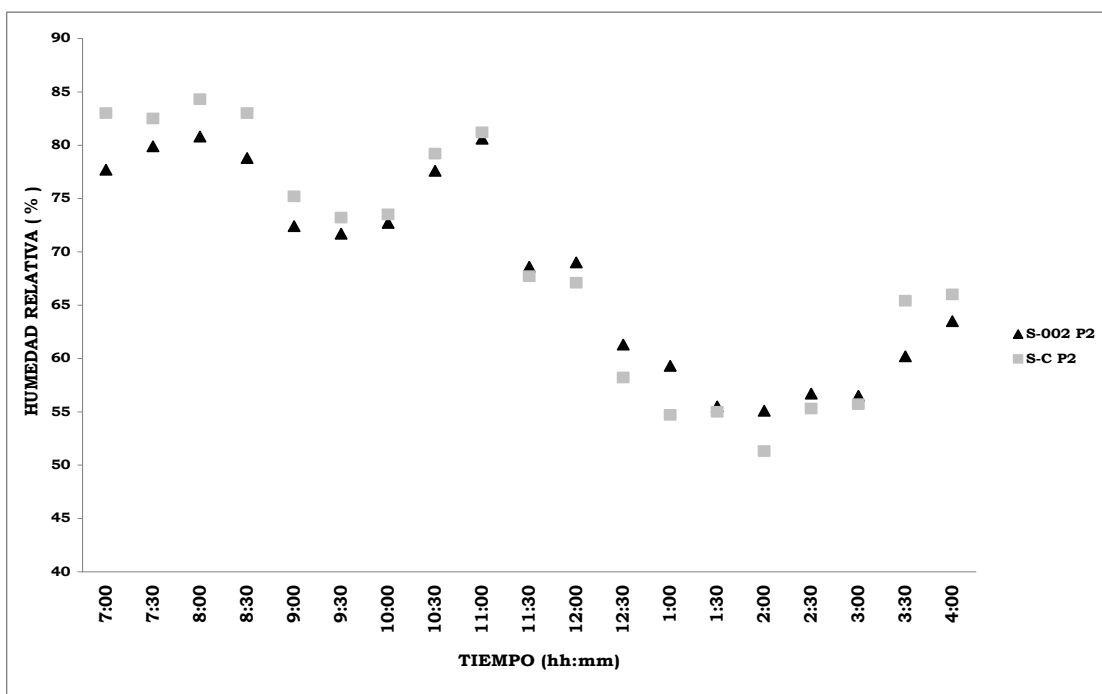


Figura 4.04. Humedad Relativa versus Tiempo, S-002 y S-C en el P2.



Tabla 4.05. Datos sobre los niveles de Humedad Relativa en S-003 comparados con el S-C.

Salón		HR		HR	
		Datos	%	Datos	%
		P1		P2	
	Igual	3	16.0	0	0
S-003	<b>Menor</b>	<b>4</b>	<b>21.0</b>	<b>5</b>	<b>26.0</b>
	Mayor	12	63.0	14	74.0

La Tabla 4.05. presenta el resultado del análisis de las Figuras 4.05. y 4.06. Donde observamos que para el S-003 en el P1 el 21.0% y en el P2 el 26.0% de las medidas de los niveles de HR en los salones experimentales son menores que en el S-C. Por lo tanto no hubo una reducción de los altos niveles de HR en el S-003 versus el S-C.

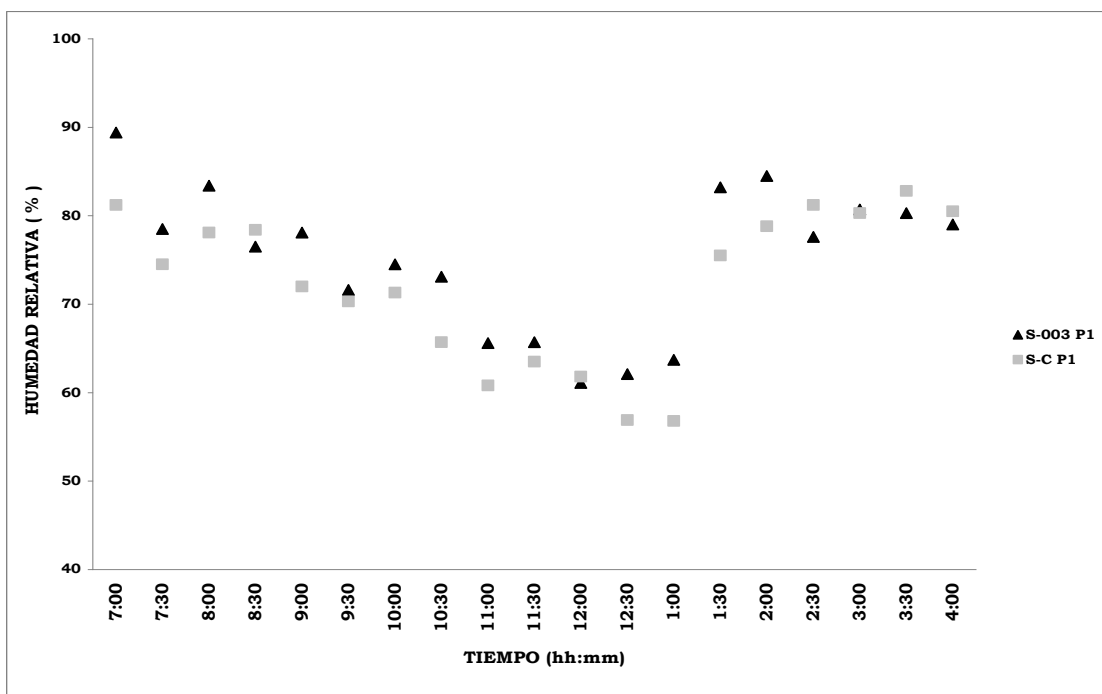


Figura 4.05. Humedad Relativa versus Tiempo, S-003 y S-C en el P1.

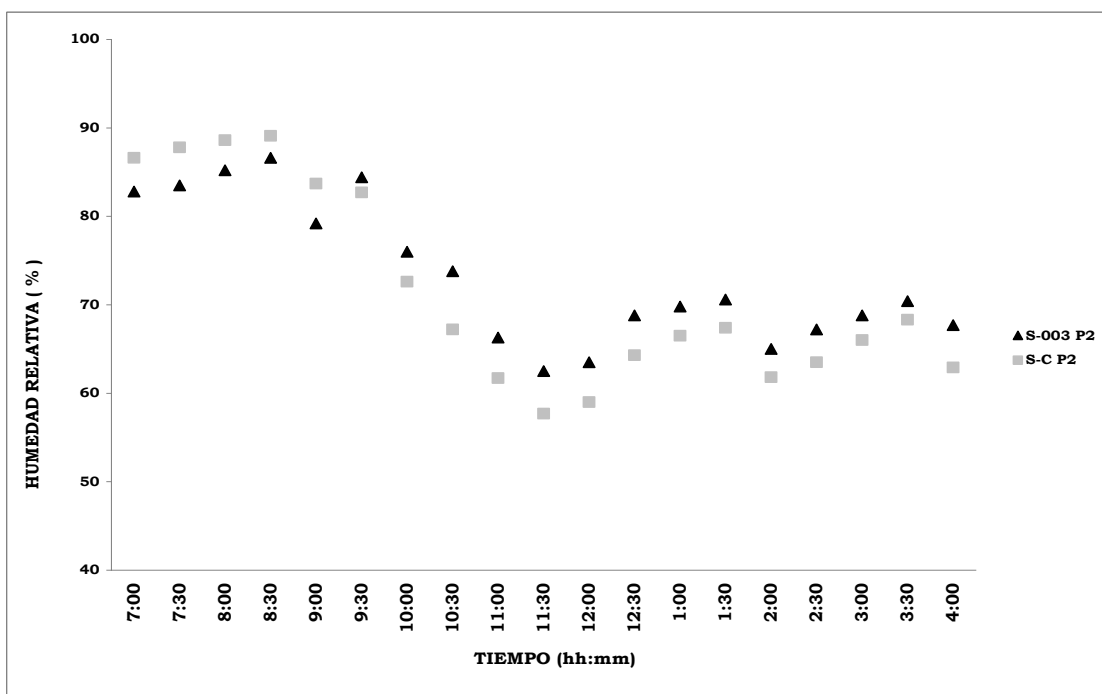


Figura 4.06. Humedad Relativa versus Tiempo, S-003 y S-C en el P2.

Tabla 4.06. Datos sobre los niveles de Humedad Relativa en S-004 comparados con el S-C.

Salón	HR		HR		
	Datos	%	Datos	%	
	P1		P2		
	Igual	1	5.3	4	21.0
S-004	<b>Menor</b>	<b>18</b>	<b>94.7</b>	<b>9</b>	<b>47.4</b>
	Mayor	0	0	6	31.6

La Tabla 4.06. presenta el resultado del análisis de las Figuras 4.07. y 4.08. Donde observamos que para el S-004 en el P1 el 94.7% y en el P2 el 47.4% de las medidas de los niveles de HR en los salones experimentales son menores que en el S-C. Por lo tanto hubo una reducción significativa de los altos niveles de HR en el S-004 versus el S-C.

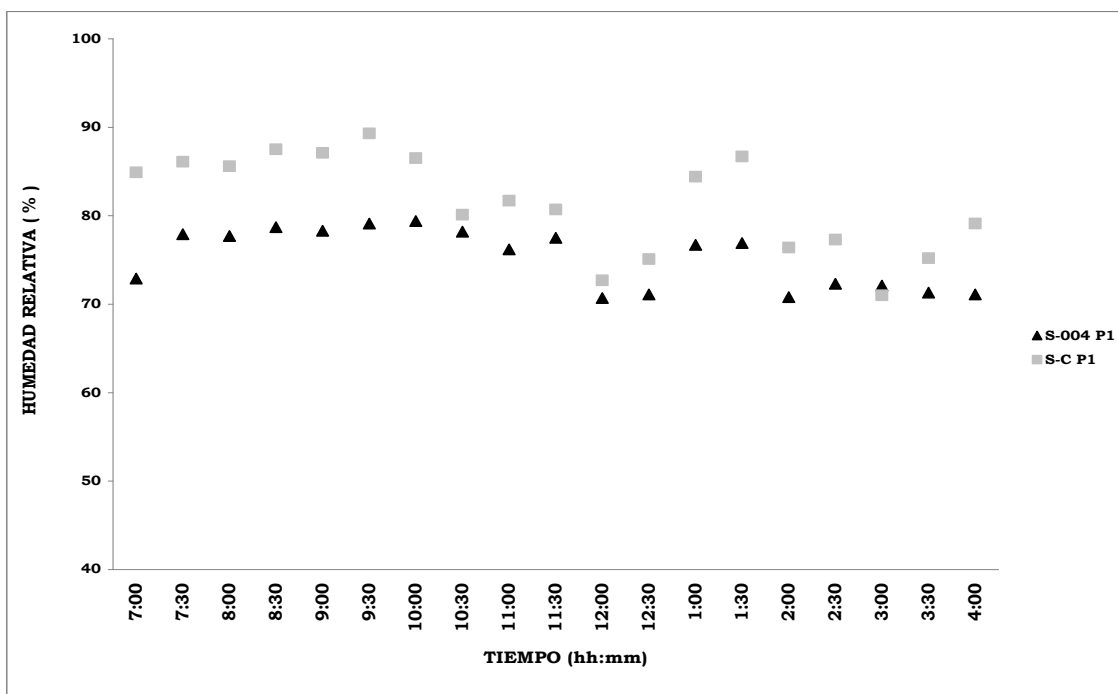


Figura 4.07. Humedad Relativa versus Tiempo, S-004 y S-C en el P1.

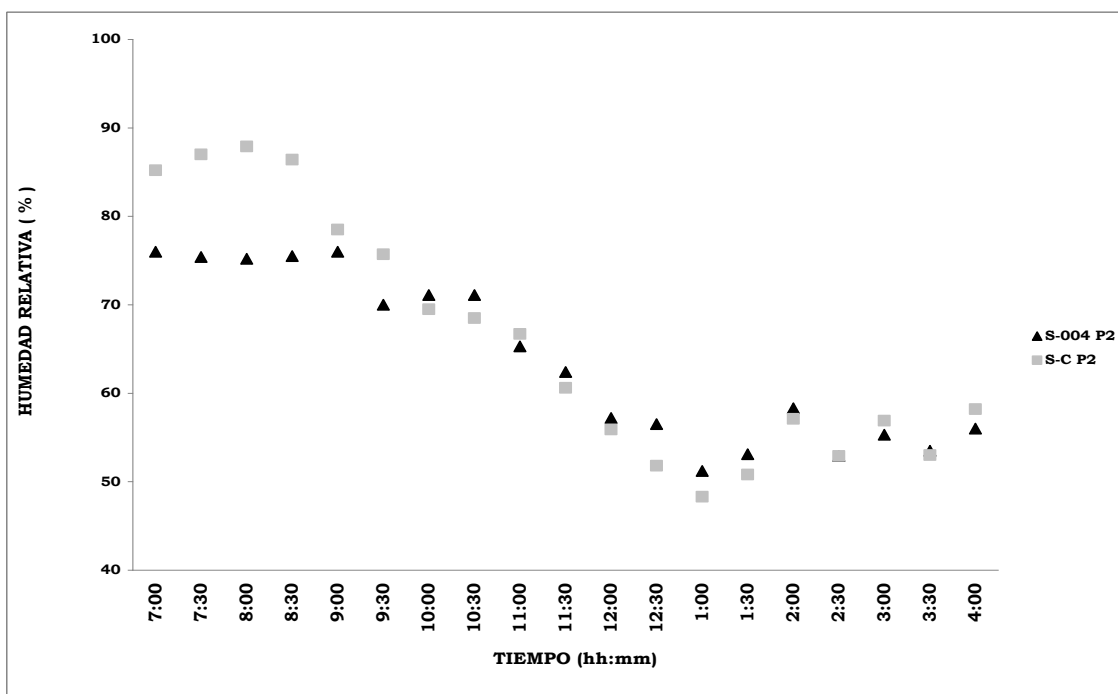


Figura 4.08. Humedad Relativa versus Tiempo, S-004 y S-C en el P2.

Tabla 4.07. Datos sobre los niveles de Humedad Relativa en S-005 comparados con el S-C.

Salón		HR		HR	
		Datos	%	Datos	%
		P1		P2	
	Igual	1	5.0	1	5.3
S-005	<b>Menor</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>5</b>	<b>26.3</b>
	Mayor	18	95.0	13	68.4

La Tabla 4.07. presenta el resultado del análisis de las Figuras 4.09. y 4.10. Donde observamos que para el S-005 en el P1 el 0% y en el P2 el 26.3% de las medidas de los niveles de HR en los salones experimentales son menores que en el S-C. Por lo tanto no hubo una reducción de los altos niveles de HR en el S-005 versus el S-C.

Si analizamos los cinco salones controles (S-001 al S-005), vemos que 3 de los 5 salones controles (60.0%) reflejan una reducción en los niveles de humedad relativa al compararlos con los niveles de humedad relativa registrados en el salón control (S-C).

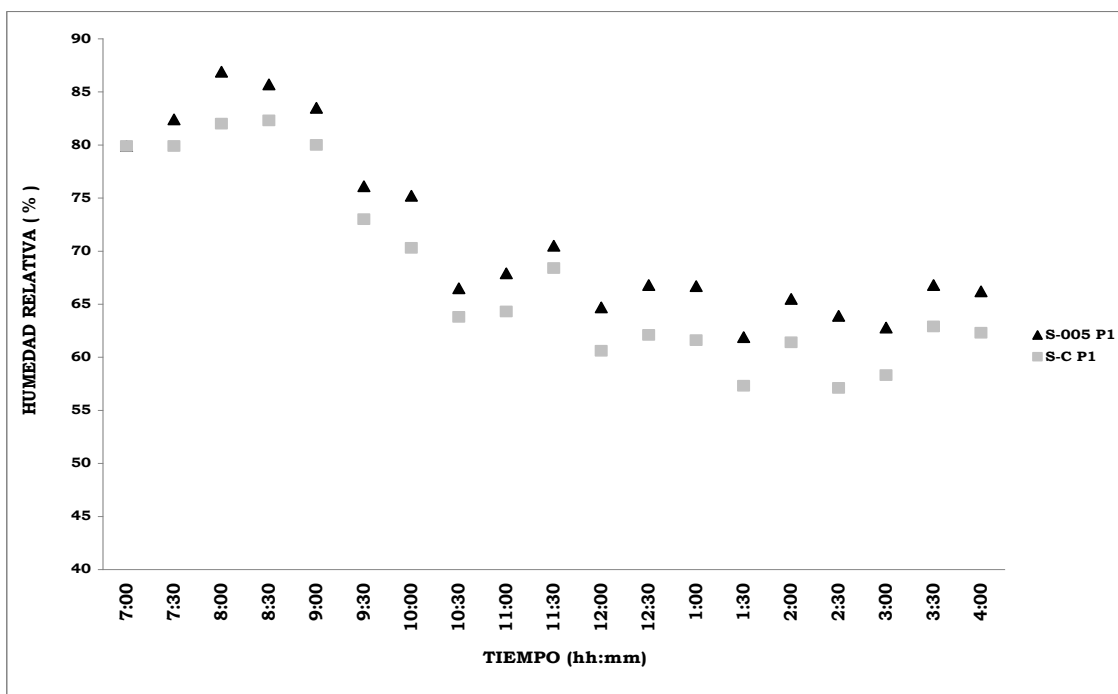


Figura 4.09. Humedad Relativa versus Tiempo, S-005 y S-C en el P1.

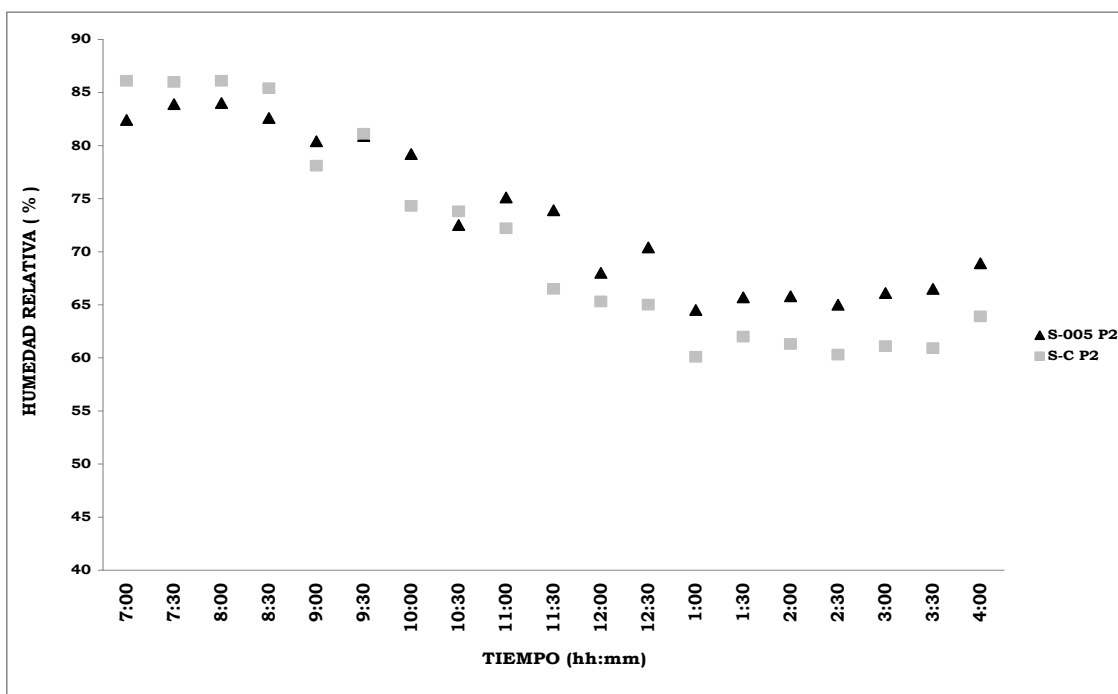


Figura 4.10. Humedad Relativa versus Tiempo, S-005 y S-C en el P2.

La siguiente tabla presenta el análisis total de los datos recopilados en los salones experimentales en cuanto a cantidad de medidas de humedad relativa que sean iguales, menores o mayores que la cantidad de medidas de humedad relativa obtenidos en el salón control:

Tabla 4.08. Datos totales sobre los niveles de humedad relativa comparados con el S-C.

Salón		HR	%	HR	%
		Datos	DE	Datos	DE
		P1	95 DATOS	P2	95 DATOS
			MEDIDOS		MEDIDOS
	Igual	15	15.8	10	10.5
TODOS	<b>Menor</b>	<b>44</b>	<b>46.3</b>	<b>47</b>	<b>49.5</b>
	Mayor	36	37.9	38	40.0

En esta tabla se presenta el resultado del análisis de todas las medidas de humedad relativa. Donde observamos que para el P1 el 46.3% y en el P2 el 49.5% de las medidas de los niveles de HR en los salones experimentales son menores que en el S-C.

El vapor de agua siempre está presente en el aire y su cantidad varía. El punto de condensación es la temperatura en la cual el aire, que contiene cierta cantidad de vapor agua se satura. Cualquier reducción en la temperatura daría lugar a la condensación. Al observar el apéndice cuatro

en las tablas A.01. hasta la tabla A.05., notaríamos que cuando en el interior de los salones se registraron los niveles mínimos de temperatura, es cuando los niveles de humedad relativa llegan a su máximo porcentaje y viceversa. Cuando comparamos los niveles de HR interior y exterior, refleja claramente que varían inversamente con los niveles de temperatura, se entendería entonces que cuando existe una baja temperatura, los niveles de HR aumentan, ya que el agua en forma de gas que contiene ese volumen de aire cambiaría a agua líquida y por ende una posible condensación. De igual forma cuando los niveles de temperatura son altos, se observa que la HR disminuye, ya que el agua contenida en el aire en forma de gas con altas temperaturas desearía permanecer en estado gaseoso y no líquido y por ende no ocurriría una condensación, a menos que la presión atmosférica cambie (Shiaw-Fen y Li-Wen 2002).



## **Capítulo Cinco**

### **Discusión**

En los salones de la escuela elemental del Distrito Escolar de Caguas II utilizados para realizar el estudio, los niveles de humedad relativa del aire interior sobrepasan en promedio los niveles de humedad relativa considerados como normales, los cuales varían entre 30% y 60%. Los niveles de HR del aire interior más altos registrados durante el periodo de observación en los salones de la escuela fueron en la mañana, como se puede observar en las Figuras 4.01. a 4.05., para los respectivos salones. De igual forma en los datos de HR registrados del aire exterior, durante las observaciones en la escuela, fueron más altos durante horas de la mañana.

Tres de los cinco salones experimentales (S-001, S-002 y S-004), o sea el 60.0% de la muestra o salones y representa el 47.9% de los datos medidos en ambos periodos (P-1 y P-2), tienen una reducción en los niveles de HR registrados en ambos periodos, al compararlos con los niveles de HR en el salón control (S-C). Estos materiales higroscópicos tienen la capacidad de absorción de humedad y por lo tanto la reducción de la misma cuando se compara con los niveles de HR del aire interior registrados en el salón control, el cual los materiales higroscópicos no estaban expuestos a la HR del aire interior. Por lo tanto, existe una relación directa entre los niveles altos de humedad relativa con la densidad poblacional y la evaporación del contenido de humedad por los materiales higroscópicos. La presencia de materiales higroscópicos expuestos a la HR del aire interior en los salones experimentales, contribuye a la reducción en los niveles de HR del aire interior al compararlos con los del S-C. Se puede ver claramente que de los

cinco salones utilizados como salones experimentales, en 47.9% de las medidas están por debajo, se han reducido los altos niveles de HR del aire interior cuando se comparan los niveles de HR en el S-C, por lo tanto es indicativo que los materiales higroscópicos expuestos a la HR del aire interior reducen los altos niveles de humedad relativa.

De hacer el análisis según los 190 datos obtenidos en el P1 y P2, vemos que de las medidas de HR en los salones experimentales (25/190) o sea el 13.2% son iguales, (91/190) o sea el 47.9% son menores y (74/190) o sea el 38.9% son mayores que las medidas de HR en el salón experimental. En promedio el 100% de los materiales higroscópicos su contenido de humedad era menor en la tarde y mayor en horas de la mañana, los resultados indican que la HR del aire interior era absorbida durante la noche. Por el contrario, los materiales higroscópicos liberaban su contenido de humedad al aire interior en horas del día, debido a que su contenido de humedad era mayor en horas de la mañana y menor en horas de la tarde. El exceso de la densidad poblacional, pobre ventilación y evidencia de problemas de filtración en los salones, pudiera estar contribuyendo a elevar los niveles de HR del aire interior y como consecuencia el incumplimiento de los niveles de HR recomendados por ASHRAE.

En el análisis de los niveles de temperatura para los salones experimentales y el salón control que se encuentran en el apéndice cuatro en las tablas A.01. hasta la tabla A.05., se puede apreciar que un 80.0% de los salones experimentales en el P-1 y un 60.0% en el P-2, cumplen con los estándares de temperatura establecidos según ASHRAE (2009) que recomienda unos niveles de temperatura entre 22.8 °C – 26.1 °C.

## **Conclusiones**

En este estudio se puede apreciar que todos los salones están provistos de ventilación natural. Se observó también que en los salones experimentales (S-001, S-002 y S-004), se detectaron niveles de HR más bajos en comparación con el salón control (S-C). Es muy importante señalar que existe la posibilidad de que se origine un problema de calidad de aire interior en el 100% de los salones experimentales, como también en el salón control excedieron los niveles recomendados por ASHRAE.

La reducción en los niveles de HR del aire interior, debido a la absorción por la presencia de materiales higroscópicos, podría traer como consecuencia contaminación por el crecimiento de hongos y bacterias en dichos materiales en el interior de los salones de una escuela (Simonson et al. 2006). Este estudio demostró que la densidad poblacional en todos los salones se exceden en los estándares de ASHRAE. Para los niveles de temperatura interior durante el P-1 el 80.0% y en el P-2 el 60.0% de los salones experimentales cumplen con los niveles recomendados por ASHRAE. Los resultados de los niveles de temperatura no reflejan un problema o posible causante de algún daño a la calidad de aire o ambiente interior.

Las razones para los niveles altos de humedad relativa en interiores y calidad del ambiente interior van a variar considerablemente de escuela en escuela y de salón en salón. Los resultados obtenidos sobre los altos niveles de humedad relativa en los salones pudiera ser causado por la alta densidad poblacional, pobre ventilación y evidencia fotográfica de rupturas o grietas en los techos de los salones que pudiese indicar algún problema de filtración. Estas tres posibles causas están ocasionando que durante la noche, todo el material higroscópico expuesto a la humedad del aire interior

absorba la misma y la posibilidad de un gran problema de calidad de aire interior que es el crecimiento de hongos. En la escuela existe un almacén o lo que los maestros llaman “cobacha”, el cual se encuentra en condiciones desfavorables para almacenar material educativo. Por esta razón, todos los materiales higroscópicos y equipo educativo son almacenados en los mismos salones de clases.

Estos resultados nos darían una idea de que sería conveniente la construcción de un sistema de almacenaje de materiales y equipo para cada salón de clases, el cual este construido de algún material que sea aislador de la humedad. Ya que los niños de la escuela elemental de Caguas II, están expuestos a niveles de humedad relativa que exeden los límites recomendados.

### **Limitaciones**

El Departamento de Educación, no hizo accesible la información de problemas de salud (problemas respiratorio y/o síntomas relacionados), para así poder hacer una relación de dicha información con los resultados de los altos niveles de HR del aire interior de esta investigación. Como por ejemplo el uso de los expedientes médicos de los estudiantes porque solamente podían ser vistos por el personal docente o la enfermera del distrito escolar. La única información que se obtuvo de un empleado docente, fue que la escuela tiene una alta insidencia de estudiantes que padecen de asma. Hubiese sido de gran ayuda realizar dicha encuesta ya que esta información podría ser necesaria e imprescindible para realizar estudios donde se relacionen las medidas de exposición a la humedad y temperatura con diferentes síntomas. Y de esta forma usar la escuela como

modelo o piloto para la prevención de contaminación del aire interior y de enfermedades relacionadas a esta.

### **Recomendaciones**

Llevar los resultados de este estudio al Departamento de Educación, ya que podría existir un problema debido a los altos niveles de HR del aire interior, que no cumplen con los estándares establecidos por ASHRAE y relacionarlo de forma directa y científica con la alta densidad poblacional, rupturas en los techos de los salones y pobre ventilación nocturna. Como también se pudo registrar mediante fotografías, que algunos de los maestros tienen que usar sus salones como almacenes y donde la mayoría de los materiales utilizados diariamente son higroscópicos y por ende la posibilidad de crecimiento de hongos. Por lo tanto se recomienda retirar todo material higroscópico que durante periodos de la noche aborben la HR del aire interior y durante el día la liberan su contenido de humedad.

Un buen programa de calidad de aire interior donde la educación y comunicación son los elementos importantes para remediar y prevenir los problemas existentes en el interior del edificio. Cuando los ocupantes del edificio, jefes o directores y personal de mantenimiento tengan una comunicación efectiva y entendimiento de las causas y consecuencias de los problemas de calidad de aire interior, entonces todos juntos pueden trabajar con mayor efectividad para la prevención y solución de los problemas (Arnold 2001).

El objetivo es identificar, prevenir y resolver los problemas de una manera que impida la repetición de los mismos y así se evita el inicio de nuevos problemas (Arnold 2001). Para ello, el investigador debe descubrir si una queja o denuncia es en realidad relacionada con problemas de calidad

de aire interior, identificar sus causas y determinar las acciones correctivas más adecuadas (Arnold 2001). Una investigación de calidad del aire interior sería más efectiva si se recopila información, se crea una hipótesis y se prueba la misma. Se puede iniciar con una inspección del área donde ocurre el problema, para reunir información sobre cuatro factores básicos que influyen en la calidad del aire interior: los ocupantes, sistema de ventilación, el potencial de las vías de contaminantes y las posibles fuentes de contaminantes (Arnold 2001).

Si es imposible retirar los materiales, sería recomendable la instalación de un sistema de almacenes aprueba de humedad en los salones de cada maestro, un deshumidificador y un equipo de monitoreo diario, para registrar los niveles de humedad relativa y temperatura. Los maestros deben ser orientados para tomar las medidas correctivas antes de que ocasione una deficiente calidad de aire y ambiente interior, donde no solo se afectan los estudiantes sino también los mismos maestros y el personal en general. Sería de gran ayuda el que se realicen estudios como este en otras escuelas elementales y secundarias del pueblo de Caguas y pueblos limítrofes, ya que el problema de ausentismo por consecuencia de problemas respiratorios en personas de 0 a 17 años es alarmante (Ramos 2003). Este estudio se debe expandir para verificar la presencia de hongos en los salones, un registro de los porcentos de humedad de cada material higroscópico en específico, ya que no todo los materiales higrocópicos absorben la misma cantidad de humedad.

Este estudio contribuye al entendimiento sobre los problemas que estan relacionados a una pobre calidad de aire interior. Sería de mucha ayuda realizar un estudio de prevalencia e incidencia de enfermedades

respiratorias para así relacionarlos de forma directa con la calidad de aire interior. Esta investigación le provee una base para futuras investigaciones que se relacionen a temas como muestreo y cultivo de esporas de hongos y bacterias en ambientes interiores. Así como también a estudios sobre los problemas de calidad de aire interior en las escuelas y crear un programa local sobre identificación y orientación de cómo resolver los mismos, para recopilar datos estadísticos antes y después de la intervención con la escuela y relacionarlos con las condiciones de salud de los estudiantes y personal del plantel escolar.

## Literatura Citada

- Acuña-Fernández E. (2002). Análisis Estadístico de Datos Utilizando Minitab. Universidad de Puerto Rico Recinto de Mayagüez, Departamento de Matemáticas. Wiley Custom Services. Segunda Edición.
- Arnold K. 2001. Sick Building Syndrome Solutions. Professional Safety. 6:43.
- Asher MI, Montefort S, Bjorksten B, Lai CK, Strachan DP, Weiland SK et al. 2006. Worldwide time trends in the prevalence of symptoms of asthma, allergic rhinoconjunctivitis, and eczema in childhood. Phases One and Three repeat multicountry cross-sectional surveys. 368:733-743.
- ASHRAE/ANSI. American Society of Heating, Refrigerating and Air Conditioning Engineers/American National Standards Institute. 2003. Ventilation for Acceptable Indoor Air Quality, ASHRAE Standards Committee, Addendum to ANSI/ASHRAE Standard 63-2001. Available from: <http://ashrae.org>.
- Bolaños B. 2007. El Aire que Respiramos y la Prevalencia de Asma y Alergias Nasales en Puerto Rico. Asociación Puertorriqueña de Médicos Alergistas. 1.
- Bornehag CG, Blomquist G, Gyntelberg F, Jarvholm B, Malmberg P, Nordvall L, Nielsen A, Pershagen G, Sundell J. 2001. Dampness in buildings and health. Indoor Air. 11:72-86.



- Bruce N, Pérez-Padilla R, Albalak R. 2000. Indoor air pollution in developing countries: a major environmental and public health challenge. *Bull WHO*. 78:1078-1092.
- Brunekreef B. 1992. Damp housing and adult respiratory symptoms. *Allergy*. 47:498-502.
- Census Bureau (US). 2000. GCT-PH1: Population, Housing Units, Area, and Density. U.S Census Bureau.
- Colloff MJ, Ayres J, Carswell F, Howarth PH, Merrett TG, Mitchell EB, Walshaw MJ, Warner JO, Warner JA, Woodcock AA. 1992. The control of dust mites and domestic pets a position paper. *Clinical and Experimental Allergy*. 2:1-28.
- Daisey JM, Angell WJ, Apte MG. 2003. Indoor Air Quality ventilation and health symptoms in schools: an analysis of existing information. *Indoor Air*. 13:53-64.
- Dales RE, Cakmak S, burnett RT, Judek S, Coates F, Brook JR. 2000. Influence of ambient fungal spores on emergency visits for asthma to a regional children's hospital. *Am. J. Resp. Crit. Care Med*. 162:2087-2090.
- (DS) Departamento de Salud. 2006. Puerto Rico Asthma Project Maternal, Child and Adolescent Health Division Auxiliary Secretariat of Family Health and Integrated Services Puerto Rico Department of Health in collaboration with the Puerto Rico Asthma Coalition. Available from: <http://www.salud.gov.pr>

- De Guichen G. 1988. Climate in Museums: Measurement. International Center for Study of the Preservation and Restoration of Cultural Property.
- Díaz JC. 2005. Propuesta metodológica para determinar el potencial de humedad de un material granular a partir de la humedad relativa. *Ingeniería y Competitividad*. 7:74-75.
- Dorgan CB, Dorgan CE, Kanarek MS and Willman AJ. 1998. Health and productivity benefits of improved indoor air quality. *ASHRAE Trans*. 104-4161.
- Douwes J, Pearce N. 2002. Asthma and the westernization “package”. *Int J Epidemiol*. 31:1098-1102.
- Eggleston PA, Wood RA, Rand C, Nixon WJ. Chen PH, Luuk P. 1999. Removal of cockroach allergen from inner city homes, *J Allergy. Clean Immunol*. 104:842-846.
- [EPA] Environmental Protection Agency. 1991. Building Air Quality: A guide for building owners and facility managers, Office of atmospheric and indoor air programs: Indoor Air Division.
- [EPA] Environmental Protection Agency. 2003. Latest findings on national air quality. U.S. EPA, Office of Air Quality Planning and Standards Emissions, Monitoring and Analysis Division. Available from: <http://www.epa.gov/air/airtrends>.
- (EPA) Environmental Protection Agency. 2007. Benefits of good IAQ. Available from: <http://www.epa.gov/iaq/schools/benefits.html>

- Everett S, Smith A, Wheeler L, McManus T. 2010. School Policies and Practices That Improve Indoor Air Quality. *Journal of School Health*. 80:280-281.
- Fernández L. 2009. Modelo Propuesto para Estudiar la Calidad de Aire de Interiores y el Síndrome de Edificios Enfermos en Puerto Rico. III Congreso Regional de AIDIS para Norteamérica y el Caribe “Preservación del Ambiente y Control de la Contaminación: Eslabones indispensables par alas Américas”. 4-8.
- Fischer JC and Bayer C. 2003. Report card on humidity control. *ASHRAE J*. 45:30-39.
- Fisk WJ. 2000. Health and productivity gains from better indoor environments Liu & Zhai and their relationship with energy efficiency, *Annu. Rev. Energy Environ*. 25:537-566.
- Flannigan B. 1994. “Approaches to assessment to of the microbial flora of buildings”. *American Society of Heating, Refrigeratin and Air-Conditioning Engineers*. 139-145.
- Flanningan B, McCabe EM, McGarry F. 1991. Allergenic and toxigenic micro-organisms in houses. *Journal of Applied Bacteriology Symposium Supplement*. 70:61-73.
- Francisco P, Gordon JR, Rose WB. 2009. Indoor Moisture in 30 Homes Using Unvented Gas Fireplaces. *American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers*. 115:914-915.
- (GE) General Electric Company. 2010. Measurement and Contrl Solutions. Available from: <http://www.gesensinginspection.com>

- Gilbert D. 2003. A pilot investigation into associations between indoor airborne fungal and non-biological particle concentrations in residential houses in Brisbane, Australia. *The Science of the Total Environment*. 312:1-3, 89-101.
- Godwin C, Batterman S. 2007. Indoor Air Quality in Michigan Schools. *Indoor Air*. 17:109-121.
- Graudenz GS. 2004. Association of air-conditioning with respiratory symptoms in office workers in tropical climate. *Indoor Air*.
- Guardino Sola X. 2003. Calidad de Aire Interior. *Enciclopedia de Salud y Seguridad en el Trabajo*. 2 (44).
- Guo H, Murray F, Lee SC. 2003. The development of low volatile organic compounds emission house a case study. *Building Environ*. 38:1413-1422.
- Helfand WH, Lazarus J, Theerman P. 2001. Donora, Pennsylvania: An Environmental Disaster of the 20 th Century. *American Journal of Public Health*. 91:553-554.
- Hens H. 2000. Minimizing fungal defacement. *ASHRAE J*. 42:30-43.
- Hoppe PR and Martinac I. 1998. Indoor climate and air quality. *Int. J. Biometeorol*. 42:1-7.
- (IOM) Institute of Medicine. 2000. *Clearing the air: Asthma and indoor air exposures*. Washington DC: National Academy Press.
- (IOM) Institute of Medicine. 2004. *Clearing the air: Asthma and indoor air exposures*. Washington DC: National Academy Press.

- Isetti C, Laurenti L, Ponticiello A. 1998. Predicting vapour content of the indoor air and latent loads for air-conditioned environments: effect of moisture storage capacity of the walls. *Energy Build.* 12:141-148.
- Jacobs D, Kelly T, Sobolewski J. 2007. Linking Public Health, Housing, and Indoor Environmental Policy: Successes and Challenges at Local and Federal Agencies in the United States. *Environmental Health Perspectives.* 115:976-977.
- Jones AP. 1999. Indoor air quality and health. *Atmos. Environ.* 33:4535-4564.
- Kilpelainen M, Terho EO, Helenius H, Koskenvuo M. 2001. Home dampness, current allergic diseases, and respiratory infections among young adults. *Thorax.* 56:462-467.
- Koistinen K, Kotzias D, Kephelopoulos S, Schlitt C, Carrer P, Jantunen M, Kirchner S, McLaughlin J, Molhave L, Fernandes EO, Seifert B. 2008. The INDEX project: executive summary of a European Union project on indoor air pollutants. *Allergy.* 63:810-819.
- Koskinen OM, Husman TM, Meklin TM, Nevalainen AI. 1999. The relationship between moisture or mould observations in houses and the state of health of their occupants. *Eur. Respir. J.* 14:1363-1367.
- Kowalski WJ. 2000. Indoor Mold Growth: Health hazards and remediation. *Heating/Piping/Air Conditioning Engineering.* 9:80-83.
- Krieger J, Higgins DL. 2002. Housing and health: time again for public health action. *Am J Public Health.* 92:758-768.

- Kurnitski J, Kalamees T, Palonen J, Eskola L, Seppnen O. 2006. Potential effects of permeable and hygroscopic lightweight structures on thermal comfort and perceived IAQ in a cold climate. *Indoor Air*. 17:37-49.
- Ledford DK. 1994. Indoor allergens, *Allergy Clean. Immunol.* 94:327-334.
- Liccardi G, Custovic A, Cazzola M, Russo M, D'amato M, D'amato G. 2001. Avoidance of allergens and air pollutants in respiratory allergy. *Allergy*. 56:705-722.
- Lstiburek J. 2002. Moisture control for buildings. *ASHRAE J.* 44:36-41.
- Luczynsha CM, Li Y, Chapman MD, Platts-Mills TA. 1990. Airborne concentrations and particle size distribution of allergen derived from domestic cats (*Felis domesticus*). *American Review of Respiratory Disease*. 2(361).
- Mathieu-Nolf M. 2002. Poison in the air: A cause of chronic disease in children. *Clinical Toxicology*. 4:483-491.
- Matte TD, Jacobs DE. 2000. Housing and health-current issues and implications for research and programs. *J Urban Health*. 77:7-25.
- Mitchell CS, Zhang J, Sigsgaard T, Jantunen M, Lioy PJ, Samson R, Karol MH. 2007. Current state of the science: health effects and indoor environmental quality. *Environmental Health Perspectives*. 115(6):958-964.
- Molina E. 2009. Contaminación del aire interior en un proyecto de viviendas con climatización centralizada. *Instituto Nacional de Higiene, Epidemiología y Microbiología*. 44:3-6.

- (NIOSH). National Institute for Occupational Safety and Health. 1997. Indoor Environmental Quality (IEQ). NIOSH Facts. Available from: [www.cdc.gov/niosh.ieqfs](http://www.cdc.gov/niosh.ieqfs).
- Norald N. 2001. Fungal allergies. *Mediators of Inflammation*. 10:6, 294-295.
- Norback D, Bjornsson E, Janson C, Palmgren U, Boman G. 1999. Current asthma and biochemical signs of inflammation in relation to building dampness in dwellings. *International Journal of Tuberculosis and Lung Disease*. 5:368-376.
- Ochmanski W and Barabasz W. 2000. Microbiological threat from buildings and rooms and its influence on human health (sick building syndrome). *Przegl Lek*. 57:7-8, 419-423.
- Perry T, Matsui E, Merriman B, Duong T, Eggleston P. 2003. The prevalence of rat allergen in inner-city homes and its relationship to sensitization and asthma morbidity, *J. Allergy. Clean Immunol*. 112:346-352.
- Pirhonen I, Nevvalainen A, Husman T, Pekkanen J. 1996. Home dampness, moulds and their influence on respiratory infections and symptoms in adults in Finland. *Eur. Respir. J*. 9:2618-2622.
- Platt SD, Martin CJ, Hunt SM, Lewis CW. 1989. Damp housing, mould growth, and symptomatic health state. *BMJ*. 298:1673-1678.
- Portnoy JM, Flappan S, Barnes CS. 2001. A procedure for evaluation of the indoor environment. *Aerobiología*. 17:1, 43-48.

- Ramarao BV, Massoquete A, Lavrykov S, Ramaswamy S. 2003. Moisture Diffusion Inside Paper Materials in the hygroscopic Range and Characteristics of Diffusivity Parameters. *DRYING TECHNOLOGY*. 21:2007-2056.
- Ramos G. 2003. Estudio Continuo de Salud para los Municipios de Puerto Rico. Escuela Graduada de Salud Pública Departamento de Bioestadística y Epidemiología.
- Ramos NM and Freitas VP. 2009. Experimental determination of the hygroscopic inertia of building materials. *Building Research & Information*. 37:293-299.
- Richardson G, Eick S, Jones R. 2005. How is the environment related to asthma?: Literature review. *Journal of advanced Nursing*. 52(3): 328-339.
- Roels S, James C, Talukdar P, Simonson CJ. 2009. Reliability of Transient Heat and Moisture Modeling for Hygroscopic Buffering. *American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, Inc.* 115:113-114.
- Ronmark E, Lundback B, Jonsson E, Jonsson AC, Lindstrom M, Sandstrom T. 1997. Incidence of asthma in adults – report from the Obstructive Lung Disease in Northern Sweden Study. *Allergy*. 11:1071-8.
- Rosenstreich DL, Eggleston P, Kattan M, Baker D, Slavin R, Gergen P et al. 1997. The role of cockroach allergy and exposure to cockroach allergen in causing morbidity among inner-city children with asthma. *N. Engl J Med*. 336:1356-1363.



- Rudd, A. J. Lstiburek, and K. Ueno 2005. Residential dehumidification systems research for hot-climates. US Department of Energy. Energy Efficiency and Renewable Energy. NREL/SR – 550-36643.
- Schneider D, Freeman N. 2001. Children's environmental health risks: a state-of-the-art conference. Arch Environ Health. 56:103-110.
- (SEA) Servicio de Extensión Agrícola. 2005. Mapa y perfil demográfico de Caguas. Servicio de Extensión Agrícola, Oficina Local y Regional de Caguas. Available from: <http://www.uprm.edu/agricultura>
- Shiaw-Fen F and Li-Wen L. 2002. Indoor Air Quality Assessment of Daycare Facilities with Carbon Dioxide, Temperature, and Humidity as Indicators. Journal of Environmental Health. 65:16-17.
- Simonson CJ, Salonvaara M, Ojanen T. 2002. The effect of structures on indoor humidity-Possibility to improve comfort and perceived air quality. Indoor Air. 12:1-9.
- Simonson CJ, Salonvaara M, Ojanen T. 2006. Moderating Indoor Conditions with Hygroscopic Building Materials and Outdoor Ventilation. American Society of Heating, Refrigeratin and Air-Conditioning Engineers. 115:805-806.
- Stein L. 1950. A study of respiratory tuberculosis in relation to housing conditions in Edinburgh; the pre-war period. Br J Soc Med. 4:143-169.
- Sundell J. 2004. On the history of indoor air quality and health. Indoor Air. 14:51-58.

- Thomas WC and Burch DM. 1990. Experimental validation of a mathematical model for predicting water vapor sorption at interior building surfaces. *ASHRAE Trans.* 96:487-496.
- Wargocki P, Sundell J, Bischof W, Brundrett G, Fanger PO, Gyntelberg F, Hanssen SO, Harrison P, Pickering A, Seppanen O, Wouters P. 2002. Ventilation and health in non-industrial indoor environments: report from European Multidisciplinary Scientific Consensus Meeting (EUROVEN). *Indoor Air.* 12: 113-128.
- Watts J. 2006. Doctors blame air pollution for China's asthma increases. *Lancet.* 368:719-720.
- Weis N, Siemers U, Kopiske G. 2006. A Visual Ventilation Guiding Device (VVGd)-Development and Validation for use in Dwellings and Schools. *HVAC & R Research Special Issue.* 12(12).
- West M and Harlos D. 2006. Investigating and Resolving Moisture Problems. The renovation of a Florida office building shows repairing and replacing envelope components and mechanical systems improves moisture conditions. Available from: [www.hpac.com](http://www.hpac.com).
- (WHO) World Health Organization. 2004. Tuberculosis Fact Sheet. Available from: [www.who.int/mediacentre/factsheets/fs104/en](http://www.who.int/mediacentre/factsheets/fs104/en).
- Wu F and Takaro TK. 2007. Childhood asthma and environmental interventions. *Environmental Health Perspectives*, 115(6), 971-975.
- Wu F, Jacobs D, Mitchell C, Miller D, Karol M. 2007. Improving Indoor Environmental Quality for Public Health: Impediments and Policy Recommendations *Environmental Health Perspectives.* 115(953).

- Zeiler W and Boxem G. 2009. Ventilation of Sustainable Schools: Better than Traditional Schools?. ASHRAE Transactions. 115:815-816.
- Zhang G, Spickett J, Rumchev K, Lee AH, Stick S. 2006. Indoor environmental quality in a “low allergen” school and three standard primary schools in Western Australia. Indoor Air. 16:74-80.
- Zureik M., Neukirch C, Leynaert B, Liard R, Bousquet J, Neukirch F. 2002. Sensitisation to airborne moulds and severity of asthma: cross-sectional study from European Community respiratory health. British Medical Journal. 325(411).

## Apéndice Uno

### Nomenclatura

<b>Símbolo</b>	<b>Significado</b>
<b>NIOSH</b>	National Institute for Occupational Safety and Health
<b>ASHRAE</b>	Sociedad Americana de Ingenieros de Calefacción, Refrigeración y Aire Acondicionado.
<b>HR</b>	Humedad Relativa
<b>CAI</b>	Calidad de Aire Interior
<b>EPA</b>	Environmental Protection Agency
<b>IEQ</b>	Indoor Environmental Quality (Calidad del Ambiente Interior)
<b>NAAQS</b>	National Ambient Air Quality Standards (Estándares Nacionales de Calidad de Aire)
<b>JCA</b>	Junta de Calidad Ambiental
<b>NOAA</b>	National Oceanic and Atmospheric Administration
<b>OSHA</b>	Occupational Safety and Health Administration
<b>HEPA</b>	High Efficiency Particle Arresting
<b>SBS</b>	Sick Building Syndrome

## Apéndice Dos

### Recomendaciones para la Humedad Relativa Interior.

Para garantizar un ambiente de trabajo agradable, es importante asegurarse de que la humedad relativa no baje del 30.0%. Cuando la humedad relativa es menor del 30.0%, el riesgo de enfermedades aumenta. Una humedad relativa sobre 60.0%, ocasiona exceso de humedad y por consecuencia condensación (ASHRAE Standard 2003).

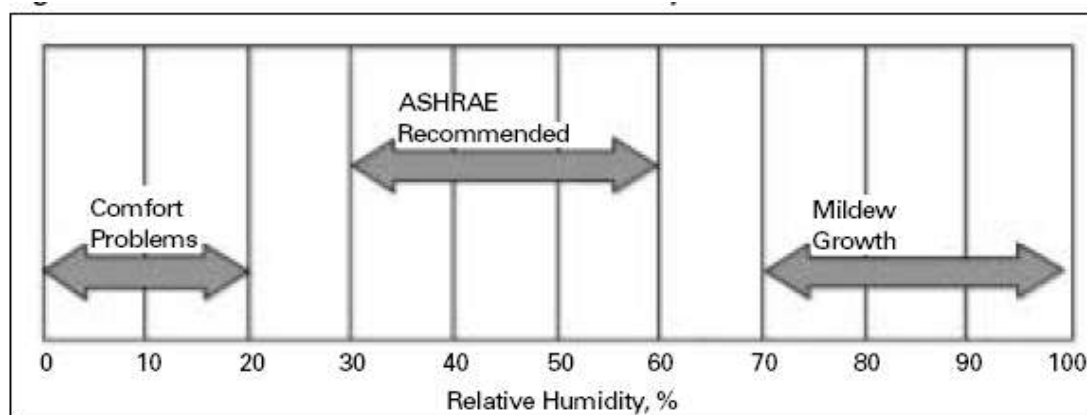


Figura 4.11. Recomendaciones para la Humedad Relativa Interior

*ASHRAE Standard*

La American Society of Heating, Refrigerating and Air Conditioning Engineers (ASHRAE) ha desarrollado estándares, aplicables a espacios cerrados, que deben garantizar una situación de confort al 80.0% de los ocupantes.

### Apéndice Tres

Gráficos de la variabilidad de las temperaturas (°C) en los salones experimentales y el salón control durante el P-1 Y P2.

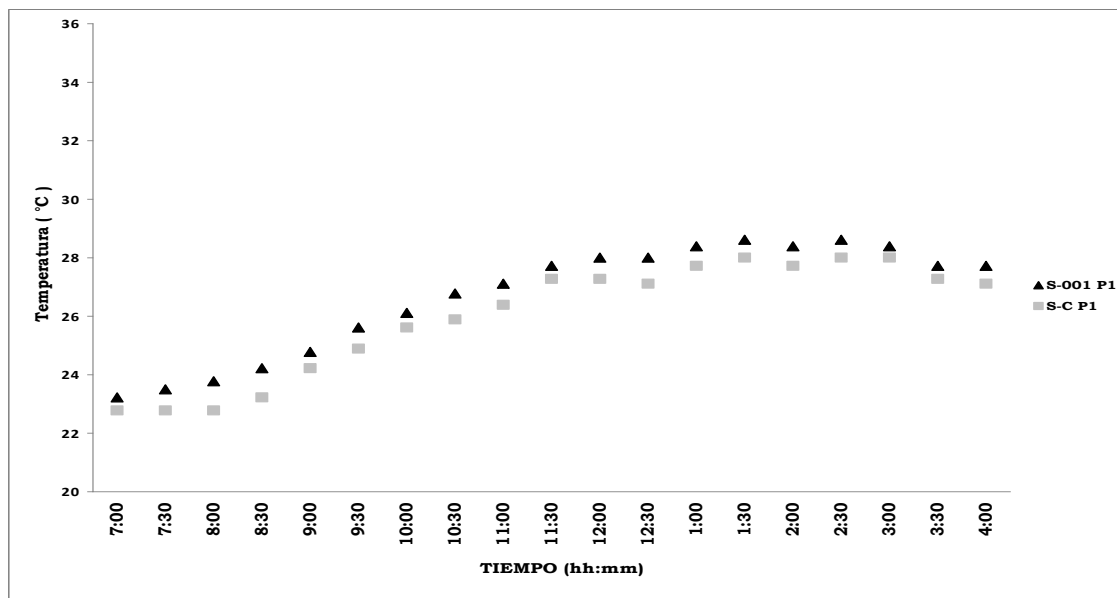


Figura 4.12. Temperatura versus Tiempo, S-001 y S-C en P1

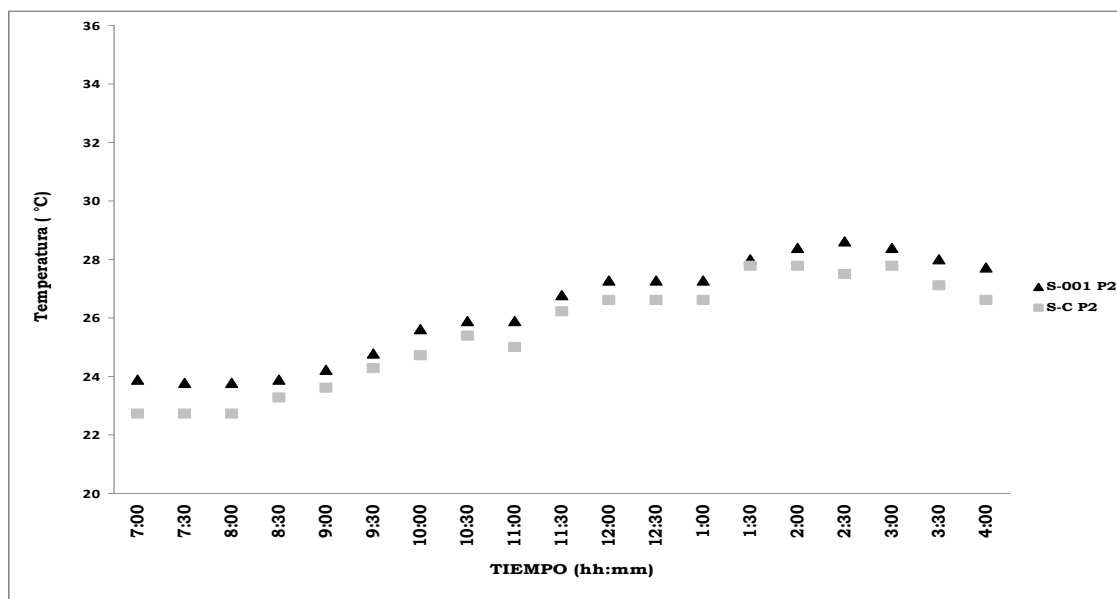


Figura 4.13. Temperatura versus Tiempo, S-001 y S-C en P2

Gráficos de la variabilidad de las temperaturas ( $^{\circ}\text{C}$ ) en los salones experimentales y el salón control durante el P-1 Y P2.

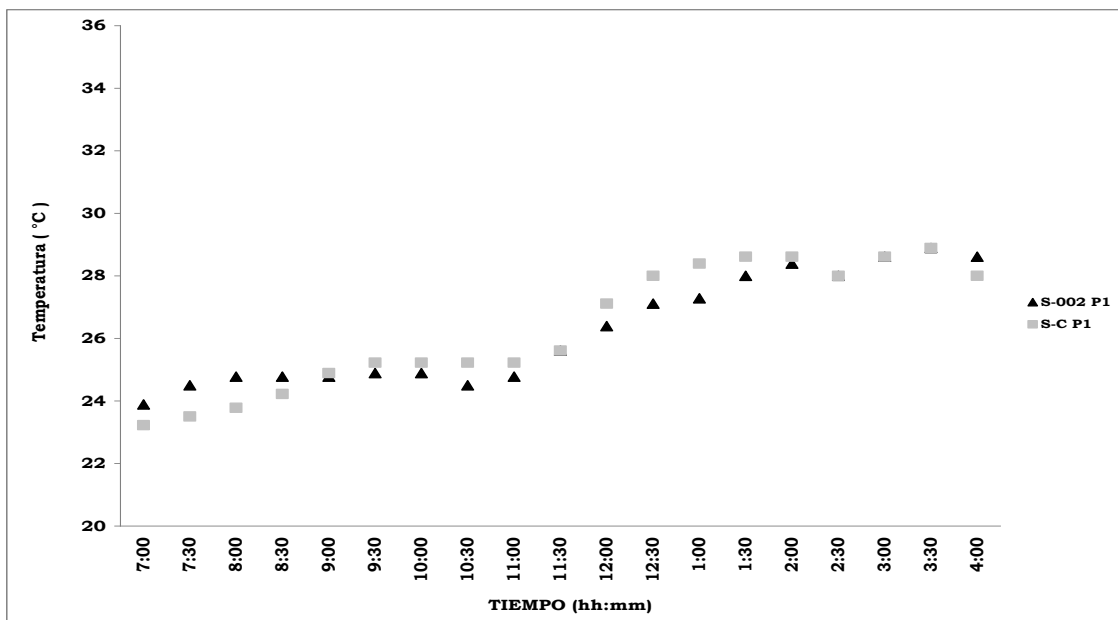


Figura 4.14. Temperatura versus Tiempo, S-002 y S-C en P1

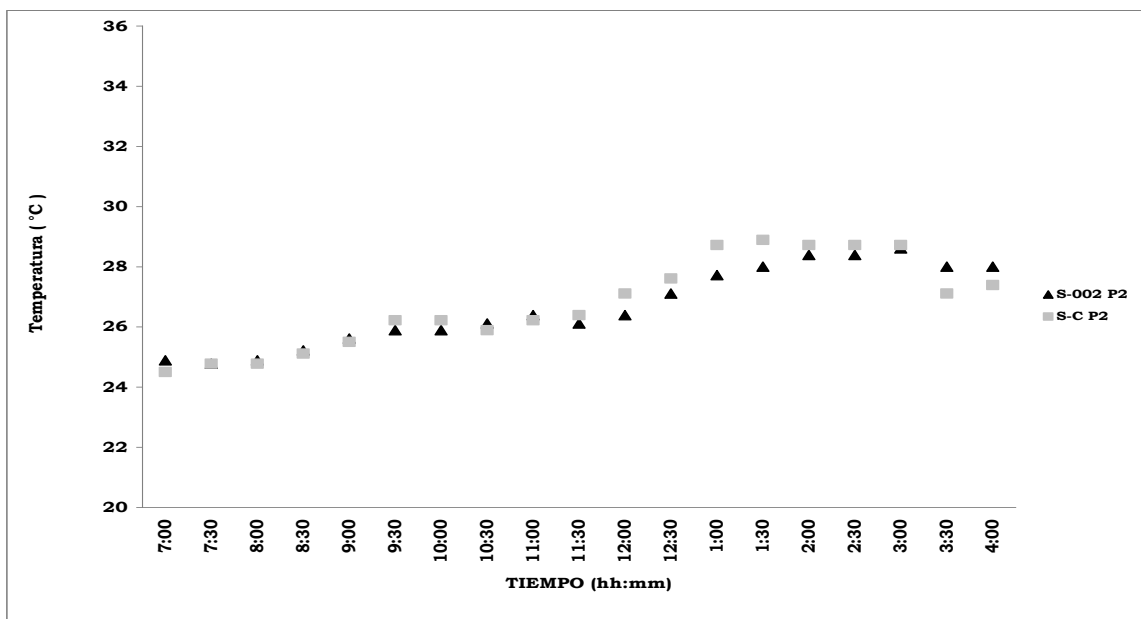


Figura 4.15. Temperatura versus Tiempo, S-002 y S-C en P2

Gráficos de la variabilidad de las temperaturas (°C) en los salones experimentales y el salón control durante el P-1 Y P2.

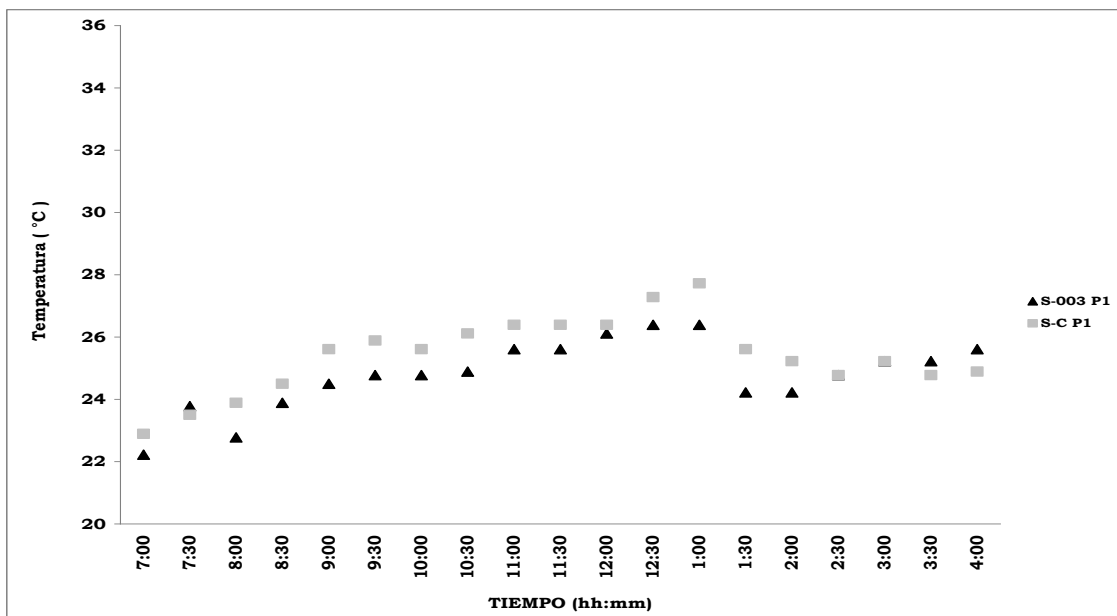


Figura 4.16. Temperatura versus Tiempo, S-003 y S-C en P1

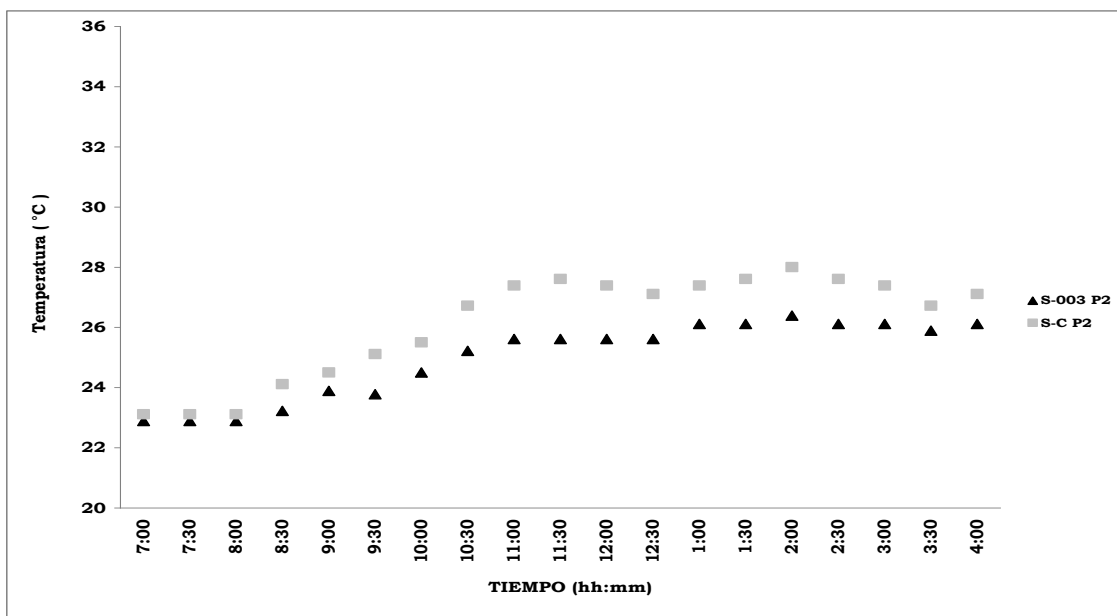


Figura 4.17. Temperatura versus Tiempo, S-003 y S-C en P2

Gráficos de la variabilidad de las temperaturas (°C) en los salones experimentales y el salón control durante el P-1 Y P2.



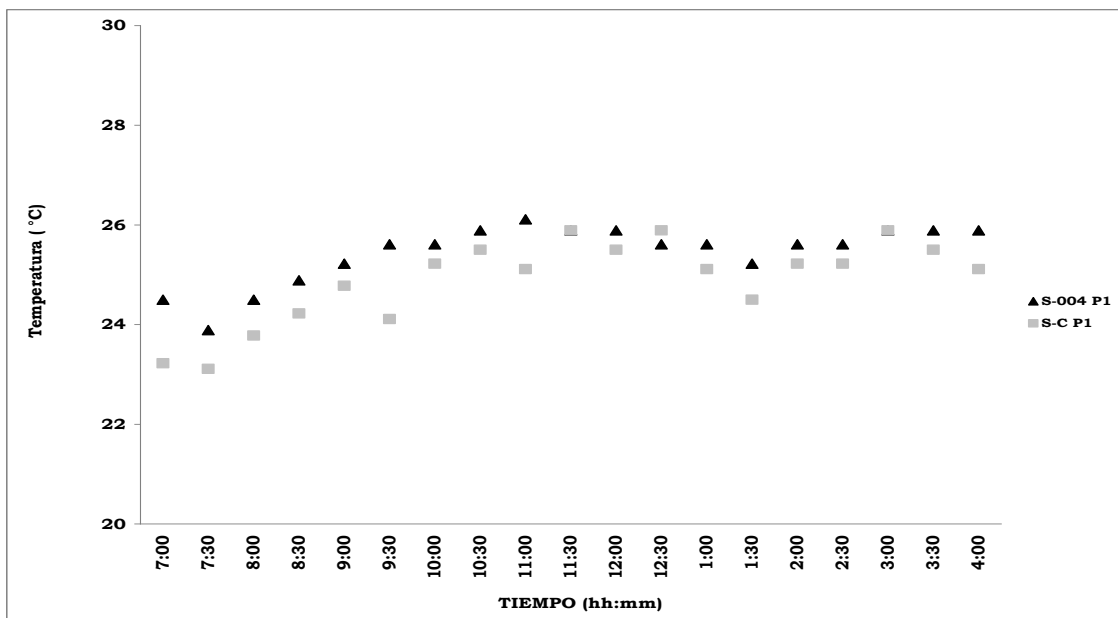


Figura 4.18. Temperatura versus Tiempo, S-004 y S-C en P1

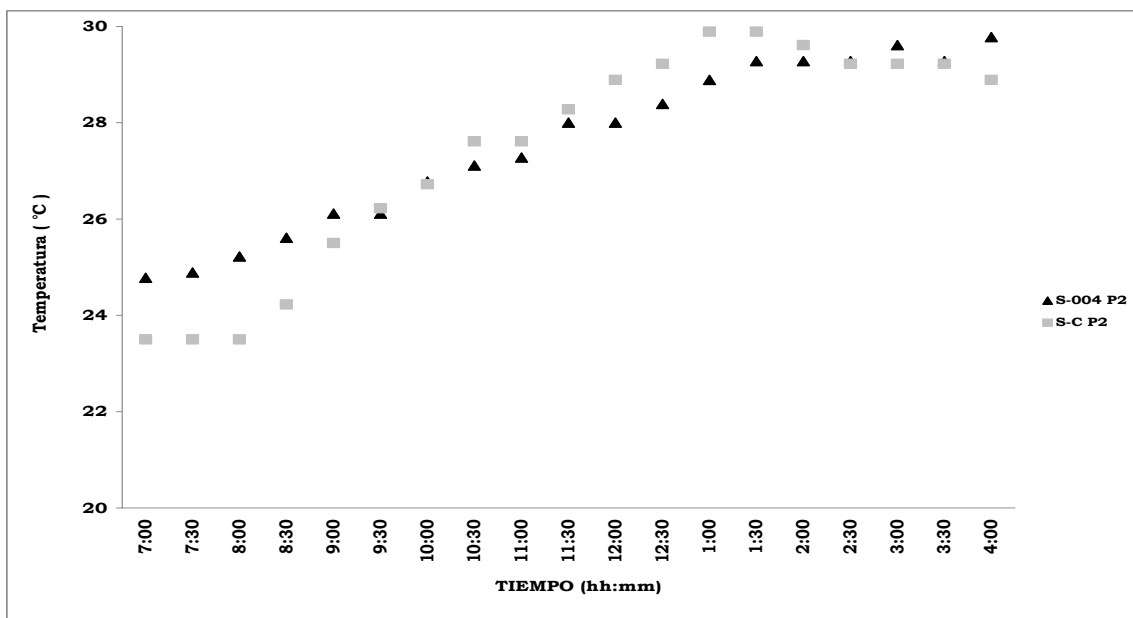


Figura 4.19. Temperatura versus Tiempo, S-004 y S-C en P2

Gráficos de la variabilidad de las temperaturas ( $^{\circ}\text{C}$ ) en los salones experimentales y el salón control durante el P-1 Y P2.

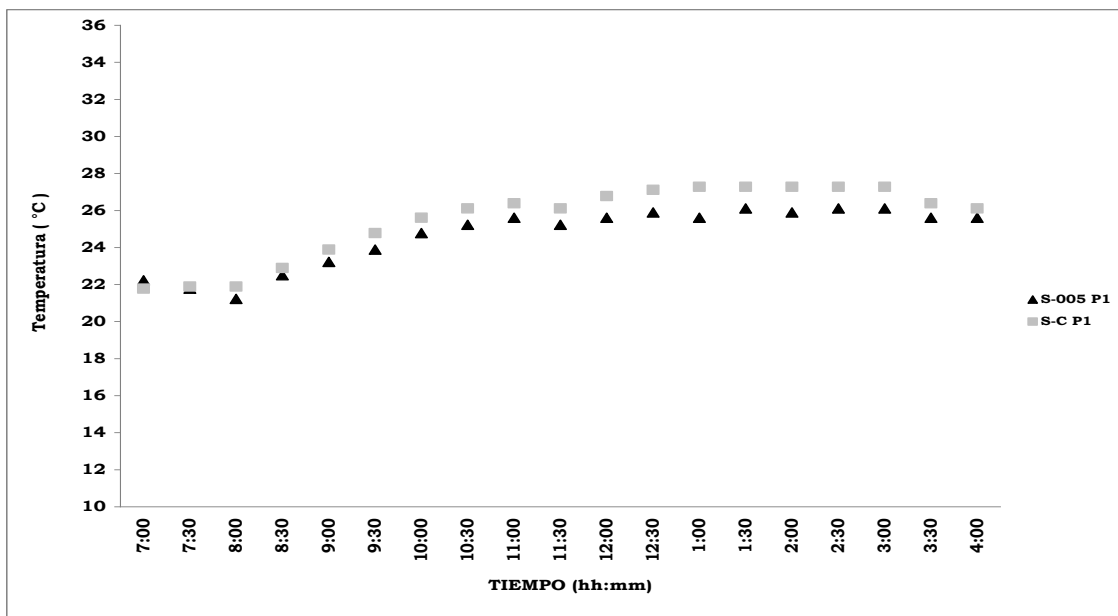


Figura 4.20. Temperatura versus Tiempo, S-005 y S-C en P1

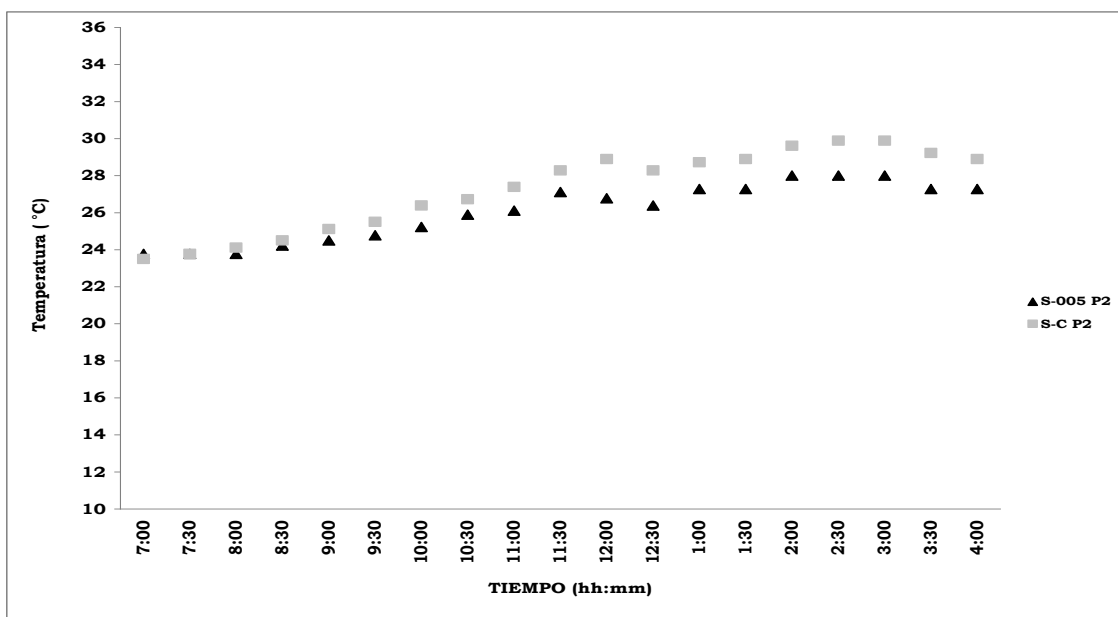


Figura 4.21. Temperatura versus Tiempo, S-005 y S-C en P2

### Apéndice Cuatro

Resumen de los promedios de las temperaturas y humedad relativa en el interior de los salones y en el exterior de la escuela durante el P-1 y P-2.

Tabla A.01. Resumen de los promedios de las temperaturas y humedad relativa en el interior del S-001 y en el exterior de la escuela durante el P-1.

Salón		Temperatura	% HR	Temperatura	% HR
		Interior (°C)	Interior	Exterior (°C)	Exterior
Promedio		26.7	69.1	29.0	63.9
S-001	Máximo	28.6	81.2	39.8	94.1
	Mínimo	23.2	60.4	20.4	40

Tabla A.02. Resumen de los promedios de las temperaturas y humedad relativa en el interior del S-001 y en el exterior de la escuela durante el P-2.

Salón		Temperatura	% HR	Temperatura	% HR
		Interior (°C)	Interior	Exterior (°C)	Exterior
Promedio		26.3	61.2	30.2	55.5
S-001	Máximo	28.6	81.8	39.8	94.1
Mínimo		23.8	48.8	20.9	28.7

Para el S-001 en el P-1 y P-2, la temperatura promedio cumple con los niveles de temperatura recomendados por ASHRAE.

Tabla A.03. Resumen de los promedios de las temperaturas y humedad relativa en el interior del S-002 y en el exterior de la escuela durante el P-1.

Salón		Temperatura	% HR	Temperatura	% HR
		Interior (°C)	Interior	Exterior (°C)	Exterior
	Promedio	26.2	71.6	29.3	65.1
S-002	Máximo	28.9	84	45.7	92.4
	Mínimo	23.9	56.5	21.3	35.1

Tabla A.04. Resumen de los promedios de las temperaturas y humedad relativa en el interior del S-002 y en el exterior de la escuela durante el P-2.

Salón		Temperatura	% HR	Temperatura	% HR
		Interior (°C)	Interior	Exterior (°C)	Exterior
	Promedio	26.7	68.3	31.1	58.0
S-002	Máximo	28.6	80.8	42.1	89.8
	Mínimo	24.8	55.1	22.0	28.5

Para el S-002 en el P-1 y P-2, la temperatura promedio cumple con los niveles de temperatura recomendados por ASHRAE.

Tabla A.05. Resumen de los promedios de las temperaturas y humedad relativa en el interior del S-003 y en el exterior de la escuela durante el P-1.

Salón		Temperatura Interior (°C)	% HR Interior	Temperatura Exterior (°C)	% HR Exterior
	Promedio	25.0	75.2	25.7	74.3
S-003	Máximo	26.0	89.4	33.9	93.4
	Mínimo	22.0	61.1	20.9	42.3

Tabla A.06. Resumen de los promedios de las temperaturas y humedad relativa en el interior del S-003 y en el exterior de la escuela durante el P-2.

Salón		Temperatura Interior (°C)	% HR Interior	Temperatura Exterior (°C)	% HR Exterior
	Promedio	25.0	73.3	27.8	64.7
S-003	Máximo	26.4	86.6	37.6	92.6
	Mínimo	22.9	62.5	20.6	39.0

Para el S-003 en el P-1 y P-2, la temperatura promedio cumple con los niveles de temperatura recomendados por ASHRAE.

Tabla A.07. Resumen de los promedios de las temperaturas y humedad relativa en el interior del S-004 y en el exterior de la escuela durante el P-1.

Salón		Temperatura	% HR	Temperatura	% HR
		Interior (°C)	Interior	Exterior (°C)	Exterior
	Promedio	25.4	75.2	25.0	78.5
S-004	Máximo	26.1	79.4	29.3	94.7
	Mínimo	23.9	70.7	20.2	61

Tabla A.08. Resumen de los promedios de las temperaturas y humedad relativa en el interior del S-004 y en el exterior de la escuela durante el P-2.

Salón		Temperatura	% HR	Temperatura	% HR
		Interior (°C)	Interior	Exterior (°C)	Exterior
	Promedio	27.6	63.8	33.3	52.9
S-004	Máximo	29.8	76.0	45.7	91.6
	Mínimo	24.8	51.2	21.6	26.0

Para el S-004 en el P-1, la temperatura promedio cumple con los niveles de temperatura recomendados por ASHRAE, pero en el P-2 no cumple.

Tabla A.09. Resumen de los promedios de las temperaturas y humedad relativa en el interior del S-005 y en el exterior de la escuela durante el P-1.

Salón		Temperatura Interior (°C)	% HR Interior	Temperatura Exterior (°C)	% HR Exterior
	Promedio	24.6	71.6	27.7	63.5
S-005	Máximo	26.1	86.9	33.9	93.4
	Mínimo	21.2	61.9	19.8	42.1

Tabla A.10. Resumen de los promedios de las temperaturas y humedad relativa en el interior del S-005 y en el exterior de la escuela durante el P-2.

Salón		Temperatura Interior (°C)	% HR Interior	Temperatura Exterior (°C)	% HR Exterior
	Promedio	26.1	73.5	32.5	56.7
S-005	Máximo	28.0	84.0	42.1	93.7
	Mínimo	23.8	65.5	20.6	30.7

Para el S-005 en el P-1 y P-2, la temperatura promedio cumple con los niveles de temperatura recomendados por ASHRAE.



Observamos claramente que para los niveles de temperatura interior durante el P-1 el 100% y en el P-2 el 80% de los salones experimentales cumplen con los niveles recomendados por ASHRAE para la temperatura. Los resultados de los niveles de temperatura no reflejan un problema o posible causante de calidad de aire o ambiente interior.

## Apéndice Cinco

### Datos Climatológicos

Tabla A.11. Datos climatológicos para los días de muestreo en el exterior de los salones de la escuela de Caguas.

Salón	Temperatura (°C)	Humedad (%)
S-001, P-1	29.0	63.9
S-001, P-2	30.2	55.5
S-002, P-1	29.3	65.1
S-002, P-2	31.1	58.0
S-003, P-1	25.7	74.3
S-003, P-2	27.7	64.7
S-004, P-1	25.0	78.5
S-004, P-2	33.3	52.9
S-005, P-1	27.6	63.5
S-005, P-2	32.5	56.7

### Apéndice Seis

Tabla A.12. Promedio de los datos climatológicos diarios para el mes de diciembre 2008.

Día	Temperatura (°C)	Humedad (%)	Precipitación (cm)	Velocidad del Viento (km/h)
1	26	75	0.00	13
2	26	73	0.00	11
3	26	71	0.10	8
4	26	71	0.41	13
5	25	73	0.10	12
6	26	70	0.00	9
7	26	76	0.20	8
8	26	67	0.00	15
9	26	70	0.10	24
10	27	72	0.41	21
11	26	77	0.20	18

Tabla A.12. Promedio de los datos climatológicos diarios para el mes de diciembre 2008. (continuación)

Día	Temperatura (°C)	Humedad (%)	Precipitación (cm)	Velocidad del Viento (km/h)
12	27	74	0.00	12
13	27	74	0.99	9
14	27	74	0.00	18
15	27	75	0.00	21
16	25	71	0.61	18
17	25	62	0.00	14
18	24	64	0.00	8
19	25	75	0.00	9
20	26	78	0.10	13
21	26	77	0.00	15
22	26	73	0.00	12
23	27	69	0.10	24

Tabla A.12. Promedio de los datos climatológicos diarios para el mes de diciembre 2008. (continuación)

Día	Temperatura (°C)	Humedad (%)	Precipitación (cm)	Velocidad del Viento (km/h)
24	26	80	0.10	30
25	26	79	0.10	25
28	26	68	0.10	23
29	24	79	0.00	12
30	25	78	0.00	9
31	24	69	0.10	9

Tomado de: La estación meteorológica de Weather Station, localizada en Rio Cañas, Caguas, Puerto Rico. Weather Underground ([wunderground.com](http://wunderground.com))

Tabla A.13. Promedio de los datos meteorológicos para cada semana del mes de diciembre 2008.

Semana	Temperatura (°C)	Humedad (%)	Precipitación (cm)	Velocidad del Viento (km/h)
1	26	72	0.10	11
2	26	73	0.28	15
3	25	71	0.18	14
4	26	76	0.15	22
5	25	74	0.09	13

Estos datos fueron tomados de la estación meteorológica de Weather Station, localizada en Rio Cañas, Caguas, Puerto Rico. ([wunderground.com](http://wunderground.com))

### Apéndice Siete

Resumen del contenido de humedad de varios materiales higroscópicos dentro de cada salón experimental (S-001 al S-005) y el salón control (S-C) durante la mañana y en la tarde.

Tabla A.14. Contenido de humedad de materiales higroscópicos.

Materiales Higroscópicos	S-001		S-002		S-003	
	AM	PM	AM	PM	AM	PM
1	13.5	9.8	9.7	11.6	10.4	11.8
2	11.2	9.9	13	11.1	12.1	9.4
3	10.6	11.2	12.5	11.9	12.7	9.1
4	13.4	10.6	10.8	11.6	10.8	12.3
5	13.4	11.1	11.1	10.2	12.8	10.1
6	13.1	9.7	12.6	11.1	13.9	9.1
7	13.4	11.4	12.7	10.6	16	13.4
8	15.5	10.8	13.9	12.6	12.2	9.9
Promedios →	13.013	10.563	12.038	11.338	12.613	10.638

Tabla A.14. Contenido de humedad de materiales higroscópicos.

(continuación)

Materiales Higroscópicos	S-004		S-005		S-C	
	AM	PM	AM	PM	AM	PM
1	11.5	9.5	15.4	9.7	9.5	9.7
2	9.3	8.6	11.1	10.6	8.1	8.2
3	13.7	9.3	10.2	11.3	9.2	9.5
4	11.1	9.2	15.6	8.3	8.3	8.2
5	10.9	11.2	12	10.7	8.2	8.2
6	11.7	10	10.4	14.7	8.1	8.2
7	12.8	10.4	11.7	15.3	8.2	8.2
8	11.5	10.1	13.2	11.3	8.5	8.2
Promedios →	11.563	9.7875	12.45	11.4875	8.5125	8.55

Variabilidad del contenido de humedad de 8 materiales higroscópicos dentro del S-001 en la mañana (AM) y en la tarde (PM).

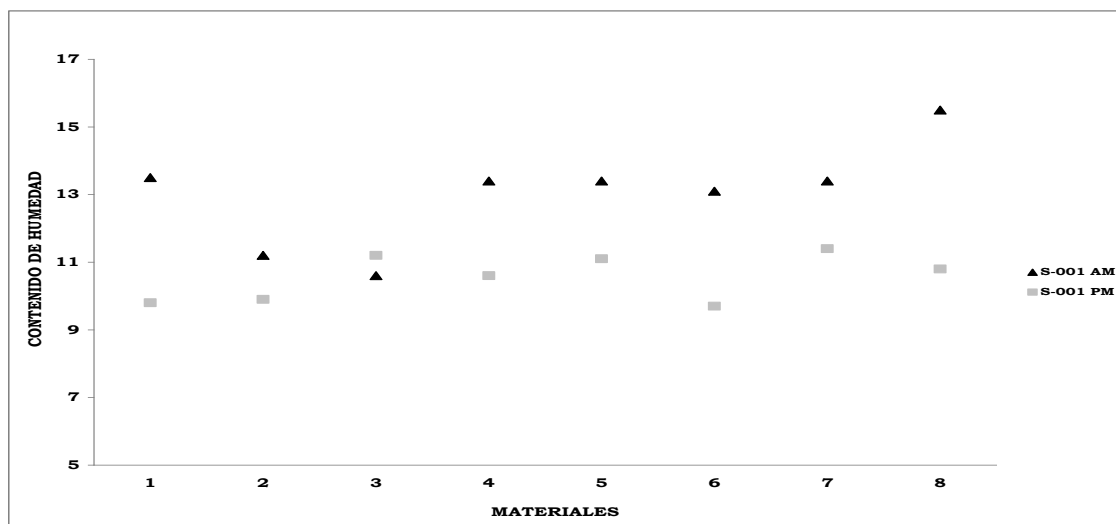


Figura 4.22. Contenido de humedad versus Materiales, S-001 (AM Y PM).

Variabilidad del contenido de humedad de 8 materiales higroscópicos dentro del S-002 en la mañana (AM) y en la tarde (PM).

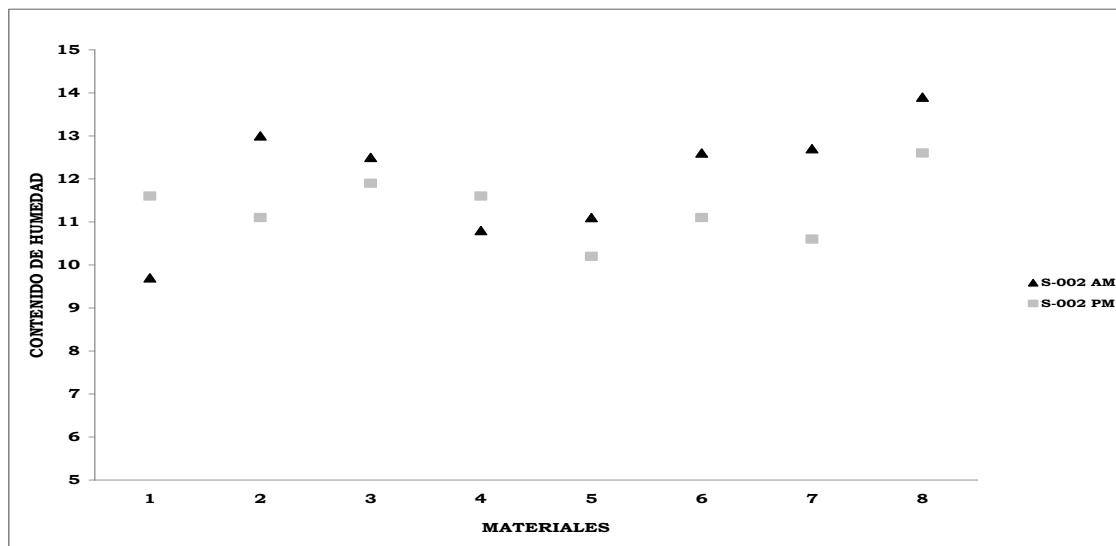


Figura 4.23. Contenido de humedad versus Materiales, S-002 (AM Y PM).



Variabilidad del contenido de humedad de 8 materiales higroscópicos dentro del S-003 en la mañana (AM) y en la tarde (PM).

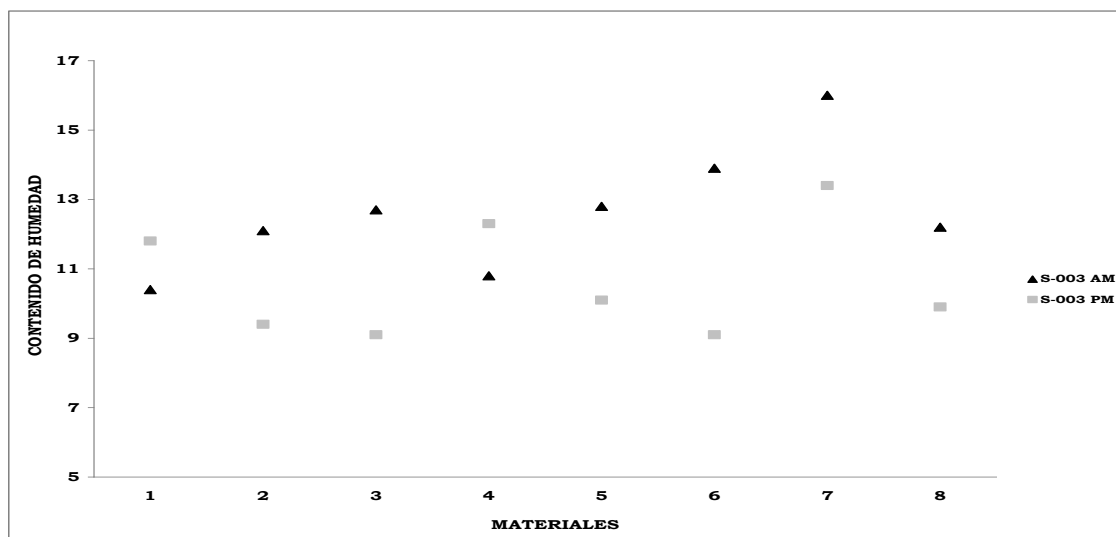


Figura 4.24. Contenido de humedad versus Materiales, S-003 (AM Y PM).

Variabilidad del contenido de humedad de 8 materiales higroscópicos dentro del S-004 en la mañana (AM) y en la tarde (PM).

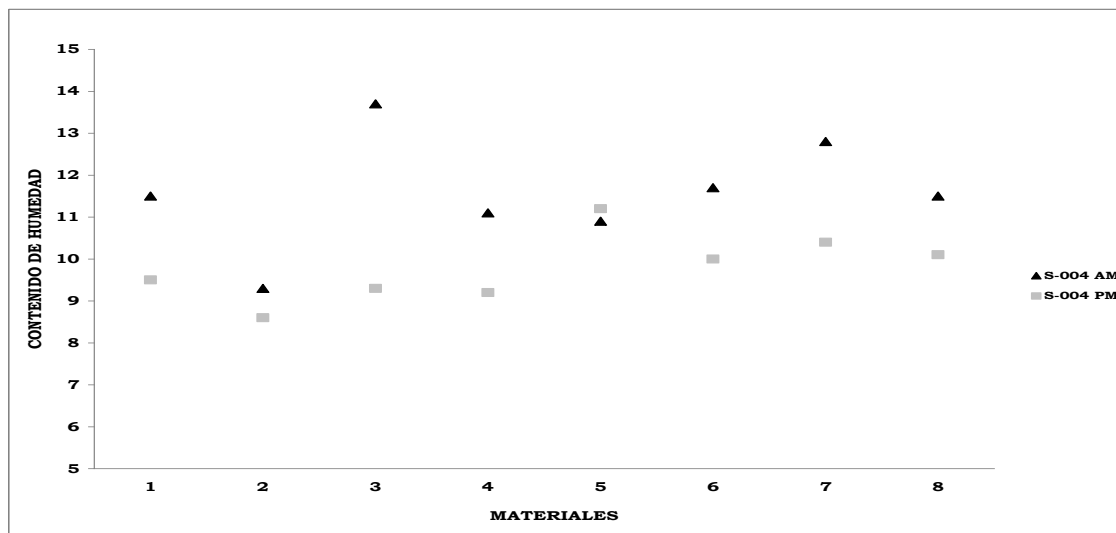


Figura 4.25. Contenido de humedad versus Materiales, S-004 (AM Y PM).

Variabilidad del contenido de humedad de 8 materiales higroscópicos dentro del S-005 en la mañana (AM) y en la tarde (PM).

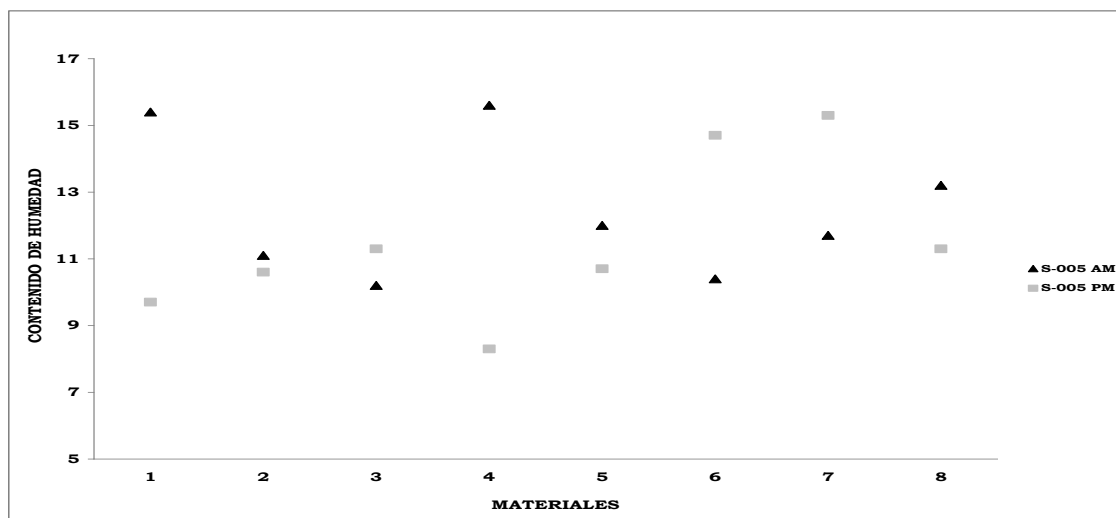


Figura 4.26. Contenido de humedad versus Materiales, S-005 (AM Y PM).

Variabilidad del contenido de humedad de 8 materiales higroscópicos dentro del S-C en la mañana (AM) y en la tarde (PM).

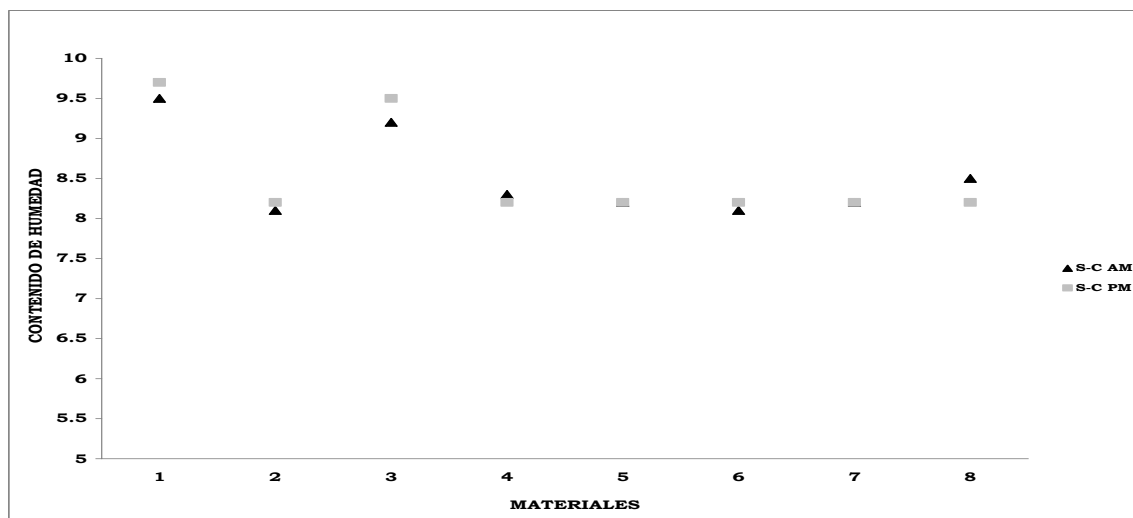


Figura 4.27. Contenido de humedad versus Materiales, S-C (AM Y PM).

Variabilidad del contenido de humedad promedio de 8 materiales higroscópicos dentro de los salones experimentales y el salón control en la mañana (AM) y en la tarde (PM).

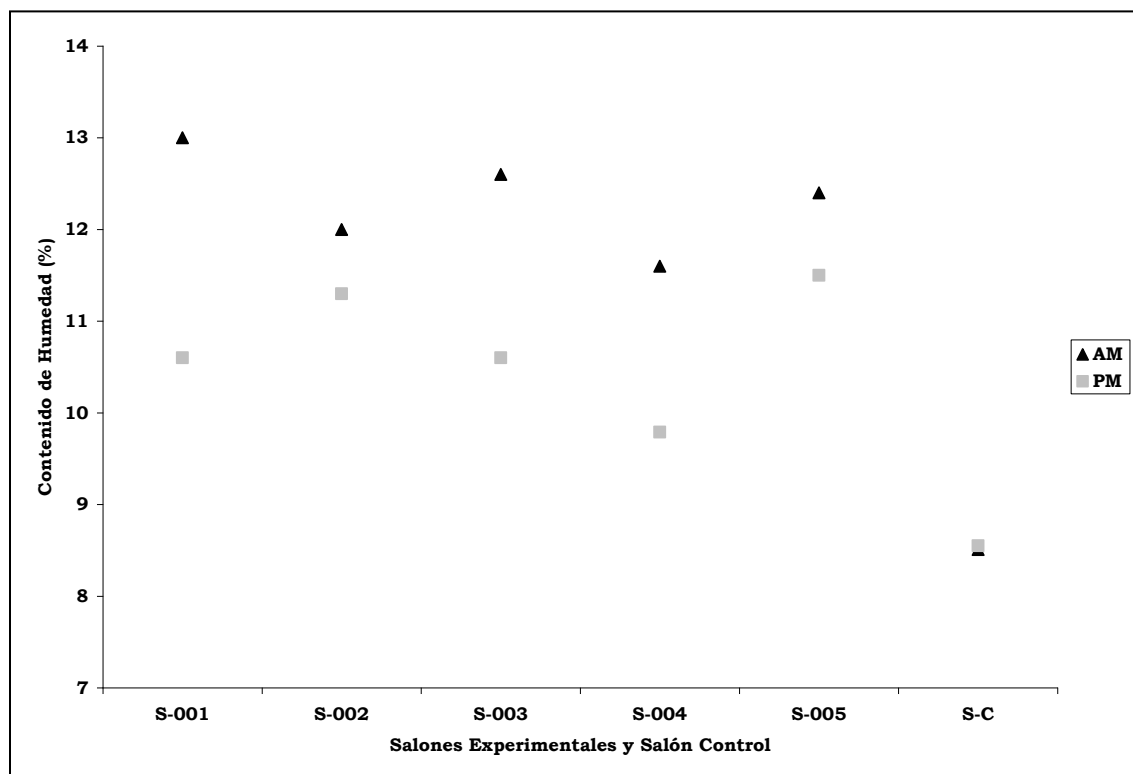


Figura 4.28. Contenido de humedad promedio versus Materiales Salones Experimentales y Salón Control (AM Y PM).

Resumen de la variabilidad del contenido de humedad promedio de 8 materiales higroscópicos dentro de los salones experimentales (S-1 al S-5) y del S-C en la mañana (AM) y en la tarde (PM).