

Evaluación del impacto de la ventilación mecánica en edificaciones residenciales en la ciudad de Barranquilla asociada a los diseños arquitectónicos y sistemas constructivos

Dayana Carolina Antolinez Antolinez

Jagina Milena Cotes Ramirez

Lina Margarita Alcalá Cerro

Directora

Dra. Carolina Margarita Rodríguez Bernal

Universidad Santo Tomás

Facultad de Ciencias y Tecnologías

Maestría en Patología de la Construcción

Colombia

2025

Tabla de contenido

<i>Resumen.....</i>	<i>3</i>
<i>Abstract.....</i>	<i>3</i>
<i>Introducción.....</i>	<i>4</i>
<i>Justificación.....</i>	<i>5</i>
<i>Objetivos.....</i>	<i>6</i>
Objetivo general.....	6
Objetivos específicos	6
<i>Planteamiento del problema.....</i>	<i>6</i>
Pregunta de investigación	7
<i>Hipótesis.....</i>	<i>7</i>
<i>Marco Teórico.....</i>	<i>8</i>
<i>Estado del arte.....</i>	<i>10</i>
<i>Metodología</i>	<i>11</i>
<i>Caso de estudio.....</i>	<i>17</i>
Localización de caso de estudio	17
Sistema constructivo y materiales usado en el caso de estudio	18
Condiciones ambientales.....	18
Identificación preliminar de patologías.....	18
<i>Análisis y resultados.....</i>	<i>19</i>
Fase I. Diagnóstico y caracterización inicial	20
Fichas de observación técnicas.....	27
Fase 2. Evaluación del desempeño de la ventilación mecánica	29
Condiciones de incomodidad térmica y Patologías Predominantes.....	29
Tipologías de lesión y su incidencia en la habitabilidad.....	36
Fase 3. Formulación de recomendaciones de mitigación	37
<i>Conclusiones.....</i>	<i>40</i>
<i>Referencias.....</i>	<i>41</i>
<i>Anexos.....</i>	<i>45</i>

Resumen

En contextos de clima cálido-húmedo como el de Barranquilla, las edificaciones residenciales enfrentan desafíos recurrentes de confort térmico, control de humedad y habitabilidad, derivados de diseños arquitectónicos estandarizados y sistemas constructivos con bajo desempeño higrotérmico. Estas condiciones favorecen la aparición de patologías como moho y condensaciones, que afectan la durabilidad de los materiales y la salud de los ocupantes.

Ante esta problemática, la investigación evalúa el impacto de la ventilación mecánica en viviendas, considerando su interacción con el diseño arquitectónico y los sistemas constructivos, con el fin de formular estrategias integrales de mitigación adaptadas al contexto tropical. La metodología, de enfoque descriptivo, analítico y propositivo, comprendió tres fases: diagnóstico inicial, evaluación del desempeño de la ventilación mecánica y formulación de estrategias de mejora.

Los resultados evidencian temperaturas promedio de 30,1 °C y humedades relativas del 69,4 %, fuera de los rangos de confort de la norma ASHRAE 55, generando ambientes propensos a la condensación y proliferación de moho. Se concluye que las patologías por humedad tienen un origen multifactorial, asociado a la interacción entre diseño, sistema constructivo y ventilación. Como aporte, se plantea un modelo de intervención que combina estrategias pasivas y sistemas mecánicos eficientes para mejorar la habitabilidad, sostenibilidad y confort en viviendas de climas tropicales

Palabras clave: Ventilación mecánica, confort térmico, patologías de la construcción, humedad, Barranquilla, sostenibilidad.

Abstract

In warm-humid climates such as Barranquilla, residential buildings face recurrent challenges related to thermal comfort, moisture control, and habitability, caused by standardized architectural designs and construction systems with low hygrothermal performance. These conditions promote the development of pathologies such as mold growth and condensation, affecting both material durability and occupant health.

This study evaluates the impact of mechanical ventilation in residential buildings, considering its interaction with architectural design and construction systems to propose integrated mitigation strategies suited to tropical contexts. The research adopted a descriptive, analytical, and proactive approach structured in three phases: initial diagnosis, performance evaluation of mechanical ventilation systems, and formulation of improvement strategies.

Results indicate average indoor temperatures of 30.1 °C and relative humidity of 69.4%, values outside the comfort range established by ASHRAE 55, leading to condensation and mold proliferation. Findings reveal that humidity-related pathologies have a multifactorial origin linked to the combined effects of design, construction systems, and ventilation efficiency. As a practical outcome, an intervention model is proposed that integrates passive strategies and efficient mechanical systems to enhance habitability, sustainability, and comfort in tropical residential environments.

Keywords: mechanical ventilation, thermal comfort, building pathologies, humidity, Barranquilla, sustainability.

Introducción

El confort térmico en edificaciones residenciales constituye un aspecto fundamental dentro del campo de la patología de la construcción, ya que su ausencia puede desencadenar problemas asociados a la salud de los ocupantes, la eficiencia energética y la durabilidad de los materiales. En regiones de clima cálido y húmedo, como la ciudad de Barranquilla, el aumento de la densidad urbana, la escasez de estrategias pasivas en el diseño arquitectónico y la dependencia creciente de los sistemas de ventilación mecánica y aire acondicionado han intensificado las problemáticas de humedad, condensación y proliferación de moho en viviendas.

A nivel global, se proyecta que para el año 2050 cerca del 50% de la población habitará en regiones tropicales, donde las demandas de energía por climatización se incrementan aceleradamente (Rodríguez & D'Alessandro, 2019). Este escenario refleja un desafío no solo ambiental y económico, sino también técnico, pues gran parte de las normativas y estándares aplicados en estas zonas provienen de contextos climáticos diferentes, como Europa y Norteamérica, y no consideran las particularidades de los trópicos (Rodríguez & D'Alessandro, 2019).

En Colombia, el problema se ve reflejado en el acelerado crecimiento urbano y en la falta de regulaciones específicas sobre confort térmico adaptadas a cada región. Estudios recientes han evidenciado que la ausencia de estrategias pasivas en la construcción multifamiliar en climas cálidos contribuye a un mayor consumo de energía, al mismo tiempo que genera condiciones inadecuadas para la habitabilidad (Lara-Zamudio, Rodríguez, & Coronado-Cabrera, 2024). Adicionalmente, investigaciones en entornos educativos y de vivienda social han mostrado que las variables sociales, culturales y de diseño arquitectónico influyen significativamente en la percepción del confort y en la aparición de patologías vinculadas con la humedad (Rodríguez, Coronado, & Medina, 2021; Rodríguez, Medina, Pinzón, & García, 2019).

En este contexto, el presente trabajo de investigación se centra en evaluar el impacto de la ventilación mecánica en edificaciones residenciales de la ciudad de Barranquilla, considerando tanto los aspectos técnicos de humedad y confort térmico como las implicaciones sociales y de salud de los residentes. La importancia de este estudio radica en la necesidad de generar un diagnóstico que permita identificar las principales patologías derivadas de un uso inadecuado de los sistemas de climatización y, a partir de ello, proponer lineamientos para la mejora del desempeño ambiental y la sostenibilidad de las viviendas.

Justificación

En ciudades como Barranquilla, donde el clima cálido-húmedo condiciona fuertemente la vida cotidiana, las viviendas deben ser más que simples refugios: deben constituirse en espacios saludables y confortables que resguarden la salud y el bienestar de sus habitantes. Sin embargo, muchas edificaciones residenciales presentan problemas como la condensación interna, la proliferación de moho, el desprendimiento de acabados y el deterioro acelerado de materiales, afectando no solo la infraestructura física, sino también la calidad de vida de quienes las habitan (Rodríguez, Medina, Pinzón, & García, 2019). Estas patologías no solo evidencian deficiencias constructivas, sino también falencias en las decisiones de diseño arquitectónico que no consideran adecuadamente las condiciones climáticas locales (Lara-Zamudio, Rodríguez, & Coronado-Cabrera, 2024).

Esta investigación se centra en analizar cómo la ventilación mecánica, cuando es mal implementada o no se complementa con estrategias de ventilación natural, puede agravar estos problemas. Casos como el del conjunto residencial Madeira es ejemplo concreto donde diversas familias han reportado reiteradamente daños visibles en sus viviendas, así como una reducción en las condiciones de habitabilidad (Rivera Castro, 2012; EPA, 2016). Estos ejemplos permiten observar la interacción entre diseño, construcción y ventilación, y cómo su desarticulación incide en la aparición de patologías constructivas.

Más allá de diagnosticar la problemática, este estudio busca generar propuestas prácticas y viables que contribuyan a evitar la recurrencia de estas lesiones en edificaciones localizadas en climas similares. Para ello, se cuenta con el acceso a casos de estudio, la posibilidad de realizar revisiones técnicas *in situ* y el respaldo de fuentes especializadas que resaltan la urgencia de abordar esta situación (Rodríguez & D'Alessandro, 2019). En definitiva, esta investigación no solo aporta al conocimiento técnico en el campo de la patología de la construcción, sino que también pretende incidir positivamente en la calidad de vida de los residentes y promover un diseño arquitectónico más consciente, eficiente y adaptado al entorno climático.

Cabe destacar que, si bien existen estudios sobre confort térmico (p.ej., Rodríguez & D'Alessandro, 2019) y patologías (Agudelo, 2014), esta investigación aborda un vacío en la literatura regional. No se encontraron registros de estudios previos en Barranquilla que integren, bajo una metodología mixta (VEO), el análisis del diseño arquitectónico, los sistemas constructivos, las mediciones higrotérmicas y la percepción de los ocupantes para evaluar el impacto real de la ventilación mecánica en vivienda multifamiliar. Este estudio, por tanto, sienta un precedente técnico y metodológico necesario para la región Caribe.

Objetivos

Objetivo general

Evaluar el impacto de la ventilación mecánica en edificaciones residenciales de la ciudad de Barranquilla, en relación con el diseño arquitectónico y los sistemas constructivos, con el fin de identificar estrategias que permitan minimizar la aparición de lesiones que afecten la habitabilidad de las viviendas.

Objetivos específicos

Analizar la incidencia del diseño arquitectónico en la aparición de lesiones prematuras en edificaciones residenciales de Barranquilla.

Examinar la influencia de los sistemas constructivos en los problemas de humedad, considerando el comportamiento higrotérmico de los materiales utilizados.

Proponer estrategias de mitigación que optimicen el uso de la ventilación mecánica, integrando soluciones de diseño y construcción que reduzcan la aparición de lesiones y mejoren la habitabilidad.

Planteamiento del problema

En el ámbito de la patología de la construcción, la interacción entre las condiciones climáticas y las características constructivas constituye un factor determinante en la aparición y evolución de lesiones en las edificaciones. En ciudades de clima cálido-húmedo, como Barranquilla, esta relación se hace aún más crítica debido a los elevados niveles de humedad relativa, las altas temperaturas y la escasa variación térmica diaria. Estas condiciones generan un entorno propicio para la condensación interna, la proliferación de moho, el desprendimiento de acabados y el deterioro prematuro de materiales, patologías que no solo comprometen la durabilidad de las edificaciones, sino que también afectan la salud y el bienestar de sus ocupantes.

Si bien la ventilación mecánica se ha consolidado como una estrategia ampliamente utilizada para mitigar los efectos del clima en espacios interiores, su implementación en edificaciones residenciales de Barranquilla no siempre responde a un análisis integral que considere el diseño arquitectónico y los sistemas constructivos empleados. En muchos casos, los proyectos no incorporan estrategias de ventilación natural ni prevén soluciones pasivas que

reduzcan la dependencia del aire acondicionado, lo que conduce a un uso ineficiente de la ventilación mecánica. Esta situación, lejos de mejorar el confort y la habitabilidad, puede agravar los problemas de humedad y deterioro, generando una dependencia energética elevada y costos de mantenimiento cada vez mayores.

Diversos estudios y casos reportados en conjuntos residenciales de la ciudad, como Madeira, han evidenciado que las deficiencias en la articulación entre diseño, construcción y ventilación desencadenan un patrón de lesiones recurrentes. Estos proyectos, ejecutados con sistemas industrializados de muros en concreto, muestran cómo la ausencia de barreras de vapor, la falta de aislamiento térmico y la inadecuada gestión de la ventilación mecánica favorecen la acumulación de humedad y la aparición de patologías estructurales y no estructurales. Esta problemática se traduce no solo en un deterioro visible de los materiales, sino también en un impacto negativo sobre la calidad del aire interior y la salud de los residentes, reforzando la urgencia de un abordaje técnico integral.

En este escenario, se plantea la necesidad de evaluar de manera crítica el impacto de la ventilación mecánica en edificaciones residenciales de Barranquilla, analizando cómo el diseño arquitectónico y los sistemas constructivos condicionan su efectividad y su relación con la aparición de patologías. Esta investigación busca, además de diagnosticar la problemática, proponer estrategias que integren soluciones de diseño y construcción con el uso adecuado de la ventilación mecánica, orientadas a prevenir lesiones, mejorar la habitabilidad y contribuir a la sostenibilidad del entorno construido en climas cálido-húmedos.

Pregunta de investigación

¿Cómo impacta la ventilación mecánica en las edificaciones residenciales de Barranquilla en relación con los diseños arquitectónicos y sistemas constructivos, y qué estrategias pueden mitigar la aparición de lesiones que afectan la habitabilidad de las edificaciones?

Hipótesis

Las deficiencias en el diseño arquitectónico y en los sistemas constructivos de las edificaciones residenciales de Barranquilla condicionan negativamente la efectividad de la ventilación mecánica, favoreciendo la aparición de patologías asociadas a la humedad, incrementando la dependencia energética y afectando la habitabilidad y durabilidad de las viviendas.

Marco Teórico

Confort térmico y ventilación en edificaciones

El confort térmico constituye un parámetro esencial de habitabilidad, definido por la norma ASHRAE 55:2020 como “el estado de la mente que expresa satisfacción con el ambiente térmico”. Tradicionalmente, su evaluación se basa en dos enfoques: el modelo estático o PMV (Predicted Mean Vote), desarrollado por Fanger (1970), que asume condiciones estables de intercambio térmico entre el cuerpo humano y el entorno; y el modelo adaptativo, propuesto por De Dear y Brager (1998), que incorpora la capacidad de los usuarios para ajustar su comportamiento frente a las condiciones ambientales.

Sin embargo, ambos modelos presentan limitaciones cuando se aplican en contextos tropicales, debido a que fueron desarrollados a partir de condiciones climáticas europeas y norteamericanas. Investigaciones recientes, como las de Rodríguez & D'Alessandro (2019), evidencian que los índices internacionales de confort no siempre representan las percepciones reales de los usuarios en regiones cálido-húmedas, donde las estrategias de adaptación y la ventilación natural desempeñan un papel determinante.

En Colombia, la normativa sobre sostenibilidad y confort térmico se encuentra reglamentada por la Resolución 0549 de 2015 del Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio, la cual estableció los lineamientos para la implementación de criterios de sostenibilidad en edificaciones nuevas, incluyendo el uso eficiente de la energía, la calidad ambiental interior y la ventilación. Esta resolución fue actualizada por la Resolución 0194 de 2025, que fortalece los criterios de evaluación del confort higrotérmico y promueve la adopción de estrategias pasivas de diseño bioclimático, tales como ventilación cruzada, control solar y selección de materiales con desempeño higrotérmico adecuado. Dicho marco normativo busca reducir el consumo energético asociado a la climatización mecánica y mejorar las condiciones de habitabilidad y salud de los ocupantes.

En consecuencia, el confort térmico en edificaciones tropicales debe evaluarse desde una perspectiva multidimensional, que integre aspectos normativos, culturales y técnicos. Además, debe considerar el impacto del movimiento del aire interior en la percepción térmica. Estudios como el de Cândido et al. (2010), “Air movement acceptability limits and thermal comfort in Brazil's hot humid climate zone”, han demostrado que una ventilación natural bien diseñada puede incrementar significativamente la tolerancia térmica de los usuarios, reduciendo la dependencia del aire acondicionado. Asimismo, Sekhar (2016), en su trabajo “Thermal comfort in air-conditioned buildings in hot and humid climates—¿why are we not getting it right?”, plantea que los sistemas de ventilación exclusivamente mecánicos tienden a generar

sobreenfriamiento y humedad residual, lo que provoca patologías asociadas como condensaciones y proliferación de moho.

De esta manera, la ventilación debe concebirse no solo como un mecanismo de renovación del aire, sino como un elemento fundamental de control higrotérmico. Los sistemas híbridos de ventilación, que combinan estrategias naturales y mecánicas, han demostrado ser los más eficientes para regiones tropicales, al permitir un equilibrio entre confort térmico, eficiencia energética y durabilidad constructiva (Cândido et al., 2010; Sekhar, 2016).

Diseño arquitectónico y estrategias pasivas en climas cálido-húmedos

El diseño arquitectónico en regiones tropicales debe priorizar estrategias pasivas de control climático, reduciendo la dependencia de la climatización mecánica. Sin embargo, en el contexto colombiano, gran parte de la producción inmobiliaria sigue modelos tipológicos estandarizados que no responden a las condiciones locales (Lara-Zamudio, Rodríguez & Coronado-Cabrera, 2024).

La Resolución 0194 de 2025 refuerza la necesidad de integrar parámetros bioclimáticos desde la fase de diseño, estableciendo que la ventilación natural, el control solar y el uso de materiales con resistencia térmica adecuada son componentes indispensables para cumplir los niveles mínimos de sostenibilidad. Entre las estrategias más efectivas se destacan: la ventilación cruzada, el sombreado mediante aleros o brise-soleil, y la utilización de materiales con alta inercia térmica en cubiertas y fachadas, los cuales pueden reducir la temperatura interior hasta en 5 °C y mejorar la sensación térmica en más del 30 % (Lara-Zamudio et al., 2024; Rodríguez & D'Alessandro, 2019).

Sistemas constructivos y patologías asociadas a la humedad

El desempeño higrotérmico de los sistemas constructivos incide directamente en la aparición o prevención de patologías. En edificaciones de clima cálido-húmedo, la ausencia de barreras de vapor, el uso de materiales de baja resistencia térmica y las envolventes ligeras favorecen los procesos de condensación, generando manchas de moho, eflorescencias y deterioro prematuro de los acabados (Agudelo, 2014; Rivera Castro, 2012).

De acuerdo con la EPA (2016), la humedad intersticial en muros de concreto puede reducir la vida útil de los materiales hasta en un 40 %, además de impactar la salud de los ocupantes por la proliferación de esporas fúngicas. En este contexto, la incorporación de aislamientos térmicos y recubrimientos transpirables se presenta como una medida indispensable para prevenir el deterioro físico y mejorar la eficiencia energética de las edificaciones (Hernández et al., 2013).

Impacto de la ventilación mecánica en la habitabilidad y sostenibilidad

Cuando se implementa sin criterios integrales, la ventilación mecánica puede convertirse en un factor agravante de los problemas de humedad y confort. El exceso de hermeticidad, junto con una operación ineficiente de los equipos, tiende a incrementar la humedad relativa interior y los riesgos de condensación (Sekhar, 2016).

Por ello, los estudios contemporáneos recomiendan adoptar ventilación híbrida o controlada por demanda, que permite aprovechar las condiciones exteriores cuando son favorables, reduciendo el consumo energético y manteniendo una calidad del aire interior adecuada. Este enfoque, promovido por la Resolución 0194 de 2025, se alinea con los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS 11 y 13), al fomentar edificaciones más resilientes y adaptadas al cambio climático.

Estado del arte

La literatura internacional sobre confort térmico en climas cálido-húmedos evidencia que los modelos más utilizados PMV estático e índice adaptativo presentan limitaciones cuando se aplican sin ajustes a contextos tropicales. Diversos estudios señalan que las expectativas culturales, los hábitos de uso y la tolerancia al movimiento del aire modifican los umbrales de confort y la percepción térmica (Rodríguez & D'Alessandro, 2019; Van Hoof, 2008; Forgiarini Rupp et al., 2015). En consecuencia, la dependencia exclusiva de la climatización mecánica genera sobreenfriamiento, mayor consumo energético y acumulación de humedad, lo que favorece la aparición de moho y condensaciones.

En regiones tropicales, la ventilación natural adquiere un papel determinante: Cândido et al. (2010) demostraron que un buen diseño de ventilación cruzada amplía la zona de confort y reduce la carga térmica, mientras que Sekhar (2016) advierte que los sistemas mecánicos mal controlados pueden causar humedad residual y patologías asociadas al “síndrome del edificio enfermo”. En América Latina, estrategias pasivas como el sombreado, la inercia térmica y el aislamiento en cubiertas y fachadas han mostrado mejoras significativas en confort y eficiencia energética (Hernández et al., 2013; Lara-Zamudio et al., 2024), siempre que se acompañen de un adecuado control higrotérmico de la envolvente (Cuesta & Caballero, 2019; EPA, 2016).

En Colombia, la normativa ha evolucionado con la Resolución 0549 de 2015 y su actualización 0194 de 2025, que promueven la integración de estrategias pasivas, el confort higrotérmico y sistemas híbridos de ventilación en línea con los ODS 11 y 13. Estudios recientes sobre ventilación híbrida demuestran que la combinación controlada de ventilación natural y mecánica optimiza el confort, la eficiencia y la salubridad (Cândido et al., 2010; Sekhar, 2016). En la Costa Caribe, investigaciones sobre fachadas y envolventes como el caso del Edificio

Serfinanza resaltan la importancia del control solar, mientras que en conjuntos residenciales como Madeira se registran patologías por condensación y moho debido a la falta de aislamiento y barreras de vapor (Acevedo Niebles & Guevara, 2021; Rivera Castro, 2012; Agudelo, 2014).

Pese a estos avances, existen vacíos en la literatura sobre vivienda multifamiliar en el Caribe colombiano, especialmente en estudios que integren diseño arquitectónico, sistemas constructivos, desempeño real de la ventilación mecánica y percepción de los usuarios. En este marco, el presente estudio aporta al estado del arte al combinar variables arquitectónicas, constructivas y ambientales con mediciones instrumentales y datos perceptuales, formulando recomendaciones alineadas con la normativa vigente y los principios de ventilación híbrida para fortalecer la sostenibilidad, el confort y la resiliencia en edificaciones residenciales de climas cálido-húmedos como el de Barranquilla.

Metodología

La presente investigación adopta un enfoque descriptivo, analítico y propositivo, estructurado bajo una estrategia multifásica, inspirada en el modelo propuesto por Budaiwi (2007) y adaptado por Rodríguez et al. (2019) en estudios de confort térmico en vivienda social en Colombia. Este enfoque resulta pertinente porque permite identificar y caracterizar las patologías vinculadas al uso de ventilación mecánica en edificaciones residenciales, analizar su relación con los factores arquitectónicos y constructivos, y finalmente proponer estrategias de mitigación adaptadas al contexto climático de la ciudad de Barranquilla.

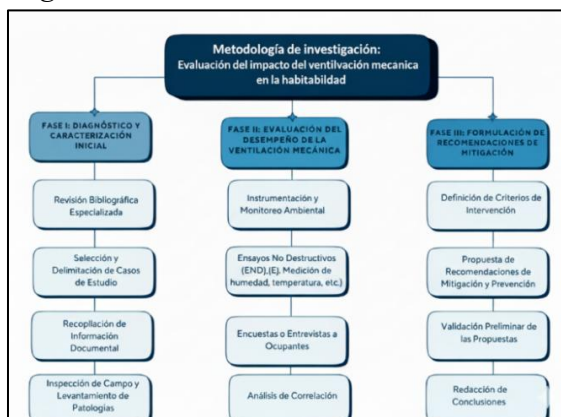
El diseño metodológico se estructuró en tres fases complementarias articuladas con los objetivos específicos del estudio. La primera correspondió al diagnóstico y caracterización inicial, orientada a identificar la influencia del diseño arquitectónico y los sistemas constructivos en la aparición de patologías por humedad. La segunda fase se centró en la evaluación del desempeño de la ventilación mecánica, enfocada en analizar el comportamiento de las condiciones ambientales interiores mediante mediciones de temperatura, humedad relativa y velocidad del aire. Finalmente, la tercera fase abordó la formulación de estrategias de mitigación, dirigida a integrar soluciones pasivas y mecánicas que optimicen el confort térmico y reduzcan la recurrencia de patologías.

Cada fase se desarrolló mediante la aplicación de instrumentos técnicos y sociales, como fichas de observación (Figura 3), encuestas a residentes (Figura 4) y registros ambientales in situ. Es fundamental subrayar que el instrumento de encuesta (Figura 4) no es una creación *ad-hoc* para este estudio. Es una adaptación directa del modelo VEO (Vulnerabilidad Energética Oculta) (Rodríguez, Valverde & Chaves, 2025). Se seleccionó este modelo validado precisamente porque está diseñado para correlacionar las dimensiones físicas (mediciones) con las sociales y

perceptuales (encuestas) en entornos residenciales, aportando rigor metodológico al cruce de datos"

Figura 1

Metodología de la investigación



Nota: Elaboración propia

Para reforzar la claridad metodológica y facilitar la trazabilidad de las variables estudiadas, se incluye a continuación el cuadro resumen que relaciona las dimensiones analizadas, las variables específicas, las técnicas o instrumentos empleados, los indicadores de medición y las unidades utilizadas.

Tabla 1

Variables, instrumentos e indicadores empleados en la investigación

Dimensión	Variable analizada	Técnica / instrumento empleado	Indicadores	Unidad de medida
Diseño arquitectónico	Orientación de fachadas	Revisión de planos + fichas de observación técnica	Dirección predominante, exposición solar	—
	Presencia de ventilación cruzada	Fichas de observación + encuesta a residentes	Sí / No / Parcial; percepción de ventilación interior	Categórica
	Tamaño y disposición de vanos (ventanas, puertas)	Inspección visual + registro fotográfico	Dimensiones promedio y proporción de apertura	m ²
	Elementos de protección solar	Fichas de observación técnica	Existencia y efectividad (aleros,	—

			persianas, brise-soleil)	
Sistema constructivo	Material predominante en muros y cubiertas	Fichas de observación técnica	Tipo de material (concreto, mampostería, cerámica)	—
	Presencia de aislamiento térmico y barreras de vapor	Fichas de observación técnica	Nivel de implementación	—
	Patologías visibles (moho, condensación, eflorescencias)	Inspección visual + registro fotográfico	% de incidencia por tipo de lesión	%
Ventilación mecánica	Tipo de sistema instalado	Encuesta + fichas técnicas	Distribución porcentual (AC, extractor, ventilador)	%
	Estado y mantenimiento del sistema	Encuesta + revisión de manuales	Bueno / Regular / Malo; frecuencia de mantenimiento	Categórica / Frecuencia
	Percepción de confort por uso del sistema	Encuesta a residentes	Escala de satisfacción (completo / parcial / no mejora)	Categórica
Condiciones ambientales interiores	Temperatura interior	Termohigrómetro digital	Promedio por vivienda	°C
	Humedad relativa	Termohigrómetro digital	Promedio por vivienda	%
	Velocidad del aire	Anemómetro	Promedio por espacio interior	m/s
Habitabilidad y salud	Presencia de moho o malos olores	Encuesta a residentes	% de viviendas afectadas / localización	%
	Afecciones de salud reportadas	Encuesta a residentes	Tipo y frecuencia de enfermedad	Frecuencia anual / semestral
Gestión social y económica	Mejoras implementadas por los residentes	Encuesta	Tipo de mejora (materiales, ventilación, aislamiento, etc.)	—
	Disposición a invertir en mejoras	Encuesta	% de disposición / factores motivadores (ahorro, confort, salud)	%

Nota : Elaboración propia a partir del modelo VEO (Rodríguez, Valverde & Chaves, 2025).

Definición de la muestra

La población objeto de estudio corresponde a los residentes del Conjunto Residencial Madeira, en la ciudad de Barranquilla. La muestra se definió mediante un muestreo no probabilístico intencional, seleccionando viviendas representativas de las diferentes torres y orientaciones solares, con el fin de abarcar la variabilidad de exposición térmica y de uso de la ventilación mecánica.

En total se aplicaron 48 fichas de observación técnica, distribuidas entre las torres T1 a T6, complementadas con 35 encuestas a residentes. Todas las torres cuentan con fichas de registro; sin embargo, la Torre 6 (T6) presenta menor evidencia de condensación y patologías visibles debido a su reciente ocupación, lo que limita la manifestación de procesos de humedad acumulada.

Las mediciones ambientales temperatura, humedad relativa y velocidad del aire se realizaron en dos franjas horarias representativas de las condiciones térmicas diarias: entre las 8:00 y 11:00 a.m., cuando se inicia el aumento de la carga térmica interna, y entre la 1:00 y 3:00 p.m., periodo que coincide con la máxima radiación solar y la mayor demanda térmica en los espacios interiores.

Las mediciones se efectuaron bajo condiciones de ocupación habitual y funcionamiento normal de los sistemas de ventilación mecánica, garantizando la representatividad del comportamiento real de los espacios interiores. Los equipos empleados (termohigrómetros y anemómetros digitales) fueron calibrados previamente, y los datos se sistematizaron en hojas de cálculo (Excel) para su análisis comparativo.

El procesamiento de la información incluyó análisis descriptivo y correlaciones simples entre las variables físicas (temperatura, humedad relativa, velocidad del aire) y perceptuales (confort, presencia de patologías), permitiendo establecer relaciones directas entre el diseño arquitectónico, el sistema constructivo y el comportamiento higrotérmico interior. Este procedimiento fortaleció la consistencia metodológica y la validez de los resultados obtenidos.

Figura 2

Mediciones ambientales al interior de las viviendas



Nota: Elaboración propia

Figura 2

Fichas de observación técnica

UNIVERSIDAD SANTO TOMÁS									
MAESTRIA EN PATOLOGIA DE LA CONSTRUCCIÓN									
FICHA DE OBSERVACIÓN TÉCNICA									
1. Evaluación del diseño arquitectónico									
Nombre del inspector(a):									
Nombre del conjunto o edificación :									
Dirección del inmueble:									
Fecha de inspección (DD/MM/AA):									
MEDIDAS O ACCIONES									
CUMPLIMIENTO									
Orientación de fachadas predominante:	N		S		E		O		
Protección solar	ALEROS ☐ CELOSÍAS ☐ OTROS ☐ Especifique cuales:								
Presencia de ventilación cruzada:	SI		NO		PARCIAL		NO APLICA		
Presencia de zonas oscuras o sin ventilación natural:	SI		NO		PARCIAL		NO APLICA		
Tamaño y disposición de vanos (ventanas, puertas):									
Observaciones generales sobre el diseño arquitectónico:									
Registro fotográfico (anexar imágenes si es posible):									
2. Evaluación del sistema constructivo									
MEDIDAS O ACCIONES									
CUMPLIMIENTO									
Material predominante en muros:									
Material de cubierta/placa entre pisos:									
Presencia de moho, eflorescencias u otras lesiones:	Especifique cuales:								
Presencia de aislamiento térmico:	SI		NO		UBICACIÓN				
Presencia de barreras de vapor :	SI		NO		UBICACIÓN				
Evidencia de condensación superficial:	SI		NO		UBICACIÓN				
Evidencia de condensación intersticial:	SI		NO		UBICACIÓN				
Observaciones generales sobre el sistema constructivo :									
Registro fotográfico (anexar imágenes si es posible):									
3. Evaluación del sistema de ventilación mecánica									
MEDIDAS O ACCIONES									
CUMPLIMIENTO									
Tipo de sistema de ventilación instalado:	AC		EXTRACTOR		OTROS				
Especifique cuales:									
Estado general del sistema:	BUENO		REGULAR		MALO				
Frecuencia de mantenimiento:	MENSUAL		TRIMENSUAL		ANUAL		NUNCA		
Manual de operación/mantenimiento disponible:	SI		NO		PARCIAL		NO APLICA		
Percepción de confort por parte de los usuarios:	ALTA		MEDIA		BAJA				
Temperatura interior promedio medida (°C):									
Humedad relativa interior promedio (%):									
Ubicación de los equipos:									
Observaciones generales sobre el sistema constructivo :									
Registro fotográfico (anexar imágenes si es posible):									

Nota: Elaboración propia

Figura 1

Encuesta aplicada -ventilación mecánica y habitabilidad – Barranquilla

Preguntas		Opciones de respuesta									
Preguntas generales	1. ¿En qué bloque se ubica su apartamento?	Pregunta abierta									
	2. ¿Cuál es el NÚMERO de su apartamento?	Pregunta abierta									
	3. ¿Cuántas personas viven en su apartamento?	Pregunta abierta									
	4. ¿Cuál es su nombre? (el apellido no es necesario)	Pregunta abierta									
Información del ocupante	5. ¿Cuál es su rango de edad en años?	Menos de 20		20-30		31-40		41-60		61 o más	
	6. ¿Con qué género se identifica?	Femenino		Masculino		Prefiere no responder		Otro			
	7. ¿Cuál es su nivel de estudios?	Estudios primarios sin finalizar		Estudios primarios		Bachillerato		Título universitario		Posgrado	
	8. Indique su estatura aproximada en centímetros	Pregunta abierta									
	9. ¿Cuál es su peso estimado en kilogramos?	Pregunta abierta									
	10. ¿Desde hace cuánto reside en el apartamento actual?	Menos de 1 año		1 a 4 años		5 a 10 años		Más de 11 años			
	11. ¿Cuál es la condición de tenencia de su vivienda ?	Vivienda Alquilada				Vivienda propia					
	12. En términos generales, ¿qué tanto tiempo pasa usted dentro de su apartamento?	Casi todo el tiempo (entre 20 y 24 horas)		La mayor parte del tiempo (entre 15 y 19 horas)		Cerca de la mitad del tiempo (entre 10 y 14 horas)		Poca parte del tiempo (entre 5 y 9 horas)		Muy poco tiempo (menos de 5 horas)	
	13. ¿Tiene alguna condición médica o limitación física que incremente su sensibilidad frente a factores ambientales internos? (Ejemplos: alergias, asma, etc.)	Si									
	14. Si respondió afirmativamente, por favor especifique qué condición	No									
Ventilación mecánica	15. ¿Qué actividades realiza con mayor frecuencia en su casa?	DESCANSAR O DORMIR: Acostado/a o dormido/a sin movimiento significativo		ESTAR SENTADO/A EN REPOSO: Ver televisión, leer, usar celular o trabajar en el computador		COCINAR: Preparar alimentos, uso activo de brazos		EJERCITARSE: Actividad vigorosa como aeróbicos, bicicleta estática, yoga		Otras	
	16. ¿Cómo describe la temperatura de su apartamento en general?	Fria									
	17. ¿Cómo describe la humedad de su apartamento en general?	Muy húmedo		Húmedo		Un poco húmedo		Neutral		Caliente	
	18. ¿Cómo describe la ventilación de su apartamento en general?	Mucho aire		Aireado		Un poco de brisa		Neutral			
	19. ¿Su vivienda utiliza algún tipo de ventilación mecánica (como aire acondicionado, extractores o ventiladores)?	Si									
	20. ¿Con qué frecuencia utiliza estos sistemas de ventilación mecánica?	Todo el día		Solo durante la noche		Algunas horas al día		Eventualmente		Nunca	
	21. ¿Qué tipo de sistema de ventilación mecánica emplea con mayor frecuencia?	Aire acondicionado		Ventiladores de techo o pedestal		Extractores de aire		Otro			
	22. ¿Considera que el uso del sistema mecánico mejora significativamente el confort térmico de su vivienda?	Si, completamente		Si, parcialmente		No, no hace diferencia		No, lo sé			
	23. ¿Ha notado presencia de humedad, moho o malos olores en su vivienda?	Si									
	Percepción de habitabilidad y lesiones por humedad	24. ¿En qué zonas ha identificado estos problemas? (Puede seleccionar más de una)	Dormitorios		Baños		Cocina		Sala-comedor		Otras
25. ¿Considera que el diseño arquitectónico favorece una adecuada ventilación interior?		Si									
26. Si se siente incómodo con las condiciones ambientales de su apartamento ¿qué pasa?		Sigue sus actividades así esté incomodo				No puede continuar haciendo sus actividades y debe parar temporalmente				Siente que puede enfermarse debido a estas condiciones	
Consecuencias	27. Si su respuesta fue afirmativa, ¿con qué enfermedad ha asociado las condiciones ambientales de su apartamento	Problemas respiratorios, asma o alergias		Problemas de piel, eczema o dermatitis		Problemas cardiovasculares		Migrañas o dolores de cabeza		Problemas para conciliar o sostener el sueño	
	28. Si sufre o ha sufrido alguna enfermedad debido a las condiciones ambientales de su apartamento, indique los siguientes:	¿Por cuánto tiempo sufrió o ha sufrido esta enfermedad?		Nada		Muy poco		Mas o menos			
	29. Si sufre o ha sufrido alguna enfermedad debido a las condiciones ambientales de su apartamento, con qué frecuencia pasa este:	¿Qué tanto afecta su vida normal?									
	30. ¿Qué tanto control tiene sobre esta enfermedad?	¿Qué tanto le preocupa está enfermedad?									
	31. Si sufre o ha sufrido alguna enfermedad debido a las condiciones ambientales de su apartamento, con qué frecuencia pasa este:	Más de 3 veces al mes		Una vez al mes		Una vez cada 3 meses		Una vez cada 6 meses		Una vez al año	
Estrategias adaptativas	32. ¿Cuándo percibe incomodidad térmica o ambiental en su vivienda, ¿qué acciones suele tomar para mejorar su bienestar?	Encender el aire acondicionado		Encender un ventilador eléctrico o extractor		Abrir ventanas o puertas para permitir circulación de aire		Cerrar ventanas o puertas para mantener el ambiente interior		Ajustar cortinas o persianas para controlar el ingreso de luz o calor	
	33. Si tuviera la posibilidad de modificar su vivienda para mejorar la ventilación y el confort ambiental, ¿qué elementos cambiaría o incorporaría?	Instalar o mejorar el sistema de aire acondicionado		Ampliar el tamaño de las ventanas		Cambiar la ubicación u orientación de las ventanas		Utilizar materiales que aislen el calor en muros, techos o pisos		Aumentar la altura de los techos	
Impacto económico	34. ¿Alguna vez ha realizado alguna mejora en su vivienda para aumentar el confort ambiental o reducir el gasto energético?	Si									
	35. Si realizó una mejora, explique brevemente cuál fue	No									
	36. Si tuviera la posibilidad de invertir en mejoras para su vivienda con el fin de aumentar el confort ambiental o reducir el gasto energético, ¿estaría dispuesto/a a hacerlo?	Si									
	37. ¿Cuál sería el principal factor que influiría en su decisión de invertir en mejoras para el confort ambiental o eficiencia energética? (Seleccione una opción)	Ahorro en la factura de electricidad		Mayor bienestar y confort térmico		Reducción del impacto ambiental		Revalorización de la vivienda		Disponibilidad de subsidios o financiamiento	
	38. Si tuviera la posibilidad de invertir en mejoras para optimizar el confort térmico y ambiental en su vivienda, ¿en qué elementos priorizaría la inversión? (Seleccione las opciones que considere más relevantes.)	Implementación de ventilación mecánica eficiente (extractores, ventiladores, aire acondicionado de bajo consumo)		Incorporación de materiales aislantes térmicos en techos, muros o pisos		Sustitución de ventanas y puertas por opciones con mayor eficiencia térmica		Protección solar pasiva (toldos, parasoles, vidrios especiales)		Otras	
	39. En su opinión, los sistemas de calefacción o aire acondicionado son:	Totalmente de acuerdo		Algo de acuerdo		Indiferente		Algo en desacuerdo		Totalmente en desacuerdo	
	40. ¿Buenos para la salud?										
	41. ¿Bueno para el medio ambiente?										
	42. ¿Necesario / indispensable?										
	43. ¿Deseable?										

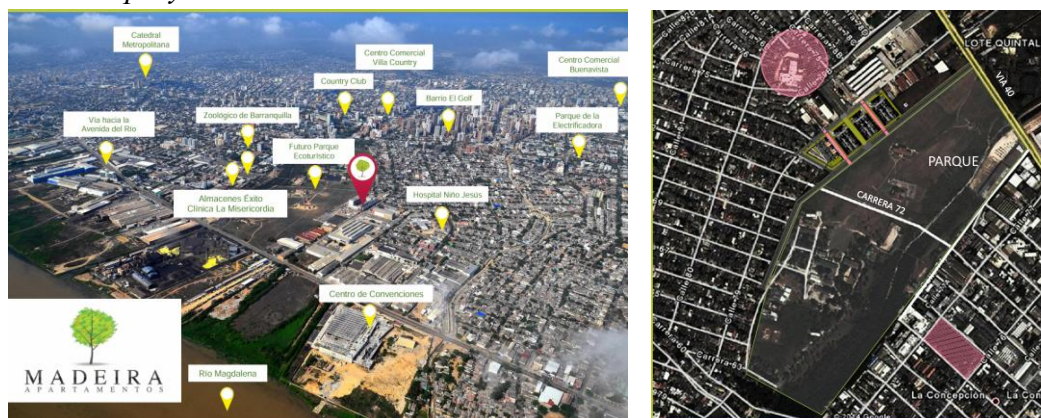
Nota: Elaboración propia a partir del modelo VEO (Rodríguez, Valverde & Chaves, 2025).

Caso de estudio

Localización de caso de estudio

Figura 5

Localización proyecto Madeira



Nota: Tomada del brochure proyecto Madeira

El Conjunto Residencial Madeira Apartamentos se ubica en una zona estratégica de Barranquilla, cerca del Centro de Convenciones Puerta de Oro, la Avenida del Río y áreas de desarrollo comercial y recreativo, consolidándose como un referente de la expansión inmobiliaria en climas cálido-húmedos.

El proyecto, de carácter multifamiliar y alta densidad, está conformado por torres de apartamentos con amplias zonas comunes como piscina, canchas múltiples, senderos, salón social, gimnasio y áreas administrativas, orientadas a ofrecer una vida residencial integral. Su diseño arquitectónico responde a una tipología vertical con bloques distribuidos en altura y locales comerciales en la Calle 79. Los apartamentos, de configuración funcional y materiales convencionales (concreto y mampostería), presentan un diseño estandarizado. La planimetría general se incluye en el Anexo 1.

A pesar de su localización privilegiada, se han identificado patologías asociadas a humedad y condensación interna, derivadas del uso intensivo de ventilación mecánica y la ausencia de estrategias pasivas de ventilación y control solar. Por estas razones, Madeira fue seleccionado como caso de estudio representativo para analizar la interacción entre diseño arquitectónico, sistema constructivo y ventilación mecánica en el confort y la habitabilidad de viviendas en climas tropicales.

Sistema constructivo y materiales usado en el caso de estudio

El Conjunto Residencial Madeira emplea un sistema estructural de muros de carga en mampostería reforzada, conformando una estructura mixta de concreto y mampostería. Según la NSR-10 (Título D, Capítulo D.3), las cargas verticales son soportadas por los muros portantes y las horizontales se transmiten mediante muros estructurales o pórticos con elementos diagonales. La cimentación consiste en una losa maciza superficial semi-compensada, sobre la cual se levantan los muros, y la cubierta está formada por una placa de concreto impermeabilizada con manto de poliéster y acabado en alumol. Los materiales principales son concretos, ladrillo, acero y madera, propios de sistemas constructivos convencionales en la región. En los acabados se utilizaron estuco y pintura en muros, porcelanato en zonas secas y enchapes cerámicos en áreas húmedas, asegurando uniformidad y fácil mantenimiento.

Condiciones ambientales

La ciudad de Barranquilla, Colombia, se caracteriza por un clima tropical seco de tipo semiárido, con una temperatura promedio anual que oscila entre 26 °C y 28 °C. Las temperaturas máximas diurnas alcanzan valores de 31 °C a 32 °C, mientras que las mínimas, registradas en la madrugada, varían entre 23 °C y 25 °C. El récord máximo histórico ha sido de 39 °C (Instituto Geográfico Agustín Codazzi, 2017). La humedad relativa fluctúa entre el 70% y el 90%, con valores más bajos en los meses secos de enero y febrero y máximos durante la temporada de lluvias, entre agosto y octubre. La precipitación anual promedio es de aproximadamente 850 mm, de los cuales cerca de 420 mm se concentran en los meses más lluviosos (agosto, septiembre y octubre), según registros del IDEAM en el aeropuerto Ernesto Cortissoz (Ávila, 2012).

Identificación preliminar de patologías

Se llevó a cabo una inspección detallada de los apartamentos con el propósito de identificar y clasificar las principales lesiones presentes en los diferentes espacios habitacionales. Dentro de las lesiones biológicas asociadas a la humedad, se identificaron las manchas de origen fúngico (MOF), las cuales se producen cuando la humedad superficial o intersticial favorece el desarrollo de hongos, moho y microorganismos. Estas patologías se manifiestan comúnmente como manchas oscuras o verdosas en paredes, techos u otros elementos constructivos, afectando tanto la estética como la salubridad de los ambientes interiores.

Figura 6

Identificación de patologías por humedad en algunos de los apartamentos del estudio de caso.

a. Muro con mancha por humedad y presencia de hongos (Apto. 903, Torre 1).

b. Pared con manchas húmedas (Apto. 1505, Torre 1).

c. Losa de concreto con manchas húmedas (Apto. 311, Torre 2).

6a.



6b.



6c.



Nota. Elaboración propia a partir de registro fotográfico (2025).

Entre las lesiones físicas asociadas a la humedad, se identificó la condensación superficial, la cual ocurre cuando el vapor de agua presente en el aire entra en contacto con una superficie cuya temperatura es inferior a la del punto de rocío. En estas condiciones se forma agua visible sobre la superficie, manifestándose en forma de gotas en vidrios, manchas húmedas en muros o acumulaciones localizadas de humedad, como se observa en la Figura 6b. Esta patología, además de generar deterioro estético, favorece la proliferación de microorganismos y acelera el deterioro de los materiales constructivos expuestos.

Por otro lado, la condensación intersticial corresponde a una lesión de humedad que se desarrolla dentro de la masa del cerramiento (muros, cubiertas, aislantes), cuando el vapor de agua se infiltra y condensa al atravesar capas con diferentes temperaturas y permeabilidades. Este fenómeno resulta más grave que la condensación superficial, ya que el daño no es visible de manera inmediata y afecta materiales internos como aislantes, morteros, acero o madera, comprometiendo la durabilidad estructural y el desempeño térmico de la edificación, tal como se ilustra en la Figura 6c.

Análisis y resultados

Los resultados obtenidos en el marco de la investigación permiten reconocer de manera integral las condiciones de habitabilidad, los factores asociados a la ventilación mecánica y las patologías derivadas de la humedad en viviendas residenciales de Barranquilla. A partir de la aplicación de instrumentos como encuestas, fichas de observación y registros técnicos, se recopilaban evidencias tanto cuantitativas como cualitativas que permiten analizar el impacto de los diseños arquitectónicos, los sistemas constructivos y las prácticas de los residentes sobre la calidad ambiental interior. Este apartado presenta de forma estructurada los hallazgos más

relevantes, organizados por fases como se mencionaron en la metodología, con el fin de establecer un diagnóstico claro y sustentar posteriormente las propuestas de intervención y mitigación.

Fase I. Diagnóstico y caracterización inicial

El diagnóstico inicial permitió analizar las condiciones de habitabilidad y confort térmico desde una doble perspectiva: la percepción de los residentes y la observación técnica de los espacios interiores. El análisis de esta fase integra la información proveniente de tres fuentes complementarias: las encuestas aplicadas a los residentes, las fichas de observación técnica y las mediciones ambientales. Esta triangulación permitió validar los hallazgos desde una perspectiva física, perceptual y constructiva, fortaleciendo la comprensión del origen multifactorial de las patologías observadas.

Caracterización de los residentes

La población encuestada estuvo compuesta principalmente por adultos jóvenes entre 30 y 40 años, con formación universitaria o de posgrado, tal como se observa en la Figura 7. Este perfil sociodemográfico representa un grupo con alto nivel de conocimiento técnico y sensibilidad frente a la calidad ambiental de su vivienda.

Figura 7

Distribución etaria de los residentes encuestados

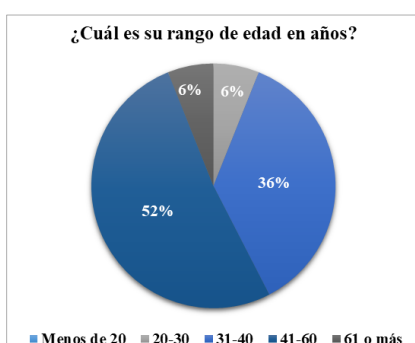
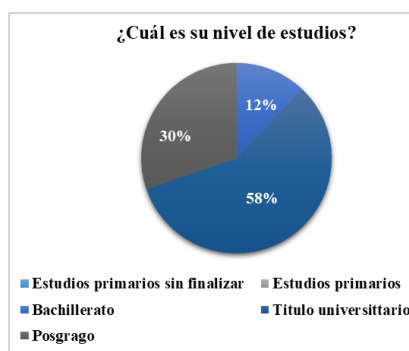


Figura 8

Nivel de formación académica de los residentes.



Nota. Elaboración propia a partir de encuesta aplicada (2025).

La Figura 8 evidencia que más del 80 % de los residentes cuenta con educación superior, lo cual respalda la validez y coherencia de las respuestas obtenidas, al provenir de usuarios con mayor comprensión sobre las condiciones de confort y habitabilidad. De acuerdo con Rodríguez & D'Alessandro (2019), la formación académica y el nivel de exposición al conocimiento técnico influyen en la percepción térmica y en la identificación consciente de factores como humedad, ventilación o sensación térmica interior.

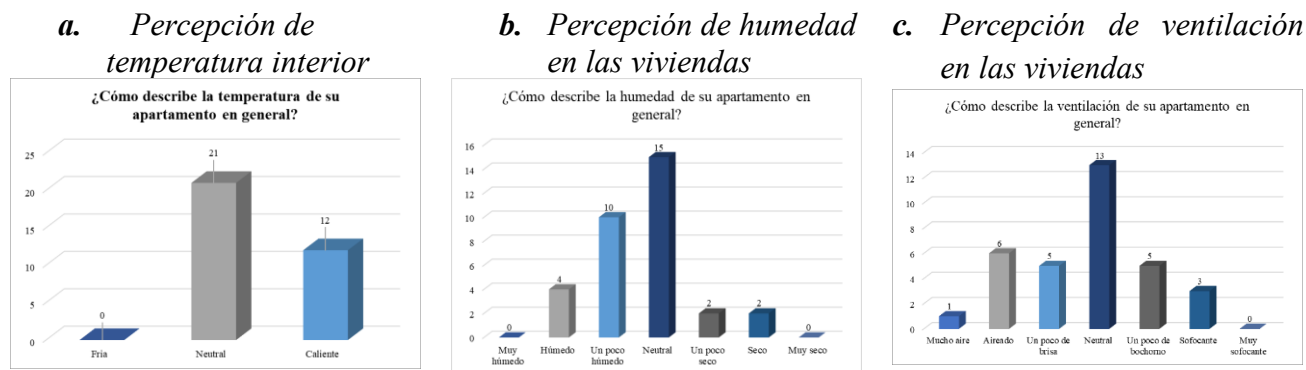
Percepción de las condiciones ambientales interiores

Los resultados de la encuesta evidencian una percepción predominantemente cálida y húmeda en los espacios interiores. La Figura 9a. muestra que el 60 % de los residentes considera su vivienda calurosa, mientras que la Figura 9b. indica que el 55 % percibe el ambiente como húmedo o muy húmedo. La alta frecuencia de viviendas calificadas como cálidas concuerda con las temperaturas interiores promedio de 30,1 °C y humedades relativas del 69,4 %, valores superiores al rango de confort definido por la norma ASHRAE 55 (23–27 °C; 45–60 % HR). Estas condiciones confirman la existencia de una carga térmica acumulada y un comportamiento higrotérmico deficiente en las viviendas.

La percepción sobre la ventilación interior, presentada en la Figura 9c., muestra que la mayoría de los residentes la califica como neutral (37 %) o con poca brisa (14 %), mientras que un 23 % la percibe como bochornosa o sofocante. Estos resultados sugieren que la ventilación natural es limitada, insuficiente para compensar las altas temperaturas y la humedad interior, lo que refuerza la dependencia de los sistemas mecánicos de climatización. Esta percepción coincide con lo planteado por Cândido et al. (2010), quienes señalan que en climas cálido-húmedos la falta de ventilación cruzada y la escasa renovación de aire son factores críticos que reducen la sensación de confort y favorecen la aparición de patologías asociadas a la humedad.

Figura 9

Percepción de condiciones ambientales interiores



Nota : elaboración propia a partir de resultados de la encuesta aplicada (2025).

Uso de ventilación mecánica

Como se muestra en las Figuras 10, 11 y 12, el uso de sistemas de ventilación artificial es generalizado: el 82 % de los residentes utiliza aire acondicionado como principal método de climatización, mientras que solo el 15 % recurre a ventiladores o extractores. No obstante, estos equipos se emplean principalmente durante la noche, evidenciando una respuesta adaptativa más que preventiva frente al calor acumulado. El uso prolongado del aire acondicionado, sin un adecuado control de humedad ni mantenimiento periódico, produce una sensación de confort aparente, pero mantiene altos niveles de humedad interior que favorecen la condensación y la proliferación de moho.

Figura 10
Frecuencia de uso de los sistemas de ventilación mecánica

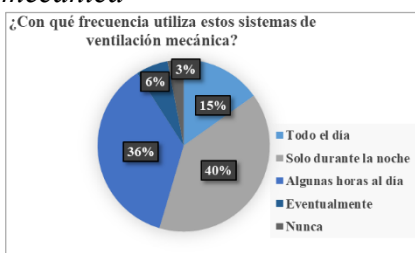


Figura 11
Tipo de ventilación mecánica predominante

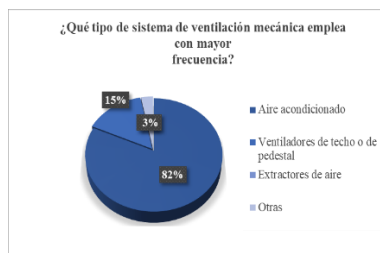
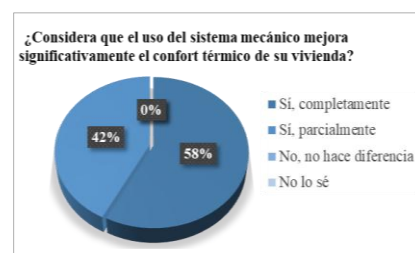


Figura 12
Apreciación del confort térmico por uso de ventilación mecánica



Nota : elaboración propia a partir de resultados de la encuesta aplicada (2025).

Patologías por humedad y percepción arquitectónica

La presencia de humedad y moho fue uno de los hallazgos más recurrentes. La Figura 13 y 14 evidencian que el 67 % de los encuestados reportó manchas de humedad, moho o malos olores, principalmente en dormitorios y baños. Estas observaciones concuerdan con las inspecciones técnicas, que registraron condensación superficial e intersticial en cerramientos y losas. La mayor incidencia se presentó en fachadas norte y oeste, expuestas a mayores gradientes térmicos diarios.

Figura 13
Presencia de humedad en la vivienda

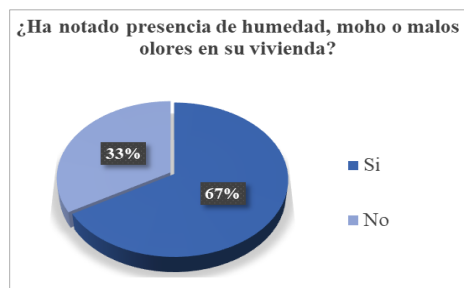
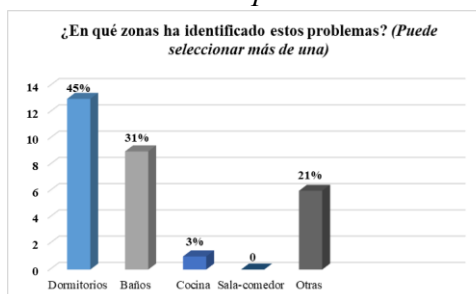


Figura 14
Localización de la problemática



Nota : elaboración propia a partir de resultados de la encuesta aplicada (2025).

Figura 15

Percepción del diseño arquitectónico con respecto a la ventilación



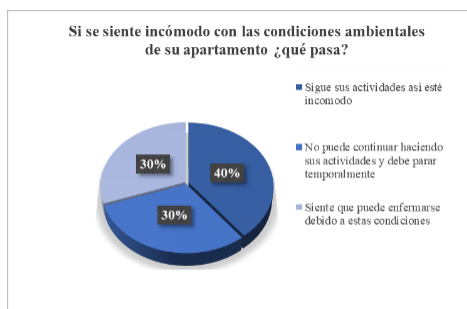
Nota : elaboración propia a partir de resultados de la encuesta aplicada (2025).

Consecuencias en la salud y habitabilidad

Las condiciones ambientales percibidas en las viviendas no solo afectan el confort, sino que también tienen un impacto directo en la salud de los residentes. En este apartado se presentan los principales hallazgos relacionados con la incomodidad y las enfermedades asociadas a la humedad y la ventilación deficiente.

Figura 16

Consecuencias percibidas por los residentes frente a la incomodidad ambiental en sus viviendas



Nota : elaboración propia a partir de resultados de la encuesta aplicada (2025).

La Figura 16 muestra que, frente a la incomodidad ambiental, un 40% de los residentes continúa sus actividades a pesar del malestar, mientras que un 30% debe detenerlas temporalmente y otro 30% siente que puede enfermarse debido a estas condiciones, lo que evidencia una afectación tanto en el bienestar como en la productividad cotidiana. En la Figura 17, se observa que los problemas más reportados son los respiratorios, asma o alergias (19 casos), seguidos de trastornos del sueño, migrañas y afecciones de piel en menor proporción, lo cual coincide con lo señalado por la OMS (2009) respecto a la relación entre humedad interior y enfermedades respiratorias. Finalmente, la Figura 18 indica que estos problemas se presentan principalmente una vez al año o cada seis meses, aunque algunos encuestados reportan mayor frecuencia, lo que sugiere que la exposición, aunque no siempre constante, deja secuelas en la salud a lo largo del tiempo.

Figura 17

Enfermedades reportadas por los residentes asociadas a las condiciones ambientales

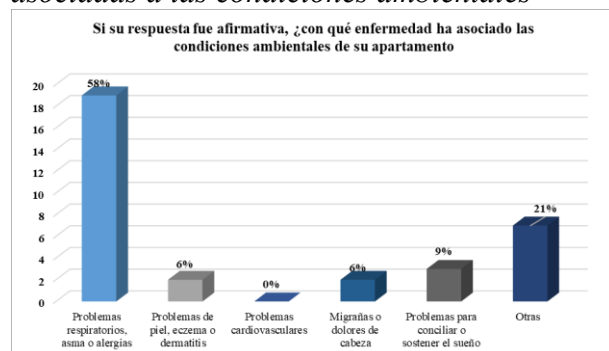
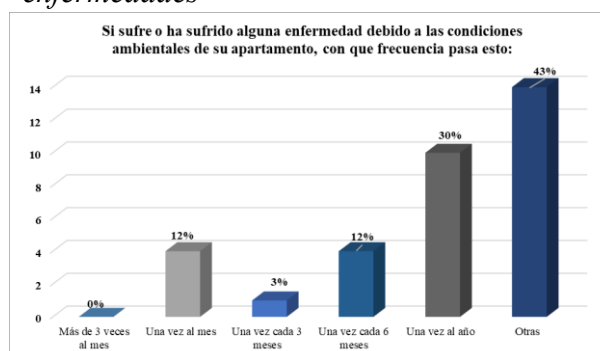


Figura 18

Frecuencia con la que las residentes reportan enfermedades



Nota : elaboración propia a partir de resultados de la encuesta aplicada (2025).

En conjunto, los resultados evidencian que la inadecuada calidad ambiental interior repercute en la salud física y en la calidad de vida de los residentes, destacando la necesidad de estrategias de prevención y diseño que mitiguen la humedad y mejoren la ventilación natural.

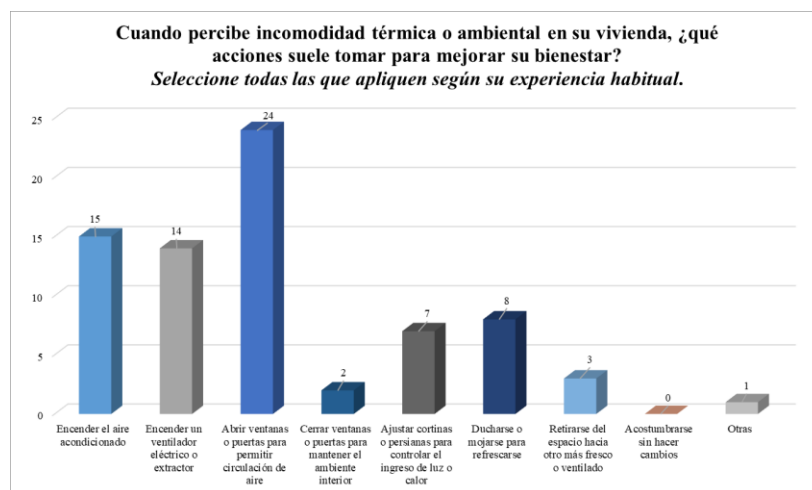
Estrategias de adaptación

Ante la incomodidad térmica o ambiental, los residentes adoptan diversas estrategias que reflejan su dependencia de la ventilación mecánica y su búsqueda por mejorar las condiciones de habitabilidad mediante acciones cotidianas o ajustes en la vivienda.

La Figura 19 muestra que las medidas más comunes son abrir ventanas o puertas (24 casos), encender el aire acondicionado (16 casos) y usar ventiladores o extractores (15 casos), evidenciando una clara dependencia de los sistemas eléctricos para alcanzar el confort térmico.

Figura 19

Acciones adoptadas por los residentes frente a la incomodidad térmica o ambiental en sus viviendas.

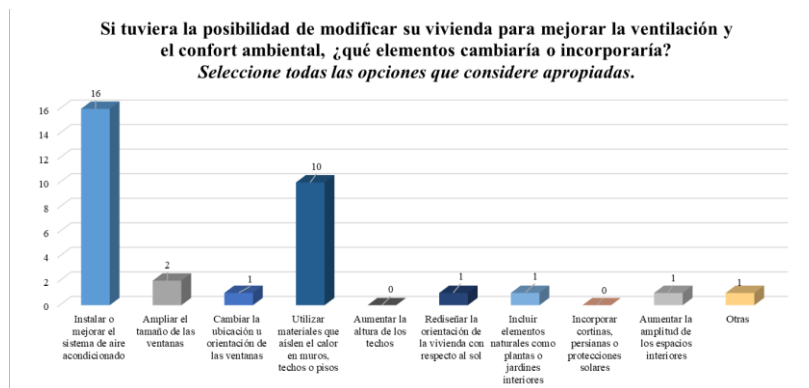


Nota : elaboración propia a partir de resultados de la encuesta aplicada (2025).

De igual forma, la Figura 20 evidencia que, de poder realizar mejoras, los residentes priorizarían la instalación de aire acondicionado (16 casos) y el uso de materiales aislantes en techos o muros (10 casos), mientras que las estrategias pasivas como protecciones solares o ventilación cruzada fueron poco mencionadas.

Figura 20

Opciones de modificación propuestas por los residentes para mejorar la ventilación y el confort ambiental en sus viviendas.



Nota : elaboración propia a partir de resultados de la encuesta aplicada (2025).

En conjunto, los resultados confirman que en el conjunto Madeira predomina la climatización mecánica sobre las soluciones bioclimáticas, lo que resalta la necesidad de promover estrategias híbridas que integren ventilación natural, control solar y uso racional de los equipos, en coherencia con los lineamientos de la Resolución 0194 de 2025.

Impacto económico

El análisis del impacto económico permite comprender la relación entre las condiciones ambientales de las viviendas y la disposición de los residentes a realizar inversiones orientadas al confort térmico y la eficiencia energética. Esta dimensión complementa la evaluación técnica e higrotérmica, al evidenciar cómo la habitabilidad percibida incide en las decisiones económicas y en la sostenibilidad de las edificaciones.

La Figura 21 muestra que el 70 % de los encuestados no ha realizado mejoras en sus viviendas, mientras que un 30 % sí ha implementado intervenciones vinculadas al confort o la reducción del gasto energético. No obstante, la Figura 22 evidencia que el 76 % estaría dispuesto a invertir en soluciones de confort térmico o eficiencia energética, lo que refleja una alta apertura hacia futuras intervenciones y una conciencia creciente sobre la importancia del confort ambiental en el bienestar cotidiano.

Figura 21
Mejoras realizadas en las viviendas para confort y eficiencia energética.

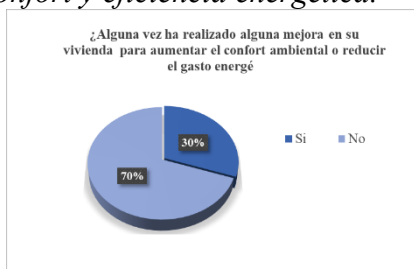
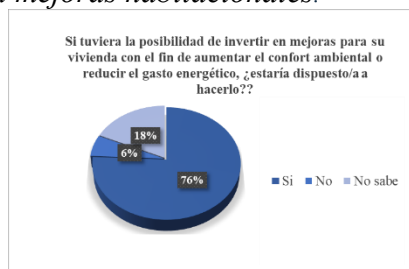


Figura 22
Disposición de los residentes a invertir en mejoras habitacionales.

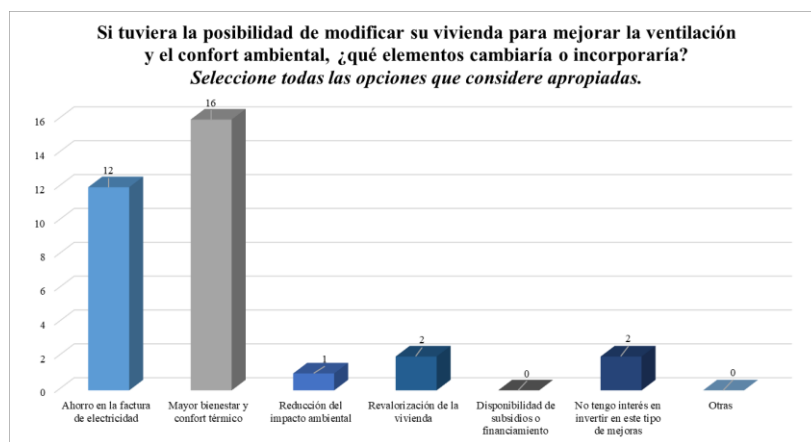


Nota : elaboración propia a partir de resultados de la encuesta aplicada (2025).

En cuanto a los factores que motivarían dichas inversiones, la Figura 23 indica que los aspectos más influyentes son el bienestar y confort térmico (16 casos) y el ahorro en electricidad (12 casos), mientras que otros motivos como la valorización del inmueble o el cumplimiento normativo tienen menor peso. Estos resultados demuestran que la percepción directa de la falta de confort térmico y la carga económica asociada al uso del aire acondicionado actúan como detonantes en la toma de decisiones de inversión.

Figura 23

Factores que motivarían a los residentes a invertir en mejoras de confort y eficiencia energética.



Nota : elaboración propia a partir de resultados de la encuesta aplicada (2025).

En conjunto, la información evidencia una alta disposición a invertir en mejoras de confort ambiental y eficiencia energética, lo que representa una oportunidad para fomentar estrategias constructivas sostenibles. Sin embargo, persiste una brecha entre el reconocimiento del problema y la aplicación de soluciones pasivas y bioclimáticas, lo que se traduce en una dependencia tecnológica de los sistemas mecánicos.

En síntesis, los resultados revelan que la habitabilidad de las viviendas en Barranquilla se encuentra fuertemente condicionada por la limitada ventilación natural, la presencia de humedad y la dependencia energética de la climatización artificial, factores que impactan tanto en la salud como en la economía de los residentes. Aunque se observa una clara disposición a invertir en mejoras, la tendencia se orienta a soluciones reactivas más que preventivas. Este hallazgo refuerza la necesidad de integrar criterios de sostenibilidad, eficiencia energética y confort ambiental en el diseño y gestión de la vivienda residencial, en coherencia con los principios de la Resolución 0194 de 2025.

Fichas de observación técnicas

Con el propósito de obtener un panorama detallado de las condiciones de habitabilidad, se aplicaron fichas de observación técnica en las viviendas seleccionadas. A través de este instrumento se recopilaban datos ambientales al interior de las edificaciones temperatura, humedad relativa y velocidad del aire, así como observaciones sobre el estado de la ventilación y la presencia de patologías por humedad.

Los registros obtenidos constituyen una base fundamental para el análisis técnico, al permitir identificar tendencias y condiciones recurrentes que inciden directamente en el confort ambiental y en la aparición de patologías por humedad en las viviendas evaluadas. Dichas fichas se presentan en el Anexo 2, donde se encuentra la información detallada de cada caso.

Estos resultados fortalecen el diagnóstico integral de la Fase I y sustentan el desarrollo de la Fase II, dedicada a la evaluación instrumental del desempeño de la ventilación mecánica y del comportamiento higrotérmico interior, a fin de correlacionar los parámetros medidos con las percepciones y manifestaciones patológicas identificadas en esta etapa.

Figura 24

Mediciones ambientales al interior de las viviendas

The figure displays three technical observation forms (Ficha de observación técnica) used for recording environmental data and observations inside homes. Each form is divided into several sections:

- General Data:** Includes fields for the name of the person applying the form, the date, and the location of the observation.
- Environmental Measurements:** Contains tables for recording temperature (air, surface, and radiant), relative humidity, and air velocity. Each table has columns for the measurement type, the value, and the unit.
- Observations:** Includes sections for recording observations on ventilation, moisture, and other environmental factors. These sections often contain handwritten notes and checkmarks.

The three forms shown are for different locations: "Cuarto de baño", "Cuarto de dormir", and "Cuarto de estar". Each form provides a detailed record of the environmental conditions and observations for that specific room.

Nota : elaboración propia a partir de fichas aplicadas en el sitio.

La evidencia triangulada entre percepción, observación técnica y mediciones confirma que la incomodidad térmica y la humedad interior no obedecen únicamente al clima, sino a la interacción entre el diseño arquitectónico cerrado, las envolventes sin aislamiento ni barrera de vapor y el uso ineficiente de la ventilación mecánica. Se establecieron correlaciones claras entre el uso frecuente del aire acondicionado, la presencia de patologías por humedad y la percepción de incomodidad térmica. A diferencia de otros estudios en climas cálido-húmedos, este trabajo integra en un mismo análisis los factores de diseño, construcción y ventilación, incorporando además la percepción de los usuarios, lo que constituye su principal aporte innovador. Los hallazgos respaldan la necesidad de que la Resolución 0194 de 2025 incorpore parámetros específicos de confort higrotérmico aplicables a zonas tropicales, con indicadores de humedad interior, ventilación cruzada y estrategias pasivas. Entre las limitaciones de esta fase se reconoce que las mediciones se realizaron únicamente en horario diurno y en un solo conjunto residencial, por lo que los resultados no pueden generalizarse a todas las edificaciones de Barranquilla. Los resultados obtenidos en esta fase permiten definir las condiciones base de confort y habitabilidad sobre las cuales se desarrolla la Fase II, centrada en la evaluación instrumental del desempeño de la ventilación mecánica y su relación con el comportamiento higrotérmico de los espacios interiores.

Correlación directa entre la percepción del usuario y las mediciones higrotérmicas

Percepción vs. Medición de Humedad: El 67% de los residentes (Figura 13) reportó presencia de moho y humedad. Esto se valida técnicamente con las mediciones de la Fase II, que registraron una humedad relativa promedio de 69.4%, superando el rango de confort de ASHRAE 55. Además, la inspección técnica identificó moho visible en el 39.6% de los casos y condensación (superficial e intersticial) en el 50% (Tabla 8).

Percepción vs. Medición de Ventilación: El 55% de los usuarios percibe el ambiente como "húmedo" o "muy húmedo" (Figura 9b), y una mayoría lo percibe como "neutral", "bochornoso" o "sofocante" (Figura 9c). Esto se correlaciona directamente con la velocidad del aire promedio medida de solo 0.36 m/s y la ausencia total (0%) de ventilación cruzada efectiva (Tabla 5), evidenciando un aire estancado.

Percepción vs. Patología (Salud): El 58% de los residentes asocia las condiciones ambientales con problemas respiratorios, asma o alergias (Figura 17). Esto es consistente con la alta incidencia de moho (39.6%) y humedad (69.4%), factores que la literatura (OMS, 2009; EPA, 2016) vincula directamente con dichas afecciones".

Fase 2. Evaluación del desempeño de la ventilación mecánica

En esta segunda fase se analizó el comportamiento higrotérmico interior de las viviendas mediante mediciones instrumentales de temperatura, humedad relativa y velocidad del aire. El propósito fue evaluar el desempeño real de los sistemas de ventilación mecánica frente a las condiciones de confort térmico y habitabilidad identificadas en la Fase I.

La correlación entre los resultados de medición y los registros perceptuales obtenidos en la Fase I confirmó que las viviendas con mayor percepción de incomodidad térmica presentaron también los valores más altos de humedad relativa y menor velocidad del aire. Esta relación evidencia la coherencia entre la percepción del usuario y el desempeño ambiental medido, fortaleciendo la validez del diagnóstico integral.

En la Tabla 2 se observa que las viviendas sin ventilación cruzada efectiva y con protecciones solares insuficientes en fachadas norte y oeste presentan temperaturas interiores más altas y humedades relativas superiores al 65 %. Esto coincide con la falta de confort térmico reportada en la Fase I y confirma que la orientación y la falta de control solar inciden directamente en el comportamiento térmico de los espacios interiores.

De este modo, en la Tabla 4 se aprecia que las viviendas que utilizan aire acondicionado de forma continua logran temperaturas interiores más estables, pero mantienen niveles de humedad residual elevados (69–72 %) debido a la falta de deshumidificación independiente. Este comportamiento favorece la aparición de moho superficial en muros y techos, especialmente en zonas con baja renovación de aire.

Por su parte, los cerramientos sin aislamiento térmico ni barreras de vapor mostraron los mayores niveles de condensación intersticial y superficial. Las fachadas con orientación norte y oeste evidencian los valores más altos de humedad y temperatura interior, lo que se asocia con gradientes térmicos pronunciados y materiales con baja inercia térmica. Estas condiciones refuerzan la relación entre el diseño arquitectónico, el sistema constructivo y el desempeño ambiental interior, como se muestra en la Tabla 3.

Condiciones de incomodidad térmica y Patologías Predominantes

El análisis de los resultados evidencia condiciones interiores fuera de los rangos de confort térmico, pese al uso extendido del aire acondicionado. Se registraron temperaturas promedio de 30,14 °C y humedades relativas del 69,4 %, valores superiores a los establecidos por la norma ASHRAE 55-2020 (23–27 °C; 45–60 % HR), además de una velocidad del aire de 0,36 m/s y ausencia de ventilación cruzada, indicando una renovación deficiente del aire.

Estos resultados coinciden con la Fase I, donde los residentes reportaron sensaciones de calor y humedad derivadas de un diseño cerrado y sistemas mecánicos inefficientes. La correlación entre mediciones y percepción muestra que, aunque el aire acondicionado estabiliza la temperatura, incrementa la humedad residual y el riesgo de patologías por condensación y moho.

Como se resume en las Tablas 2-5, la alta incidencia de moho (39,6 %) y condensación (50 %) se relaciona con la falta de estrategias pasivas, la baja inercia térmica de las envolventes y la ausencia de barreras de vapor y ventilación cruzada, confirmando el origen multifactorial de las patologías.

Tabla 5

Condiciones ambientales interiores y su incidencia en el confort y patologías observadas en las viviendas

Variable	Promedio	Rango	Incidencia / Observación
Temperatura interior (°C)	30.14	27–32	Superior al confort (23–27°C)
Humedad Relativa (%)	69.4	60–78	Excede rango de confort (45–60%)
Velocidad del aire (m/s)	0.36	0.1–0.7	Baja ventilación; no confort (0.8–1.2)
Ventilación cruzada	0%	—	Ausente
Moho visible	39.6%	—	Presente en muros y techos
Condensación intersticial	33.3%	—	En muros y cerramientos
Condensación superficial	16.7%	—	En zonas frías o esquinas
Baños sin ventilación natural	100%	—	Requieren extracción mecánica

Nota : Elaboración propia a partir de fichas de observación técnica aplicadas en el sitio (Anexo 3).

La información sintetizada en la Tabla 5 muestra que todas las variables evaluadas se encuentran fuera de los rangos de confort recomendados. Las temperaturas superiores a 30 °C,

combinadas con humedades relativas por encima del 65 %, generan ambientes cálido-húmedos que favorecen la condensación superficial e intersticial. La velocidad del aire, por debajo de 0,4 m/s, evidencia una ventilación natural prácticamente nula, mientras que la ventilación mecánica se utiliza de forma intermitente, sin control higrotérmico adecuado. Estos factores, en conjunto, explican la proliferación de moho y los niveles elevados de incomodidad térmica reportados.

El análisis cruzado entre las variables térmicas y las características arquitectónicas demuestra que las fachadas con orientación norte y oeste presentan los mayores niveles de humedad y temperatura interior. Estas zonas coinciden con la presencia de materiales de baja resistencia térmica y ausencia de protecciones solares, lo que refuerza la relación causal entre diseño, sistema constructivo y desempeño ambiental. Asimismo, las mediciones confirman que las viviendas sin ventilación cruzada activa o con equipos de aire acondicionado en funcionamiento continuo mantienen altos niveles de humedad residual, lo que incrementa la probabilidad de patologías por condensación.

Análisis técnico y comportamiento microclimático

El análisis integral de las mediciones y observaciones técnicas evidencia que las condiciones de habitabilidad en las viviendas evaluadas están determinadas por la interacción directa entre el diseño arquitectónico, el sistema constructivo y la ventilación mecánica. Un diseño arquitectónico cerrado y sin ventilación natural propicia el estancamiento del aire y el incremento de la humedad relativa, mientras que los sistemas constructivos densos y sin aislamiento térmico generan gradientes de temperatura que favorecen los procesos de condensación. A ello se suma la operación ineficiente de la ventilación mecánica, que resulta insuficiente para controlar los niveles de humedad interior.

Tabla 2

Tabulación de la Evaluación diseño arquitectónico

Evaluación de Diseño Arquitectónico																				
No.	Torre	Apartamento					Protección Solar			Ventilación Cruzada				Zonas Oscuras o sin Ventilación Natural					Tamaño y disposición de vanos (ventanas, puertas)	Observciones Generales del Diseño Arquitectonico
			N	S	E	O	Aleros	Celosías	Otros	Si	No	Parcial	No Aplica	Si	No	Parcial	No Aplica	Lugar		
1	1	206	X				NO	NO			X			X				Baño Principal	Ventanas de alcobas 1,20 X 1,40 hacia la fachada del edificio, con perfileria en aluminio y vidrios	Ofrece distintas tipologías de apartamentos y configuraciones de planta. La planta típica representativa es de 55.45 m². La distribución es eficiente y logra acomodar 3 alcobas y 2 baños, con salón-comedor integrado a una cocina abierta y zona de ropas.
2		305	X				NO	NO			X			X				Baño Principal y auxiliariliar	Ventanas de alcobas 1,20 X 1,40 hacia la fachada del edificio, con perfileria en aluminio y vidrios	Ofrece distintas tipologías de apartamentos y configuraciones de planta. La planta típica representativa es de 55.45 m². La distribución es eficiente y logra acomodar 3 alcobas y 2 baños, con salón-comedor integrado a una cocina abierta y zona de ropas.
3		402		X			NO	NO			X			X				Baño Principal y auxiliariliar	Ventanas de alcobas 1,20 X 1,40 hacia la fachada del edificio, con perfileria en aluminio y vidrios	Ofrece distintas tipologías de apartamentos y configuraciones de planta. La planta típica representativa es de 55.45 m². La distribución es eficiente y logra acomodar 3 alcobas y 2 baños, con salón-comedor integrado a una cocina abierta y zona de ropas.
4		406	X				NO	NO			X			X				Baño Principal y auxiliariliar	Ventanas de alcobas 1,20 X 1,40 hacia la fachada del edificio, con perfileria en aluminio y vidrios	Ofrece distintas tipologías de apartamentos y configuraciones de planta. La planta típica representativa es de 55.45 m². La distribución es eficiente y logra acomodar 3 alcobas y 2 baños, con salón-comedor integrado a una cocina abierta y zona de ropas.
5		903		X			NO	NO			X			X				Baño Principal y auxiliariliar	Ventanas de alcobas 1,20 X 1,40 hacia la fachada del edificio, con perfileria en aluminio y vidrios	Ofrece distintas tipologías de apartamentos y configuraciones de planta. La planta típica representativa es de 55.45 m². La distribución es eficiente y logra acomodar 3 alcobas y 2 baños, con salón-comedor integrado a una cocina abierta y zona de ropas.
6		1004		X			NO	NO			X			X				Baño Principal y auxiliariliar	Ventanas de alcobas 1,20 X 1,40 hacia la fachada del edificio, con perfileria en aluminio y vidrios	Ofrece distintas tipologías de apartamentos y configuraciones de planta. La planta típica representativa es de 55.45 m². La distribución es eficiente y logra acomodar 3 alcobas y 2 baños, con salón-comedor integrado a una cocina abierta y zona de ropas.
7		1302		X			NO	NO			X			X				Baño Principal y auxiliariliar	Ventanas de alcobas 1,20 X 1,40 hacia la fachada del edificio, con perfileria en aluminio y vidrios	Ofrece distintas tipologías de apartamentos y configuraciones de planta. La planta típica representativa es de 55.45 m². La distribución es eficiente y logra acomodar 3 alcobas y 2 baños, con salón-comedor integrado a una cocina abierta y zona de ropas.
8		1505	X				NO	NO			X			X				Baño Principal y auxiliariliar	Ventanas de alcobas 1,20 X 1,40 hacia la fachada del edificio, con perfileria en aluminio y vidrios	Ofrece distintas tipologías de apartamentos y configuraciones de planta. La planta típica representativa es de 55.45 m². La distribución es eficiente y logra acomodar 3 alcobas y 2 baños, con salón-comedor integrado a una cocina abierta y zona de ropas.
9		1506	X				NO	NO			X			X				Baño Principal y auxiliariliar	Ventanas de alcobas 1,20 X 1,40 hacia la fachada del edificio, con perfileria en aluminio y vidrios	Ofrece distintas tipologías de apartamentos y configuraciones de planta. La planta típica representativa es de 55.45 m². La distribución es eficiente y logra acomodar 3 alcobas y 2 baños, con salón-comedor integrado a una cocina abierta y zona de ropas.

Nota : elaboración propia a partir de las mediciones aplicadas en el sitio.

Tabla 3

Tabulación de la Evaluación sistema constructivo.

Sistemade Ventilación Mecanica																						Observaciones Generales
Sist. De Ventilación Instalado			Estado General del Sistema			Frecuencia de Mantenimiento				Manuales Disponibles				Percepción de Confort			Temperatura Interior Medida (C°)	Humedad Interior Prom (%)	Velocidad Viento (m/s)	Ubicación de los Equipos	Observciones Generales Ventilación	
Ac	Extractor	Otros	Bueno	Regular	Malo	Mensual	Trimestrial	Anual	Nunca	Si	No	Parcial	N/A	Alta	Media	Baja						
X	X		X					X		X				X			29°C	65%	0.5	Manejadoras en la Fachada	Apartamento cuenta con aire acondicionado en Habitacion principal	
X	X		X				X			X				X			31°C	73%	0.7	Manejadoras en la Fachada	Apartamento cuenta con 2 aires acondicionado 2y una lavadora de gas la cual enite vapores calientes	Inquilino comenta haber tenido problemas de hongos pero ya fue solucionado, actualmente no ha vuelto a salir
X	X		X					X		X				X			30°C	77%	0.5	Manejadoras en la Fachada		
X	X	Ventiladores de pie	X					X		X				X			30°C	68%	0.6	Manejadoras en la Fachada	En esta apartamento nunca se ha presentado problemas de humedad ni condensación	
X	X		X				X			X				X			27°C	55%	0.1	Manejadoras en la Fachada	Cuenta con 4 aires acondicionado 22 de 12000 btu y 2 de 9000 btu y abanico des de techo.	
X	X	Ventiladores de pie	X							X				X			31°C	80%	0.4	Manejadoras en la Fachada	Cuenta con un aire acondicionado en la habitacion principal y 3 Ventiladores de pie, se evidencia que todo el apartamento presenta moho en un 80%	
X	X		X				X			X				X			30°C	77%	0.6	Manejadoras en la Fachada	Cueantan con 2 aires acondicionado 2en la habitacion principal y en la auxliarililar, se pudo evidenciar que en el Baño la tenparatura aumentóAire acondicionado315°C y la humedad a 88%	
X	X		X				X			X				X			27°C	50%	0.2	Manejadoras en la Fachada	Cuenta con 2 aires acondicionado 2en cuarto principal y auxliarililar	
X	X		X					X		X				X			30°C	65%	0.7	Manejadoras en la Fachada	SOLO SE EVIDENCI UN AIRE ACONDICIONADO	Propietario manifiesta que tuvo presencia de moho pero fue solucionado y no se ha presentado nuevamente

Nota : elaboración propia a partir de las mediciones aplicadas en el sitio

Tabla 4

Tabulación del Sistema ventilación mecánico

Evaluación del Sistema Constructivo																		
Material Predominante en Muros	Material de Cubierta/Placa de entrepiso	Moho		Eflorencias		Aislamiento térmico			Barrera de Vapor			Condensación Superficial			Condensación Intersticial			Observaciones Generales sobre el Sistema Constructivo
		SI	NO	SI	NO	SI	NO	Ubicación	SI	NO	Ubicación	SI	NO	Ubicación	SI	NO	Ubicación	
Concreto y malla electrosoldada, estuco y pintura	Concreto, malla electrosoldada, estuco, pintura y pisos de porcelanato	X			X		X			X			X			X	Baño Principal	Sistema constructivo en mampostería reforzada de estructura mixta con muros de concreto y mampostería. Los acabados interiores son estandarizados con pisos en porcelanato en zonas secas y cerámica en áreas húmedas. Se utilizan losas de concreto, con acabados directos de estuco y pintura en la mayoría de las áreas
Concreto y malla electrosoldada, estuco y pintura	Concreto, malla electrosoldada, estuco, pintura y pisos de porcelanato		X		X		X			X			X			X		Sistema constructivo en mampostería reforzada de estructura mixta con muros de concreto y mampostería. Los acabados interiores son estandarizados con pisos en porcelanato en zonas secas y cerámica en áreas húmedas. Se utilizan losas de concreto, con acabados directos de estuco y pintura en la mayoría de las áreas
Concreto y malla electrosoldada, estuco y pintura	Concreto, malla electrosoldada, estuco, pintura y pisos de porcelanato	X			X		X			X			X			X	habitacion Principal	Sistema constructivo en mampostería reforzada de estructura mixta con muros de concreto y mampostería. Los acabados interiores son estandarizados con pisos en porcelanato en zonas secas y cerámica en áreas húmedas. Se utilizan losas de concreto, con acabados directos de estuco y pintura en la mayoría de las áreas
Concreto y malla electrosoldada, estuco y pintura	Concreto, malla electrosoldada, estuco, pintura y pisos de porcelanato		X		X		X			X			X			X		Sistema constructivo en mampostería reforzada de estructura mixta con muros de concreto y mampostería. Los acabados interiores son estandarizados con pisos en porcelanato en zonas secas y cerámica en áreas húmedas. Se utilizan losas de concreto, con acabados directos de estuco y pintura en la mayoría de las áreas
Concreto y malla electrosoldada, estuco y pintura	Concreto, malla electrosoldada, estuco, pintura y pisos de porcelanato	X			X		X			X			X	habitacion Principal		X	habitacion Principal	Sistema constructivo en mampostería reforzada de estructura mixta con muros de concreto y mampostería. Los acabados interiores son estandarizados con pisos en porcelanato en zonas secas y cerámica en áreas húmedas. Se utilizan losas de concreto, con acabados directos de estuco y pintura en la mayoría de las áreas
Concreto y malla electrosoldada, estuco y pintura	Concreto, malla electrosoldada, estuco, pintura y pisos de porcelanato	X			X		X			X			X			X	General	Sistema constructivo en mampostería reforzada de estructura mixta con muros de concreto y mampostería. Los acabados interiores son estandarizados con pisos en porcelanato en zonas secas y cerámica en áreas húmedas. Se utilizan losas de concreto, con acabados directos de estuco y pintura en la mayoría de las áreas
Concreto y malla electrosoldada, estuco y pintura	Concreto, malla electrosoldada, estuco, pintura y pisos de porcelanato	X					X			X			X	habitacion Principal		X	Baño Principal	Sistema constructivo en mampostería reforzada de estructura mixta con muros de concreto y mampostería. Los acabados interiores son estandarizados con pisos en porcelanato en zonas secas y cerámica en áreas húmedas. Se utilizan losas de concreto, con acabados directos de estuco y pintura en la mayoría de las áreas
Concreto y malla electrosoldada, estuco y pintura	Concreto, malla electrosoldada, estuco, pintura y pisos de porcelanato						X			X			X	habitacion Principal		X	habitacion Principal, closed Baños	Sistema constructivo en mampostería reforzada de estructura mixta con muros de concreto y mampostería. Los acabados interiores son estandarizados con pisos en porcelanato en zonas secas y cerámica en áreas húmedas. Se utilizan losas de concreto, con acabados directos de estuco y pintura en la mayoría de las áreas
Concreto y malla electrosoldada, estuco y pintura	Concreto, malla electrosoldada, estuco, pintura y pisos de porcelanato		X		X		X			X			X			X		Sistema constructivo en mampostería reforzada de estructura mixta con muros de concreto y mampostería. Los acabados interiores son estandarizados con pisos en porcelanato en zonas secas y cerámica en áreas húmedas. Se utilizan losas de concreto, con acabados directos de estuco y pintura en la mayoría de las áreas

Nota : elaboración propia a partir de las mediciones aplicadas en el sitio.

En conjunto, estas condiciones explican la aparición de patologías vinculadas a la humedad, tales como la proliferación de moho y las condensaciones superficiales e intersticiales, además de contribuir a la pérdida de confort térmico y a la disminución de la calidad ambiental interior. Los resultados sintetizados en la Tabla 6 confirman que la falta de ventilación cruzada y de protecciones solares en las fachadas más expuestas incrementa los niveles de humedad relativa y temperatura interior, afectando directamente el confort térmico de los ocupantes.

Tabla 6

Condiciones ambientales interiores y su incidencia en el confort térmico y patologías asociadas

Aspecto	Condición Actual	Implicación Higrotérmica	Lesiones Asociadas
Diseño arquitectónico cerrado	Sin ventilación cruzada	Aire estancado, HR alta	Moho, condensación
Sistema constructivo denso	Concreto sin aislamiento	Gradientes térmicos altos	Cond. intersticial
Ventilación mecánica (AC tipo minisplit)	Enfriamiento sin deshumidificación	No controla HR	Moho, condensación
Aleros o control solar	Ausentes	Radiación directa	Calor interior, estrés térmico

Nota : Elaboración propia a partir de fichas de observación técnica aplicadas en el sitio (Anexo 3).

De manera complementaria, el análisis diferenciado por torres muestra la existencia de condiciones microclimáticas particulares, determinadas por la orientación solar y el grado de exposición a la radiación. En las torres con orientación norte y oeste se identificó una mayor incidencia de condensación intersticial, atribuida a gradientes térmicos elevados, mientras que en las torres con orientación sur se observó predominio de moho, relacionado con el estancamiento del aire y los altos niveles de humedad relativa. En todas las torres se constató la ausencia de estrategias pasivas de control climático, como sombreamiento o ventilación cruzada, lo que genera un comportamiento térmico homogéneo pero crítico. Estos resultados, presentados en la Tabla 7, demuestran que las patologías no dependen exclusivamente del clima externo, sino de la configuración arquitectónica y del uso ineficiente de los sistemas de climatización mecánica.

Tabla 7

Resultados ambientales y lesiones detectadas según orientación de torres

Torre	T (°C) prom.	HR (%) prom.	Moho	Cond. Sup.	Cond. Inter.	Orientación	Conclusión
T1	29.4	67.8	83.3%	33.3%	66.6%	Norte	Alto riesgo higrotérmico
T2	30.2	67.4	87.5%	50%	87.5%	Oeste	Gradientes térmicos altos
T3	30.2	64.6	20%	0%	20%	Norte	Lesiones por sistema constructivo

T4	30.6	72.6	85.7%	14%	28%	Sur	HR elevada, aire estancado
T5	30.3	68.5	0%	0%	0%	Este	Sin lesiones visibles
T6	30.3	77.9	0%	0%	0%	Sur	Alta dependencia del AC

Nota : Elaboración propia a partir de fichas de observación técnica aplicadas en el sitio (Anexo 3).

Tipologías de lesión y su incidencia en la habitabilidad

El análisis de las lesiones observadas en las viviendas permitió clasificarlas en dos grandes categorías: biológicas y físicas. Las lesiones biológicas corresponden a la proliferación de moho, asociada a niveles de humedad relativa superiores al 70 % y a condiciones de ventilación insuficiente, con una incidencia del 39,6 %. Este tipo de lesión se localiza principalmente en baños y cocinas, donde genera riesgos sanitarios y acelera el deterioro de los materiales.

En cuanto a las lesiones físicas, se identificaron dos manifestaciones principales: la condensación superficial, con una incidencia del 16,7 %, originada por el enfriamiento interior rápido en ausencia de aislamiento térmico, que se presenta en muros y techos; y la condensación intersticial, con una incidencia del 33,3 %, vinculada a la falta de barreras de vapor, especialmente en muros exteriores, lo que provoca acumulación de humedad interna y procesos de corrosión. Estas evidencias confirman que las patologías derivan de un desequilibrio higrotérmico global, resultado de decisiones de diseño, materiales constructivos y uso inadecuado de la ventilación mecánica

Tabla 8

Clasificación de lesiones biológicas y físicas asociadas a condiciones higrotérmicas

Lesión	Tipo	Incidencia	Causa Principal	Espacios Críticos	Consecuencia
Moho	Biológica	39.6%	Alta HR + baja ventilación	Baños, cocinas	Riesgo sanitario, deterioro
Cond. superficial	Física	16.7%	Enfriamiento sin aislamiento	Muros, techos	Desprendimientos, moho
Cond. intersticial	Física	33.3%	Sin barrera de vapor	Muros exteriores	Humedad interna, corrosión

Nota : Elaboración propia a partir de fichas de observación técnica aplicadas en el sitio (Anexo 3).

En síntesis, la evaluación técnica confirma que la incomodidad térmica y las patologías por humedad tienen un origen multifactorial. Las condiciones arquitectónicas, constructivas y

operativas interactúan de manera negativa, comprometiendo la habitabilidad y la durabilidad de las edificaciones.

Estos hallazgos reafirman la necesidad de adoptar estrategias integrales de mitigación que prioricen el confort térmico, la eficiencia energética y la sostenibilidad. A partir de estos resultados, la Fase III del estudio se orienta a la formulación de recomendaciones que articulen soluciones pasivas y activas para optimizar el desempeño higrotérmico de las viviendas en climas cálido-húmedos.

Fase 3. Formulación de recomendaciones de mitigación

Los resultados obtenidos en las fases anteriores demuestran que la interacción entre un diseño arquitectónico cerrado, sistemas constructivos sin aislamiento higrotérmico y el uso ineficiente de la ventilación mecánica genera un desequilibrio ambiental interior en las viviendas analizadas. Este escenario se traduce en la proliferación de patologías vinculadas a la humedad como la presencia de moho y las condensaciones superficial e intersticial, afectando la habitabilidad, la salud de los residentes y la durabilidad de los materiales (Rodríguez & D'Alessandro, 2019; EPA, 2016). A partir de este diagnóstico, se formulan las siguientes recomendaciones orientadas a la mitigación de los problemas identificados.

Tabla 9

Matriz de Estrategias de Mitigación Priorizadas para el Caso de Estudio

Prioridad	Estrategia	Problema que Resuelve	Aplicación Específica Caso Estudio (Madeira)	Impacto Esperado en la Habitabilidad
ALTA (Acción Inmediata)	Gestión de Ventilación Mecánica (Aire Acondicionado) y Extracción Forzada en Baños	82 % de los residentes usa aire acond, pero la humedad relativa promedio sigue en 69,4 %. El 100 % de los baños no tiene ventilación natural y concentra moho en 31 % de los casos.	1. Capacitación a los residentes (76 % dispuestos a invertir) para usar el modo “Deshumidificación (Dry)” del equipo en lugar del modo de enfriamiento. 2. Instalación obligatoria de extractores mecánicos en todos los baños con temporizador.	Reducción significativa de la humedad interior y del moho superficial (39,6 % de incidencia). Mejora de la calidad del aire y reducción de afecciones respiratorias (58 % reportadas).
MEDIA (Acción Correctiva)	Incorporación de Control Solar Pasivo	Alta ganancia térmica. Temperatura promedio 30,14 °C. Las torres T1	Instalación de brise-soleil o persianas exteriores en fachadas Norte y Oeste,	Reducción de la carga térmica interior y del gradiente térmico interior-exterior, mitigando la

		(Norte) y T2 (Oeste) presentan la mayor incidencia de patologías (condensación y moho), coincidiendo con las orientaciones de mayor radiación.	identificadas como críticas en la Tabla 7.	condensación intersticial.
MEDIA (Acción Correctiva)	Mejora Constructiva: Aislamiento Térmico y Barrera de Vapor	Alta incidencia de condensación total (50 %), especialmente intersticial (33,3 %). Los muros de concreto sin aislamiento generan puentes térmicos.	Aplicación de trasdosados interiores tipo drywall con aislamiento térmico y barrera de vapor en el lado interior de los muros exteriores de las habitaciones (45 % de casos afectados).	Aumento de la temperatura superficial interior del muro, eliminando el punto de rocío y reduciendo la proliferación de moho.
BAJA (Acción a Futuro / Remodelación)	Promoción de Ventilación Natural o Híbrida	0 % de ventilación cruzada efectiva. El 52 % de los residentes considera que el diseño no favorece la ventilación.	1. Capacitación a usuarios para abrir ventanas en horarios de menor temperatura y humedad (madrugada/noche). 2. En futuras remodelaciones, estudiar la viabilidad de generar aberturas opuestas o shafts convectivos.	Aumento de la tasa de renovación de aire, reducción de la humedad interna y mejora del confort térmico percibido.

Nota: Elaboración propia a partir de los resultados de la investigación

Se recomienda fortalecer el diseño arquitectónico mediante la adecuada orientación de fachadas y la disposición de vanos que faciliten la ventilación cruzada natural, reduciendo así la dependencia del aire acondicionado. También se propone incorporar elementos de control solar pasivo aleros, persianas o brise-soleil y vidrios con propiedades térmicas que limiten la ganancia de calor, así como mayor altura libre en los espacios habitables para favorecer la estratificación del aire y el confort térmico.

En el ámbito constructivo, se sugiere implementar barreras de vapor e impermeabilización en cubiertas y muros para prevenir la condensación intersticial y la acumulación de humedad, además de emplear materiales con mayor inercia y resistencia higrotérmica, como bloques aligerados o concretos con aditivos impermeabilizantes. Se recomienda el uso de recubrimientos transpirables que permitan evacuar el vapor sin comprometer la durabilidad, considerando las lluvias estacionales de Barranquilla.

Respecto a la ventilación mecánica, se plantea migrar hacia sistemas híbridos que integren estrategias pasivas y activas, priorizando equipos con deshumidificación, mantenimiento periódico de filtros y drenajes, y sensores de humedad y temperatura que automaticen el control ambiental. Asimismo, se recomienda regular horarios y modos de operación para evitar sobrehumidificación y optimizar la eficiencia energética.

En el plano social y de gestión, es esencial capacitar a los residentes en el uso racional de la ventilación mecánica y la ventilación natural en horarios estratégicos, promoviendo programas de acompañamiento técnico y mantenimiento preventivo. Se insta a las autoridades locales a establecer criterios normativos adaptados a los climas cálido-húmedos, ya que la Resolución 0194 de 2025 aún no aborda de forma específica estas condiciones en viviendas multifamiliares.

Los resultados confirman que las viviendas de Barranquilla presentan altas temperaturas (30 °C) y humedades superiores al 65 %, condiciones que favorecen patologías por humedad como moho y condensación. A diferencia de estudios previos, este trabajo integra diseño, construcción y ventilación mecánica junto con la percepción de los usuarios, permitiendo correlacionar eficiencia térmica, confort percibido y frecuencia de lesiones, bajo el modelo adaptativo de confort (De Dear & Brager, 1998).

El estudio constituye un aporte innovador en la patología de la construcción en climas tropicales, al vincular los resultados con el Código de Construcción Sostenible (Resolución 0194 de 2025) y proponer su ajuste regional mediante rangos adaptativos de temperatura y humedad, acordes con los materiales y tipologías del trópico. En síntesis, se busca una integración equilibrada entre ventilación mecánica y estrategias pasivas, para reducir las patologías por humedad, mejorar la calidad ambiental interior y promover edificaciones más sostenibles y resilientes en el contexto tropical de Barranquilla.

Conclusiones

Los resultados obtenidos permiten concluir que las patologías asociadas a la humedad en edificaciones residenciales de la ciudad de Barranquilla tienen un origen multifactorial, derivado de la interacción entre el diseño arquitectónico cerrado, los sistemas constructivos con bajo desempeño higrotérmico y el uso ineficiente de la ventilación mecánica. Estas condiciones generan un ambiente cálido-húmedo caracterizado por temperaturas promedio de 30 °C y humedades relativas superiores al 65 %, valores que superan los rangos de confort establecidos por la norma ASHRAE 55 (2020).

La investigación confirma que la ventilación mecánica, cuando opera de manera aislada y sin apoyo de estrategias pasivas, no garantiza el confort térmico ni previene las patologías por humedad. En contraste, el análisis integral demuestra que las soluciones más efectivas surgen de la complementariedad entre diseño arquitectónico, materiales constructivos y sistemas de climatización eficientes, capaces de equilibrar la carga térmica y la ventilación interior.

A nivel metodológico, este estudio representa un aporte innovador en el campo de la patología de la construcción en climas tropicales, al integrar en un mismo marco analítico los factores técnicos, constructivos y perceptuales. La correlación entre las mediciones instrumentales y las percepciones de los residentes permitió comprender de forma más precisa la relación entre confort térmico percibido, desempeño higrotérmico real y aparición de lesiones por humedad, en coherencia con el modelo adaptativo de confort propuesto por De Dear & Brager (1998).

Asimismo, los hallazgos evidencian una brecha significativa entre las condiciones reales de habitabilidad y los estándares normativos vigentes, particularmente los definidos en la Resolución 0194 de 2025 (Código de Construcción Sostenible). Este desfase resalta la necesidad de incorporar criterios regionalizados de confort higrotérmico, ajustados a las particularidades climáticas del Caribe colombiano, para garantizar edificaciones más sostenibles, saludables y resilientes.

Finalmente, es importante reconocer algunas limitaciones del estudio que condicionan el alcance de los resultados. La investigación se centró en un único caso el conjunto residencial Madeira, lo que permitió un análisis detallado, aunque limita la extrapolación de los hallazgos al resto de edificaciones residenciales de la ciudad. Además, las mediciones ambientales (temperatura, humedad y velocidad del aire) se realizaron únicamente en septiembre, sin considerar variaciones estacionales que pudieran influir en el desempeño térmico y la percepción de confort. Por ello, los resultados deben entenderse como una aproximación representativa, más no como un reflejo absoluto de las condiciones de todas las viviendas de Barranquilla.

Referencias

- Acevedo Niebles, J. S., & Guevara Acuña, M. A. (2021). Eficiencia térmica en sistema de protección solar para el clima cálido húmedo: Caso de estudio: edificio Serfinanza, Barranquilla [Trabajo de grado]. Universidad de la Costa.
<https://repositorio.cuc.edu.co/entities/publication/3708cab7-d3d6-4987-b3ed-3477fee3ab47>
- Agudelo, S. (2014). Patologías por humedad en edificaciones residenciales: causas y mecanismos de prevención. *Revista Ingeniería y Región*, 12(2), 55–68.
- Aguilar-Carrasco, M. T., López-Lovillo, R. M., Suárez, R., & León-Rodríguez, Á. L. (2025). Ventilation strategies to ensure thermal comfort for users in school buildings: A critical review. *Applied Sciences*, 15(10), 5449. <https://doi.org/10.3390/app15105449>
- Al Horr, Y., Arif, M., Kaushik, A., Mazroei, A., Katafygiotou, M., & Elsarrag, E. (2016). Impact of indoor environmental quality on occupant well-being and comfort: A review of the literature. *International Journal of Sustainable Built Environment*, 5(1), 1–11.
- Aquapol. (2022). Guía para la humedad ascendente. https://aquapolespanya.com/wp-content/uploads/2022/09/Guia_para_la_humedad_ascendente_AquapolSpain.pdf
- Artiles, D. M. (2007). Diseño arquitectónico y desempeño durable de la vivienda social. *Arquitectura y Urbanismo*, 28(1), 48–54.
- ASHRAE. (2020). ANSI/ASHRAE Standard 55-2020: Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy. American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers.
- Avendaño Jácome, Y. C. (2018). Diagnóstico, asesoramiento y prevención de humedades en las viviendas del municipio de Ocaña, Norte de Santander [Trabajo de grado].
- Brager, G. S., & de Dear, R. J. (1998). Thermal adaptation in the built environment: A literature review. *Energy and Buildings*, 27(1), 83–96.
- Caez Pérez, J. C. (2004). Caracterización y patología de la mampostería en la ciudad de Barranquilla [Tesis de maestría]. Universidad de los Andes.
<https://repositorio.uniandes.edu.co/entities/publication/e6f7d6d2-0514-4382-850d-68a62312987e>
- Casas, F. (2012). Humedades – capítulo 4. Editorial Universidad del Valle.
<https://libros.univalle.edu.co/index.php/programaeditorial/catalog/download/86/49/1109?inline=1>
- Castro-Pérez, N. (2017). Fachadas ventiladas para la disminución de temperaturas en edificaciones residenciales en la ciudad de Santa Marta [Tesis de maestría]. Universidad Católica de Colombia. <https://repository.ucatolica.edu.co/entities/publication/e93a545d-ff60-42b2-b656-4c16cdff7a75>
- Chaudhary, G., Johra, H., Georges, L., & Austbø, B. (2023). Predicting the performance of hybrid ventilation in buildings using a multivariate attention-based biLSTM encoder–decoder neural network. arXiv preprint arXiv:2302.04126. <https://arxiv.org/abs/2302.04126>

Corporación de Desarrollo Tecnológico. (2012). Humedad por condensación en viviendas, prevención y soluciones.

<https://abouthaus.com/wpcontent/uploads/2017/11/Codensacion-en-Viviendas.pdf>

Couret, D. G., Guzmán, L. A. R., Milián, N. G., García, E. R., & Salazar, M. L. (2015). Evaluación cualitativa de la influencia del diseño arquitectónico en el ambiente interior. *Arquitectura y Urbanismo*, 36(3), 53–66.

Cuesta Gómez, J., & Caballero Zafra, S. A. (2019). Control de calidad de aire interior para el centro integral de tecnología en salud de la ciudad de Barranquilla [Trabajo de grado]. Universidad Industrial de Santander. <https://noesis.uis.edu.co/items/f8bfea54-4d48-4ab9-b957-a301426d7a50>

Cândido, C., de Dear, R., Lamberts, R., & Bittencourt, L. (2011). Air movement acceptability limits and thermal comfort in Brazil's hot humid climate zone. *Building and Environment*, 45(1), 222–229.

Daza, A. N., Berroca, J. D. P., & Ceferino, G. U. (2020). Estrategias de diseño arquitectónico de bajo impacto ambiental como aporte a la eficiencia energética en el clima cálido húmedo. Tercer Congreso Internacional De Distritos Térmicos, 8.

De Dear, R., & Brager, G. (1998). Developing an adaptive model of thermal comfort and preference. *ASHRAE Transactions*, 104(1), 145–167.

Du, C., et al. (2021). Evaluating the effect of building construction periods on indoor humidity, fungi, and mold correlation. *Indoor Air*, 31(3), 745–758. <https://doi.org/10.1111/ina.12723>

EPA. (2016). Guía para el control de la humedad en el diseño, construcción y mantenimiento de edificaciones. United States Environmental Protection Agency. https://espanol.epa.gov/sites/default/files/2016-07/documents/moisture_control_guidance_spanish_april_2016_508_final.pdf

Forgiarini Rupp, R., Vásquez, N. G., & Lamberts, R. (2015). A review of human thermal comfort in the built environment. *Energy and Buildings*, 105, 178–205.

Hamdy, M., et al. (2019). Optimizing hybrid ventilation control strategies toward low-energy buildings. *Frontiers in the Built Environment*, 5, 97. <https://doi.org/10.3389/fbuil.2019.00097>

Hernández, A., Pardal, C., & Paricio, I. (2013). Análisis comparativo del comportamiento higrotérmico en vivienda multifamiliar en climas cálidos. *Informes de la Construcción*, 65(532), 473–486.

Lara-Zamudio, B. S., Rodríguez, C. M., & Coronado-Cabrera, M. C. (2024). Estudio comparativo de estrategias pasivas para favorecer el confort térmico en viviendas multifamiliares en climas cálidos: Ricaurte, Colombia. *Revista AUS*, 35(26), 108–120. <https://doi.org/10.4206/aus.2024.n35-12>

Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio. (2025). Resolución 0194 de 2025: Código de Construcción Sostenible. Diario Oficial de la República de Colombia.

Moharrami, M. (2025). The hybrid attic ventilation technique as a sustainable solution for thermal comfort in tropical climates. *Sustainable Cities and Society*, 117, 104567.

<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2590174525000765>

Montejo-Fonseca, A., Montejo-Pirato, F., & Montejo-Pirato, A. (2013). *Tecnología y patología del concreto armado*. Editorial Universidad Católica de Colombia.

Nicol, F., & Humphreys, M. (2002). Adaptive thermal comfort and sustainable thermal standards for buildings. *Energy and Buildings*, 34(6), 563–572.

NSR-10. (2010). *Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente*. Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica (AIS).

Olgyay, V. (2015). *Design with Climate: Bioclimatic Approach to Architectural Regionalism*. Princeton University Press.

Pérez-Lombard, L., Ortiz, J., & Pout, C. (2008). A review on buildings energy consumption information. *Energy and Buildings*, 40(3), 394–398.

Rivera Castro, L. A. (2012). *Recomendaciones para la prevención y solución de la humedad por condensación en viviendas*.

Rodríguez, C. M., & D'Alessandro, M. (2019). Indoor thermal comfort review: The tropics as the next frontier. *Urban Climate*, 29, 100488.

<https://doi.org/10.1016/j.uclim.2019.100488>

Rodríguez, C. M., Coronado, M. C., & Medina, J. M. (2021). Thermal comfort in educational buildings: The Classroom-Comfort-Data method applied to schools in Bogotá, Colombia. *Building and Environment*, 194, 107682.

<https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2021.107682>

Ruangsawan, T., et al. (2025). Integrating indirect evaporative and split air conditioning systems in tropical climates to improve indoor air quality and thermal comfort. *Buildings*, 15(8), 1313. <https://doi.org/10.3390/buildings15081313>

Sekhar, C. (2016). Thermal comfort in air-conditioned buildings in hot and humid climates: Challenges and solutions. *ASHRAE Journal*, 58(5), 18–28.

Selbar, J. (2016). Optimización energética de sistemas de ventilación híbridos en edificaciones residenciales. *Revista Energía y Clima*, 8(2), 43–59.

Toala-Zambrano, L. A., Vanga-Arvelo, M. G., Muñoz-Molina, J. G., & Zambrano-Quiroz, F. N. (2021). Percepción del confort térmico en conjuntos residenciales y su incidencia en la calidad de vida. *Revista Lasallista de Investigación*, 18(1), 34–47.

Uyaguari Cornejo, W. M. (2024). *Estudio de humedad por condensación en viviendas de la ciudad de Cuenca*.

Van Hoof, J. (2008). Forty years of Fanger's model of thermal comfort: Comfort for all? *Indoor Air*, 18(3), 182–201.

Waite, M., Cohen, E., Torbey, H., Piccirilli, M., Tian, Y., & Modi, V. (2017). Global trends in urban electricity demands for cooling and heating. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 114(34), 8945–8950.

Yang, W., & Zhang, G. (2014). Thermal comfort in naturally ventilated buildings in hot-humid regions of Asia. *Building and Environment*, 82, 528–539.

<https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2014.09.019>

Yuan, L., et al. (2024). Study on mold and condensation risks after vacancy of buildings using hygrothermal analysis. *Journal of Building Engineering*, 93, 108684.

<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2352710224008684>

Zhao, J., et al. (2024). Long-term prediction of the effects of climate change on mold risk in buildings. *Environmental Research*, 240, 117993.

<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0013935123026087>

Anexos

Con el fin de no sobrecargar el presente documento y facilitar la consulta de la información complementaria, los anexos correspondientes a encuestas, fichas de observación, registros fotográficos, planos y demás insumos técnicos se encuentran disponibles en el siguiente enlace de acceso en línea:

[Anexos - Evaluación del impacto de la ventilación mecánica](#)