

Diagnóstico exploratorio del comportamiento termodinámico de las viviendas rurales productivas agrícolas aisladas, del municipio de Tona del corregimiento de Berlín.

Karen Vanessa Rueda Zambrano, Paula Juliana Rincón Chavarro, Paula Stefany Reyes

Ibáñez

Trabajo de grado para optar el título de Arquitecto

Director

Juan Felipe Quijano García

Magíster en Medio Ambiente Arquitectura Bioclimática y Energías Renovables

Universidad Santo Tomás, Bucaramanga

División de Ingenierías y Arquitectura

Facultad de Arquitectura

2024

Dedicatoria

Dedicamos este proyecto a todas las personas en Berlín que, con generosidad, nos abrieron las puertas de sus hogares, nos ofrecieron su tiempo, suspendieron sus actividades para ayudarnos con las encuestas y nos permitieron acceder a sus espacios personales. Su generosidad desinteresada fue fundamental para llevar a cabo este trabajo, su disposición y confianza han sido una gran fuente de inspiración.

Queremos también dedicar este proyecto a nuestros padres, Cecilia Andrea Chavarro Suarez, Yurby Stella Ibáñez Álvarez e Israel Reyes Lalín, y Yadira Milena Rueda Zambrano quien hizo posible que viajáramos hasta Berlín para realizar las visitas. Su apoyo incondicional y su constante preocupación por cada detalle de nuestras necesidades nos permitieron avanzar en este proceso con tranquilidad y seguridad, ustedes fueron un pilar fundamental en todo momento, asegurándose de que no nos faltara nada para continuar con este proyecto que tanto significa para nosotras.

Agradecemos igualmente a nuestros familiares, en especial, a Claudia Yaned Chavarro Pineda, cuyo apoyo constante fue invaluable. A Edwin Fernando Rueda Zambrano, quien nos acompañó en uno de los viajes y colaboró activamente en la toma de medidas, no podemos dejar de mencionar a Gladys Alvarez Ibañez que siempre estuvo apoyando con palabras de aliento cuando era necesario, que siempre estuvo presente de diversas formas, brindándonos aliento y respaldo en cada etapa de este camino.

A todos ustedes, les debemos este proyecto. Agradecemos profundamente cada sacrificio realizado por nosotras y les dedicamos con todo el cariño y esfuerzo este trabajo, fruto de mucho compromiso y dedicación.

Agradecimientos

Al culminar este proyecto, deseamos expresar nuestro más sincero agradecimiento a todas aquellas personas que, de una u otra manera, hicieron posible su realización. En primer lugar, a nuestros padres, cuya paciencia, apoyo incondicional y constante motivación nos han acompañado en cada paso de este camino, siendo su amor y confianza fundamentales para alcanzar esta meta.

A nuestras familias y amigos, por su comprensión y ánimo en los momentos más desafiantes, quienes con su compañía y palabras de aliento siempre fueron una fuente constante de fortaleza.

Queremos hacer un reconocimiento especial a la profesora Ivonne Marcella Duque, quien nos brindó su guía y valiosos consejos durante la etapa inicial del proyecto, y al profesor Jorge Villamizar, cuyo apoyo y orientación a lo largo del proceso fueron esenciales para superar cada obstáculo que se nos presentó.

A nuestro director de proyecto, le extendemos nuestro más profundo agradecimiento por su dedicación, compromiso y confianza. Su visión y acompañamiento continuo fueron pilares clave para la culminación exitosa de esta investigación.

Asimismo, agradecemos a todas las personas que nos brindaron información valiosa en la Alcaldía de Tona y en el IDEAM, ya que su colaboración fue fundamental para el desarrollo y la conclusión de este estudio.

Finalmente, expresamos nuestra gratitud a las personas en Berlín, quienes con generosidad nos abrieron las puertas de sus hogares y colaboraron amablemente en la realización de las encuestas. Su tiempo y disposición fueron vitales para alcanzar nuestros objetivos.

A todos, gracias de corazón.

Contenido

Introducción	21
1. Diagnóstico exploratorio del comportamiento termodinámico de las viviendas rurales productivas agrícolas aisladas del municipio de Tona del corregimiento de Berlín.....	22
1.1 Planteamiento del problema.....	22
1.2 Justificación.....	24
1.3 Objetivos	26
1.3.1 Objetivo general	26
1.3.2 Objetivos específicos.....	26
2. Marco referencial.....	27
2.1 Normativa ISO 7730	27
2.1.1 Tasa metabólica según actividades.....	28
2.1.2 Aislamiento térmico referente a conjuntos de ropa.....	29
2.2 Sensores de medida	32
2.2.1 Termómetro laser.....	32
2.2.2 Anemómetro	33
2.3 Manual para el control de calidad de los datos meteorológicos en la preverificación, captura y verificación.....	33
2.4 Marco conceptual	34
2.4.1 Vivienda rural	34
2.4.2 Vivienda digna.....	35
2.4.3 Termodinámica.....	36
2.4.4 Materiales	37

2.4.5 Confort térmico	37
2.4.6 Perdida de energía	38
2.4.7 Temperatura radiante.....	38
2.4.8 Temperatura operativa.....	39
2.5 Marco legal.....	40
3. Método	43
4. Campo de estudio.....	49
4.1 Delimitación área de intervención.....	50
4.2 Ubicación viviendas	53
4.3 Población.....	53
4.3.1 Rangos de edad.....	54
4.4 Caracterización del clima	55
4.4.1 Informe meteorológico general	56
4.4.3 Humedad y precipitación.....	63
4.4.4 Análisis de vientos.....	65
4.4.5 Análisis soleamiento.....	66
4.4.6 Análisis geológico	67
4.4.7 Análisis morfodinámico	68
4.4.8 Análisis de pendientes	68
4.4.9 Análisis de formaciones vegetales.....	70
4.4.10 Diagrama psicrométrico, carta de Givoni.....	71
5. Caracterización análoga.....	72
5.1 Encuesta	72

5.1.1 Codificación de resultados de la encuesta	76
5.1.2 Análisis de la encuesta.....	80
5.2 Datos sitio.....	83
5.2.1 Observaciones de la toma de datos.....	84
6. Reconstrucción de tipologías	85
6.1 Análisis morfológico de las viviendas seleccionadas en el Corregimiento de Berlín.....	86
6.2 Reconstrucción morfológica	90
6.3 Identificación de materialidad.....	92
7. Caracterización digital	97
7.1 DesingBuilder.....	97
7.2 Levantamiento modelo 3D.....	98
7.3 Designación de espacios en el modelo.....	98
7.4 Designación de elementos arquitectónicos	99
7.5 Propiedades térmicas de los materiales.....	100
7.6 Renovaciones de aire.....	101
7.7 Filtración	102
7.8 Ocupación y arropamiento	106
7.8.1 Ocupación tipología 1.....	107
7.8.2 Ocupación tipología 2.....	108
8. Validación de datos.....	108
8.1 Datos temperatura bulbo seco, selección día simulaciones.....	109
8.2 Diagramas de dispersión (tendencia de datos)	111
8.3 Simulaciones	116

8.4.1 Orientación	116
8.4.2 Análisis grafica	119
9. Conclusiones.....	121
10. Lineamientos.....	127
Referencias.....	151
Apéndices.....	157

Lista de tablas

Tabla 1. <i>Índice de percepción térmica (PMV)</i>	28
Tabla 2. <i>Tasa metabólica según actividad realizada</i>	28
Tabla 3. <i>Horario toma de datos e instrumentos</i>	34
Tabla 4. <i>Marco legal</i>	40
Tabla 5. <i>Rango de población por edad y sexo. Proyección 2023</i>	54
Tabla 6. <i>Datos meteorológicos 1971-2000</i>	56
Tabla 7. <i>Datos meteorológicos 1981-2010</i>	59
Tabla 8. <i>Datos meteorológicos 1991-2020</i>	61
Tabla 9. <i>Vegetación paramo de Berlín</i>	70
Tabla 10. <i>Tipología de vivienda 1</i>	90
Tabla 11. <i>Tipología de vivienda 2</i>	91
Tabla 12. <i>Características térmicas de la cubierta. Teja de fibrocemento</i>	96
Tabla 13. <i>Característica térmica material del piso. Cerámica vidriada clara.</i>	96
Tabla 14. <i>Característica térmica material del piso. Piso en concreto</i>	96
Tabla 15. <i>Característica térmica material de muros internos y externos.</i>	96
Tabla 16. <i>Calidad de aire</i>	101
Tabla 17. <i>Calculo valor de arropamiento por prendas.</i>	107
Tabla 18. <i>Ocupación tipología 1</i>	107
Tabla 19. <i>Ocupación tipología 2</i>	108

Lista de figuras

Figura 1. <i>Tabla C.1- Aislamiento térmico para combinaciones habituales de prendas</i>	30
Figura 2. <i>Tabla C.2 – Aislamiento térmico para prendas y cambios de temperatura operativa óptima</i>	31
Figura 3. <i>Funcionamiento termómetro laser</i>	32
Figura 4. <i>Funcionamiento anemómetro</i>	33
Figura 5. <i>Estructura metodológica fase 1</i>	44
Figura 6. <i>Estructura metodológica fase 2</i>	46
Figura 7. <i>Estructura metodológica fase 3</i>	47
Figura 8. <i>Estructura metodológica fase 4</i>	48
Figura 9. <i>Estructura metodológica fase 5</i>	49
Figura 10. <i>Localización campo de estudio</i>	49
Figura 11. <i>Imagen de división política administrativa</i>	51
Figura 12. <i>Localización viviendas a lo largo del corredor vial</i>	51
Figura 13. <i>Zonificación ambiental del DMI paramo de Berlín</i>	52
Figura 14. <i>Ubicación viviendas analizadas</i>	53
Figura 15. <i>Grafica de humedad relativa vs temperatura media de Berlín 1971-2000</i>	57
Figura 16. <i>Grafica de humedad relativa vs temperatura máxima media de Berlín 1971-2000</i> ..	57
Figura 17. <i>Grafica de humedad relativa vs temperatura mínima media de Berlín 1971-2000</i> ...	57
Figura 18. <i>Grafica de humedad relativa vs precipitación de Berlín 1970-2000</i>	58
Figura 19. <i>Grafica de días de lluvia vs humedad relativa de Berlín 1971-2000</i>	58
Figura 20. <i>Grafica de humedad relativa vs temperatura media de Berlín 1981-2010</i>	59
Figura 21. <i>Grafica de humedad relativa vs temperatura máxima media de Berlín 1981-2010</i> ..	60

Figura 22. <i>Grafica de humedad relativa vs temperatura mínima media de Berlín 1981-2010...</i>	60
Figura 23. <i>Grafica de humedad relativa vs precipitación de Berlín 1981-2010</i>	60
Figura 24. <i>Grafica de días de lluvia vs humedad relativa de Berlín 1981-2010.....</i>	61
Figura 25. <i>Clasificación climática caldas Lang departamento de Santander</i>	62
Figura 26. <i>Cartografía altitud Berlín Santander</i>	62
Figura 27. <i>Humedad relativa</i>	63
Figura 28. <i>Precipitaciones</i>	64
Figura 29. <i>Rosa de los vientos de Berlín Santander</i>	65
Figura 30. <i>Day length chart.....</i>	66
Figura 31. <i>Cartografía de tipos de suelo</i>	67
Figura 32. <i>Plano morfodinámico</i>	68
Figura 33. <i>Plano de pendientes.....</i>	68
Figura 34. <i>Cortes terreno casas analizadas</i>	69
Figura 35. <i>Plano de formaciones vegetales</i>	70
Figura 36. <i>Carta psicrométrica de Givoni</i>	71
Figura 37. <i>Primera pregunta. Número de integrantes en la vivienda y edad.....</i>	76
Figura 38. <i>Segunda pregunta. ¿Cómo describirás tu nivel de actividad física diaria?</i>	77
Figura 39. <i>Tercera pregunta. ¿A qué hora del día sueles observar más personas en la vivienda?</i>	77
Figura 40. <i>Cuarta pregunta. ¿Cómo describirías la temperatura de la vivienda y en qué momento del día?.....</i>	77
Figura 41. <i>Quinta pregunta. En una escala del 1 al 7, donde 1 es "Muy incómodo" y 7 es "Muy cómodo", ¿Cómo calificarías tu nivel de comodidad térmica en este momento?</i>	78

Figura 42. Sexta pregunta. ¿Ha notado algún cambio drástico entre el interior o el exterior de la vivienda?	78
Figura 43. Séptima pregunta. ¿Ha notado algún cambio drástico entre el interior o el exterior de la vivienda?	78
Figura 44. Novena pregunta. ¿Ha realizado alguna modificación en la vivienda para hacerla más cómoda térmicamente?	79
Figura 45. Onceava pregunta. En una escala del 1 al 7, donde 1 es “Muy húmedo” y 7 es” Muy seco”, ¿Cómo describiría la humedad de la vivienda?	79
Figura 46. Doceava pregunta. En tu hogar ¿Utilizas algún electrodoméstico que genere calor? ¿Cuáles y dónde?	79
Figura 47. Treceava pregunta. En una escala del 1 al 7, donde 1 es “Muy beneficioso” y 7 es” Muy perjudicial”, ¿Cómo influye la temperatura, respecto a su desempeño a la hora de trabajar?	80
Figura 48. ¿En qué momento del día usa usted más capas de ropa?	80
Figura 49. Tabla de toma de datos en sitio	84
Figura 50. Visita de campo	86
Figura 51. Vanos ubicados en fachadas de las viviendas.	87
Figura 52. Zona de trabajo y almacenaje	88
Figura 53. Electrodomésticos ubicados en cocina.....	89
Figura 54. Material utilizado en el piso y la cubierta.	89
Figura 55. Ubicación viviendas 3D	90
Figura 56. Planta configuración espacial tipología 1	91
Figura 57. Planta configuración espacial tipología 2	92

Figura 58. <i>Materiales de la tipología 1</i>	95
Figura 59. <i>Levantamiento tipologías en DesingBuilder</i>	98
Figura 60. <i>Distribución espacial de las tipologías</i>	99
Figura 61. <i>Designación de materiales</i>	99
Figura 62. <i>Materiales de la tipología 2</i>	100
Figura 63. <i>Cambios de ventilación recomendados por hora</i>	102
Figura 64. <i>Grietas y uniones de la vivienda</i>	103
Figura 65. <i>Empalme de ventana</i>	104
Figura 66. <i>Evidencia fotografía arropamiento de usuarios</i>	107
Figura 67. <i>Desarrollo de curva polinómica de tercer grado para la interpolación de datos tomados en sitio.</i>	109
Figura 68. <i>Dry buld temperature</i>	110
Figura 69. <i>Tabla comparación datos sitio y datos software</i>	110
Figura 70. <i>Tabla recolección de datos de cubierta en sitio y desingbuilder con distintas materialidades</i>	112
Figura 71. <i>Grafica tendencia temperatura cubierta</i>	114
Figura 72. <i>Grafica tendencia temperatura paredes internas</i>	115
Figura 73. <i>Grafica tendencia temperatura pisos</i>	116
Figura 74. <i>Orientación presentada por la mayoría de las viviendas – Tipología 1</i>	117
Figura 75. <i>Orientación presentada por la mayoría de las viviendas – Tipología 2</i>	118
Figura 76. <i>Simulación tipología 1</i>	119
Figura 77. <i>Orientación viviendas</i>	122
Figura 78. <i>Uniones deficientes entre muro-cubierta y muro-ventana.</i>	122

Figura 79. <i>Piso de las viviendas estudiadas.</i>	123
Figura 80. <i>Cubierta de las viviendas estudiadas.</i>	124
Figura 81. <i>Muros de las viviendas estudiadas.</i>	125
Figura 82. <i>Ventanas de las viviendas estudiadas.</i>	125
Figura 83. <i>Lineamiento de diseño 1</i>	127
Figura 84. <i>Variación de las temperaturas internas de las paredes de la cocina a lo largo del Día.</i>	128
Figura 85. <i>Resultados simulación de la temperatura de las superficies que configuran el espacio de la cocina en distintos momentos del día.</i>	128
Figura 86. <i>Esquema estufa in situ</i>	130
Figura 87. <i>Lineamiento de diseño 2</i>	130
Figura 88. <i>Zonificación de espacios</i>	131
Figura 89. <i>Orientación a distintas horas del día.</i>	132
Figura 90. <i>Lineamiento de diseño 3</i>	133
Figura 91. <i>Invernadero</i>	134
Figura 92. <i>Lineamiento de diseño 4</i>	136
Figura 93. <i>Materialidad existente en el piso.</i>	137
Figura 94. <i>Materialidad propuesta en el piso.</i>	138
Figura 95. <i>Materialidad existente en los muros.</i>	140
Figura 96. <i>Materialidad propuesta en los muros.</i>	141
Figura 97. <i>Materialidad existente en cubierta.</i>	142
Figura 98. <i>Materialidad propuesta en cubierta con teja de barro.</i>	143
Figura 99. <i>Características generales teja Azembla.</i>	145

Figura 100. *Materialidad propuesta en cubierta con teja Azembla.* 145

Figura 101. *Lineamiento de diseño 5* 147

Figura 102. *Relación eficiencia, durabilidad, costo y disponibilidad entre tipos de ventanas.* 150

Lista de apéndices

Apéndice A. <i>Encuesta de evaluación del confort térmico; toma de datos casa #12.</i>	157
Apéndice B. <i>Encuesta de evaluación del confort térmico</i>	158
Apéndice C. <i>Ejemplo de medidas tomadas en sitio de la segunda casa analizada</i>	160
Apéndice D. <i>Calculo renovaciones del aire</i>	161
Apéndice E. <i>Corte vivienda actual y corte vivienda con lineamientos</i>	

Nota: Ver apéndice E en fuente externa

Apéndice F. <i>Información recolectada en salida de campo y datos de investigación</i>	
---	--

Nota: Ver apéndice F en fuente externa

Resumen

El objetivo principal de esta investigación se centró en el análisis del déficit potencial de confort térmico, específicamente en contextos de bajas temperaturas, en Berlín, Santander. Para ello, se seleccionaron 15 viviendas rurales aisladas, ubicadas en el municipio de Tona, dentro del corregimiento de Berlín, en una zona designada para la recuperación y producción agrícola. La metodología abordada engloba una caracterización del clima local y un análisis de los factores ambientales pertinentes.

Para profundizar en el estudio, se realizó una caracterización termodinámica análoga mediante la recolección de datos in situ y una evaluación cualitativa de la percepción térmica de los residentes a través de encuestas. Este enfoque permitió una visión más completa del comportamiento térmico de las viviendas. De igual manera, se llevó a cabo una caracterización digital utilizando el software DesignBuilder, estableciendo parámetros específicos que consideraron diversos factores que influyen en el comportamiento térmico de las tipologías de viviendas definidas. El objetivo fue modelar las condiciones térmicas de manera que se aproximaran lo más posible a la realidad, permitiendo obtener simulaciones precisas.

Los resultados de las simulaciones realizadas fueron comparados con los datos análogos recolectados, para posteriormente ser validados. Dichos resultados se convirtieron en la base para el desarrollo de lineamientos, dirigidos a mejorar el confort térmico de las viviendas examinadas y, por consiguiente, el bienestar de los habitantes.

Palabras clave: confort térmico, vivienda digna, temperatura operativa, temperatura radiante

Abstract

The main objective of this research focused on analyzing the potential deficit of thermal comfort, specifically in contexts of low temperatures, in Berlín, Santander. To achieve this, 15 isolated rural houses were selected, located in the municipality of Tona, within the corregimiento of Berlín, in an area designated for agricultural recovery and production. The methodology included a characterization of the local climate and an analysis of the relevant environmental factors.

To deepen the study, an analogous thermodynamic characterization was carried out through the collection of in situ data and a qualitative assessment of the thermal perception of residents via surveys. This approach provided a more comprehensive view of the thermal behavior of the houses. Similarly, a digital characterization was performed using DesignBuilder software, establishing specific parameters that considered various factors influencing the thermal behavior of the defined housing typologies. The objective was to model the thermal conditions as closely as possible to reality, allowing for accurate simulations.

The results of the simulations conducted were compared with the analogous data collected, and subsequently validated. These results became the foundation for developing guidelines aimed at improving the thermal comfort of the examined houses and, consequently, the well-being of their occupants.

Keywords: thermal comfort, decent housing, operating temperature, radiant temperature

Glosario

Actividad metabólica: conjunto de procesos químicos en los organismos para obtener y usar energía.

Aislamiento térmico: relata que los aislantes térmicos son materiales malos conductores del calor y que pueden reducir la intensidad de un flujo térmico. Estos materiales se caracterizan por tener un coeficiente de conductividad lo más bajo posible (Rougeron, 1977).

Arropamiento: nivel de protección térmica proporcionada por la ropa que una persona usa.

Caracterización digital: proceso de obtener y analizar datos sobre un objeto, fenómeno o sistema mediante herramientas digitales.

Cartografías: representaciones gráficas de territorios que muestran elementos geográficos o construidos. Se utilizan para analizar la distribución espacial de un área determinada.

Colinas residuales: elevaciones de terreno formadas por erosión de materiales circundantes más blandos.

Corponor: corporación Autónoma Regional de la Frontera Nororiental.

Corregimiento: subdivisión administrativa de un municipio, compuesto por zonas rurales o pequeños poblados.

Discomfort térmico: sensación de incomodidad o insatisfacción que las personas experimentan cuando las condiciones térmicas en su entorno no son adecuadas para su bienestar.

Encuesta: herramienta para recopilar información mediante preguntas a un grupo de personas, con el fin de conocer opiniones o comportamientos.

EOT: Esquema de Ordenamiento Territorial, es un instrumento de planificación aplicable a los municipios con menos de 30 mil habitantes.

Filtraciones: paso no deseado de aire, agua u otros fluidos a través de materiales o estructuras.

Formación silgara: unidad geológica localizada en la región de los Andes en Colombia, específicamente en la Cordillera Oriental.

Granodiorita: roca ígnea plutónica que tiene una composición intermedia entre el granito y la diorita.

Habitabilidad: condiciones necesarias para que un espacio o vivienda sea adecuado para ser habitado de manera segura, cómoda y saludable.

IDEAM: Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales.

Lechos fluviales: áreas del terreno por donde fluye un río o arroyo, formados por sedimentos como arena, grava, limo y arcilla.

Lineamientos: directrices o normas que guían el diseño, planificación o ejecución de un proyecto o actividad.

Mapa geológico: muestra la distribución de diferentes tipos de rocas y estructuras geológicas en una región.

Materialidad: propiedades y características de los materiales utilizados en la construcción o diseño.

Morfodinámico: procesos que causan cambios en la forma y estructura de la superficie terrestre.

Páramo: región montañosa de clima frío con vegetación adaptada a bajas temperaturas y alta humedad.

Pendientes denudacionales: superficies inclinadas del terreno modificadas por procesos de denudación, que incluyen erosión, desgaste y eliminación de materiales por acción del agua, viento, hielo y gravedad.

Peneplanicies: extensas áreas de terreno casi llanas o ligeramente onduladas que se forman después de un largo periodo de erosión y desgaste de montañas y otras elevaciones.

Población: conjunto de individuos de una misma especie que habitan en un área específica.

Preverificación: proceso de revisión preliminar que se realiza antes de una evaluación más detallada, con el objetivo de asegurar que todos los aspectos esenciales se cumplan.

Simulaciones: representaciones virtuales que imitan el comportamiento de sistemas reales para analizar y predecir sus resultados bajo diferentes condiciones.

Suelo cambro: tipo de suelo que se caracteriza por su desarrollo inicial y su perfil poco evolucionado.

Temperatura de Bulbo Húmedo: temperatura a la que el aire se puede enfriar a través de la evaporación del agua, hasta llegar a estar completamente saturado.

Tipología: estudio o clasificación de tipos y categorías dentro de un área específica, basándose en características comunes.

transmitancia térmica: medida de la cantidad de calor que pasa a través de un material o estructura, indicando su capacidad para aislar térmicamente.

Ventilación: proceso de mover aire hacia adentro y hacia afuera de un espacio.

Introducción

Históricamente los agricultores colombianos han empleado métodos constructivos arraigados en la tradición heredados de sus ancestros, para erigir sus viviendas utilizando materiales disponibles en la región. A pesar de que estas edificaciones demuestran una solidez estructural adecuada pueden presentar deficiencias en cuanto al confort térmico, lo que plantea posibles implicaciones negativas para el bienestar y la calidad de vida de sus residentes.

Por consiguiente, este estudio se enfoca en analizar el impacto de los aspectos termodinámicos en las viviendas rurales destinadas a la producción agrícola, tomando en consideración los estándares establecidos por la normativa ISO 7730 de Ergonomía del ambiente térmico. Este enfoque nos permitirá desarrollar criterios para evaluar si dichas viviendas garantizan un nivel de confort térmico adecuado para sus ocupantes; además, se investigarán cómo los aspectos formales, funcionales y los materiales de construcción pueden incidir en la eficiencia energética y la conservación térmica en estas viviendas.

Con el propósito de dar soluciones a través de lineamientos de diseño que optimicen el confort térmico y el bienestar de los residentes rurales; este enfoque no solo beneficiará a la comunidad de Berlín Santander, sino que también podría tener implicaciones más amplias para la mejora de las condiciones de vida en otras áreas rurales similares.

1. Diagnóstico exploratorio del comportamiento termodinámico de las viviendas rurales productivas agrícolas aisladas del municipio de Tona del corregimiento de Berlín

1.1 Planteamiento del problema

“El término vivienda, asociado como unidad de habitación en las áreas rurales se da como complejo de edificaciones y espacios utilizados por el grupo familiar para su actividad constante”, menciona Farfán, (2000) en la revista *Luna azul* de la Universidad de caldas, se relata que al hablar de vivienda rural productiva agrícola, nos referimos a un tipo de vivienda ubicada en las zonas rurales, diseñada para cumplir con las funciones básicas de una residencia que permita realizar las labores productivas de las personas que habitan en ella, que son en su mayoría campesinos (p.2). Estas viviendas cuentan con sus respectivos terrenos usados para ser cultivados teniendo en cuenta que el corregimiento de Berlín, Santander presenta un número significativo de viviendas destinadas a la producción, en su mayoría, de terrenos cultivables de cebolla larga y de papa. El Esquema de ordenamiento territorial (EOT, 2002) menciona que:

El corregimiento de Berlín soporta su economía en dos actividades principalmente; el cultivo de la cebolla junca, el cual ha venido en aumento; además reviste importancia para la economía local, debido a la vinculación de la mano de obra en su producción. La cebolla tiene una participación del 19% de todos los productos que se producen (sic) en el municipio, y el comercio actividad que se desarrolla por su ubicación sobre la vía (p.7).

Ahora bien, a lo largo de la historia de Colombia estos campesinos han heredado conocimientos valiosos transmitidos de generación en generación que les han permitido construir sus hogares implementando materiales locales que están a su alcance, teniendo en cuenta esto, el doctor Orlando Fals Borda (1956), menciona en su estudio de aspectos psico-sociológicos de la

vivienda rural colombiana que “por lo común son los mismos miembros de la familia los que construyen su vivienda, aunque con la ayuda de albañiles que dirijan la edificación”, de igual forma menciona que “en muchos lugares del país los campesinos han sabido ingeniárselas para tener estructuras abrigadas y adaptadas a las circunstancias ambientales” (pp. 212-213), Sin embargo, de acuerdo con Farfán (2002):

A pesar de que las construcciones habitacionales rurales cuentan con materiales aceptables y con edificaciones en muchos casos satisfactorias desde el punto de vista de estabilidad y de acabados, existe un desconocimiento de ciertos requerimientos indispensables para prevenir enfermedades, acrecentar las condiciones ambientales o para mejorar la habitabilidad de las viviendas (p.3).

De lo anterior se infiere que los espacios habitacionales pueden llegar a tener fallas, en consecuencia, surge la necesidad de evaluar si estas técnicas tradicionales presentan deficiencia en el confort térmico respecto a la pérdida o ganancia de calor que pueda afectar de manera negativa la calidad de vida de las personas que residen en estas viviendas.

La organización mundial de la Salud (OMS, 2022) establece en las directrices sobre vivienda y salud que una vivienda saludable es aquella que aparte de proporcionar un estado de confort, también favorece no solo la *salud mental* sino también la *física*, al respecto plantea:

Una vivienda saludable también hace referencia a su estructura y a la medida en que favorece la salud física, incluido el aspecto de ser estructuralmente sólida; además de proporcionar refugio de las inclemencias del tiempo y del exceso de humedad; y facilitar temperaturas confortables, ... (p.2).

En el caso que no llegue a cumplir dichas directrices podría ocasionar que el ambiente térmico de la vivienda genere afectaciones en la salud del usuario, la OMS nos expone algunos de los posibles riesgos para la salud, como, por ejemplo:

“El aire frío inflama los pulmones e inhibe la circulación, lo que aumenta el riesgo de afecciones respiratorias, como las crisis o síntomas de asma, el empeoramiento de la enfermedad pulmonar obstructiva crónica (EPOC) y las infecciones pulmonares” (p.56).

En vista de ello, la investigación se enfoca en establecer la relación de los afectados termodinámicos, considerando componentes formales y funcionales; los materiales implementados en las viviendas para comprender cómo estos elementos inciden en la eficiencia energética, ya sea favoreciendo la conservación o propiciando la pérdida de energía, a partir de esto se plantean las siguientes preguntas:

- ¿Cómo podemos aportar a la correcta edificabilidad de la vivienda campesina teniendo en cuenta la materialidad y los recursos del campesino de la región?
- ¿Qué estrategias pasivas ayudan a mantener la conservación de la temperatura al interior de la vivienda?

1.2 Justificación

Esta investigación se fundamenta en la importancia de comprender y abordar los desafíos asociados con las viviendas rurales productivas agrícolas en el contexto del corregimiento de Berlín, Santander.

El corregimiento cuenta con una altitud de 3000 a 3700 metros sobre el nivel del mar (m.s.n.m), así mismo, según datos del IDEAM el clima está en un rango de templado húmedo hasta muy frío húmedo generando un impacto significativo en el aislamiento térmico de las viviendas al

ser vulnerables a las bajas temperaturas y posteriormente pueden repercutir en la salud de sus habitantes. Estas viviendas deben mantener el bienestar de los trabajadores y sus familias, ya que viven en el mismo sitio donde laboran diariamente y del que depende su sustento diario, donde cumplan eficazmente con el cultivo de alimentos que requiere la población de la zona y así, contribuir con la exportación a municipios cercanos.

Según el Plan de desarrollo Tona (2020) “Los pequeños y medianos productores de cebolla junca del municipio de Tona ubicados en la zona fría del municipio se calcula que producen al año alrededor de 180.000 toneladas producto del beneficio de 1.500 has sembradas, las cuales son comercializadas desde el sitio de cosecha y llevadas a todas las centrales de abastos del país” (p. 139). Siendo así, el segundo productor de cebolla junca del país luego del municipio de Aquitania en Boyacá.

Es crucial resaltar tanto la función como la cultura, estas viviendas no solo representan un ámbito de producción, sino que también se destinan para socializar y transmitir conocimientos sobre su trabajo, este proyecto, además de diagnosticar las viviendas existentes, busca enfatizar la importancia de considerar la funcionalidad tanto en las actividades del hogar, el descanso y la recreación, ofreciendo una visión psico-social.

A través de la presente investigación se busca contribuir a la comunidad rural a alcanzar un nivel de vivienda digna a partir de lo diagnosticado en el documento, brindando acceso a información para la correcta edificabilidad de las viviendas que cumplan con los estándares de habitabilidad necesarios como seguridad, salud y confort, manteniendo poblaciones estables en zonas destinadas a la agricultura lo que permitiría fomentar el desarrollo rural.

De lo hasta aquí expuesto, para el desarrollo de la investigación se propone una metodología compuesta por cinco fases en donde se evaluará el confort térmico de los espacios

habitacionales desde la percepción de los habitantes, de igual forma a partir de un ejercicio de toma de datos en sitio con instrumentos especializados con el fin de entender el comportamiento de las superficies que componen la vivienda, estos datos se contrastará con los datos obtenidos en el software DESINGBUILDER y consecuentemente se validaran para derivar conclusiones que guiarán los lineamientos de diseño.

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo general

Realizar un diagnóstico exploratorio del comportamiento termodinámico de la vivienda rural productiva agrícola aislada, ubicada en la zona de recuperación para la producción en el corregimiento de Berlín del municipio de Tona con el fin de proponer mejoras a través de lineamientos de diseño.

1.3.2 Objetivos específicos

Delimitar el objeto de estudio a través de la identificación precisa del problema, los usuarios afectados, la zona geográfica, así como las variables y elementos del entorno pertinentes.

Realizar una caracterización termodinámica análoga, mediante toma de muestras en sitio a través de encuestas y medición de temperaturas del aire exterior, aire interior y materiales de la envolvente.

Establecer una caracterización termodinámica digital mediante un levantamiento espacial en un software especializado (DESING BUILDER) a través de la reconstrucción de modelos tipológicos.

Implementar control de calidad mediante la validación cruzada de los datos tomados en sitio y los resultados obtenidos en simulaciones.

Proponer lineamientos de mejora en diseño.

2. Marco referencial

2.1 Normativa ISO 7730

La norma ISO 7730 del 2005 señala que la sensación térmica experimentada por un ser humano está relacionada, principalmente, con el equilibrio térmico global de su cuerpo. Tal equilibrio depende de la actividad física y de la vestimenta del sujeto, así como de los parámetros ambientales: temperatura del aire, temperatura radiante media, velocidad del aire y humedad del aire. Si los factores han sido estimados o medidos, la sensación térmica global del cuerpo puede ser estimada mediante el cálculo del voto medio estimado (AEONOR, 2006, p.6)

El índice de percepción térmica (PMV) constituye una medida que representa el valor promedio de los votos otorgados por un grupo considerable de individuos (las personas encuestadas) con respecto a una escala de sensaciones térmicas que consta de 7 niveles, que van desde -3 como frío a +3 como muy caluroso. Este índice se fundamenta en el equilibrio térmico del cuerpo humano, el cual se logra cuando la cantidad de calor producido internamente por el cuerpo es igual a la cantidad perdida hacia el entorno. “En condiciones ambientales moderadas, el sistema termorregulador se esforzará por ajustar automáticamente la temperatura de la piel y la secreción de sudor con el fin de mantener dicho equilibrio térmico” (AEONOR, 2006, p.8)

Tabla 1. *Índice de percepción térmica (PMV)*

+3	+2	+1	0	-1	-2	-3
Muy caluroso	Caluroso	Ligeramente caluroso	Neutro	Ligeramente fresco	Fresco	Frío

Adaptada de ISO 7730, (2006).

Así mismo, se debe tener en cuenta el *Índice de predicción de disconformidad térmica* (PPD) que constituye una herramienta que realiza una estimación cuantitativa del porcentaje de individuos que experimentarán insatisfacción debido a la percepción de temperaturas extremas. “En el contexto de esta norma internacional, se considera térmicamente insatisfechas a aquellas personas que emiten votos indicando sensaciones de muy caluroso, caluroso, fresco o frío, dentro de la escala de 7 niveles de sensación térmica” (AEONOR, 2006, p.12)

2.1.1 Tasa metabólica según actividades

Al referirse a la producción del calor que genera el cuerpo humano, encontramos un factor importante; el metabolismo, que proporciona la cantidad necesaria de energía que las personas necesitan para realizar sus labores diarias. La ISO nos proporciona información referente a las tasas metabólicas según la actividad que se realice.

Tabla 2. *Tasa metabólica según actividad realizada*

Actividad	Tasa metabólica	
	W/m ²	Met
Reposo, tendidos	46	0,8
Reposo, sentado	58	1,0
Actividad sedentaria (oficina, domicilio, escuela, laboratorio)	70	1,2
Actividad ligera, de pie (de compras, laboratorio, industria ligera)	93	1,6
Actividad media, de pie (dependiente de comercio, tareas domésticas, trabajo con máquinas)	116	2,0
Caminar en llano 2 km/h	110	1,9

Actividad	Tasa metabólica	
3km/h	140	2,4
4km/h	165	2,8
5km/h	200	3,4

Tomado de ISO 7730, (2006).

2.1.2 Aislamiento térmico referente a conjuntos de ropa

Un aspecto por considerar es el número de capas de arropamiento que las personas utilizan al ser un factor crucial en la evaluación del aislamiento térmico proporcionado por la vestimenta, particularmente en función del clima circundante. Esta influencia puede manifestarse en efectos adversos dentro del ámbito laboral, impactando negativamente en la productividad de los trabajadores y, consecuentemente, en su bienestar general.

Se tendrán en cuenta los datos referentes a la ropa de trabajo o de uso diario proporcionado por la ISO:

Figura 1. *Tabla C.1- Aislamiento térmico para combinaciones habituales de prendas*

Ropa de trabajo	I_{cl}		Ropa de uso diario	I_{cl}	
	clo	$m^2 \cdot K/W$		clo	$m^2 \cdot K/W$
Calzoncillos, mono, calcetines, zapatos	0,70	0,110	Bragas, camiseta, pantalón corto, calcetines finos, sandalias	0,30	0,050
Calzoncillos, camisa, mono, calcetines, zapatos	0,80	0,125	Calzoncillos, camisa de manga corta, pantalones ligeros, calcetines finos, zapatos	0,50	0,080
Calzoncillos, camisa, pantalones, bata, calcetines, zapatos	0,90	0,140	Bragas, combinación, medias, vestido, zapatos	0,70	0,105
Ropa interior de mangas y perneras cortas, camisa, pantalones, chaqueta, calcetines, zapatos	1,00	0,155	Ropa interior, camisa, pantalones, calcetines, zapatos	0,70	0,110
Ropa interior de mangas y perneras largas, chaqueta térmica, calcetines, zapatos	1,20	0,185	Bragas, camisa, pantalones, chaqueta, calcetines, zapatos	1,00	0,155
Ropa interior de mangas y perneras cortas, camisa, pantalones, chaqueta, chaquetón y sobrepantalones con acolchado grueso, calcetines, zapatos, gorro, guantes	1,40	0,220	Bragas, medias, blusa, falda larga, chaqueta, zapatos	1,10	0,170
Ropa interior de mangas y perneras cortas, camisa, pantalones, chaqueta, chaquetón y sobrepantalones con acolchado grueso, calcetines, zapatos	2,00	0,310	Ropa interior de manga y perneras largas, camisa, pantalones, jersey de cuello en V, chaqueta, calcetines, zapatos	1,30	0,200
Ropa interior de mangas y perneras largas, chaqueta y pantalones térmicos, parka con acolchado grueso, chaquetón y sobrepantalones con acolchado grueso, calcetines, zapatos	2,55	0,395	Ropa interior de manga y perneras cortas, camisa, pantalones, chaleco, chaqueta, chaquetón, calcetines, zapatos	1,50	0,230

Tomado de normativa ISO 7730, (2006).

La ISO menciona que:

El aislamiento de la ropa (I_{cl}) puede ser estimado, directamente, a partir de los datos presentados en la tabla C.1 (ver figura 1) para combinaciones de prendas (los valores son para aislamiento térmico estático) o, indirectamente, mediante la suma de los valores de aislamiento parciales de cada prenda, I_{clu} , presentados en la tabla C.2.

Figura 2. *Tabla C.2 – Aislamiento térmico para prendas y cambios de temperatura operativa óptima*

Prenda	I_{clu}		Cambio de temperatura operativa óptima, °C
	clo	m ² · K/W	
Ropa interior			
Bragas	0,03	0,005	0,2
Calzoncillos de perneras largas	0,10	0,016	0,6
Camisetas sin mangas	0,04	0,006	0,3
Camisetas de manga corta	0,09	0,014	0,6
Camiseta de manga larga	0,12	0,019	0,8
Bragas y sujetador	0,03	0,005	0,2
Camisas/blusas			
Mangas cortas	0,15	0,023	0,9
Ligeras, mangas largas	0,20	0,031	1,3
Normales, mangas largas	0,25	0,039	1,6
De franela, mangas largas	0,30	0,047	1,9
Blusa ligera, mangas largas	0,15	0,023	0,9
Pantalones			
Cortos	0,06	0,009	0,4
Ligeros	0,20	0,031	1,3
Normales	0,25	0,039	1,6
De franela	0,28	0,043	1,7
Vestidos/Faldas			
Faldas ligeras (verano)	0,15	0,023	0,9
Faldas gruesas (invierno)	0,25	0,039	1,6
Vestidos ligeros, mangas cortas	0,20	0,031	1,3
Vestido de invierno, mangas largas	0,40	0,062	2,5
Monos	0,55	0,085	3,4
Jerseys			
Chalecos sin mangas	0,12	0,019	0,8
Jersey fino	0,20	0,031	1,3
Jersey	0,28	0,043	1,7
Jersey grueso	0,35	0,054	2,2
Chaquetas			
Ligeras, de verano	0,25	0,039	1,6
Chaquetas	0,35	0,054	2,2
Batas	0,30	0,047	1,9
Muy aislantes, de fieltro			
Mono	0,90	0,140	5,6
Pantalones	0,35	0,054	2,2
Chaqueta	0,40	0,062	2,5
Chaleco	0,20	0,031	1,3
Ropa de abrigo			
Chaquetón	0,60	0,093	3,7
Cazadora	0,55	0,085	3,4
Parka	0,70	0,109	4,3
Pantalones de fieltro	0,55	0,085	3,4
Varios			
Calcetines	0,02	0,003	0,1
Calcetines gruesos, tobilleros	0,05	0,008	0,3
Calcetines gruesos, largos	0,10	0,016	0,6
Medias de nilón	0,03	0,005	0,2
Zapatos (suela fina)	0,02	0,003	0,1
Zapatos (suela gruesa)	0,04	0,006	0,3
Botas	0,10	0,016	0,6
Guantes	0,05	0,008	0,3

Tomado de normativa ISO 7730, (2006).

La tabla C.2 indica el correspondiente cambio necesario en la temperatura operativa óptima para mantener la sensación térmica neutra, al añadir o eliminar una prenda, en actividades ligeras esencialmente sedentarias (1,2 met)” (AEONOR, 2006, p.25).

2.2 Sensores de medida

2.2.1 Termómetro laser

Figura 3. *Funcionamiento termómetro laser*



Adaptado de Infrared thermometer GM320, (s.f.)

Según Álvarez, Y. (2023), el termómetro laser es un dispositivo diseñado para captar la energía térmica en forma de radiación infrarroja emitida por todos los objetos es conocido como termómetro infrarrojo. Un ejemplo de ello es el "INFARED THERMOMETER", el cual tiene la capacidad de medir temperaturas que van desde -50°C hasta 330°C . Este dispositivo es especialmente útil ya que puede medir la temperatura sin necesidad de contacto físico, lo que lo hace altamente portátil, gracias a su diseño compacto y ligero. Su funcionamiento es simple e intuitivo, con solo dos botones que permiten personalizar la experiencia y un gatillo que activa la medición de la temperatura. Esta característica lo hace ideal para medir la temperatura de materiales y espacios en viviendas tanto en su interior como en el exterior.

2.2.2 Anemómetro

Figura 4. *Funcionamiento anemómetro*



Adaptado de Kestrel RS, (s.f.)

El dispositivo, diseñado para medir múltiples variables climáticas presenta un diseño compacto y portátil. Utiliza rodamientos de alta precisión y una paleta giratoria ligera para ofrecer mediciones precisas del flujo de aire, incluso a bajas velocidades. Además, cuenta con un sensor de temperatura integrado que proporciona lecturas constantes y rápidas para el termistor de montaje externo. Con tres botones debajo de la pantalla, su funcionamiento es sencillo, permitiendo al usuario visualizar datos como la velocidad del viento actual, máxima y media, así como temperatura, enfriamiento del viento, humedad relativa, índice de calor y punto de rocío.

2.3 Manual para el control de calidad de los datos meteorológicos en la preverificación, captura y verificación

Este ofrece directrices y procesos para mantener la integridad de los datos meteorológicos en cada fase de su manejo, desde la preverificación hasta la captura y la verificación. Es fundamental en la gestión de datos meteorológicos al asegurar que la información utilizada en

análisis y aplicaciones, como la medición de la temperatura del aire, la humedad relativa y la velocidad del viento, sea precisa y confiable.

Tabla 3. *Horario toma de datos e instrumentos*

Variable	Unidad	Método de medición	Hora de la observación
Temperatura del aire	°C	Termómetro	6 am a 8am – 12 m a 2pm – 4pm a 6m
Humedad relativa	%	Anemómetro	6 am a 8am – 12 m a 2pm – 4pm a 6m
Velocidad del viento	m/s	Lectura anemómetro	6 am a 8am – 12 m a 2pm – 4pm a 6m

Adaptado de Manual para el control de calidad de los datos meteorológicos en la preverificación, captura y verificación, (2007).

2.4 Marco conceptual

La investigación presenta un marco global enfocado en el comportamiento termodinámico de las viviendas rurales agrícolas en el corregimiento de Tona-Berlín, para ello hay que considerar los conceptos: vivienda rural, vivienda digna, termodinámica, materiales, confort térmico, pérdida de energía, temperatura radiante media, temperatura operativa.

2.4.1 Vivienda rural

El Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio define la vivienda rural como aquella destinada a satisfacer las necesidades habitacionales de la población que reside en áreas rurales. Estas áreas se caracterizan por su entorno natural, la presencia de actividades agrícolas y productivas, y su conexión con la vida comunitaria.

Siguiendo a Concepción Sánchez Quintanar y a Eric Orlando Jiménez Rosas vemos que: “la vivienda rural es un espacio construido, con una parte interna y otra externa. Por las actividades

agropecuarias que realiza la familia, la vivienda se encuentra inmersa en ecosistemas naturales que cultiva, conserva, transforma o deteriora.” (Sánchez et al., 2011, p.175).

La vivienda rural es habitar en el mismo sitio de trabajo y que este se relacione con las actividades diarias de quien vive en ella. Es lugar de costumbres y de la práctica social. A menudo está diseñada y construida con materiales locales que se adaptan a las necesidades de la vida en el campo.

El paisaje rural, es decir, aquel en el cual predominan las actividades de explotación agrícola, la vivienda rural aislada y una morfología con predominio de elementos naturales y en menor grado antrópicos, es un sistema abierto y por tanto bastante dinámico, en el cual las transformaciones están determinadas por las interacciones entre los factores abióticos, bióticos y antrópicos. (Silva, 2006, p.93).

Esto se refiere a cómo la vivienda rural se ve afectada por factores naturales y humanos en un sistema dinámico donde los cambios surgen de la interacción entre el clima, la vegetación, la fauna y la actividad humana. Los flujos de energía relacionados con estos factores varían con el tiempo y establecen patrones espaciales que permiten comprender la evolución del paisaje rural y de la misma vivienda.

2.4.2 Vivienda digna

La noción de vivienda digna se relaciona con el cumplimiento de las necesidades fundamentales del ser humano, como la privacidad e intimidad, así como el suministro de un equipamiento básico, en otras palabras, una vivienda sería considerada adecuada o digna si se adapta al entorno físico, social, cultural e histórico en el que se encuentra.

El derecho a la vivienda digna está reconocido por el artículo 51 de la Constitución Política de Colombia. Es un derecho de carácter asistencial que requiere de un desarrollo legal previo y que debe ser prestado directamente por la administración o por las entidades asociativas que sean creadas para tal fin. La Corte Constitucional ha establecido que, aunque este derecho no es de carácter fundamental el Estado debe proporcionar las medidas necesarias para proporcionar a los colombianos una vivienda bajo unas condiciones de igualdad, y unos parámetros legales específicos. Debido a que no constituye un derecho fundamental sólo goza de amparo constitucional dado el caso en que su vulneración o desconocimiento pueda acarrear la violación de la dignidad humana del hombre (Olano, 2006, p.106)

2.4.3 Termodinámica

Valencia, (2007) señalan que “La termodinámica es una parte de la fisicoquímica que se encarga del estudio del calor y su relación con las otras formas de energía” (p.2.). Por tanto, resulta importante analizar el confort térmico de una vivienda teniendo en cuenta el contexto, el entorno en donde se encuentra localizado y la relación del interior de la vivienda con el exterior, con el fin de obtener resultados que permitan realizar una propuesta que cumpla con las características necesarias que debe tener la vivienda respecto a los materiales y diseño con el fin de obtener un nivel de confort térmico.

También se entiende a la luz de los aportes de Beléndez Vázquez, Augusto (2017), la Termodinámica como una disciplina que se dedica a la investigación de los fenómenos físicos a gran escala, específicamente aquellos vinculados a los conceptos de calor y temperatura y como ésta crea intercambios de calor.

2.4.4 Materiales

Los expertos en arquitectura exploran la composición física y química de cada material con el objetivo de comprender las limitaciones intrínsecas de cada uno. Este conocimiento orienta su labor de diseño, asegurando que se ajuste adecuadamente a las restricciones de cada material. Además, las propiedades naturales de los materiales sugieren diversas posibilidades y aplicaciones potenciales, lo que facilita la adaptación del diseño según estas características específicas.

Es fundamental resaltar que los materiales de construcción pueden influir en la configuración del diseño arquitectónico, además en la elección y uso de los materiales de manera mutua. Múltiples factores como el tipo de construcción, las condiciones climáticas, el entorno circundante y la función particular del proyecto, contribuyen a la singularidad de cada caso por lo que se requieren consideraciones específicas a lo largo del proceso de diseño.

2.4.5 Confort térmico

En la norma ISO 7730 se define el confort térmico como "una condición mental en la que se expresa la satisfacción con el ambiente térmico" (AEONOR, 2006).

Asimismo, el confort térmico según Moyano (2012), busca establecer criterios que permitan evaluar las condiciones micro climáticas de un lugar y determinar si son apropiadas para el bienestar humano en términos de temperatura. Para lograr esto, se requiere considerar diversos factores y parámetros relacionados con el confort. Estos pueden ser la temperatura del aire, la radiación, humedad y velocidad del viento.

Teniendo en cuenta lo anterior, se podría resumir este concepto con una frase de Baruch Givoni "el confort es ausencia de irritación o malestar térmico".

2.4.6 *Perdida de energía*

Según Serra Florensa, et ál (2001) El ser humano, al igual que otros animales de sangre caliente, mantiene interacciones energéticas con su entorno para mantener condiciones internas estables. Esto implica sofisticaciones en la estructura corporal, como los mecanismos homeostáticos, que regulan la relación entre el interior y el exterior del cuerpo. Estos mecanismos responden a estímulos ambientales como el clima, la luz, el sonido y factores psicológicos, funcionando de manera retroactiva.

Propiamente, sólo se debería considerar como propagación de calor la conducción, que se da cuando la energía calorífica (o sea el grado de agitación molecular), se propaga de molécula a molécula en un cuerpo. La velocidad de propagación es variable según la conductibilidad calorífica del material, pero, en el caso de materiales utilizados en la construcción, acostumbra a ser del orden de cm/h, o sea, muy lenta comparada con las otras formas de propagación de la energía (p.44)

Tiene que ver con la variación de energía en el organismo humano, en otras palabras, la pérdida o ganancia de energía. Es el resultado de la actividad metabólica y la regulación térmica fisiológica en reacción a las condiciones climáticas externas, está influenciada por las características de los espacios que habitamos, (Barranco, 2015)

2.4.7 *Temperatura radiante*

La temperatura media radiante (°C) es una representación numérica de cómo los seres humanos experimentan la radiación. La temperatura radiante media (MRT) se basa en el principio de que el intercambio neto de energía radiante entre objetos es aproximadamente proporcional a su diferencia de temperatura multiplicada por su capacidad de emitir y

absorber calor (emisividad). En este contexto, el MRT se aplica a una persona en un entorno exterior y es una función de la radiación térmica y solar directa, difusa y reflejada que experimenta. (Índices de coma térmico- Temperatura radiante media, 1979-2020, párr. 1)

En pocas palabras la MRT es la temperatura promedio que una persona siente en un entorno exterior influenciada por diversos tipos de radiación térmica y solar. También, se define como la temperatura uniforme de un cuerpo con la cual una persona intercambiaría la misma cantidad de calor que con su entorno actual. Su cálculo se basa en la temperatura del aire, la temperatura seca del aire y la velocidad del aire.

Así mismo la temperatura radiante hace referencia a la relación de intercambio de calor entre el cuerpo humano y los paramentos que lo rodean, planos verticales, superiores e inferiores. Uno de los puntos importantes con relación al confort y la temperatura radiante es la asimetría de los planos, la cual describe la diferencia de temperatura entre dos planos; superior e inferior, derecha o izquierda, etc. (Hidalgo, et ál., 2015, p.64)

2.4.8 Temperatura operativa

“Más que una temperatura es un índice de confort. Para no profundizar demasiado, diremos que su valor viene a ser la media aritmética de la temperatura del aire y la temperatura media de radiación.” (Avelar, 2015, p.24).

Siguiendo al Ministerio de salud pública de Chile la temperatura operativa es una combinación ponderada de la temperatura radiante media y la seca del aire, considerando que ambas influyen en la temperatura del ambiente mediante sus respectivos coeficientes de transferencia de calor radiante y convectivo.

“La temperatura uniforme de un recinto negro imaginario en el que un ocupante intercambiaría la misma cantidad total de energía por radiación y convección en el ambiente, que en el local real no uniforme”. (Ficha técnica FT- 4. Confort térmico número 99/2007, p.5)

2.5 Marco legal

Para la investigación se considerará un marco normativo que permita considerar diferentes aspectos como especificaciones técnicas.

Tabla 4. Marco legal

Ley o Norma	Artículo Capítulo	Contenido
Norma ISO	7730	Criterios para confort térmico en espacios interiores. La norma europea ISO 7730 es un estándar internacional que establece los criterios para evaluar el confort térmico en espacios interiores. Tiene el objetivo de proporcionar condiciones térmicas adecuadas para el bienestar y la productividad de las personas.
Norma ISO	13731	Ergonomía del ambiente térmico. Vocabulario y símbolos.
Norma ISO/TS	13732-2	Ergonomía del ambiente térmico. Métodos para la evaluación de las respuestas humanas al contacto con superficies. Parte 2: Contacto humano con superficies a temperatura moderada.
Norma ISO/TS	14415:2005	Ergonomía del ambiente térmico. Aplicación de normas internacionales a personas con requisitos especiales.
Norma NSR10	Título K	Refiere a las disposiciones específicas para el diseño y construcción de estructuras de vivienda. El título K de la NSR-10 establece criterios sísmicos para asegurar la resistencia y estabilidad de las edificaciones residenciales en zonas sísmicas.
Decreto	Número 00822	Mejoramiento de vivienda y saneamiento básico.
EOT Tona	Berlín	Esquema de Ordenamiento Territorial del año 2002, es un instrumento de planificación que establece las directrices y normas para el uso y ocupación del suelo en Tona.
Plan de manejo DMI Berlín 2008		

Ley o Norma	Artículo Capítulo	Contenido
Directrices de la OMS sobre vivienda y salud		Proporcionan recomendaciones basadas en la evidencia para establecer unas condiciones de vivienda saludables y llevar a cabo intervenciones en este sentido.

- *Norma ISO 7730*

Es una norma internacional que presenta métodos para la predicción de la sensación térmica general y del grado de incomodidad (insatisfacción térmica) de las personas expuestas a ambientes térmicos moderados. Facilita la determinación analítica e interpretación del bienestar térmico calculando los Índices PMV (voto medio estimado) y PMD (porcentaje estimado de insatisfechos) y los criterios de bienestar térmico local, indicando las condiciones ambientales aceptables para el bienestar térmico general, y las que generan malestar local.

- *Norma ISO 13731*

Ergonomía del ambiente térmico vocabulario y símbolos, esta establece el vocabulario y los símbolos estándar para las magnitudes utilizadas en normas internacionales relacionadas con la ergonomía del ambiente térmico. Su objetivo es proporcionar un marco de referencia coherente y uniforme para la redacción de futuras normas y publicaciones en este campo, facilitando así la comunicación efectiva y la aplicación práctica de los principios ergonómicos en entornos térmicos.

- *Norma ISO/TS 13732-2*

Ergonomía del ambiente térmico. Métodos para la evaluación de las respuestas humanas al contacto con superficies. Parte 2: Contacto humano con superficies a temperatura moderada, proporciona directrices para comprender y medir las respuestas fisiológicas y perceptuales de las personas al tocar superficies cuya temperatura está dentro de un rango moderado. Esto es crucial

para el diseño de entornos y productos que sean seguros y cómodos para los usuarios, teniendo en cuenta factores térmicos que pueden influir en la experiencia y el rendimiento humano.

- *Norma ISO/TS 14415-2005*

Ergonomía del ambiente térmico. Aplicación de normas internacionales a personas con requisitos especiales, se centra en garantizar que las normas internacionales sobre ergonomía del ambiente térmico tomen en cuenta las necesidades de personas con condiciones especiales, como discapacidades físicas o edad avanzada, para asegurar entornos térmicos seguros, cómodos y accesibles para todos, promoviendo la inclusión y la equidad en el diseño y aplicación de estándares ergonómicos.

- *Norma NSR10 Título K*

"Definir parámetros y especificaciones arquitectónicas y constructivas tendientes a la seguridad y la preservación de la vida de los ocupantes y usuarios de las distintas edificaciones cubiertas por el alcance del presente Reglamento." (Duque, C. J., y Mendez, J. P. 2018).

Establece las reglamentaciones para el diseño y construcción de edificaciones en el país, considerando la resistencia sísmica. El Título K de la NSR-10 está específicamente dedicado a las disposiciones para el diseño y construcción de estructuras de vivienda.

Especifica los requisitos mínimos para el diseño estructural de viviendas, incluyendo aspectos como cimentación, muros, entresijos y techos.

El Decreto Número 00 822 "reúne el conjunto de acciones integrales que permiten al hogar postulado al Subsidio Familiar de Vivienda de Interés Social y Prioritario Rural mejorar las condiciones de su hábitat rural, en específico en lo relacionado con la salud habitacional, condiciones estructurales y entorno de la vivienda rural"

- *Esquema de ordenamiento territorial tona 2002*

Su objetivo principal es orientar el desarrollo sostenible del municipio de Tona, municipio o área específica, considerando aspectos económicos, sociales, ambientales y culturales. En este se podrá apreciar puntos como la zonificación del Suelo Rural y estrategias Territoriales Rurales.

- *Plan de manejo DMI Berlín 2008*

Examina y valoriza las condiciones presentes en términos físicos, bióticos y socioeconómicos del Páramo de Berlín, sugiriendo líneas estratégicas, programas y proyectos necesarios para su regulación y gestión sostenible. Esto implica considerar la zonificación ambiental y la normativa de uso del suelo definida en su declaración, y requiere la colaboración coordinada de las Corporaciones Autónomas Regionales (Cdmb-Corponor).

- *Directrices de la OMS sobre vivienda y salud*

Se presenta el enfoque de la OMS para una vivienda saludable, se trazan los principales riesgos para la salud asociados con el entorno de la vivienda y se evalúa la carga de enfermedad asociada a esta. se introducen los objetivos, fundamentos, público destinatario, alcance y beneficios de las directrices, así como la relación entre los determinantes sociales de la salud y la vivienda.

3. Método

Para cumplir con los objetivos propuestos se abordan los siguientes pasos metodológicos que orientaran el desarrollo de la investigación:

La *fase inicial* de la presente investigación exploratoria implica la delimitación geográfica de la zona de investigación que será en el municipio de Tona, de la provincia de Soto Norte, en el corregimiento de Berlín. El objetivo fundamental de esta etapa es determinar el ámbito poblacional sujeto a intervención. Se optó en este contexto por viviendas aisladas. Para este proceso se

considerarán el número de viviendas rurales en Berlín, específicamente las presentes en la zona de recuperación para la producción, según lo establecido en el EOT (Esquema de Ordenamiento Territorial del municipio de Tona, año 2002), el CDMB (Plan integral de manejo integrado de los recursos naturales del páramo de Berlín, año 2006), y datos del DANE, estos elementos facilitarán la determinación de los límites geográficos y las características específicas del área de estudio, permitiendo así la posterior selección de la cantidad de viviendas que serán objeto de análisis. Seguidamente se realizará una caracterización del clima por medio de una base de datos actualizados del IDEAM y cartografía de Tona. De igual forma se tendrán en cuenta factores del clima como latitud, orografía, altitud sobre el nivel del mar y naturaleza sobre la superficie de la tierra; también se tendrán en cuenta los elementos climáticos como la radiación solar, temperatura del aire, vientos, humedad atmosférica, condensación y precipitación.

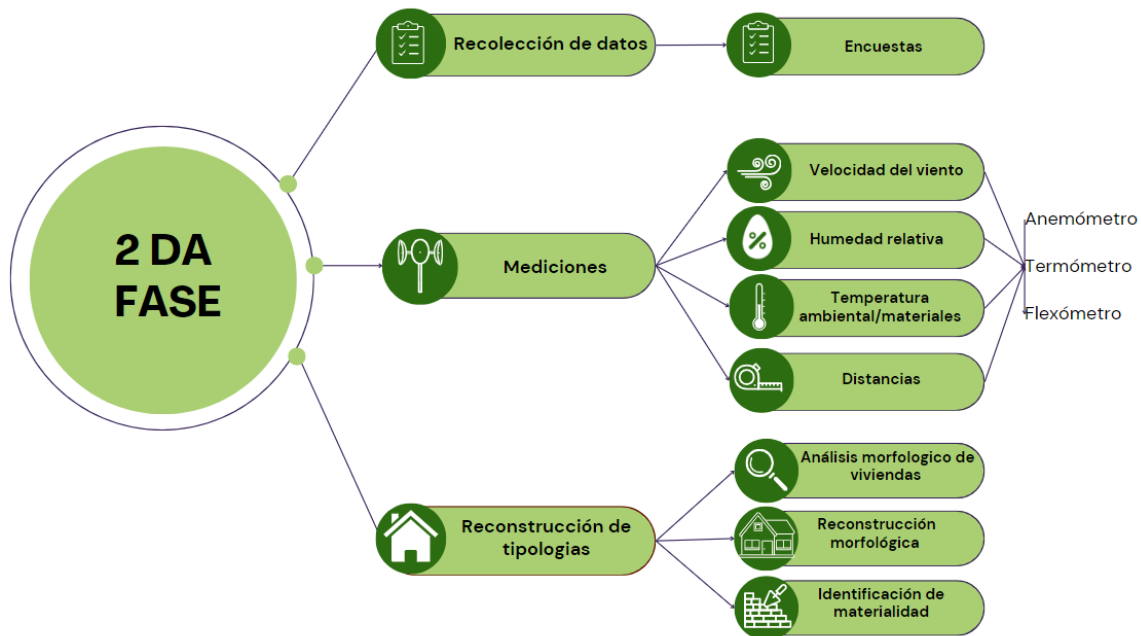
Figura 5. Estructura metodológica fase 1



En la *segunda fase* se realizará un ejercicio de toma de muestras en sitio, complementado a través de encuestas para analizar la percepción de confort térmico. Las encuestas estarán elaboradas según los estándares establecidos por la normativa ISO 7730, lo cual nos permitirá

establecer criterios en relación con la percepción de bienestar térmico en entornos interiores. En este sentido, se tomará en consideración el Valor Medio de los Votos (PMV) que proporciona una estimación de la sensación térmica, así como el Porcentaje Previsto de Insatisfechos (PPD) que ofrecerá información acerca de los niveles de incomodidad percibidos.

Simultáneamente, mediante el uso de sensores, tales como anemómetros, flexómetros y termómetros láser para superficies, se registrarán datos como distancias, la temperatura de los materiales, las variables de velocidad del viento, la temperatura del aire y la humedad relativa, de acuerdo con las directrices establecidas en el "Manual para el control de calidad de los datos meteorológicos en la evaluación, captura y verificación". Este manual permitirá establecer procedimientos y criterios con el objetivo de garantizar la calidad de los datos meteorológicos a lo largo de todas las etapas del proceso y la verificación de la información. A partir de los datos obtenidos se realizará la reconstrucción de las tipologías de vivienda arquitectónica abordando aspectos significativos como la configuración espacial, la funcionalidad de los espacios, las dimensiones, las capacidades de ocupación, así como los posibles usos de dichos espacios, además, se considerarán detenidamente los materiales utilizados.

Figura 6. Estructura metodológica fase 2

Para llevar a cabo el desarrollo de la *tercera fase* de la investigación, se empleará el programa DesignBuilder, el cual será fundamental para realizar las simulaciones correspondientes en las viviendas tipo seleccionadas. Esta etapa del proceso requerirá una cuidadosa configuración de diversos aspectos clave dentro del programa, con el objetivo de obtener resultados precisos y útiles para el análisis. En esta etapa se realizará el levantamiento de las respectivas tipologías a las cuales se procederá a configurar las propiedades térmicas de los materiales de construcción, tales como muros, techos, pisos, puertas y ventanas. Cada uno de estos elementos tiene un impacto significativo en la capacidad de la vivienda para retener o perder calor, por lo que es fundamental establecer correctamente su conductividad térmica, capacidad calorífica y resistencia térmica dentro del programa. Otro aspecto crucial para tener en cuenta serán las filtraciones de aire previamente identificadas. Estas fugas de aire pueden afectar considerablemente la eficiencia energética y el confort térmico de la vivienda, por lo que deben ser incorporadas en el modelo para

reflejar con mayor precisión la realidad. Asimismo, se considerará el "arropamiento" de las personas, es decir, el nivel de vestimenta y su capacidad para mantenerse abrigadas, así como las actividades diarias que llevan a cabo los ocupantes y los horarios. Estos factores son determinantes para calcular correctamente las cargas térmicas internas y prever el impacto en el confort de los residentes. Todos estos datos se ingresarán al programa con el propósito de que las simulaciones reflejen de la manera más fiel posible las condiciones reales de las viviendas.

Figura 7. Estructura metodológica fase 3



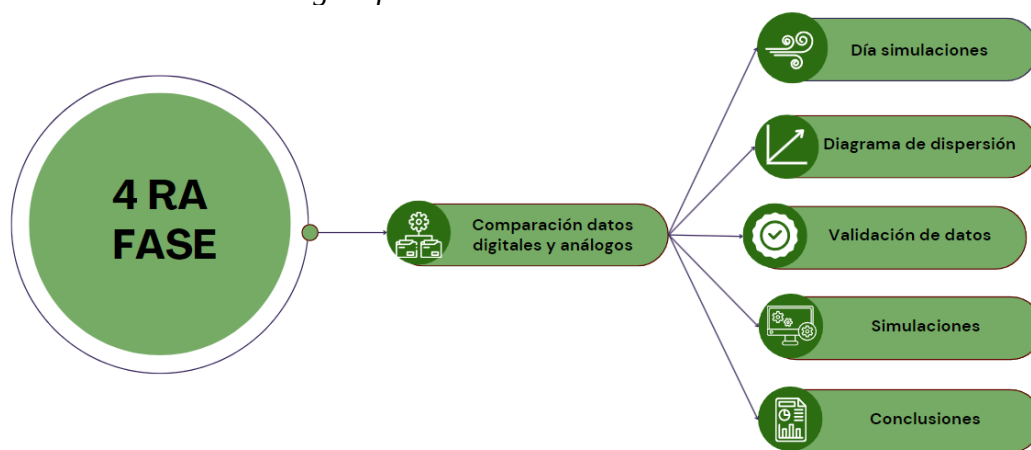
La *cuarta fase* de la investigación se enfoca en el proceso de validación entre la información recolectada en el sitio de estudio y los resultados arrojados por las simulaciones realizadas en la fase previa. En primer lugar, será esencial definir de manera adecuada las condiciones climáticas en el software DesignBuilder, asegurándose de que los datos utilizados representen con exactitud las características del entorno en el que se encuentran las viviendas. Este análisis permitirá identificar el día cuya variabilidad térmica se asemeje a las condiciones reales del sitio.

Asimismo, se realizará un análisis comparativo que consistirá en la evaluación cuantitativa de los datos obtenidos in situ, referentes a la temperatura superficial interna de los elementos

constructivos (paredes, cubiertas y pisos), en contraste con los resultados de simulación generados por el software, bajo los parámetros previamente definidos. Esta evaluación se llevará a cabo mediante la construcción de diagramas de dispersión, que permitirán determinar el grado de correlación estadística entre los conjuntos de datos, así como identificar posibles tendencias lineales o no lineales. El objetivo final es establecer la validez y precisión de las simulaciones frente a los datos empíricos, verificando si el modelo empleado es capaz de replicar las condiciones térmicas observadas en las edificaciones analizadas, lo cual permitirá evaluar la fiabilidad del modelo utilizado.

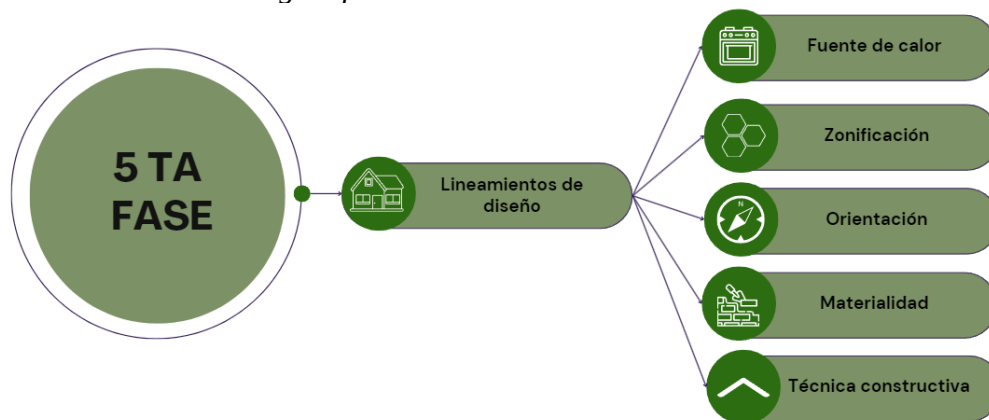
Además, se desarrollarán simulaciones complementarias que incorporan variaciones en la configuración de los materiales y en la orientación de las edificaciones, en función de los datos obtenidos in situ. Esto permitirá estudiar el comportamiento térmico de las distintas tipologías constructivas, evaluando sus dinámicas de pérdida y ganancia de energía. El análisis resultante facilitará la identificación de problemas térmicos, a partir de los cuales se derivarán los lineamientos a proponer.

Figura 8. Estructura metodológica fase 4



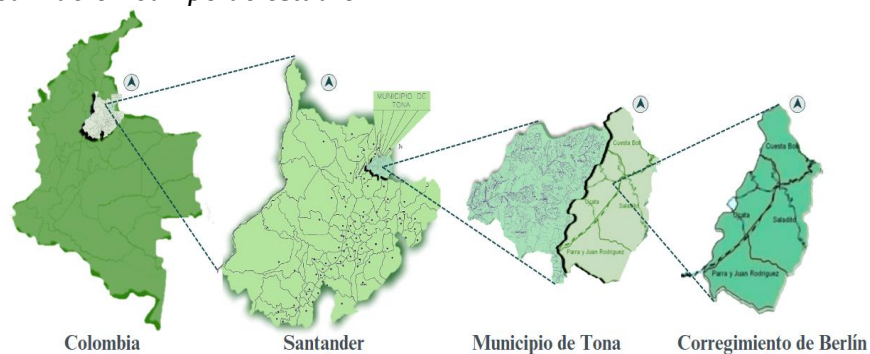
Para el desarrollo de la *quinta y última fase* de la investigación, se llevará a cabo la formulación de lineamientos de diseño orientados a optimizar las condiciones identificadas en las simulaciones previas. El propósito de estos lineamientos será mejorar el rendimiento térmico, energético y funcional de las viviendas estudiadas, corrigiendo las deficiencias detectadas en las fases anteriores y proponiendo soluciones arquitectónicas más eficientes. Además, se prestará especial atención a las características de los materiales de construcción y la configuración espacial de las viviendas, con el fin de maximizar el confort térmico para los ocupantes.

Figura 9. Estructura metodológica fase 5



4. Campo de estudio

Figura 10. Localización campo de estudio



El campo de estudio se encuentra localizado en Colombia Santander, en el municipio de Tona, paramo de Berlín, el cual cuenta con 4 veredas entre las que encontramos, Cuesta Boba, Ucata, Saladito y Parra y Juan Rodríguez, cuenta con una latitud de 7,18°. Así mismo, según el Plan de manejo DMI de Berlín (2008), menciona que:

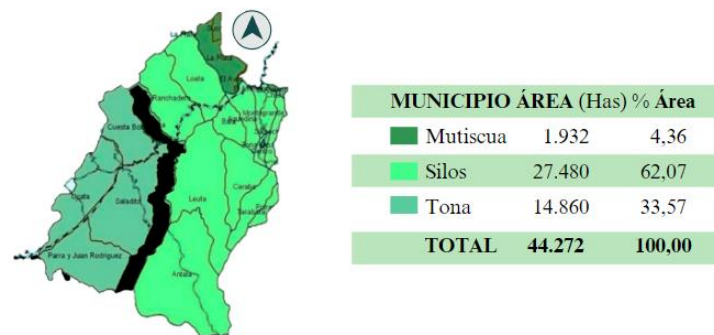
Se encuentra entre las coordenadas planas 1.123.540 m – 1.148.473 m Este y 1.269.000 m – 1.301.000 m Norte. Dista de Bucaramanga 48 Km al sitio denominado El Picacho, siguiendo sobre la vía Nacional Bucaramanga – Pamplona - Cúcuta, vía que durante 39 km atraviesa el área de interés hasta el sitio denominado La Laguna en el Km 87. Las autoridades ambientales competentes para el área son la CDMB y CORPONOR. (p.14).

4.1 Delimitación área de intervención

En la ejecución de la fase inicial, se procedió a establecer los límites de la zona de estudio. En este contexto, es esencial definir los límites geográficos y las características específicas de la zona en cuestión; en este escenario específico, la investigación exploratoria se centra en examinar las "viviendas rurales productivas agrícolas aisladas". Según las directrices del Plan de manejo DMI Berlín (2008), se destaca que:

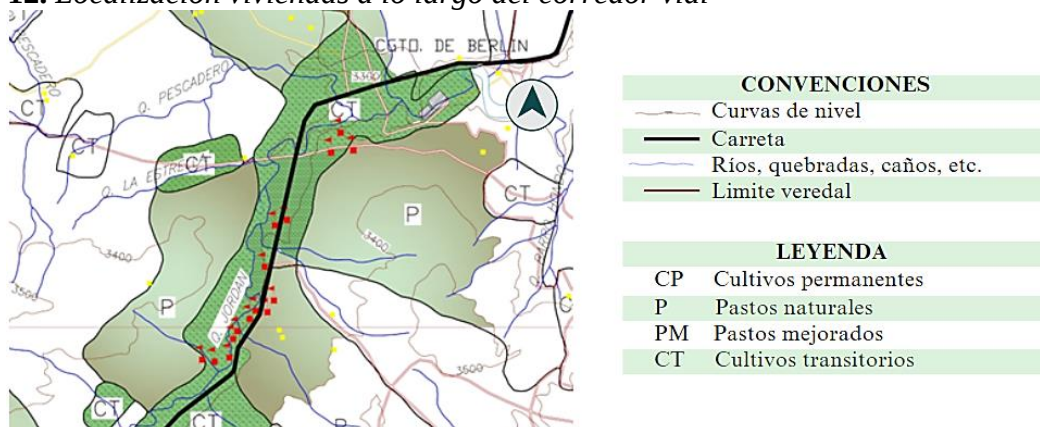
En total el área del páramo de Berlín se destinan los suelos aptos para el uso agrícola en 1.716 hectáreas entre cebolla (610 has) y papa (870 has), hortalizas (178 has) y frutales (236 has), para un total de 2.130 hectáreas.

Así mismo, se menciona que: “Las actividades de producción agrícola se observan a lo largo del corredor vial, en las veredas de Berlín. (p.17)

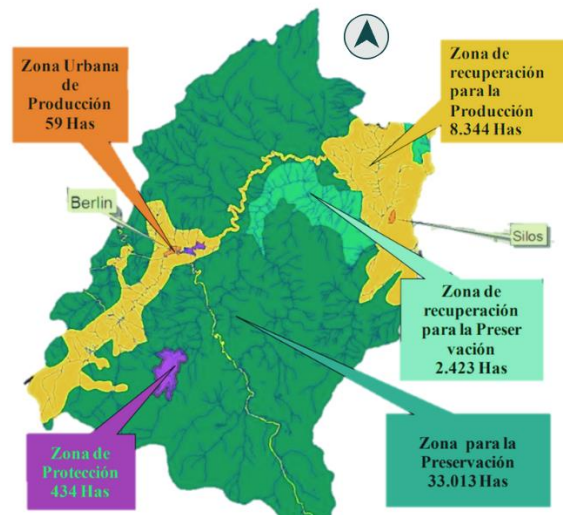
Figura 11. Imagen de división política administrativa

Adaptado del plan de manejo DMI de Berlín (2008)

Ahora bien, según esto las viviendas destinadas a estas labores agrícolas están en su mayoría por la vía Bucaramanga-Cúcuta; a partir de lo señalado en la figura 5 del DMI de Berlín se resalta un sector definido como Zona de recuperación para la producción con 8.344 Has, por otro lado, según la cartografía de Tona del 2002, se observa que los usos de tierra se clasifican en pastos naturales (P), vegetación paramo (VP) y cultivos transitorios (CT) siendo estos últimos los ubicados principalmente adyacentes a la vía, ya que casi todas las viviendas agrícolas destinadas a la producción se localizan a lo largo de esta.

Figura 12. Localización viviendas a lo largo del corredor vial

Adaptado de cartografía de Tona, (2002)

Figura 13. Zonificación ambiental del DMI paramo de Berlín

Adaptado del DMI Berlín, (2008)

Por otro lado, la zona de recuperación para la producción es según CORPONOR:

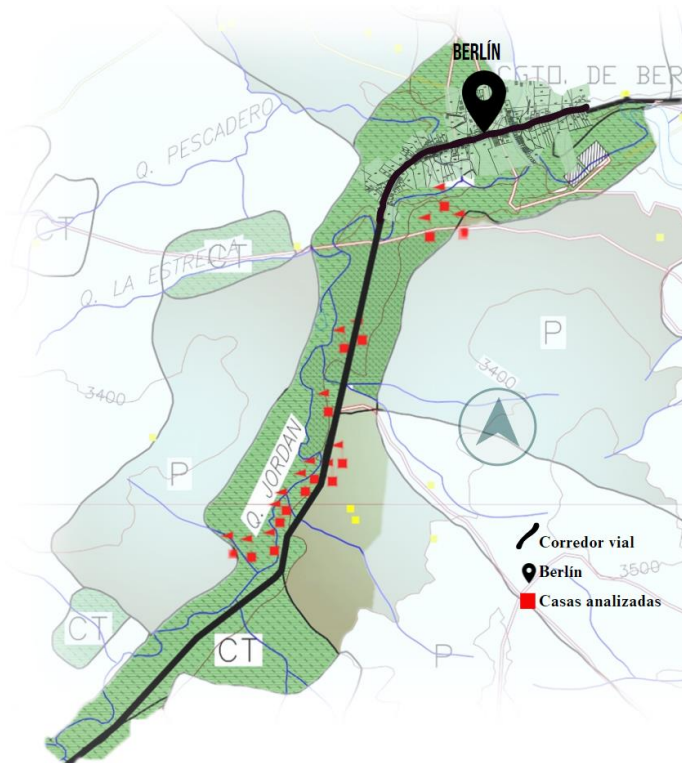
áreas conformadas por terrenos de topografía ondulada y abrupta; con condiciones y características físico-bióticas adecuadas, suelos de baja fertilidad. Estas áreas pueden ser explotadas de manera leve, sin causar cambios significativos en el entorno natural, para la producción de productos agropecuarios destinados a satisfacer la demanda alimentaria de los mercados regionales (p.20)

Evidenciando que es importante mantener estos espacios para la generación de bienes alimenticios que requiere la población asentada en la zona y para la exportación a municipios cercanos, esta zona de recuperación cuenta con un sector en las reservas agrícolas de Silos, enfocándonos en nuestro campo de estudio, se redujo la zona señalada al sector que se encuentra solo dentro de Tona-Berlín.

4.2 Ubicación viviendas

A partir de lo expuesto anteriormente, se superpuso la zona señalada como recuperación para la producción sobre la cartografía de Tona, para establecer los límites del área de estudio, donde se observó que la zona delimitada tiene un aproximado de 80 casas (100%), de las cuales se pretende estudiar el 18,75 %, es decir, 15 casas.

Figura 14. *Ubicación viviendas analizadas*



Adaptado de cartografías de Tona, (2002).

4.3 Población

Según el censo general del Tona (2005) realizado por el DANE, el municipio de Tona tenía una población total de 6.680 habitantes, de los cuales el 53,3% eran hombres y el 46,7% mujeres. Además, se estimó que para el año 2016 la población total del municipio alcanzaría los 7.208 habitantes, según la proyección de población para ese año.

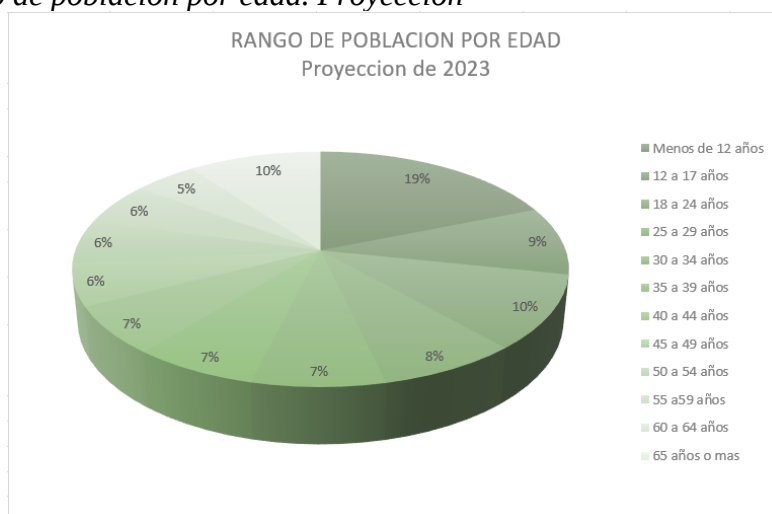
En cuanto al DMI de Berlín, en lo que respecta al tamaño y la distribución de la población, “se estima que el área del Páramo de Berlín que abarca los municipios de Tona, Silos y Mutiscua, tiene una población total de 8.920 habitantes. Dentro de esta área, Berlín se destaca como el centro poblado con mayor densidad, con 71,4 habitantes por hectárea.” (p13)

4.3.1 Rangos de edad

Tabla 5. *Rango de población por edad y sexo. Proyección 2023*

Rango de población por edad y sexo Proyección para 2023			
Edades	Mujeres	Hombres	Total
Menos de 12 años	679	758	1,437
12 a 17 años	359	352	711
18 a 24 años	375	398	773
25 a 29 años	267	335	602
30 a 34 años	258	311	569
35 a 39 años	250	282	532
40 a 44 años	236	268	504
45 a 49 años	216	230	446
50 a 54 años	210	240	450
55 a 59 años	192	249	441
60 a 64 años	161	202	363
65 años o mas	358	416	774
TOTAL	3,561	4,041	7,602

Adaptado de Telencuestas, (s.f.)

Figura 15. *Rango de población por edad. Proyección*

Adaptado de Telencuestas, (s.f.)

Considerando la tabla y el gráfico anteriores, se puede observar que los dos rangos de edad más grandes en la población de Tona son:

- Niños menores de 12 años: Este grupo está compuesto por 1,437 niños, de los cuales 679 son niñas (47.3%) y 758 son niños (52.7%), representando así el 18.9% de la población total de Tona.
- Adultos mayores: Este grupo incluye a 1,137 adultos mayores, de los cuales 519 son mujeres (45.6%) y 618 son hombres (54.4%), representando el 15.0% de la población de Tona.

4.4 Caracterización del clima

La caracterización del clima desempeña un papel fundamental en la comprensión de las condiciones atmosféricas de una zona específica, como es el caso de la presente investigación exploratoria centrada en Berlín Santander. En este contexto, se examinó la variabilidad climática en la región, y luego se analizó la cartografía de la zona de estudio, para obtener información sobre

aspectos de la topografía, ya que permite entender como montañas, cuerpos de agua y otros factores influyen en el clima estableciendo una base para la investigación.

4.4.1 Informe meteorológico general

Utilizando datos proporcionados por el IDEAM, se llevará a cabo un análisis que considerará variables como la temperatura media, máxima y mínima, la humedad relativa y la precipitación. El propósito de este proceso es recopilar información con el objetivo de realizar un análisis exhaustivo de los datos obtenidos.

Tabla 6. Datos meteorológicos 1971-2000

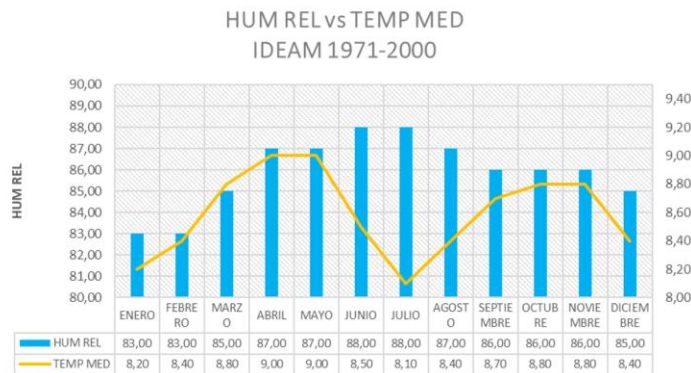
Precipitación (mm)												
Enero	Feb	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Ago.	Sept	Oct	Nov	Dic	Total
60,6	91,2	154,7	230,3	196,8	48	26	60,3	125,7	201,4	189	84,7	1487,6
Número de días con lluvia												
Enero	Feb	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Ago.	Sept	Oct	Nov	Dic	Total
6	8	10	14	13	5	4	7	11	14	12	7	112
Temperatura media(°C)												
Enero	Feb	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Ago.	Sept	Oct	Nov	Dic	Total
8,2	8,4	8,8	9	9	8,5	8,1	8,4	8,7	8,8	8,8	8,4	8,6
Temperatura máxima media(°C)												
Enero	Feb	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Ago.	Sept	Oct	Nov	Dic	Total
14	14,2	14,4	13,9	13,4	12,4	11,8	12,4	13	13,1	13,2	13,5	13,3
Temperatura mínima media(°C)												
Enero	Feb	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Ago.	Sept	Oct	Nov	Dic	Total
1,6	2,6	3,7	5,3	5,7	5,6	5,1	5,1	5,1	5	4,5	2,9	4,4
Humedad relativa												
Enero	Feb	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Ago.	Sept	Oct	Nov	Dic	Total
83	83	85	87	87	88	88	87	86	86	86	85	86

Tomado del IDEAM, (2020)

A partir de la información previa, se destacan las características climáticas predominantes en Tona, evidenciando una temperatura anual promedio que varía entre 4,4 °C y 13,3 °C, una

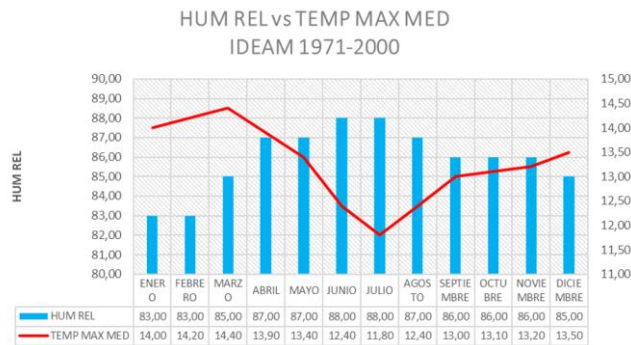
precipitación de 1487,6 mm, una frecuencia anual promedio de 112 días con lluvia y una humedad relativa del 86%.

Figura 15. Grafica de humedad relativa vs temperatura media de Berlín 1971-2000



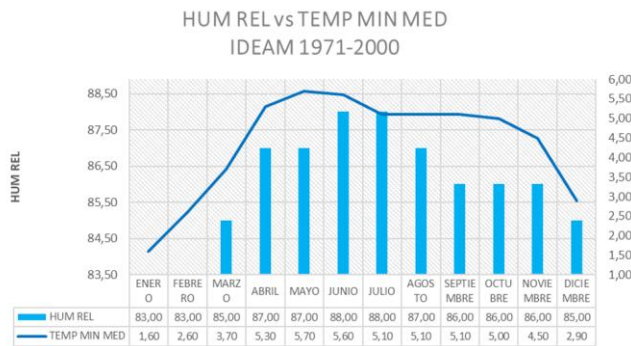
Tomado de datos del IDEAM, (2020).

Figura 16. Grafica de humedad relativa vs temperatura máxima media de Berlín 1971-2000

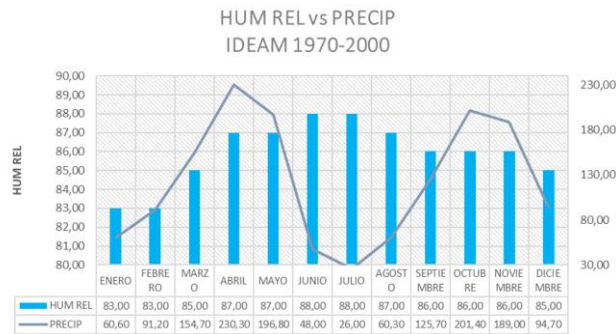


Tomado de datos del IDEAM, (2020).

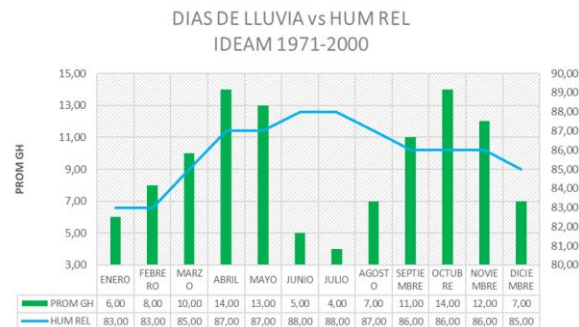
Figura 17. Grafica de humedad relativa vs temperatura mínima media de Berlín 1971-2000



Tomado de datos del IDEAM, (2020).

Figura 18. *Grafica de humedad relativa vs precipitación de Berlín 1970-2000*

Tomado de datos del IDEAM, (2020).

Figura 19. *Grafica de días de lluvia vs humedad relativa de Berlín 1971-2000*

Tomado de datos del IDEAM, (2020).

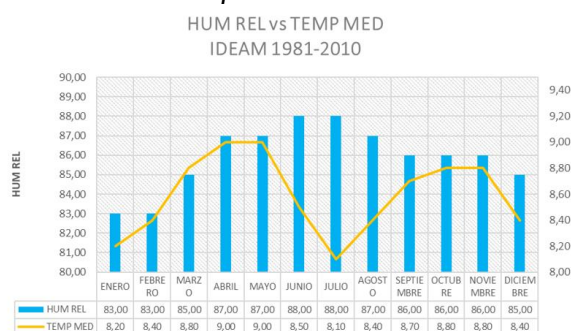
Las gráficas revelan que la temperatura media alcanza su punto más alto en abril y mayo, mientras que su punto más bajo se registra en julio. Respecto a las temperaturas mínimas y máximas, se observa una variación significativa a lo largo del año. Las temperaturas máximas muestran un contraste con niveles más bajos de humedad al principio del año, mientras que esta relación se invierte en los meses siguientes, con un aumento de humedad y disminución de temperatura. Por otro lado, las temperaturas mínimas muestran un aumento gradual a lo largo de los meses, con julio presentando una baja temperatura, pero sin cambios significativos en la humedad. Estas tendencias se mantienen constantes hasta diciembre, donde comienzan a descender nuevamente.

Tabla 7. Datos meteorológicos 1981-2010

Precipitación (mm)												
Enero	Feb	Mar	Abril	May	Junio	Julio	Ago.	Sept	Oct	Nov	Dic	Total
201,7	230,2	303,3	341,6	33,1	297,3	0,4	229,1	183,3	197,4	256,3	236,2	254,99
Número de días con lluvia												
Enero	Feb	Mar	Abril	May	Junio	Julio	Ago.	Sept	Oct	Nov	Dic	Total
14	114	17	16	19	19	17	14	14	14	15	15	15,7
Temperatura media(°C)												
Enero	Feb	Mar	Abril	May	Junio	Julio	Ago.	Sept	Oct	Nov	Dic	Total
8,2	8,7	9	9,3	9,2	8,8	8,4	8,7	8,9	9	9	8,7	8,55
Temperatura máxima media(°C)												
Enero	Feb	Mar	Abril	May	Junio	Julio	Ago	Sept	Oct	Nov	Dic	Total
14,5	14,7	14,9	14,3	13,8	12,9	12,3	12,8	13,5	13,5	13,5	13,9	13,7
Temperatura mínima media(°C)												
Enero	Feb	Mar	Abril	May	Junio	Julio	Ago	Sept	Oct	Nov	Dic	Total
1,7	2,6	3,7	5,4	5,9	5,8	5,4	5,4	5,2	5,2	4,6	3,1	4,36
Humedad relativa												
Enero	Feb	Mar	Abril	May	Junio	Julio	Ago	Sept	Oct	Nov	Dic	Total
84	84	85	88	88	89	89	88	87	88	87	86	85,22

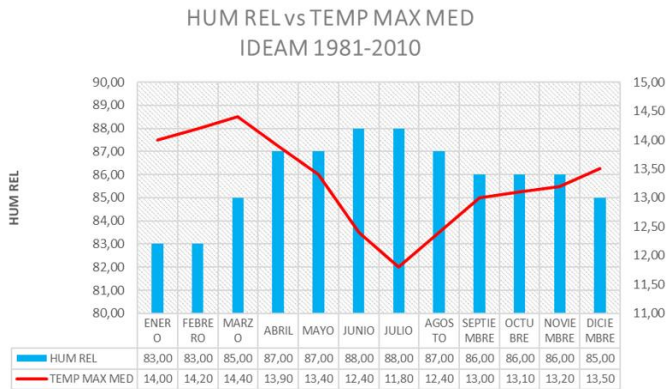
Tomado del IDEAM, (2020).

Basándonos en los datos anteriores, se resaltan las condiciones climáticas principales en Tona, mostrando una temperatura media anual que oscila entre 4,36 °C y 13,7 °C, una precipitación de 254,9 mm, aproximadamente 15,7 días de lluvia al año y una humedad relativa del 85,22%.

Figura 20. Grafica de humedad relativa vs temperatura media de Berlín 1981-2010

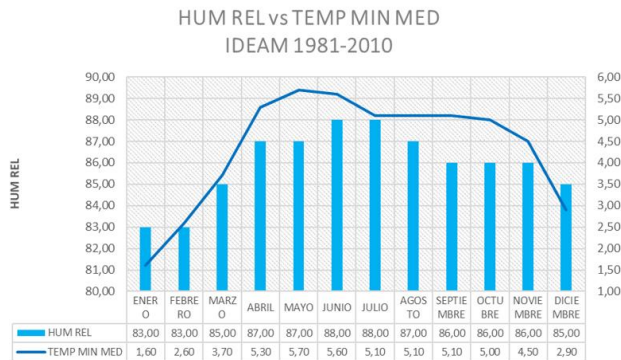
Tomado de datos del IDEAM, (2020).

Figura 21. Grafica de humedad relativa vs temperatura máxima media de Berlín 1981-2010



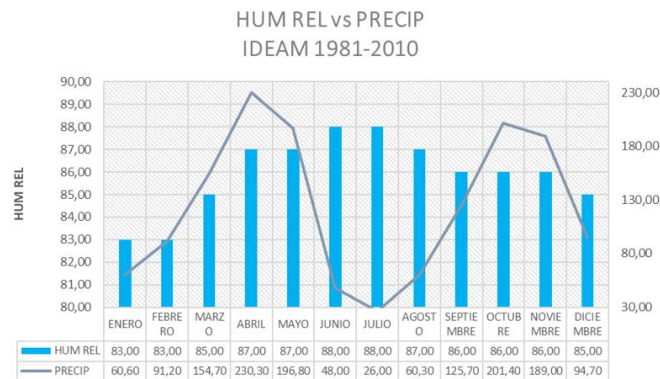
Tomado de datos del IDEAM, (2020).

Figura 22. Grafica de humedad relativa vs temperatura mínima media de Berlín 1981-2010

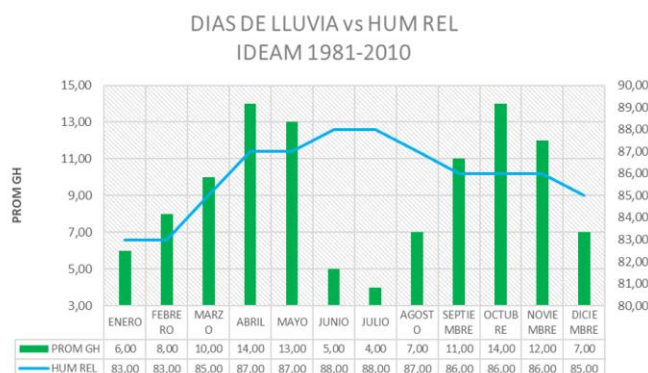


Tomado de datos del IDEAM, (2020).

Figura 23. Grafica de humedad relativa vs precipitación de Berlín 1981-2010



Tomado de datos del IDEAM, (2020).

Figura 24. Grafica de días de lluvia vs humedad relativa de Berlín 1981-2010

Tomado de datos del IDEAM, (2020).

Tabla 8. Datos meteorológicos 1991-2020

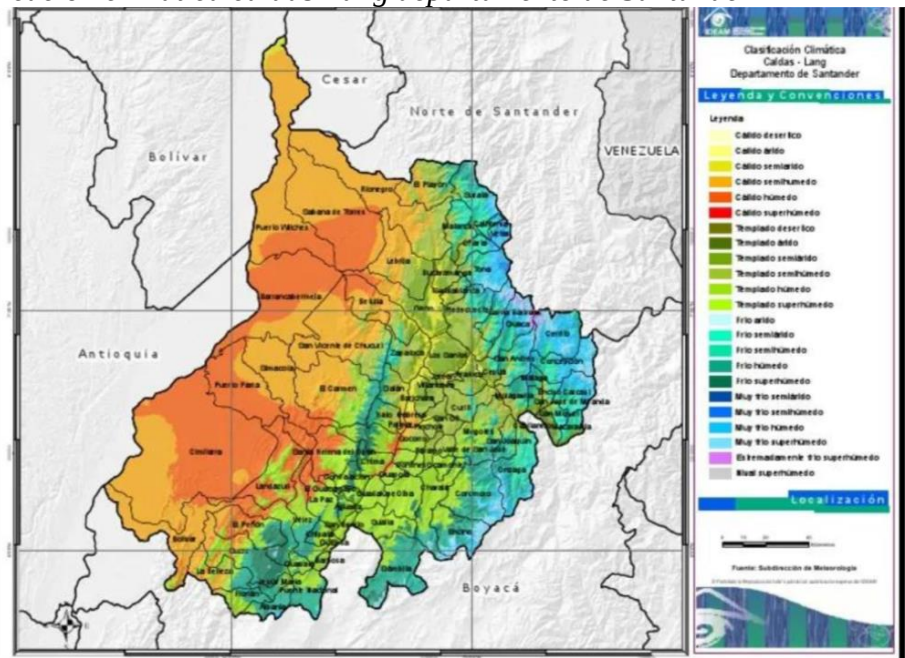
Precipitación (mm)												
Enero	Feb	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Ago	Sept	Oct	Nov	Dic	Total
14,2	227	43,3	78,6	82,6	67,0	55,1	69	87,8	94,5	61,4	15,9	692,1
Número de días con lluvia												
Enero	Feb	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Ago	Sept	Oct	Nov	Dic	Total
3,7	4,3	7,7	11,3	11,7	12,9	13,5	11,8	11,8	13,1	9,2	3,9	114,9
Temperatura media(°C)												
Enero	Feb	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Ago	Sept	Oct	Nov	Dic	Total
8,4	8,8	9,1	9,4	9,4	8,9	8,5	8,9	9,1	9,2	9,1	8,6	9,1
Temperatura máxima media(°C)												
Enero	Feb	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Ago	Sept	Oct	Nov	Dic	Total
14,5	14,9	14,9	14,4	14,4	12,9	12,5	13,2	13,7	13,8	13,8	13,9	13,9
Temperatura mínima media(°C)												
Enero	Feb	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Ago	Sept	Oct	Nov	Dic	Total
1,8	2,6	4,1	5,7	6,2	5,9	5,6	5,5	5,3	5,4	4,7	3,2	4,7

Tomado del IDEAM, (2020).

Teniendo en cuenta la información proporcionada en las tablas, se puede deducir que, a lo largo del tiempo, las variables estudiadas han mostrado una tendencia hacia un incremento gradual. No obstante, al analizar las gráficas comparativas, no se percibe una representación significativa de estos cambios, ya que los rangos en las gráficas no son particularmente amplios. Esto sugiere que, aunque las variables están experimentando un aumento progresivo, este cambio puede no ser fácilmente perceptible al observar las gráficas debido a la escala utilizada.

4.3.2 Clasificación climática

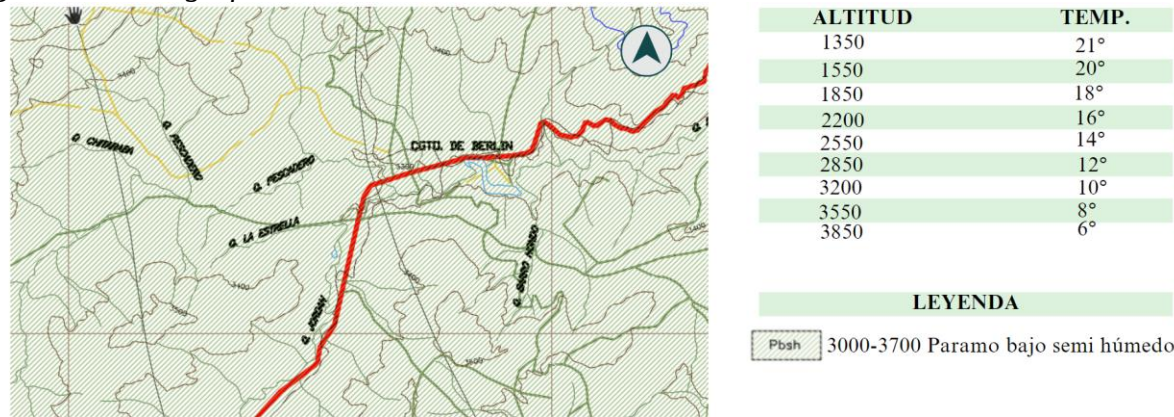
Figura 25. Clasificación climática caldas Lang departamento de Santander



Tomado de datos del IDEAM, (s.f.)

En el grafico podemos observar que el municipio de Tona cuenta con un clima que va desde Templado húmedo hasta muy frio húmedo, sin embargo, el clima que más se ve en la zona es muy frio húmedo.

Figura 26. Cartografía altitud Berlín Santander

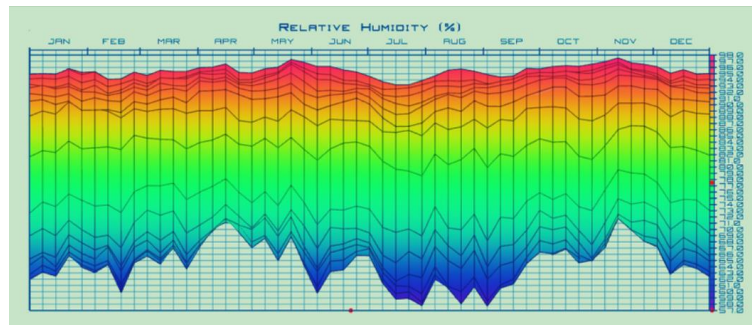


Tomado de cartografías Tona, (2002).

La región de estudio se caracteriza por ser un páramo de clima semi húmedo, siendo estos ecosistemas considerados de gran importancia según el Ministerio de Ambiente, principalmente por su papel crucial en la regulación del ciclo del agua. Este ciclo es esencial para el suministro de agua destinada al consumo humano y para el desarrollo económico de más del 70% de la población en Colombia. Además de su función hidrológica, los páramos destacan por su rica biodiversidad y su relevancia sociocultural. En cuanto a las condiciones específicas en Berlín, la temperatura oscila entre los 11°C y 7°C, y la altitud se sitúa entre los 3000 y 3700 metros sobre el nivel del mar, según la cartografía de Tona 2002.

4.4.3 Humedad y precipitación

Figura 27. Humedad relativa

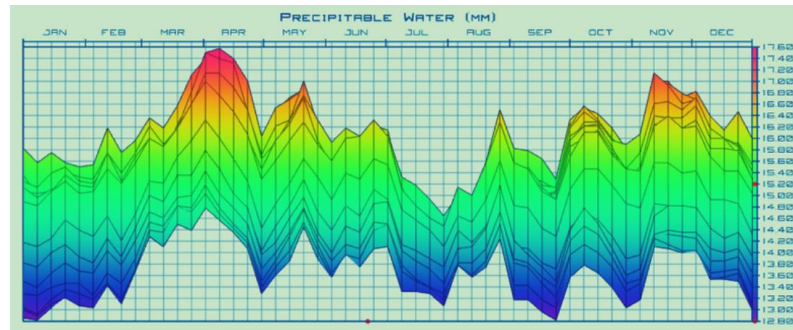


Tomado de Andrewmarsh, (s.f.)

El promedio de humedad se sitúa en el 78%, lo que evidencia niveles consistentemente altos a lo largo del año. Se destaca un pico máximo en mayo y noviembre, cuando la humedad alcanza el 97,0%, debido a la influencia de fenómenos climáticos estacionales como lluvias intensas y alta nubosidad. Por el contrario, el pico más bajo se registra en julio, con un 93,0%, aunque este valor sigue siendo considerablemente alto, lo que sugiere que incluso durante los

meses más "secos", la humedad sigue siendo un factor importante a tener en cuenta para cualquier actividad al aire libre o dentro de edificaciones.

Figura 28. *Precipitaciones*

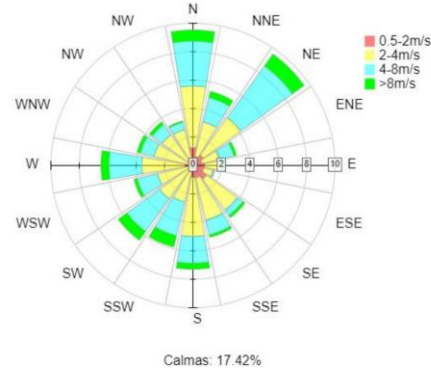


Tomado de Andrewmarsh, (s.f.)

Según la gráfica, se observa que las precipitaciones promedio son de 15,20 mm, lo que indica una moderada cantidad de lluvias distribuidas a lo largo del año. El pico más alto se registra en abril, con 17,60 mm, coincidiendo generalmente con la temporada de lluvias más intensas debido a factores como el aumento de la actividad atmosférica y la formación de sistemas de baja presión. Por otro lado, el mes de julio presenta el pico más bajo, con 14,50 mm, lo que refleja una leve disminución en lluvias, aunque aún con niveles de precipitación considerables.

4.4.4 Análisis de vientos

Figura 29. Rosa de los vientos de Berlín Santander

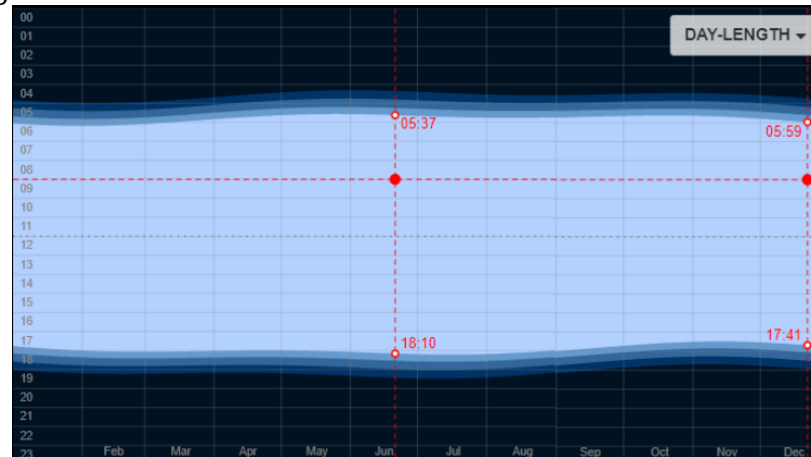


Tomado de Rangel, (2021).

En el diagrama de la rosa de los vientos de Berlín se observa que las velocidades más altas del viento se registran desde el norte y el noreste, alcanzando entre 8,0 y 9,0 m/seg. Por otro lado, las velocidades del viento son más moderadas desde el sur, oscilando entre 4,0 y 6,0 m/seg. En contraste, las direcciones con las velocidades más bajas se encuentran en el sureste y el noroeste, con valores convencionales de 4,0 y 2,5 m/seg respectivamente. En consecuencia, se puede inferir que los vientos dominantes, los cuales deben ser considerados para la toma de muestras, provienen mayormente del norte y el noreste.

4.4.5 Análisis soleamiento

Figura 30. *Day length chart*



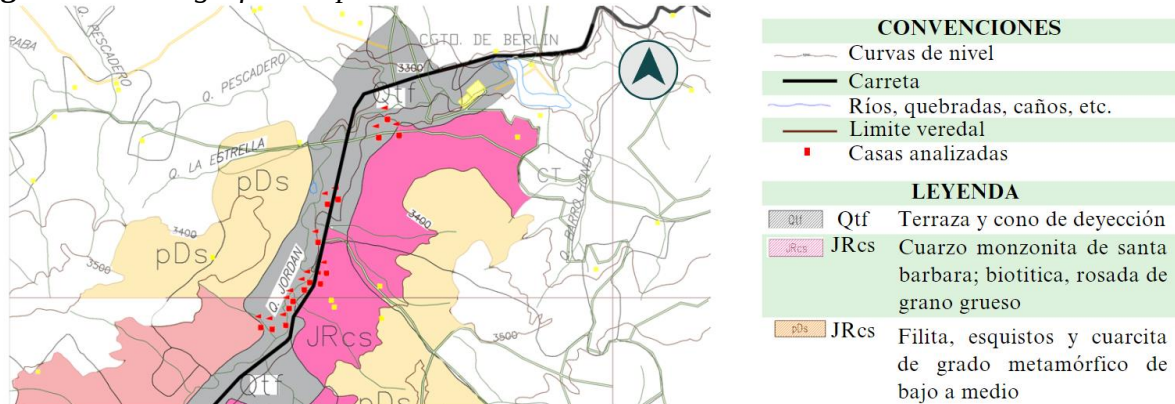
Tomado de AdrewMarsh, (s.f.)

La gráfica indica que los meses con la menor cantidad de horas de sol son enero y febrero, así como octubre y noviembre. Por otro lado, los meses con la mayor cantidad de horas de sol son junio y julio, donde el amanecer ocurre en promedio a las 5:37 a.m. y el atardecer a las 18:10 p.m.

Este estudio muestra cómo la presencia de montañas en un entorno afecta la distribución de la luz solar, influenciando la iluminación de las áreas circundantes, incluidas las viviendas. Aunque las montañas generan sombras que impactan la luminosidad de los hogares, no los privan completamente de esta. Se refleja una interacción compleja entre la topografía, la luz solar y la vía principal, presenta oportunidades para diseñar más eficientemente al aprovechar las sombras de las montañas para reducir la carga térmica.

4.4.6 Análisis geológico

Figura 31. Cartografía de tipos de suelo

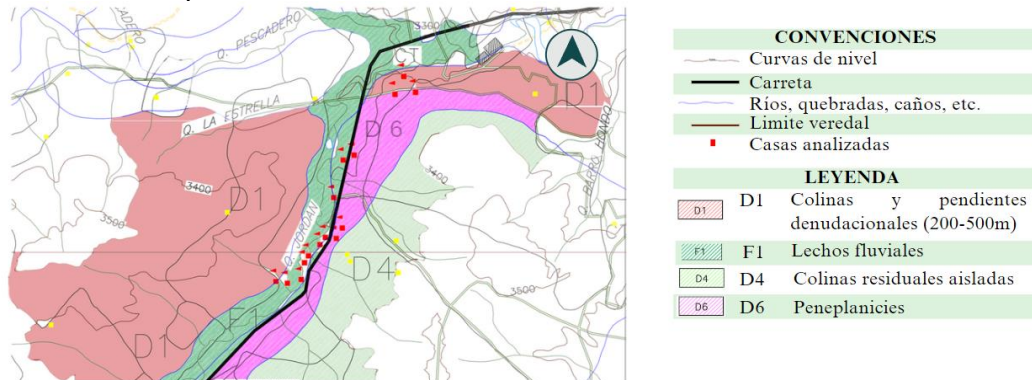


Adaptado de cartografías de Tona, (2002).

De acuerdo con el análisis del mapa geológico de la región, se puede determinar que el suelo corresponde al período Pleistoceno y presenta características de cono de deyección, lo que indica que su forma actual fue modelada por el flujo de agua de alta velocidad en el pasado. Además, se identifica la presencia de materiales del período Triásico Jurásico, tales como el cuarzo monzonita de Santa Bárbara de grano grueso y tonalidad rosada, así como filita, esquistos y cuarcita con metamorfismo de grado bajo a medio. Por otro lado, se encuentra suelo del tipo Cambro Ordovícico, compuesto principalmente por Neis cuarzo-monzonítico y granodiorítico de la formación Silgara.

4.4.7 Análisis morfodinámico

Figura 32. Plano morfodinámico



Adaptado de Cartografía de Tona, (2002).

En el análisis morfodinámico se aprecia que la mayor parte del área de estudio, donde se ubican las viviendas a ser intervenidas, consiste en terrenos conformados principalmente por peneplanicies y lechos fluviales. Esto sugiere que el terreno es mayormente plano y que ha sido atravesado por ríos en el pasado. Sin embargo, también se observan áreas elevadas circundantes, como colinas residuales aisladas, colinas y pendientes denudacionales con altitudes entre 200 y 500 metros.

4.4.8 Análisis de pendientes

Figura 33. Plano de pendientes

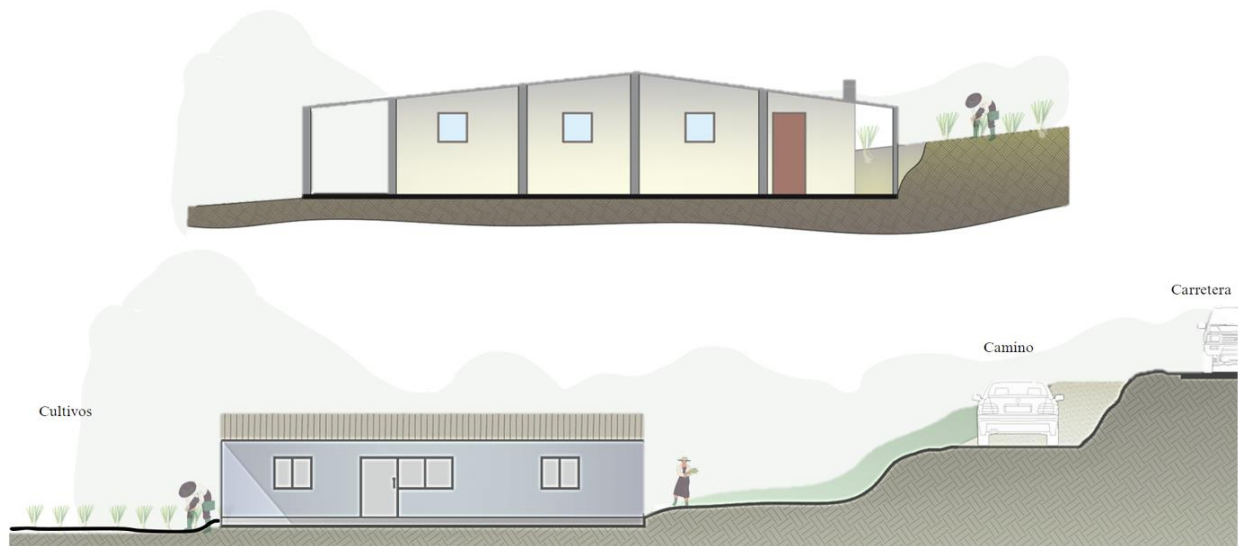


Adaptado de cartografía de Tona, (2002).

En cuanto a la inclinación del terreno en la zona de estudio, se clasifica como inclinado, con grados que van desde 3.6° hasta 7.2° y un porcentaje de pendiente que oscila entre el 6% y el 12%. Esto indica que las viviendas y sus áreas de cultivo asociadas presentan una ligera inclinación.

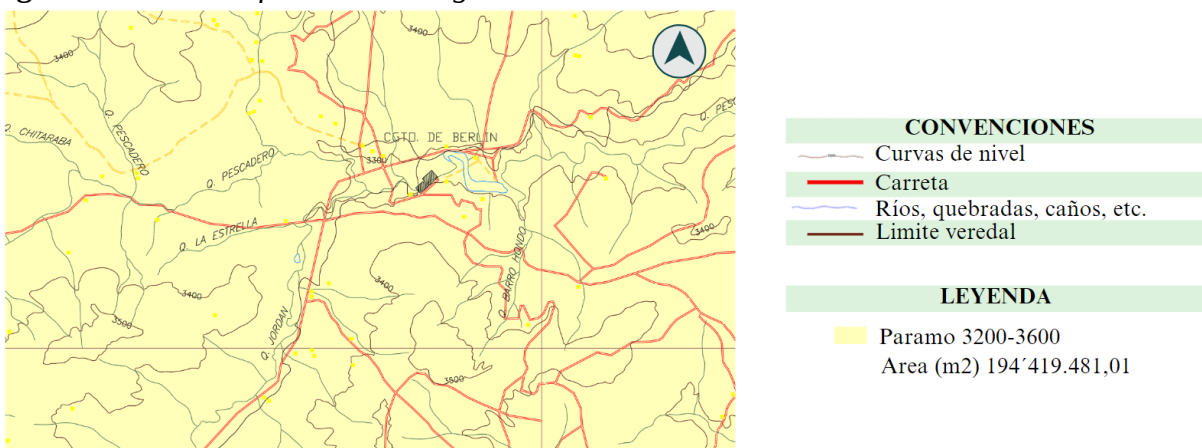
Sin embargo, se observó que ciertas residencias exhibían instancias donde se hallaban parcialmente enterradas como la vivienda número 1, atribuible a la inclinación del suelo, o en el caso de la vivienda número 13, estaban adyacentes a la carretera, pero a una elevación inferior.

Figura 34. *Cortes terreno casas analizadas*



4.4.9 Análisis de formaciones vegetales

Figura 35. Plano de formaciones vegetales



Adaptado de cartografía de Tona, (2002).

Se observa que, en toda el área delimitada de estudio, la vegetación se clasifica como páramo. De acuerdo al Plan de Manejo del distrito de manejo integrado (DMI) de Berlín del año 2008, el 80.5% del suelo en el área del Páramo de Berlín está cubierto por vegetación natural de páramo, que incluye pajonales, herbáceas y arbustos, abarcando aproximadamente 35,675 hectáreas. Además, según el resumen ejecutivo del DMI Berlín del año 2007, se registraron 34 familias, 84 géneros y 142 especies de flora hasta esa fecha.

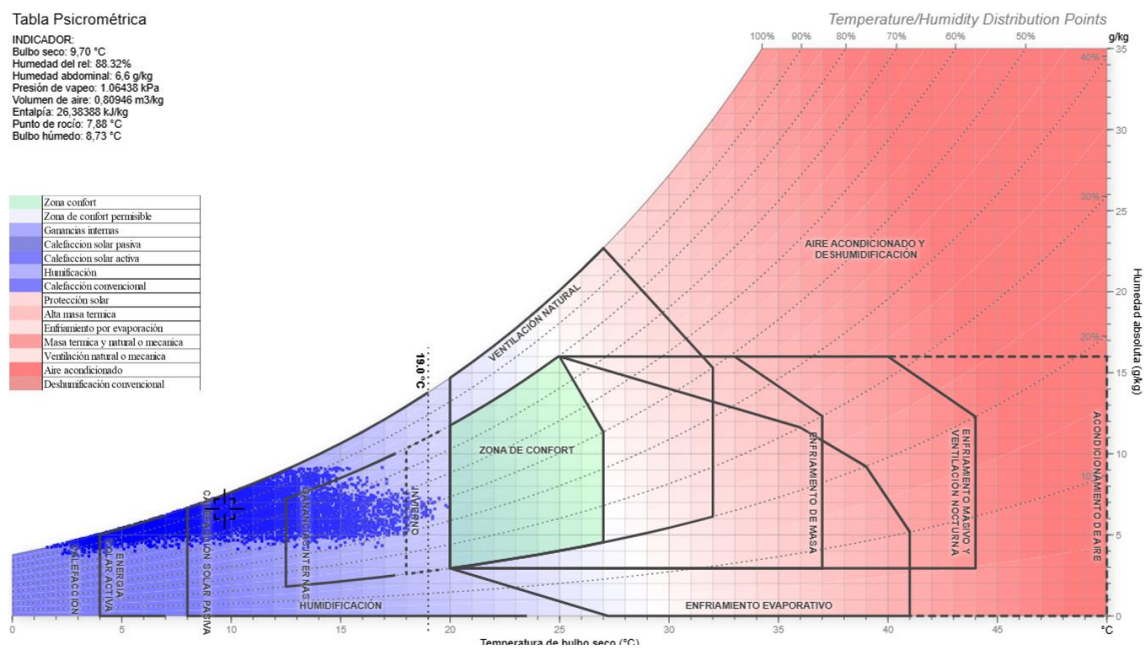
Tabla 9. Vegetación paramo de Berlín

Categoría de amenaza	Nombre Común	Nombre científico
Estado crítico (CR)	Frailejón	<i>Espeletia dugandii</i>
En peligro (EN)	Frailejón aglomerado	<i>Espeletia conglomerata</i>
	Frailejón de Estanislao	<i>Espeletia estanislana</i>
	Frailejón de Rosita	<i>Espeletia rositae</i>
	Frailejón enano	<i>Espeletiopsis caldassi</i>
	Frailejón coriáceo	<i>Espeletiopsis sclerophylla</i>

Categoría de amenaza	Nombre Común	Nombre científico
Vulnerable (VU)	Frailejón Tabaquero	<i>Tamania chardonii</i>
	Frailejón	<i>Espeletia standleyana</i>

4.4.10 Diagrama psicrométrico, carta de Givoni

Figura 36. Carta psicrométrica de Givoni



Adaptado de Andrew Marsh, (s.f.)

La carta bioclimática de Givoni según Da Casa Martín, F., Celis D'amico, F., y Echeverría Valiente, E. (2019), se fundamenta en el Índice de Tensión Térmica (ITS) para definir la zona de confort térmico, siendo especialmente útil en climas cálidos y áridos. Este método considera cómo las características de las construcciones pueden modificar las condiciones climáticas externas, promoviendo el confort en interiores. En el gráfico, las temperaturas de bulbo seco se representan en el eje horizontal, mientras que la tensión de vapor de agua está en el eje vertical. Las curvas

muestran la humedad relativa y se identifican zonas que guían estrategias de diseño para el bienestar interior.

En este caso, la gráfica sugiere mantener estrategias relacionadas con:

Energía solar activa: Implica el uso de dispositivos tecnológicos, como paneles solares, para transformar y distribuir la radiación solar en energía térmica o eléctrica, lo que optimiza la climatización de la vivienda mediante mecanismos controlados.

Calefacción solar pasiva: Se basa en el diseño arquitectónico que aprovecha las propiedades de los materiales de la construcción para capturar, almacenar y distribuir el calor solar sin sistemas mecánicos. En esta se tienen en cuenta los muros y orientaciones estratégicas.

Ganancias internas: Es el aprovechamiento del calor producido internamente por las fuentes no solares, como la actividad humana o el uso de electrodomésticos, para reducir la demanda de energía externa para calefacción.

5. Caracterización análoga

5.1 Encuesta

Aplicando una encuesta basada en los parámetros establecidos en la normativa ISO 7730, se formularon interrogantes específicos para entender la percepción térmica de los habitantes en sus residencias. Este cuestionario también buscó información sobre las rutinas diarias de los usuarios para entender la relación de los espacios habitacionales y sus usos. La recopilación de esta información se orienta hacia una tipología de viviendas, permitiendo una comprensión más completa de las necesidades de los residentes en relación con el confort térmico.

Primera pregunta. Número de integrantes en la vivienda, edad y género. Con esta pregunta, se identificó el número de personas que podrían ocupar los diferentes espacios de la vivienda, ya que se considera que el calor se genera a partir de actividades metabólicas, como la digestión, mediante las cuales el cuerpo produce energía, por consiguiente, cuantas más personas haya, mayor será la temperatura en el ambiente. Además, esta pregunta nos permite obtener información sobre la edad, dado que la Organización Mundial de la Salud (OMS) señala que:

Los hogares fríos contribuyen al exceso de mortalidad y morbilidad invernales. La mayor parte de la carga sobre los sistemas de salud puede atribuirse a las enfermedades respiratorias y cardiovasculares, especialmente en las personas mayores. En niños y niñas, el exceso de carga sobre los sistemas de salud en invierno se debe principalmente a enfermedades respiratorias. (Directrices de la OMS Sobre Vivienda y Salud, 2022, p.36).

Al hacer esta pregunta algunos residentes mencionaban que padecían alguna enfermedad y confirmaban que el frío empeoraba su malestar.

Segunda pregunta. ¿Cómo describirás tu nivel de actividad física diaria? Esta tiene como objetivo recolectar datos sobre las actividades diarias llevadas a cabo dentro de la residencia, con el fin de clasificar a los participantes según su nivel de actividad física. Este análisis pretende mejorar la comprensión de los hábitos individuales y facilitar el diseño de directrices permitiendo realizar las actividades cotidianas de los residentes.

Tercera pregunta. ¿A qué hora del día sueles observar más personas en la vivienda? Se permitió identificar los momentos de mayor ocupación en la residencia. Se observó que, durante la mayor parte del día, la ama de casa es la única presente, dado que los demás residentes se encuentran trabajando en los cultivos. Los momentos en que coinciden son principalmente durante el desayuno y el almuerzo, en la sala o área donde se ubica el comedor.

Cuarta pregunta. ¿Cómo describirías la temperatura de la vivienda y en qué momento del día? A partir de esta interrogante, los usuarios contribuyen a comprender los momentos en que se evidencia un cambio significativo en la temperatura. Se observaron temperaturas de 8.9°C durante las horas de la mañana, hasta 22.5°C al mediodía, según los datos recolectados en sitio.

En consecuencia, se presentan opciones de respuesta según lo establecido en la normativa ISO 7730, en relación con la tabla de sensación térmica de siete niveles, para mejorar la comprensión de la percepción térmica durante el día por parte de los habitantes de las respectivas residencias.

Quinta pregunta. En una escala del 1 al 7, donde 1 es "Muy incómodo" y 7 es "Muy cómodo", ¿Cómo calificarías tu nivel de comodidad térmica en este momento? Esta pregunta brinda una evaluación cuantitativa de la percepción térmica de los encuestados, lo cual busca proporcionar una comprensión detallada de cómo estos se adaptan a las condiciones térmicas del entorno. La información resultante ayuda a entender el grado de satisfacción térmica y a identificar áreas de mejora en la gestión del ambiente térmico. Este conocimiento puede contribuir a crear entornos más confortables y productivos para los usuarios.

Sexta pregunta. ¿Ha notado algún cambio drástico entre el interior o el exterior de la vivienda? Identifica posibles problemas relacionados con el aislamiento térmico, la eficiencia energética y la calidad del ambiente interior. Además, nos ayuda a determinar si la vivienda está experimentando variaciones significativas de temperatura en comparación con su interior, lo que podría indicar pérdida o ganancia de energía.

Séptima pregunta. ¿Cómo considera que es el nivel de ventilación en la vivienda? Teniendo en cuenta las características climáticas de la zona, se espera que las viviendas no tengan una ventilación excesiva. No obstante, es importante realizar una verificación.

Octava pregunta. ¿Según la pregunta anterior ¿Considera que la ventilación que percibe es molesta? En vista de lo mencionado, se cuestiona que espacio en específico tenga mucha ventilación, ya que los residentes buscan minimizar la entrada de aire en la residencia, pues por las bajas temperaturas de noche y madrugada puede generar efectos negativos en la salud de los residentes.

Novena pregunta. ¿Ha realizado alguna modificación en la vivienda para hacerla más cómoda térmicamente? Esta pregunta permite adquirir una perspectiva más detallada sobre las diversas estrategias implementadas para adecuar el ambiente doméstico a las preferencias y necesidades específicas de los habitantes.

Decima pregunta. Si la respuesta anterior es afirmativa ¿Siente cambios notables de temperatura en la vivienda? Continuando con la pregunta anterior, se requiere evaluar la eficacia y el impacto de estas medidas en el confort térmico y la eficiencia energética de la vivienda.

Onceava pregunta. En una escala del 1 al 7, donde 1 es “Muy húmedo” y 7 es” Muy seco”, ¿Cómo describiría la humedad de la vivienda? La escala del 1 al 7 permite una evaluación cuantitativa de esta percepción, donde el valor más bajo indica un ambiente muy húmedo y el valor más alto indica un ambiente muy seco, esto es necesario para conocer y tener seguimiento de los factores de humedad percibidos y si estos afectan de alguna manera en la vida de los encuestados.

Doceava pregunta. En tu hogar ¿Utilizas algún electrodoméstico que genere calor? ¿Cuáles y dónde? Para dar continuidad al análisis de la vivienda, se indaga sobre los métodos eléctricos empleados para contrarrestar el frío en el hogar. Esta interrogante no solo nos orienta hacia las áreas de la casa que requieren un mayor aporte de calor externo, sino que también facilita la evaluación de medidas potenciales destinadas a mejorar tanto la eficiencia energética como el confort térmico.

Treceava pregunta. En una escala del 1 al 7, donde 1 es “Muy beneficioso” y 7 es “Muy perjudicial”, ¿Cómo influye la temperatura, respecto a su desempeño a la hora de trabajar? Específicamente, se interroga acerca de la percepción de los residentes respecto al ambiente térmico en el hogar, determinando si es favorable o, de lo contrario, si dificulta o interrumpe sus actividades diarias, lo que puede acarrear no solo problemas de salud, sino económicos, entre otros aspectos.

Catorceava pregunta. En qué momento del día usa usted más prendas de ropa. Aproximado. Al indagar sobre el momento en el que utilizan más prendas de ropa, se pueden identificar los períodos del día en los que las personas tienden a sentir más frío o calor, esta información puede ser útil para diseñar estrategias de climatización más eficientes y adaptadas a las rutinas diarias de los individuos.

5.1.1 Codificación de resultados de la encuesta

En los datos tabulados se aprecia la distribución de población en las residencias objeto de análisis, desglosada por edad y género, junto con la especificación de las actividades u ocupaciones desempeñadas por dichos individuos.

Figura 37. Primera pregunta. Número de integrantes en la vivienda y edad

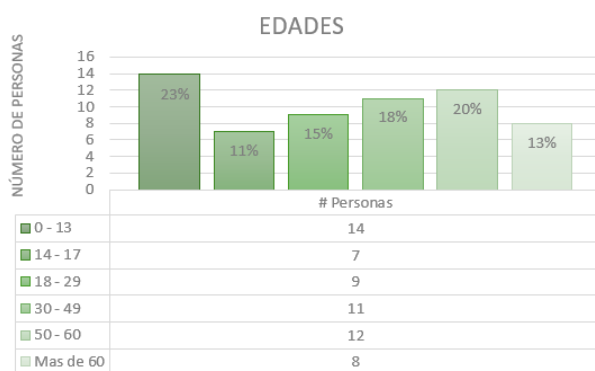


Figura 38. Segunda pregunta. ¿Cómo describirás tu nivel de actividad física diaria?

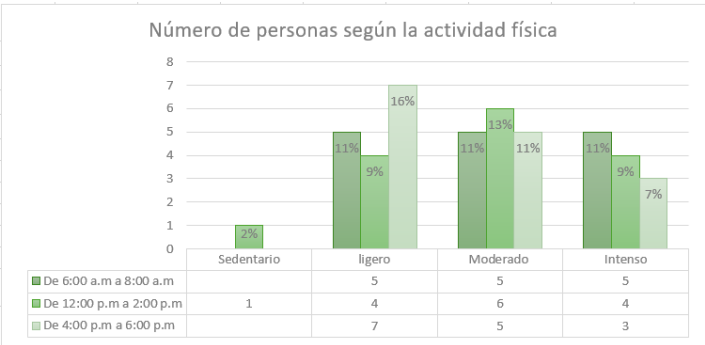


Figura 39. Tercera pregunta. ¿A qué hora del día sueles observar más personas en la vivienda?

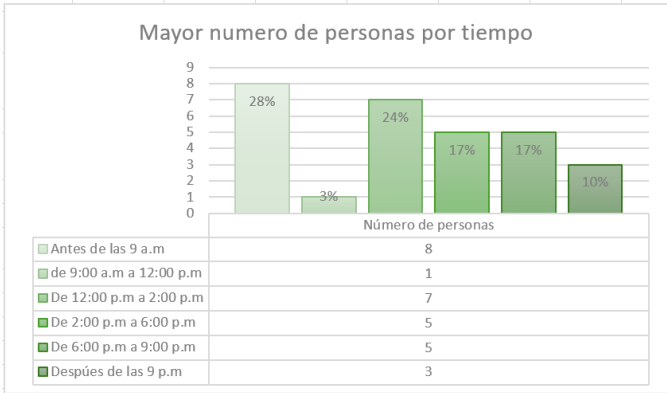


Figura 40. Cuarta pregunta. ¿Cómo describirías la temperatura de la vivienda y en qué momento del día?

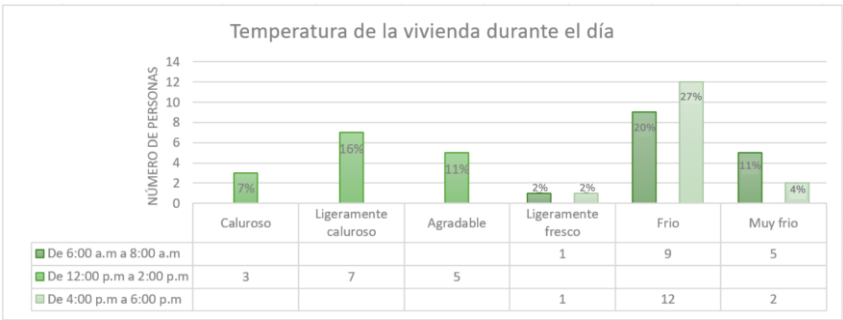


Figura 41. Quinta pregunta. En una escala del 1 al 7, donde 1 es "Muy incómodo" y 7 es "Muy cómodo", ¿Cómo calificarías tu nivel de comodidad térmica en este momento?

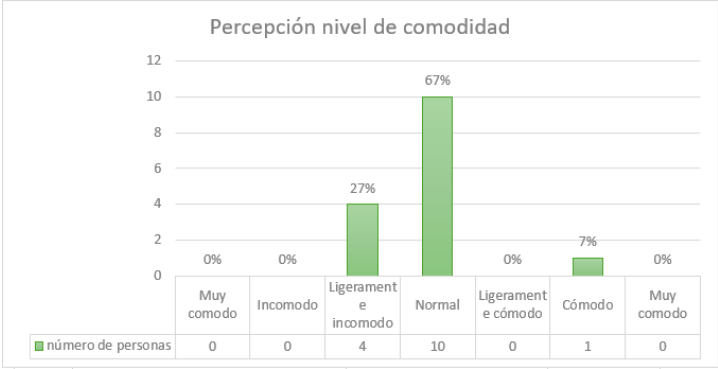


Figura 42. Sexta pregunta. ¿Ha notado algún cambio drástico entre el interior o el exterior de la vivienda?

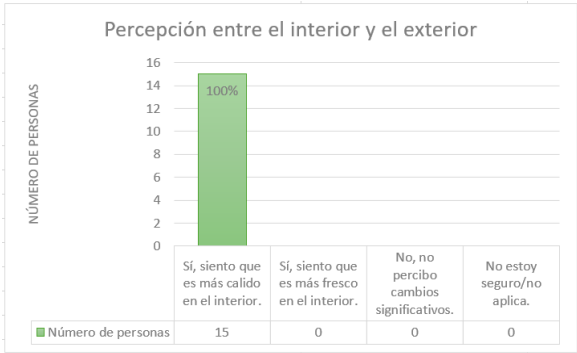


Figura 43. Séptima pregunta. ¿Ha notado algún cambio drástico entre el interior o el exterior de la vivienda?

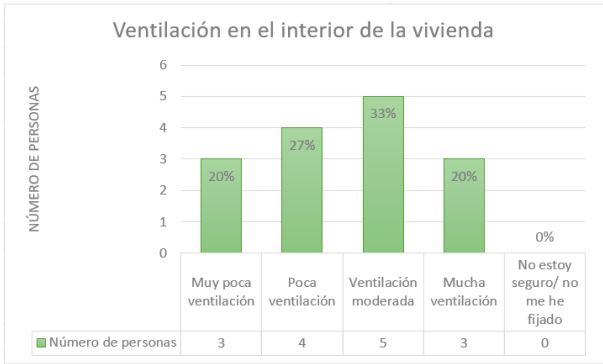


Figura 44. Novena pregunta. ¿Ha realizado alguna modificación en la vivienda para hacerla más cómoda térmicamente?

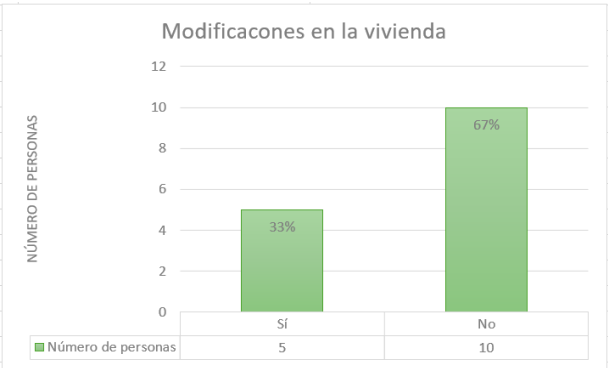


Figura 45. Onceaba pregunta. En una escala del 1 al 7, donde 1 es “Muy húmedo” y 7 es” Muy seco”, ¿Cómo describiría la humedad de la vivienda?

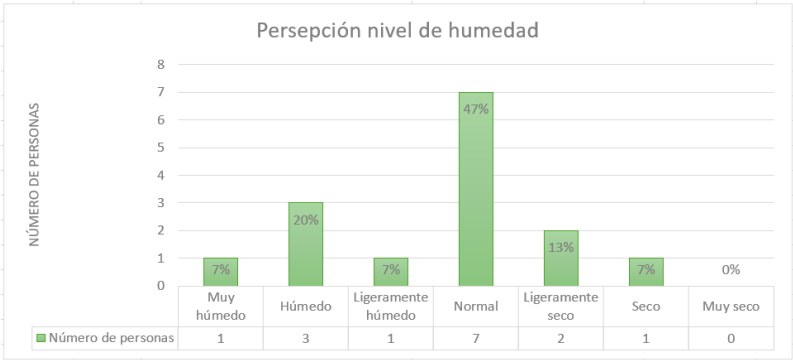


Figura 46. Doceava pregunta. En tu hogar ¿Utilizas algún electrodoméstico que genere calor? ¿Cuáles y dónde?

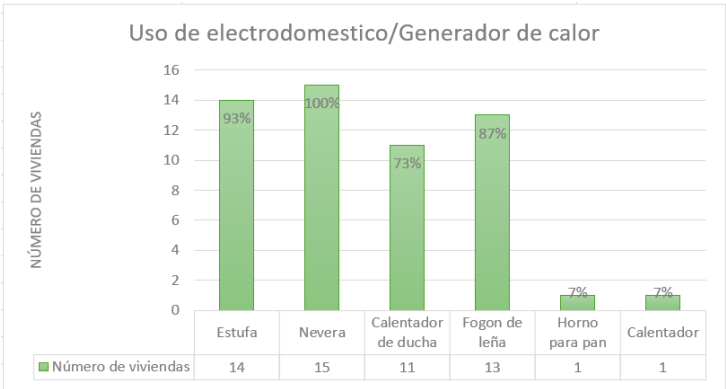


Figura 47. Treceava pregunta. En una escala del 1 al 7, donde 1 es “Muy beneficioso” y 7 es” Muy perjudicial”, ¿Cómo influye la temperatura, respecto a su desempeño a la hora de trabajar?

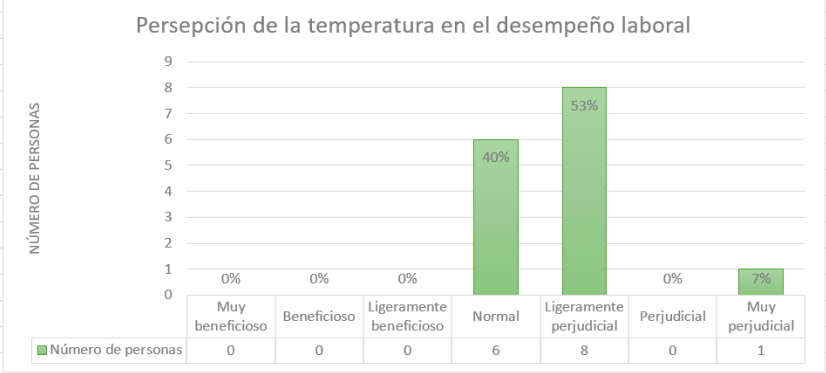
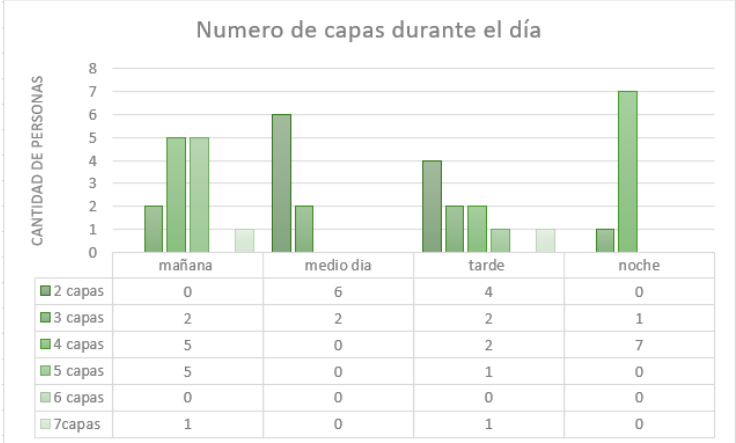


Figura 48. ¿En qué momento del día usa usted más capas de ropa?



5.1.2 Análisis de la encuesta

Los datos obtenidos a través de la implementación de la encuesta a los residentes de las viviendas bajo evaluación revelaron tanto atributos de los ocupantes como particularidades inherentes a las residencias mismas, además de observaciones de importancia destacada.

5.1.2.1 Información de los usuarios.

- El 46.6 % de las viviendas presenta 4 usuarios residentes en ellas.

- Se observo que un 19.7% tenía un rango de edad entre los 30 y 49 años, sin embargo, el 32.8% de casas contaban con la presencia de menores de edad, las amas de casa y los trabajadores de los cultivos son el 60.6% de las personas encuestadas.
- El 39% de los habitantes residentes de las viviendas analizadas se dedican a la agricultura, mientras que el 23% son amas de casa, lo que refleja las principales ocupaciones dentro de la comunidad.
- El 59% de los habitantes son hombres, lo que sugiere una predominancia masculina en las responsabilidades agrícolas.
- Basándonos en la observación de nivel de actividad física de los habitantes, se evidencia un patrón distintivo a lo largo del día. Se observa que la actividad intensa prevalece en las primeras horas de la mañana, en horario de las 6:00am y las 8:00am. Por otro lado, durante el mediodía, se registra principalmente una actividad física moderada, concentrada entre las 12:00pm y las 2:00pm. Además, se nota una tendencia hacia una actividad física ligera en las horas de la tarde, entre las 4:00pm y las 6:00pm. La presencia de un individuo con un nivel de actividad sedentario al mediodía sugiere que este periodo puede caracterizarse por una menor actividad laboral o productiva. Estas observaciones señalan una distribución específica en los niveles de actividad física.
- En cuanto a la ocupación de las viviendas, se observa que la mayoría de las personas con un 28% ocupan la residencia por la mañana entre las 6:00am y las 9:00am. Un 24% se observa durante el mediodía, entre las 12:00pm y las 2:00pm, mientras que solo un 4% se observa durante la mañana intermedia, entre las 9:00am y las 12 del mediodía. Esta distribución sugiere una organización de las actividades diarias vinculadas a las labores agrícolas y domesticas que se realizan en esos horarios.

- En cuanto a la percepción de la temperatura en el desempeño laboral, más de la mitad de los encuestados (53%) consideraron que era ligeramente perjudicial, con una minoría que lo calificó como muy perjudicial, mientras que un 40% lo percibió como normal.

5.1.2.2 Información de la vivienda.

- En cuanto a la percepción de la temperatura en las viviendas, los encuestados indicaron que sentían un frío intenso por la mañana, entre las 6:00 a.m. y las 8:00 a.m., y nuevamente una sensación de frío en la tarde, entre las 4:00 p.m. y las 6:00 p.m. En contraste, al mediodía, entre las 12:00 p.m. y las 2:00 p.m., la temperatura era percibida como cálida o agradable.
- En lo referente al nivel de comodidad percibido, la mayoría de los encuestados (67%) reportaron un nivel de normalidad, aunque un considerable porcentaje (27%) indicó una ligera incomodidad. Todos los encuestados coincidieron en que la vivienda se percibe más cálida en su interior que en el exterior.
- Con respecto al nivel de humedad, la mayoría de los encuestados (46%) percibió un nivel normal, aunque un pequeño porcentaje (7%) notó niveles de humedad elevados, e incluso una vivienda presentaba niveles elevados de hasta 89.9% de humedad en la habitación principal.
- En relación con los electrodomésticos, se observó que todas las casas contaban con nevera, la mayoría tenía estufa (14 casas) y un número considerable disponía de calentador de ducha (11 casas). Además, se destaca que la mayoría de las viviendas (13 casas) contaban con un fogón de leña en la cocina en donde la temperatura del espacio alcanzaba los 19.2°C.

5.2 Datos sitio

Los días 2, 11 y 12 de marzo de 2024 se realizó la toma de datos en las 15 viviendas seleccionadas, con mediciones en tres momentos del día, según lo indicado en el capítulo 2.3. En cada vivienda se obtuvieron parámetros fundamentales, incluyendo la humedad relativa (%) y la temperatura (°C), tanto en el exterior como en tres zonas interiores específicas: sala, cocina y habitación principal, seleccionadas por su relevancia en la rutina diaria de los ocupantes, adicionalmente, se cuantificó la velocidad del viento en ambos entornos, exterior e interior.

Se registraron datos sobre la temperatura radiante de tres elementos esenciales: la cubierta, el piso y las paredes, en los espacios tanto internos como externos de las viviendas. Estas mediciones permiten evaluar el comportamiento térmico de los materiales y su contribución al balance de calor en el interior, influenciando el confort térmico percibido.

Además, se realizaron observaciones basadas en comentarios de los residentes, quienes expresaron cómo las condiciones climáticas afectan su bienestar. También se tomaron en cuenta aspectos constructivos o adaptaciones que llamaron la atención, ya sea por su funcionalidad o por su impacto en el clima interior de las viviendas.

Figura 49. *Tabla de toma de datos en sitio*

Casa 6	11 de marzo		Humedad relativa %	Temperatura °C ambiente	Velocidad del viento m/s	Observaciones
	Espacio	Hora toma	Interior	Interior	Interior	La ama de casa comenta que tiene una operacion en la mano, y por esto cuando hace mucho frio siente dolor en los huesos.
	Cocina	7:10	75,8	14,8	0	
		12:16	66,6	19,2	0	
		18:11	72,3	15	0	
	Sala	7:04	72,4	13,3	0	
		12:40	71,2	16,3	0	
		17:59	74,4	14,5	0	
	Habitación principal	7:12	68,3	15,5	0	
		12:21	69,4	17,1	0	
		17:59	70,8	14,9	0	
	Exterior	7:04	82,2	12,1	1,1	
		12:40	81,4	14,5	0,1	
		17:59	85,8	12,6	0,3	
	Temperatura °C materiales					
		Hora	Interior	Exterior		
	Cubierta	7:06	5,6	3,9		
		12:25	30,9	15,5		
		18:04	16,7	12,6		
	Piso	7:06	9,3	8,5		
		12:25	12,6	6,5		
		18:04	12,8	7,3		
	Pared	7:06	9,8	8,1		
		12:25	14,9	11,8		
18:04		14,8	12,9			

5.2.1 Observaciones de la toma de datos

- Se observó que algunas viviendas disponían de tejas translúcidas en las cubiertas para permitir una mayor claridad en el interior. Sin embargo, esto afecta la temperatura de la vivienda, ya que el material con el que están elaboradas estas tejas no ofrece ningún tipo de resistencia al frío.
- En determinadas residencias, las personas optaban por colocar lonas blancas en el interior de la cubierta de sus hogares para mitigar la incidencia del frío. Además, señalaron que esta solución también les ayuda a evitar que el polvillo negro, producto del uso repetitivo de la estufa de leña en la cocina se depositara en este lugar al estarla usando.
- Durante el estudio, se realizó la medición de la temperatura en diversos materiales, destacando la cubierta por mostrar consistentemente valores más elevados en comparación

con otros elementos. Esta disparidad fue particularmente notable durante las horas del mediodía.

- Numerosos habitantes informaron sufrir una variedad de enfermedades asociadas al frío, como dolores óseos, cefaleas y en especial un habitante menciona tener el síndrome de Guillain-Barré, que afecta los nervios y causa debilidad y hormigueo en las extremidades. Algunos expresaron su preferencia por ducharse con agua fría para evitar cambios bruscos de temperatura que pudieran desencadenar descensos en la presión arterial. Por otro lado, ciertas personas decidieron cambiar el color de sus viviendas a tonalidades más oscuras, ya que estas absorben más calor y proporcionan una temperatura interna ligeramente más cálida.

6. Reconstrucción de tipologías

En total, se intervinieron 15 viviendas previamente determinadas como se menciona en la figura 14. El proceso metodológico consistió en una visita diaria a cinco viviendas, siguiendo un cronograma detallado en la Tabla 3 (Cronograma de recolección de datos e instrumentos). Este cronograma permitió una adecuada distribución temporal para la toma de mediciones, observación de variables y registro de información relevante. Durante estas visitas se implementaron técnicas de medición y levantamiento arquitectónico para capturar datos cuantitativos y cualitativos que sirvieran de base para la caracterización de las viviendas.

El análisis se centró en la reconstrucción de las plantas, con el fin de visualizar y examinar la organización espacial de cada una de las viviendas. Se evaluaron aspectos clave como la distribución interna de los espacios, la tipología de materiales utilizados en la construcción (paredes, techos, pisos) y elementos arquitectónicos específicos, como la disposición de ventanas

y otras aberturas. Asimismo, se registró el número de ocupantes por vivienda y se analizó la dinámica diaria dentro de los espacios habitados. Este enfoque integral permitió no sólo caracterizar las tipologías arquitectónicas desde un punto de vista técnico, sino también comprender las interacciones socioespaciales que ocurren en el interior de estas viviendas. Los resultados obtenidos quedaron plasmados en planos arquitectónicos (ver apéndice C) que facilitan un análisis comparativo y la identificación de patrones espaciales y constructivos dentro del contexto estudiado.

Figura 50. *Visita de campo*



6.1 Análisis morfológico de las viviendas seleccionadas en el Corregimiento de Berlín

A partir de la recolección de datos y mediciones llevadas a cabo en las 15 residencias seleccionadas, se procedió a examinar y analizar los patrones y atributos identificados, tales como:

- Las viviendas están construidas principalmente con muros en mampostería, usando así ladrillos H10 y pega en concreto; sin embargo, tres de las 15 viviendas estudiadas tienen ladrillo a la vista mientras que las 12 viviendas restantes cuentan con el acabado de friso correspondiente.
- Se observó que la proporción del área ocupada por las ventanas en comparación con el área total de las fachadas presenta un valor considerablemente bajo. En términos generales, este porcentaje varía entre un 3% y un 12%, indicando una tendencia recurrente en las

edificaciones analizadas. Este patrón se ha notado en todas las viviendas estudiadas. De igual manera se identificó que la mayoría de estos vanos cuentan con la instalación de rejas metálicas y acristalamiento.

Figura 51. *Vanos ubicados en fachadas de las viviendas.*



Fotografías tomadas en sitio

- La disposición de los espacios interiores en las viviendas sigue un patrón común: la zona de baño y lavado suele estar ubicada en un corredor en la parte trasera, mientras que la sala se encuentra en la entrada principal, seguidamente un corredor conecta la sala con las habitaciones, generalmente hay entre tres y cuatro, finalmente, la cocina suele estar situada en el centro de la casa. De igual manera, se identificó otra distribución similar con algunas diferencias notables, en este caso el pasillo que separa los ambientes cumple también la función de sala, siendo de mayor tamaño. Además, la zona de lavado de ropa se encuentra fuera de la casa, y se incluye una bodega también en el exterior. Por esta razón las viviendas de la zona tienden a coincidir en cuanto a su forma (*Ver tablas 24 -25 y figuras 46 - 47*). De igual manera se visualizó que la cercanía de las viviendas a los campos de cultivo de cebolla ofrece ventajas en términos de accesibilidad y gestión eficiente de las actividades agrícolas, ya que la mayoría de las viviendas dispone de espacios para el almacenamiento y manipulación de la cosecha. Sin embargo, esta proximidad también presenta desafíos logísticos, especialmente durante la carga de la cosecha, a pesar de estar ubicadas junto a

la carretera la mayoría de las viviendas carece de espacio adecuado para el acceso de camiones.

Figura 52. *Zona de trabajo y almacenaje*



- Se identificó que las viviendas estudiadas cuentan con diversas fuentes de ganancia de calor, las cuales están distribuidas en distintas áreas de la casa. En la cocina, por ejemplo, se destacan los fogones de leña y las estufas a gas como principales generadores de calor. En las habitaciones y zonas comunes, los televisores también actúan como fuentes de calor. Por otro lado, en los baños, las duchas representan una fuente adicional de calor. Además, a lo largo de toda la vivienda, se encuentran instalados bombillos. También se observó que, en las 15 residencias estudiadas, el promedio de personas por vivienda es de 4.2.

Figura 53. *Electrodomésticos ubicados en cocina*

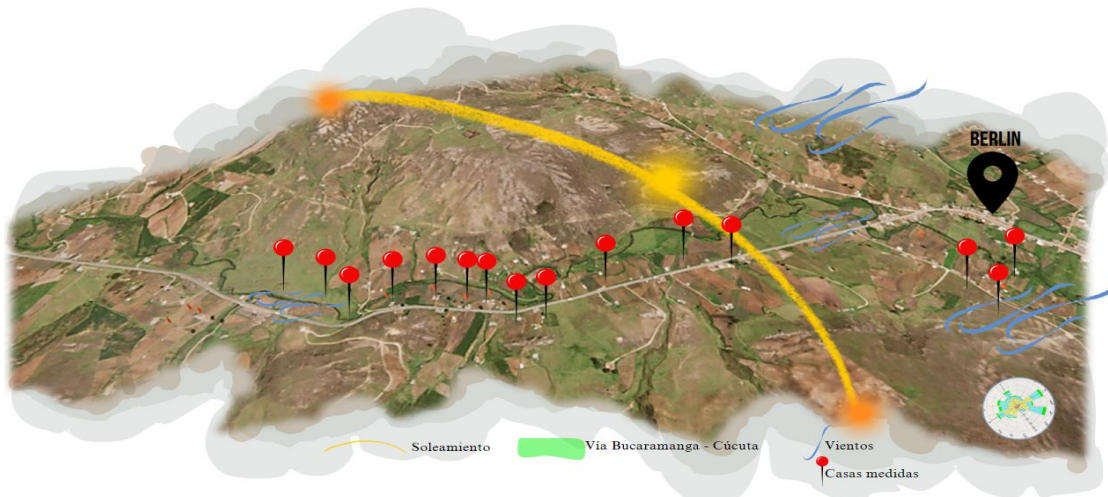
- Se observó que en todas las viviendas estudiadas se utiliza un material uniforme para la cubierta, específicamente láminas de fibrocemento. Sin embargo, se identificó que, en ciertos espacios de la casa como sala, cocina o habitaciones, los habitantes optan por complementar este material con la instalación de tejas translúcidas. Esta elección les permite aprovechar el ingreso de luz natural al interior de la vivienda, mejorando la iluminación en áreas específicas. Asimismo, se observó que 11 de las 15 viviendas estudiadas (73%) cuentan con piso de concreto o concreto pulido, mientras que el resto (27%) utiliza baldosas de cerámica blanca o baldosas de gres rojo.

Figura 54. *Material utilizado en el piso y la cubierta.*

- Se detectó que el 60% de las viviendas estudiadas cuentan con la cara más larga orientada hacia el norte, mientras que el 40% restante tiene la cara más corta orientada al norte, de

igual manera se observó que 9 de las 15 viviendas se encuentran ubicadas en el costado izquierdo del corredor vial Bucaramanga-Cúcuta. La topografía del terreno contribuye a esta disposición, ya que el costado derecho del corredor vial es una zona más montañosa, lo que dificulta la construcción de viviendas en esa área.

Figura 55. *Ubicación viviendas 3D*



Adaptado de Google Earth Pro, (s.f.)

6.2 Reconstrucción morfológica

Tabla 10. *Tipología de vivienda 1*

Zona	Espacios	Área
Social	1. Sala-comedor	11,64 m ²
	2. Cocina	8,32 m ²
Privado	3. Habitación principal	8,90 m ²
	4. Habitación 2	8,7 m ²
	5. Habitación 3	9,15 m ²
	6. Habitación 4	8,75 m ²
	7. Baño	3,30 m ²
	8. Lavado	2,40 m ²
Total		61,16 m ²

Nota: La tabla presenta los valores de las áreas correspondientes a cada espacio que conforma la tipología 1, incluyendo tanto las áreas sociales como las privadas. Esta información ha sido ajustada utilizando los datos obtenidos en el trabajo de campo.

Figura 56. Planta configuración espacial tipología 1

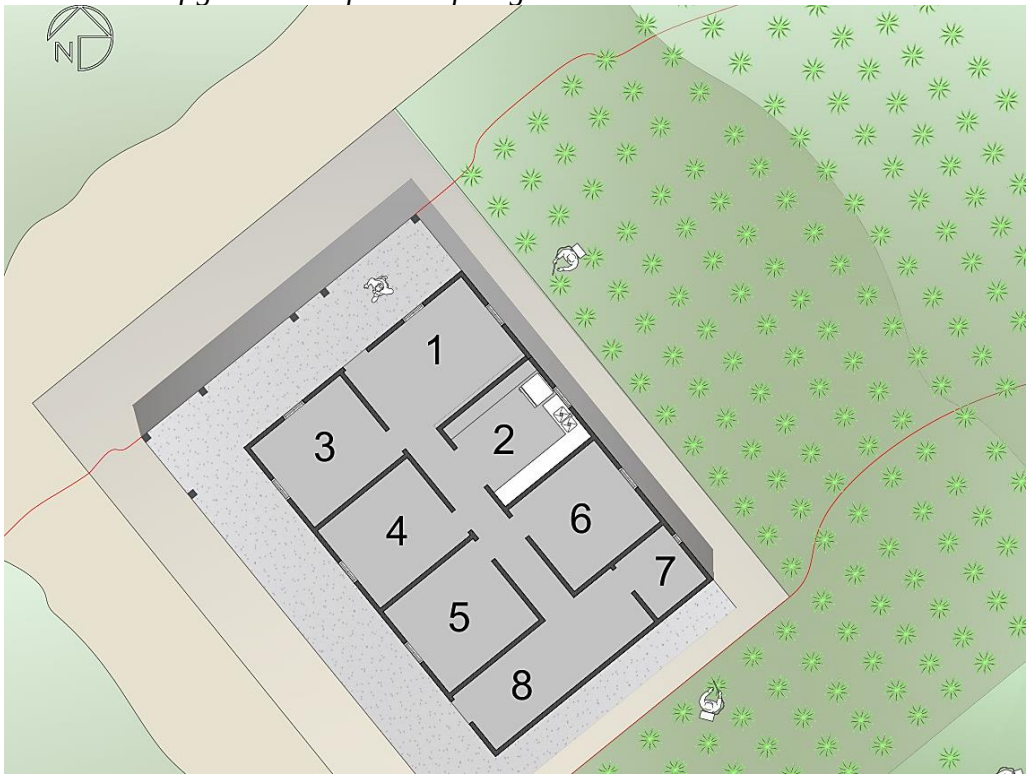


Tabla 11. Tipología de vivienda 2

Zona	Espacios	Área
Social	1. Sala-comedor	21,30 m2
	2. Cocina	10,97 m2
Privado	3. Habitación principal	15,62 m2
	4. Habitación 2	9,40 m2
	5. Habitación 3	9,30 m2
	6. Baño	3,30 m2
	7. Lavado	3,36 m2
	8. Bodega	9,36 m2
TOTAL		82,61 m2

Nota: La tabla presenta los valores de las áreas correspondientes a cada espacio que conforma la tipología 2, incluyendo tanto las áreas sociales como las privadas. Esta información ha sido ajustada utilizando los datos obtenidos en el trabajo de campo.

Figura 57. *Planta configuración espacial tipología 2*

6.3 Identificación de materialidad

Materiales de los muros: Se evidenció que todas las viviendas presentaban muros de concreto los cuales estaban conformados por ladrillos H10, estos se encontraban tanto en el interior como en el exterior de la vivienda, y en ocasiones se evidencio que estos muros se encontraban sin ningún tipo de revestimiento, dejando así expuesto el ladrillo.

Según Ortega, (2022) "El departamento de Norte de Santander, Colombia, donde la arcilla es un material vernáculo a partir del cual se producen piezas constructivas de excelente calidad para la edificación de mampostería arquitectónica". En este contexto, la arcilla se posiciona como un recurso clave en la industria de la construcción, especialmente para la fabricación de productos cerámicos de alta calidad, como ladrillos y tejas.

Las arcillas, al estar compuestas por agregados de silicatos de aluminio hidratados, se derivan de la descomposición de rocas félsicas con un alto contenido de feldespatos, lo que les otorga una composición ideal para la elaboración de cerámicos. Estas presentan características

fisicoquímicas particulares y propiedades tecnológicas diferenciadas, que permiten su utilización en una amplia variedad de aplicaciones. Entre sus propiedades se encuentran la plasticidad, la resistencia al calor, y la capacidad de ser moldeadas y transformadas en productos duraderos y estéticamente atractivos para la construcción (Manco, 2020).

Una característica destacada de los productos cerámicos fabricados a partir de arcillas es su capacidad para interactuar con las condiciones ambientales. Por ejemplo, MSN Ortega, JVS Zúñiga, JS Molina describen en la *Revista Colombiana de tecnologías de avanzada* que la cara rectangular de los ladrillos cerámicos, que forma la mampostería, se encuentra expuesta a la radiación solar. Este calor es absorbido por el material, acumulándose en su masa y transfiriéndose al interior de las edificaciones a través de paredes y tabiques. Estos elementos constructivos actúan como puntos de flujo de calor directo, afectando la temperatura interna de las construcciones. Este fenómeno puede ser tanto beneficioso como desafiante, dependiendo del clima local y de las propiedades térmicas del material cerámico.

La capacidad de los ladrillos para absorber y transferir calor tiene implicaciones importantes en la eficiencia energética de las edificaciones. En climas cálidos, un diseño adecuado puede ayudar a reducir la acumulación excesiva de calor, mientras que, en climas fríos, esta propiedad puede ser aprovechada para retener el calor y mejorar el confort térmico en el interior. Esto demuestra que, además de su durabilidad y resistencia estructural, los productos cerámicos a base de arcilla también desempeñan un papel crucial en la gestión de la energía térmica en las edificaciones, lo que contribuye a mejorar la sostenibilidad y eficiencia energética de las construcciones realizadas en Norte de Santander y otras regiones donde la arcilla es un material predominante.

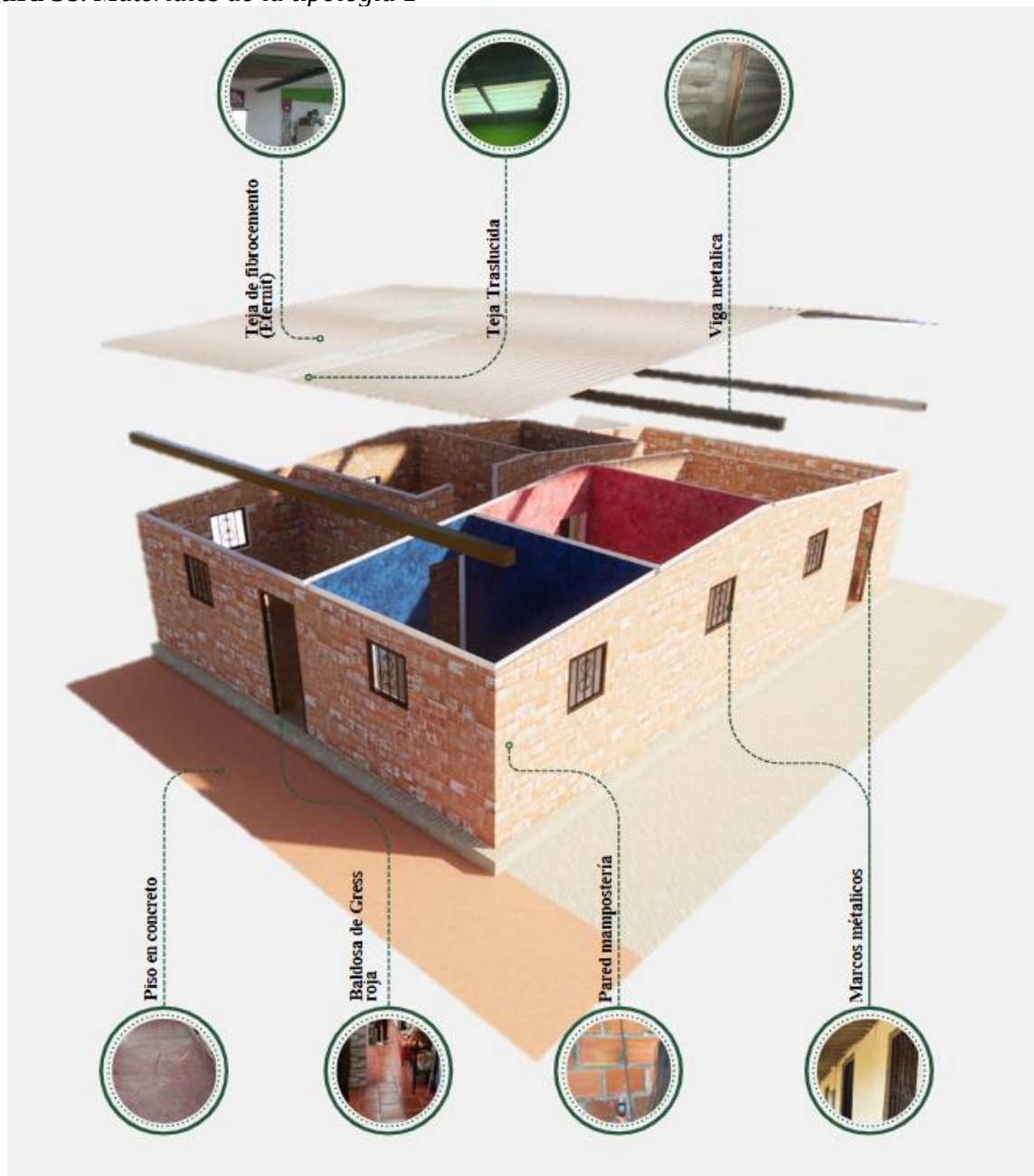
Materiales de los pisos: en cuanto a los pisos, se observó el uso de concreto pulido en la mayoría de las viviendas, sin embargo, algunas utilizaban baldosas de Gres o cerámicas.

Materiales de la cubierta: en todas las viviendas estudiadas, las cubiertas estaban formadas por tejas de fibrocemento, un material ampliamente utilizado en la zona debido a su bajo costo y fácil disponibilidad en ciudades como Bucaramanga y Cúcuta. Estas tejas se destacan por su resistencia al fuego, la humedad y los insectos, pero presentan deficiencias en el aislamiento térmico, lo que las hace menos adecuadas para el clima local, ya que requieren materiales adicionales para evitar la pérdida de energía. Según la ficha técnica de Eternit (2020) sobre la teja ondulada perfil 7, su composición incluye un 70% a 90% de cemento, 10% a 25% de carbonato de calcio, 1% a 4% de fibras sintéticas y 2% a 5% de celulosa. Con el tiempo, el deterioro de estos componentes puede plantear riesgos para la salud.

En algunas viviendas, se observó el uso de tejas traslúcidas de PVC, que permiten la entrada de luz natural. La mayoría de las cubiertas están sostenidas por vigas metálicas, aunque algunas utilizan vigas de concreto o madera.

Antes de 2017, muchas de estas tejas incluían amianto, una sustancia carcinogénica. En un artículo de Las 2 Orillas, Greenpeace denunció los riesgos para la salud asociados al amianto en Colombia, señalando la falta de regulación y el peligro que representaban estas tejas en viviendas antiguas, como las estudiadas.

Aunque Eternit Colombia ahora asegura que sus productos están libres de asbesto, las tejas de fibrocemento siguen siendo una opción poco recomendable para el corregimiento Berlín debido a su limitada capacidad de aislamiento térmico y acústico. Esta deficiencia en su diseño y composición puede afectar el confort interior de las viviendas, provocando fluctuaciones de temperatura.

Figura 58. *Materiales de la tipología 1*

Considerando los requisitos del programa Design Builder, procedemos a tabular los materiales analizados en las viviendas para obtener las especificaciones necesarias que nos

permitirán llevar a cabo la simulación. A continuación, se detallan los distintos materiales que componen los muros, pisos y cubiertas, junto con sus respectivos componentes.

Tabla 12. *Características térmicas de la cubierta. Teja de fibrocemento*

Elemento arquitectónico	Materiales	Espesor	Densidad	Conductividad	Transmitancia térmica
		mm	Kg/m ³	W/m °C	W/m ² °C
Cubierta Eternit	Teja de asbesto	6	700	0,145 a 0,15	5,53

Adaptado de catálogo de elementos constructivos del CTE, Rangel, (2021).

Tabla 13. *Característica térmica material del piso. Cerámica vidriada clara.*

Elemento arquitectónico	Materiales	Espesor	Densidad	Conductividad	Transmitancia térmica
		mm	Kg/m ³	W/m °C	W/m ² °C
Piso	Cerámica vidriada clara	12	2500	1,4	4,575
	Mortero de nivelación	40	1800	0,52	4,049
	Concreto en masa sin vibrar	100	2100	1,05	2,297
		152	6400	2,97	3,828

Adaptado de CTE, Rangel, (2021).

Tabla 14. *Característica térmica material del piso. Piso en concreto*

Elemento arquitectónico	Materiales	Espesor	Densidad	Conductividad	Transmitancia térmica
		mm	Kg/m ³	W/m °C	W/m ² °C
Piso en concreto	Mortero de nivelación	40	1800	0,52	4,049
	Concreto en masa sin vibrar	100	2100	1,05	2,297
		140	3900	1,57	2,297

Adaptado de CTE, Rangel, (2021).

Tabla 15. *Característica térmica material de muros internos y externos.*

Elemento arquitectónico	Materiales	Espesor	Densidad	Conductividad	Transmitancia térmica
		mm	Kg/m ³	W/m °C	W/m ² °C
Pared mampostería	Ladrillo	100	780	0,36	0,72

Adaptado de CTE, Rangel, (2021).

7. Caracterización digital

Una vez finalizada la fase análoga, que incluye la recogida sistemática de datos de encuestas y mediciones in situ en las viviendas seleccionadas, se inicia la etapa digital del estudio. En esta etapa se utiliza el software Design Builder para realizar simulaciones avanzadas con el fin de obtener información precisa y detallada sobre el desempeño térmico de las tipologías arquitectónicas previamente diseñadas.

El principal objetivo de esta fase es la obtención de resultados cuantitativos y cualitativos que permitan evaluar el comportamiento térmico de las viviendas en su estado actual. A partir de estos resultados, buscamos comprender en profundidad las posibles causas subyacentes que están provocando, o podrían provocar, un déficit de confort térmico en los espacios habitables. Este análisis es crucial para identificar variables críticas que impactan la eficiencia energética y el bienestar de los ocupantes, proporcionando así una base sólida para la formulación de estrategias de mejora o intervenciones correctivas.

7.1 DesingBuilder

El programa permite evaluar el rendimiento de los edificios en modo pasivo. Este enfoque es suficiente para identificar soluciones arquitectónicas que logran un buen desempeño energético y ambiental. Al utilizar DesignBuilder, se pueden realizar análisis eficientes que destacan las decisiones de diseño más efectivas en términos de ahorro energético y sostenibilidad, sin requerir simulaciones exhaustivas de los sistemas de climatización. Esto facilita la selección de estrategias arquitectónicas que optimicen tanto el confort térmico como la eficiencia energética del edificio. En esta etapa, se utilizó un archivo EPW generado mediante el software Meteonorm, el cual fue configurado con información climatológica específica proporcionada por el IDEAM. Este

procedimiento asegura la generación de simulaciones que replicarán con alta precisión las condiciones ambientales y térmicas de las viviendas analizadas.

7.2 Levantamiento modelo 3D

La fase inicial comprendió la elaboración de la planta arquitectónica mediante el uso del software AutoCAD. Una vez completada con las medidas tomadas en el sitio, la planta fue exportada al programa DesingBuilder, donde se ajustó a escala y se generó el alzado correspondiente.

Figura 59. *Levantamiento tipologías en DesingBuilder*

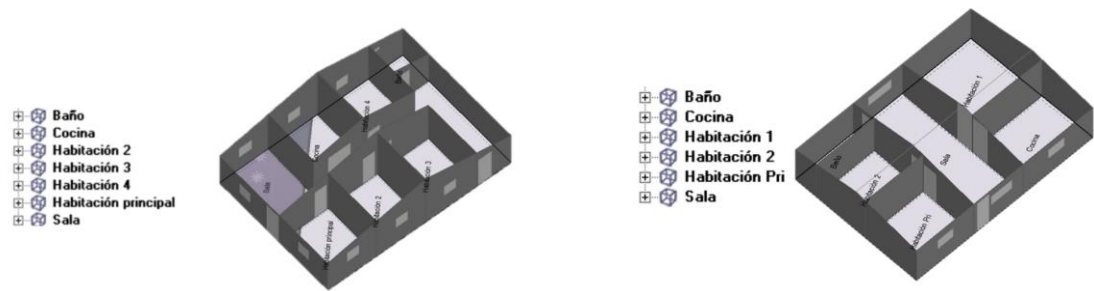


Tomado de Desing Builder, (s.f.)

7.3 Designación de espacios en el modelo

A partir de la planta escalada se procede a realizar el levantamiento de los muros, en donde se determinan los espacios existentes en ella.

Figura 60. Distribución espacial de las tipologías

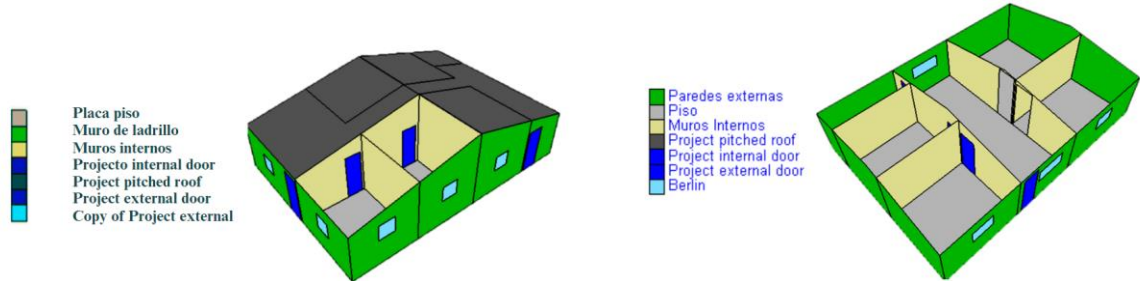


Tomado de Desing Builder, (s.f.)

7.4 Designación de elementos arquitectónicos

Después de obtener el volumen en alzado para garantizar la precisión de los datos sobre el comportamiento térmico de la vivienda, se procede a la definición de los materiales según lo planteado en la figura 57.

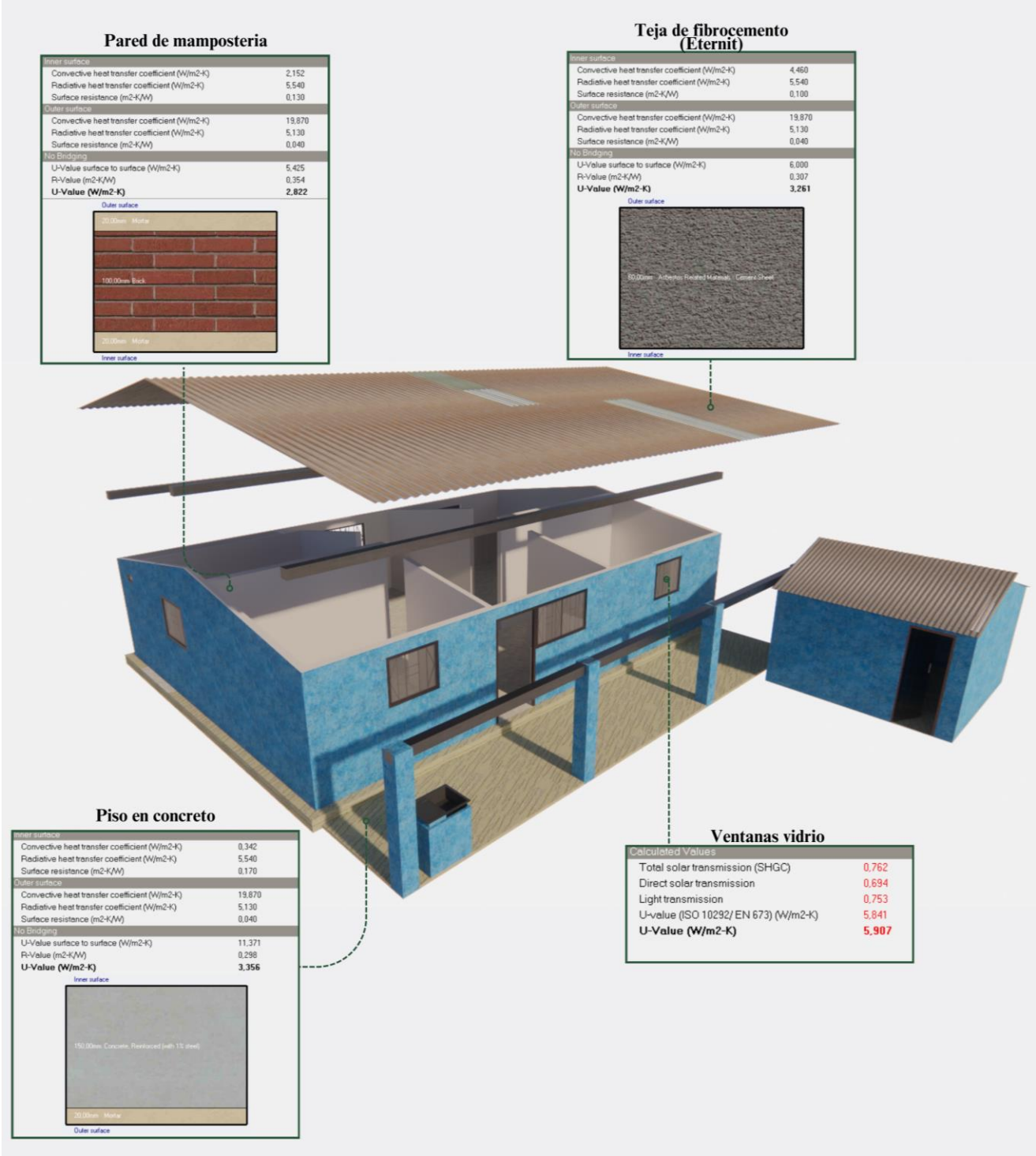
Figura 61. Designación de materiales



Tomado de Desing Builder, (s.f.)

7.5 Propiedades térmicas de los materiales

Figura 62. Materiales de la tipología 2



7.6 Renovaciones de aire

Cuando el viento incide directamente sobre una fachada, se genera una presión en esa área debido a la resistencia que la pared ofrece al flujo de aire.

Al mismo tiempo, a medida que el aire circula alrededor del edificio, se crean áreas de presión más baja en las fachadas laterales, en la cubierta y en la pared posterior. Esto ocurre porque el aire se acelera y se dispersa al rodear el edificio, disminuyendo la presión en estas zonas.

La renovación del aire refiere al proceso de reemplazar el aire que circula dentro de un espacio con aire fresco del exterior, esto es esencial para eliminar contaminantes, ya que ayuda a remover elementos nocivos como el dióxido de carbono, la humedad excesiva y otros contaminantes que pueden acumularse en espacios cerrados. Además, garantiza un suministro constante de oxígeno fresco para los ocupantes de las viviendas, lo que es fundamental para mantener niveles adecuados de oxígeno. También juega un papel crucial en el control de la temperatura interior y la humedad. Por último, ayuda a prevenir la condensación, evitando así la aparición de moho y otros problemas relacionados con la humedad.

La fórmula para calcular los cambios de ventilación recomendados por hora, se utiliza para determinar la cantidad de aire fresco que debe ingresar a un espacio cerrado para mantener una calidad del aire adecuada. Para esto se usó la información de la siguiente tabla:

Tabla 16. *Calidad de aire*

Calidad del aire			
Aire totalmente puro	0,03%	% de CO ₂	0,0003 tasa de CO ₂
Aire casi puro	0,04%		0,0004 tasa de CO ₂
Aire medianamente puro	0,05%		0,0005 tasa de CO ₂
Aire poco puro	0,06%		0,0006 tasa de CO
Aire tipo urbano	0,07%		0,0007 tasa de CO ₂
Aire contaminado	0,08%		0,0008 tasa de CO ₂
Aire muy contaminado	0,09%		0,0009 tasa de CO

Calidad del aire		
Límite permitido	0,10%	0,0010 tasa de CO2
Tasa mínima de producción de CO2 por tipo de actividad		
En descanso	0,015	m3/h
Trabajo ligero	0,022	
Trabajo moderado	0,047	
Trabajo pesado	0,072	
Trabajo muy pesado	0,094	

Tomado de Ventilación natural: cálculos básicos para arquitectura, (2004).

Figura 63. Cambios de ventilación recomendados por hora

$$\begin{array}{c}
 \boxed{\text{Producción por actividad (persona) / (0,001-} \\
 \text{tasa de CO2 aire introducido)}} \\
 = \\
 \boxed{\text{Tasa mínima requerida según CO2 (m3/h* per)}} \\
 \times \\
 \boxed{\text{\# Personas}} \\
 = \\
 \boxed{\text{Tasa mínima requerida según CO2 Total} \\
 \text{(m3/h Total)}} \\
 = \\
 \boxed{\text{(m3/h total) / m3 (volumen aire espacio)}} \\
 = \\
 \boxed{\text{Cambios} \\
 \text{/hora}}
 \end{array}$$

Tomado de Ventilación natural: cálculos básicos para arquitectura, (2004).

7.7 Filtración

La infiltración según la página oficial del programa *Desing Builder*, “es la tasa de entrada de aire no intencional desde el exterior a través de grietas, agujeros y a través de la porosidad de los materiales” (Ventilation Model Detail.), esto es un punto importante pues la infiltración de aire

a través de juntas y huecos en la envolvente de las viviendas presenta varias desventajas críticas. Un porcentaje significativo de los daños en estas es atribuible a estas fugas, que comprometen el aislamiento acústico, generan corrientes de aire que afectan el confort de los ocupantes y resultan en importantes pérdidas térmicas. (Airtightness And Airtightness Measurement [Passipedia EN]).

Tras la aplicación de la fórmula anterior, se determinó un valor de 0.084 aprox cambios de aire por hora como el nivel de ventilación recomendado, conforme a los parámetros establecidos (ver Apéndice C).

Se detectaron puntos significativos en la construcción, evidenciados por grietas pronunciadas y uniones deficientemente selladas. Particularmente en los empalmes con la cubierta, se identificaron espacios considerables que facilitan la infiltración de aire, comprometiendo la integridad térmica y estructural del edificio.

Figura 64. *Grietas y uniones de la vivienda*



Además, se observó que los vanos (ver figura 62), es decir, las aberturas para puertas y ventanas no estaban adecuadamente sellados en las juntas entre los distintos materiales, lo que permite la entrada de aire y reduce la eficiencia energética de la vivienda. En aquellas casas que

aún no contaban con acabados y tenían los ladrillos a la vista, se pudo constatar que la adhesión entre los ladrillos era deficiente, con un mortero mal aplicado o ausente en algunos puntos, lo que aumenta las filtraciones y afecta la estabilidad de la estructura.

Figura 65. *Empalme de ventana*



Para llevar a cabo las simulaciones, se integraron al programa datos específicos de filtración obtenidos en mediciones en sitio y cálculos precisos, que permitieron determinar la tasa de renovación de aire por hora. Estos parámetros de entrada fueron fundamentales para asegurar la precisión y fiabilidad de los resultados generados. Los cálculos se generaron según la fórmula de ventilación debida a la presión del viento, en función del flujo de viento que pasa por una abertura, esta se sacó del libro *Ventilación natural. Cálculos básicos para arquitectura* (Fuentes, et ál, 2004).

En el contexto de estas viviendas, donde las ventanas suelen permanecer cerradas por el clima de la zona, se hace necesario calcular el caudal de ventilación basado en la filtración de aire a través del sistema. Se calcularon las grietas formadas en las uniones entre vanos y paredes,

midiendo su longitud lineal y utilizando un grosor de 0.03 m para determinar el área de entrada de aire. Para el área de salida, se consideraron los espacios entre la cubierta y los muros también con 0.03 m, así como las aberturas entre las tejas, con un grosor de 0.005 m. Este enfoque permitirá evaluar la contribución de las infiltraciones al suministro de aire fresco y determinar cómo este factor afecta la pérdida de energía en el interior de las casas.

$$Q = C_v A_e v$$

Donde: Q = tasa de ventilación (m³/s)

C_v = Efectividad de las aberturas (C_v = 0.5 a 0.6 para viento perpendicular, y 0.25 a 0.35 para viento diagonal)

A_e = Área libre de la abertura de entrada de viento (m²)

v = Velocidad del viento (m/s)

De acuerdo a Fuentes Freixanet, el factor de relación entre las aberturas puede obtenerse a través de la siguiente ecuación:

$$fr = (R_v / (1 + R_v^2)^{0.5}) / \text{seno } 45^\circ$$

donde:

fr = Factor de relación de aberturas

R_v = Relación entre la ventana de salida y la de entrada de aire

$$R_v = A_s / A_e$$

A_s = Área de la abertura de salida del aire (m²)

A_e = Área de la abertura de entrada del aire (m²)

De tal forma que la efectividad de las aberturas será:

$$C_{fr} = 0.6 ((R_v / (1 + R_v^2)^{0.5}) / \text{seno } 45^\circ)$$

Cfr toma en cuenta la relación entre las áreas de las aberturas de entrada y salida, mejorando la precisión en la estimación del caudal de ventilación en casos donde las dimensiones de las aberturas no son iguales.

Al tener la efectividad de las aberturas ajustada (Cfr) se pasa a calcular Q (tasa de ventilación (m³/s))

$$Q = Cfr Ae v \text{ seno } \theta$$

donde:

Cfr = Efectividad de las aberturas considerando el factor de relación.

Ae = Área de la abertura de entrada del aire (m²)

v = Velocidad del viento al nivel de la ventana (m/s)

θ = Ángulo de incidencia del viento (considerando 90° al viento perpendicular a la ventana)

En este caso, el coeficiente de efectividad de las aberturas (Cv) se corresponde con los espacios de filtración presentes en la estructura. La zona de entrada del flujo de aire se tomó como las juntas entre los vanos y los muros, mientras que la zona de salida comprende los espacios ubicados entre la intersección del muro y la cubierta, así como las superposiciones de las tejas.

7.8 Ocupación y arropamiento

A partir de los datos arrojados por la encuesta, se identificó que el 46.6% de las viviendas presentan una ocupación de cuatro residentes. Con base en esta información y el área de la vivienda tipo seleccionada, se ha calculado la ocupación promedio para el programa.

Además, utilizando los datos presentados en la tabla de la figura 2, se llevó a cabo la selección de las prendas para hombres y mujeres teniendo en cuenta lo observado en las salidas de campo, con el fin de realizar el cálculo correspondiente de arropamiento por prendas.

Figura 66. Evidencia fotografía arropamiento de usuarios**Tabla 17.** Calculo valor de arropamiento por prendas.

CÁLCULO VALOR DE ARROPAMIENTO POR PRENDAS			
Hombre		Mujer	
Prenda	clo	Prenda	clo
Ropa interior	0,10	Bragas y sujetador	0,03
Camisa normal manga larga	0,25	Camisa mangas corta	0,15
Pantalón normal	0,25	Pantalones de fieltro	0,55
Chaqueta	0,35	Chaqueta	0,35
Calcetines gruesos, largos	0,10	Calcetines gruesos, largos	0,10
Botas	0,10	Zapato suela fina	0,02
Pasa montaña y bufanda	0,05	Pasa montaña y bufanda	0,05
	1,20		1,25

Adaptado de Tabla C.2 – Aislamiento térmico para prendas y cambios de temperatura operativa óptima

7.8.1 Ocupación tipología 1

Tabla 18. Ocupación tipología 1

ZONA	ESPACIOS	ÁREA	#P	p/m2
Social	1. Sala-comedor	11,64	6	0,515
	2. Cocina	8,32	2	0,240
Privado	3. Habitación principal	8,9	4	0,449
	4. Habitación 2	8,7	4	0,460
	5. Habitación 3	9,15	4	0,437

ZONA	ESPACIOS	ÁREA	#P	p/m2
	6. Habitación 4	8,75	4	0,457
	7. Baño	3,3	1	0,303
	8. Lavado	2,4	2	0,833
	TOTAL	61,16	6	0,098

7.8.2 Ocupación tipología 2

Tabla 19. Ocupación tipología 2

ZONA	ESPACIOS	ÁREA m2	#P	p/m2
Social	1. Sala-comedor	21,3	6	0,282
	2. Cocina	10,97	2	0,182
Privado	3. Habitación principal	15,62	4	0,256
	4. Habitación 2	9,4	4	0,426
	5. Habitación 3	9,3	4	0,430
	6. Baño	3,3	1	0,303
	7. Lavado	3,36	2	0,595
	8. Bodega	9,36	1	0,107
	TOTAL	82,61	6	0,073

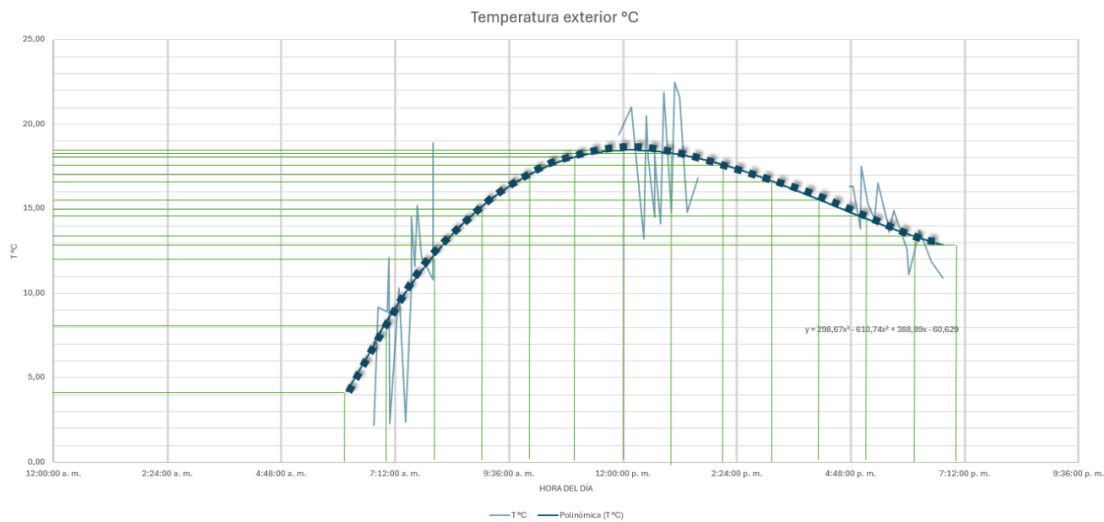
8. Validación de datos

En esta etapa de la investigación, se llevó a cabo la verificación de la coincidencia entre los datos obtenidos de las temperaturas radiantes de los materiales medidos en sitio y los resultados generados por el software durante las simulaciones. Este proceso de comparación es fundamental para evaluar la precisión y validez de los modelos de simulación utilizados, ya que permite determinar si las predicciones reflejan adecuadamente las condiciones reales experimentadas en las viviendas analizadas en Berlín. El objetivo principal de esta verificación es identificar la existencia de un patrón de comportamiento en la información recopilada. Al establecer esta correlación, se podrá confirmar que los datos arrojados por las simulaciones son representativos de la realidad, lo que a su vez contribuirá a una mejor comprensión del comportamiento

termodinámico de las viviendas estudiadas. Este conocimiento es crucial para identificar y analizar los posibles problemas que puedan estar afectando el rendimiento energético y el confort térmico de estas viviendas.

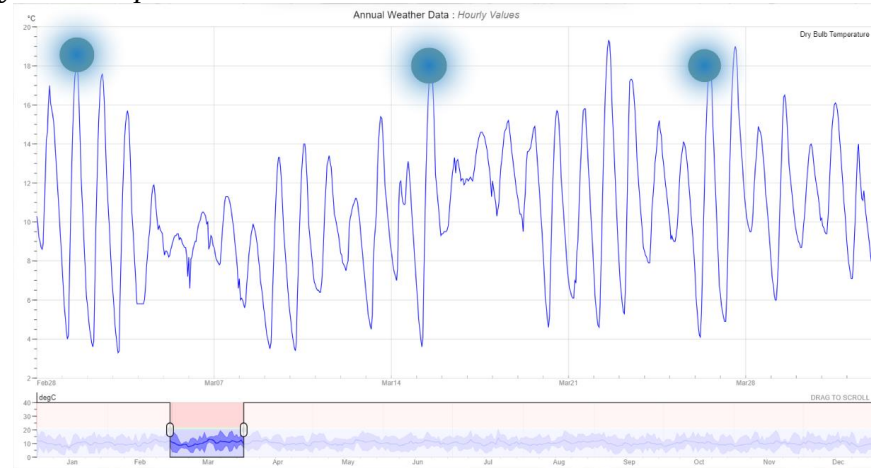
8.1 Datos temperatura bulbo seco, selección día simulaciones

Figura 67. Desarrollo de curva polinómica de tercer grado para la interpolación de datos tomados en sitio.



En primer lugar, se llevó a cabo el desarrollo de una curva polinómica de tercer grado en conjunto con el docente de optometría Juan José Barrios. Esta técnica matemática fue utilizada con el fin de interpolar y analizar datos incompletos de las variables climáticas que no pudieron ser capturadas en el total de las 24 horas correspondientes a los días de campo realizados en el mes de marzo. La curva polinómica permitió generar una aproximación más precisa de los episodios climáticos que quedaron sin registrar en la recolección de medidas, al permitir una representación más fluida y precisa de los datos, lo que facilitó la interpolación de valores en áreas donde los datos eran ausentes.

Figura 68. Dry buld temperature



Tomado de AndrewMarsh, (s.f.)

La curva polinómica generada se contrastó con la curva de la temperatura de bulbo seco extraída del archivo meteorológico EPW correspondiente a Berlín. Este archivo se procesó utilizando el software especializado desarrollado por Andrew Marsh, que permite la visualización y análisis de datos climáticos de manera efectiva. A través de este análisis comparativo, se identificaron tres días que mostraron un alto grado de similitud con los días de la toma de datos: el 1, 6 y 15 de marzo.

Figura 69. Tabla comparación datos sitio y datos software

Datos simulación/ Sitio	1:00:00 a.m.	2:00:00 a.m.	3:00:00 a.m.	4:00:00 a.m.	5:00:00 a.m.	6:00:00 a.m.	7:00:00 a.m.	8:00:00 a.m.	9:00:00 a.m.	10:00:00 a.m.	11:00:00 a.m.	12:00:00 p.m.	1:00:00 p.m.	2:00:00 p.m.	3:00:00 p.m.	4:00:00 p.m.	5:00:00 p.m.	6:00:00 p.m.	7:00:00 p.m.	8:00:00 p.m.	9:00:00 p.m.	10:00:00 p.m.	11:00:00 p.m.	12:00:00 a.m.	Día	
Outside Dry-Bulb Temperature (°C)	7.32	6.95	5.96	5.25	4.57	4.1	4.2	6.6	9.5	12.0	14.18	15.9	17.1	17.85	18.1	17.65	16.5	14.68	12.77	11.4	10.2	8.93	7.7	6.5	1-mar	
Outside Dry-Bulb Temperature (°C)	7.35	6.1	5.22	4.63	4.13	3.7	4.0	6.65	9.6	12.1	14.2	15.9	17.1	17.77	18.0	17.63	16.5	14.77	12.88	11.95	11.4	10.75	10.1	9.45	15-mar	
Outside Dry-Bulb Temperature (°C)	7.15	6.4	5.57	4.88	4.32	4.13	5.0	7.0	9.3	11.6	13.6	15.3	16.6	17.5	17.9	17.85	17.1	15.3	13.82	12.45	11.1	9.75	8.43	7.05	26-mar	
Outside Dry-Bulb Temperature (°C)							4	8	12	15	17.0	18	18.3	18	17.8	16.5	15.6	14.5	13.5	12.9						Días toma
Diferencia						-2.95	-1.3	0.45	1.4	1.7	1.4	0.8	0.08	-0.05	-0.55	0.3	0.68	1.05	1.77						98.33%	
						-2.65	-1.6	-0.1	0.8	1.1	0.87	0.53	0.02	0.17	-0.02	0.83	1.62	1.55	1.55						98.33%	
						-2.6	-1.5	0	0.82	1.1	0.87	0.45	-0.08	0.15	0.05	0.92	1.73	2.1	2.7						97.22%	

Los valores correspondientes a estos días fueron extraídos de la curva generada por Design Builder, con el fin de realizar un análisis comparativo riguroso entre los datos obtenidos in situ y

los datos modelados. La mayor concordancia se observó el 1 de marzo, que presentó un 98.33% de coincidencia, lo que lo convierte en el día más representativo para llevar a cabo las simulaciones climáticas a realizar. Esta alta similitud sugiere que las condiciones atmosféricas de ese día son las más adecuadas para la reconstrucción de un modelo que refleje fielmente las realidades climáticas del campo de estudio.

8.2 Diagramas de dispersión (tendencia de datos)

Después de identificar el día que permite simular con mayor exactitud las características climáticas de los días de la toma de muestras, se procede a realizar las simulaciones correspondientes utilizando las tipologías y orientaciones previamente descritas en el capítulo 6 de la investigación. Para estas simulaciones, se implementaron las especificaciones establecidas en el capítulo 7, garantizando así el correcto comportamiento de las viviendas analizadas.

Asimismo, se desarrollaron cuatro configuraciones distintas de materiales. Las configuraciones que mostraron un comportamiento más cercano a las viviendas analizadas in situ fueron las denominadas "configuración de materiales 2" y "configuración de materiales 4". Estas selecciones se fundamentaron en un análisis comparativo que consideró la eficiencia térmica y el rendimiento energético de cada combinación de materiales. Con base en estas configuraciones, se llevaron a cabo las simulaciones, durante las cuales se extrajeron datos sobre la temperatura radiante de los materiales, específicamente las interiores en relación con las cubiertas, pisos y paredes de las viviendas. Los datos fueron recopilados en los rangos horarios correspondientes a las horas de las tomas de muestras, (*ver tabla 3*)

Los datos obtenidos de las simulaciones y de las mediciones in situ fueron organizados en una tabla que presenta un horario de 24 horas. En esta tabla, se acomodaron los datos recogidos

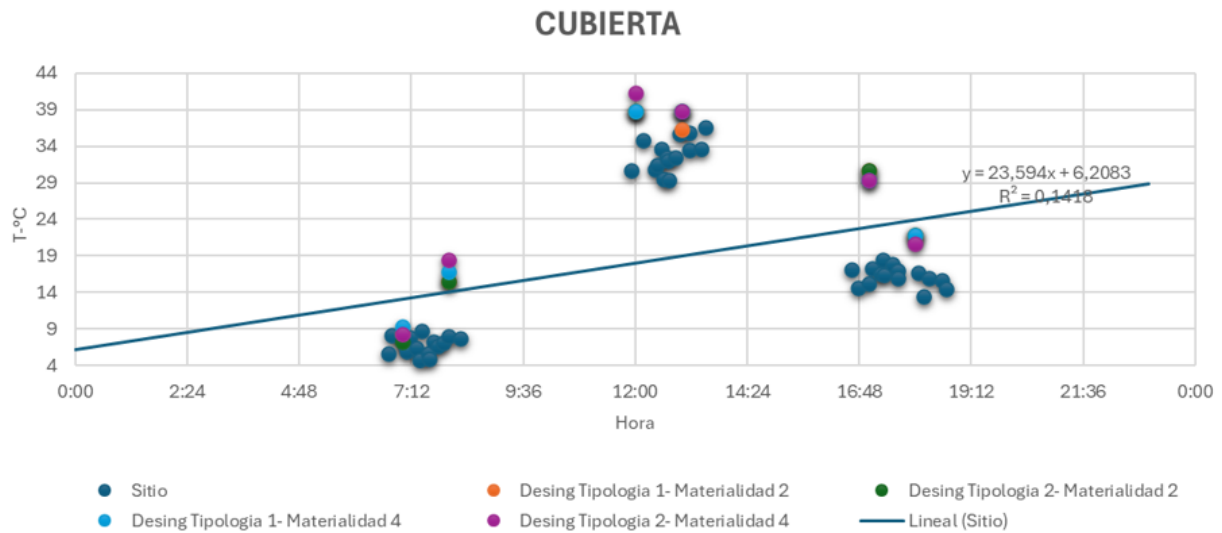
durante las salidas de campo junto con los resultados proporcionados por el software. Este enfoque de organización permite una comparación clara y directa, facilitando el análisis de las variaciones en la temperatura radiante de los materiales a lo largo del día y proporcionando una base sólida para futuras interpretaciones y conclusiones.

Figura 70. *Tabla recolección de datos de cubierta en sitio y desingbuilder con distintas materialidades*

Hora	Sitio	Desing Tipología 1- Materialidad 2	Desing Tipología 2- Materialidad 2	Desing Tipología 1- Materialidad 4	Desing Tipología 2- Materialidad 4
6:43	5,6				
6:47	8,1				
7:00		8,25	7,25	9,25	8,25
7:04	6,7				
7:06	5,9				
7:10	7,8				
7:19	6,4				
7:22	4,8				
7:25	8,7				
7:34	5,7				
7:35	4,9				
7:40	7,3				
7:46	6,7				
7:53	7,1				
8:00		15,5	15,5	16,88	18,5
8:00	8				
8:15	7,7				
11:55	30,7				
12:00		38,75	38,75	38,75	41,25
12:10	34,8				
12:25	30,9				
12:28	31,5				
12:29	33,6				
12:36	29,5				
12:40	32,5				
12:42	32				
12:43	29,4				
12:51	32,4				
12:57	35,7				
13:00		36,25	38,75	38,75	38,75
13:09	35,8				
13:10	33,5				
13:25	33,6				
13:30	36,6				
16:38	17,1				
16:47	14,6				
17:00	15,2				
17:00		30,63	30,63	29,38	29,38
17:05	17,3				
17:15	16,6				
17:18	18,5				
17:19	16,4				
17:30	17,8				
17:38	17				
17:38	15,9				
18:00		21,87	21,87	21,87	20,63
18:04	16,7				
18:11	13,5				
18:18	15,9				
18:34	15,7				
18:40	14,5				

Hora	Sitio	Tip Mat
6:43	5,6	
6:47	8,1	
7:00		
7:04	6,7	
7:06	5,9	
7:10	7,8	
7:19	6,4	
7:22	4,8	
7:25	8,7	
7:34	5,7	
7:35	4,9	
7:40	7,3	
7:46	6,7	
7:53	7,1	
8:00		
8:00	8	
8:15	7,7	
11:55	30,7	
12:00		
12:10	34,8	
12:25	30,9	
12:28	31,5	
12:29	33,6	
12:36	29,5	
12:40	32,5	
12:42	32	
12:43	29,4	
12:51	32,4	
12:57	35,7	
13:00		
13:09	35,8	
13:10	33,5	
13:25	33,6	
13:30	36,6	
16:38	17,1	
16:47	14,6	

17:00	15,2	
17:00		
17:05	17,3	
17:15	16,6	
17:18	18,5	
17:19	16,4	
17:30	17,8	
17:38	17	
17:38	15,9	
18:00		
18:04	16,7	
18:11	13,5	
18:18	15,9	
18:34	15,7	
18:40	14,5	

Figura 71. *Grafica tendencia temperatura cubierta*

Como se observa en la figura 68, se evidencia que los datos tomados in situ y los generados por el software se agrupan en una misma área, mostrando una notable superposición entre ambos conjuntos de datos. Esta alineación sugiere que existe una correlación significativa entre las mediciones realizadas en el campo y las predicciones proporcionadas por el programa.

La relación observable entre estos datos da como resultado una línea ascendente en el gráfico, que refleja el comportamiento térmico coherente de las variables analizadas a lo largo del tiempo. En el diagrama se evidencia el comportamiento de la temperatura radiante de los materiales, lo que puede asociarse a factores climáticos como la radiación solar y las características específicas de los materiales utilizados en la construcción de las viviendas. La congruencia entre los datos in situ y los simulados no solo valida el modelo de simulación empleado, sino que también permite inferir que las condiciones climáticas simuladas son representativas de la realidad observada en las viviendas analizadas.

Figura 72. *Grafica tendencia temperatura paredes internas*

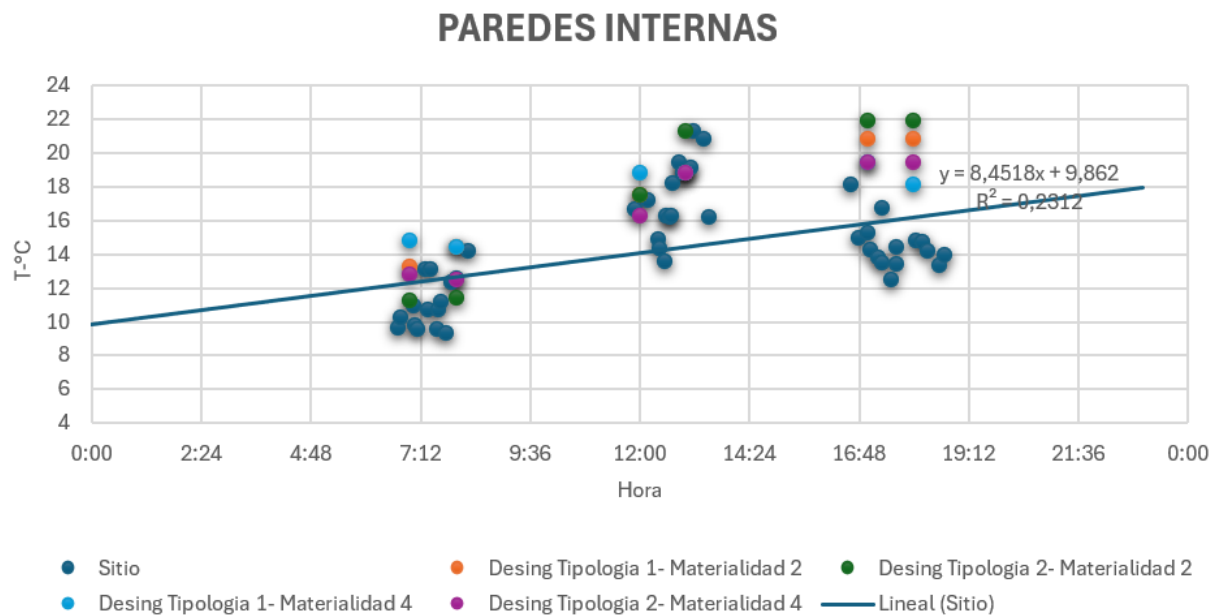
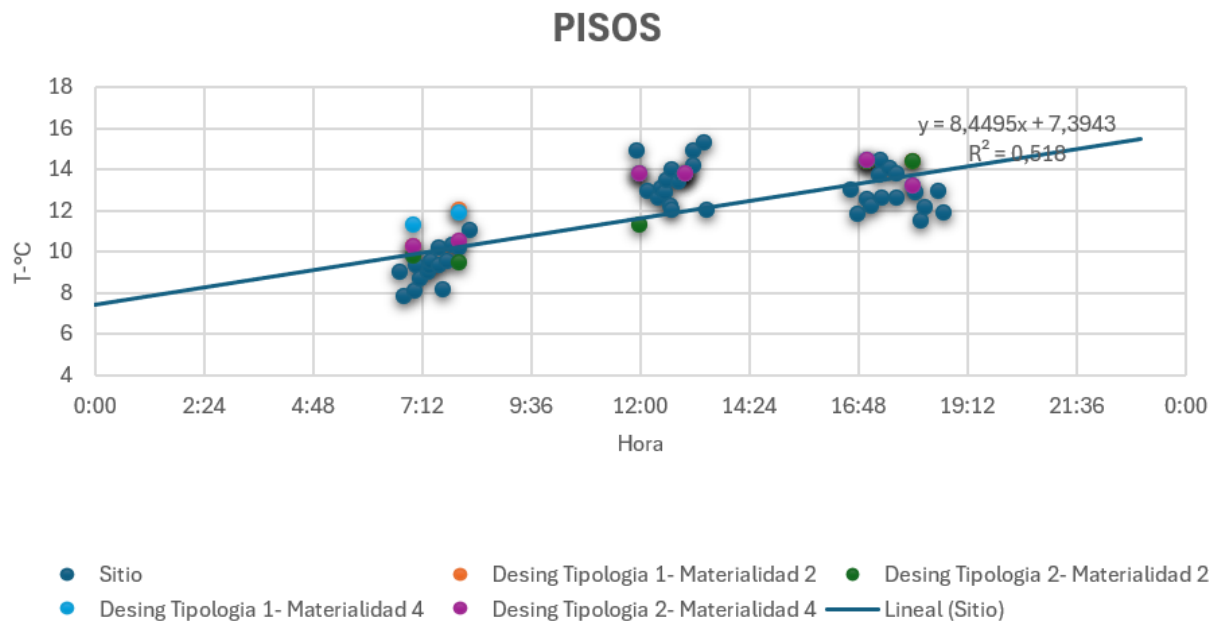
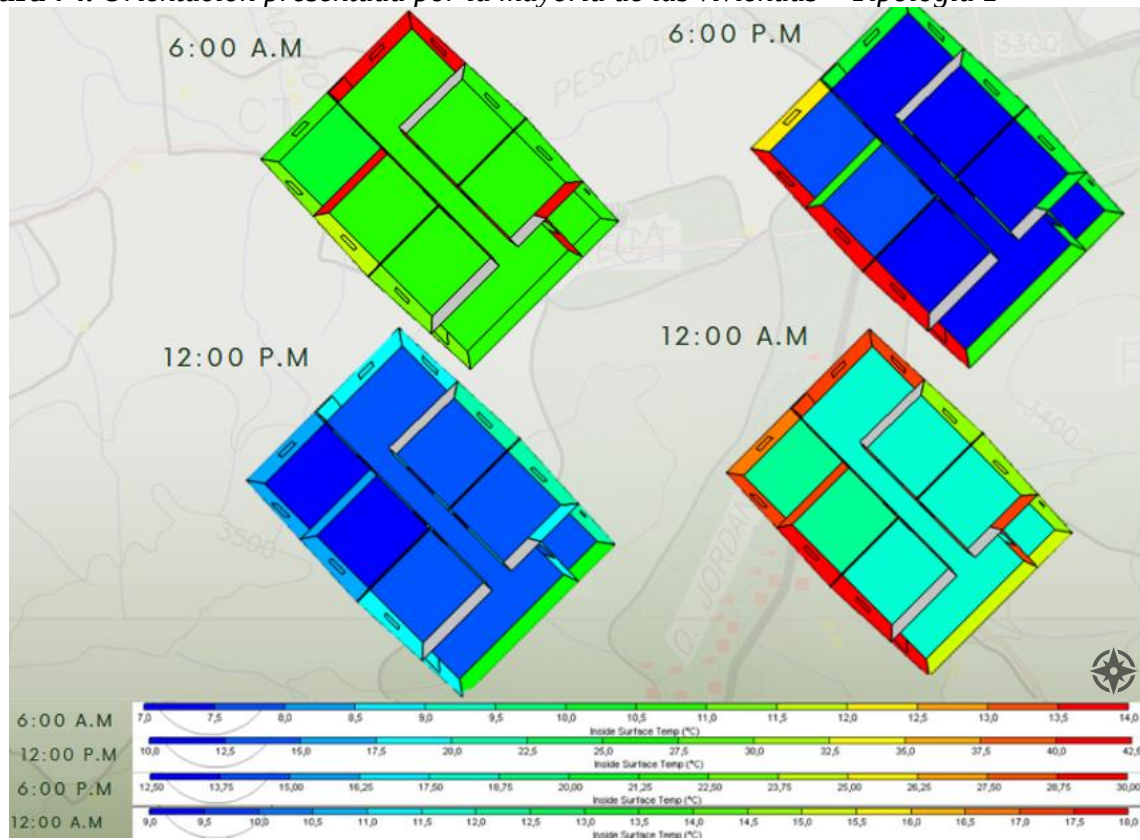


Figura 73. *Grafica tendencia temperatura pisos*

8.3 Simulaciones

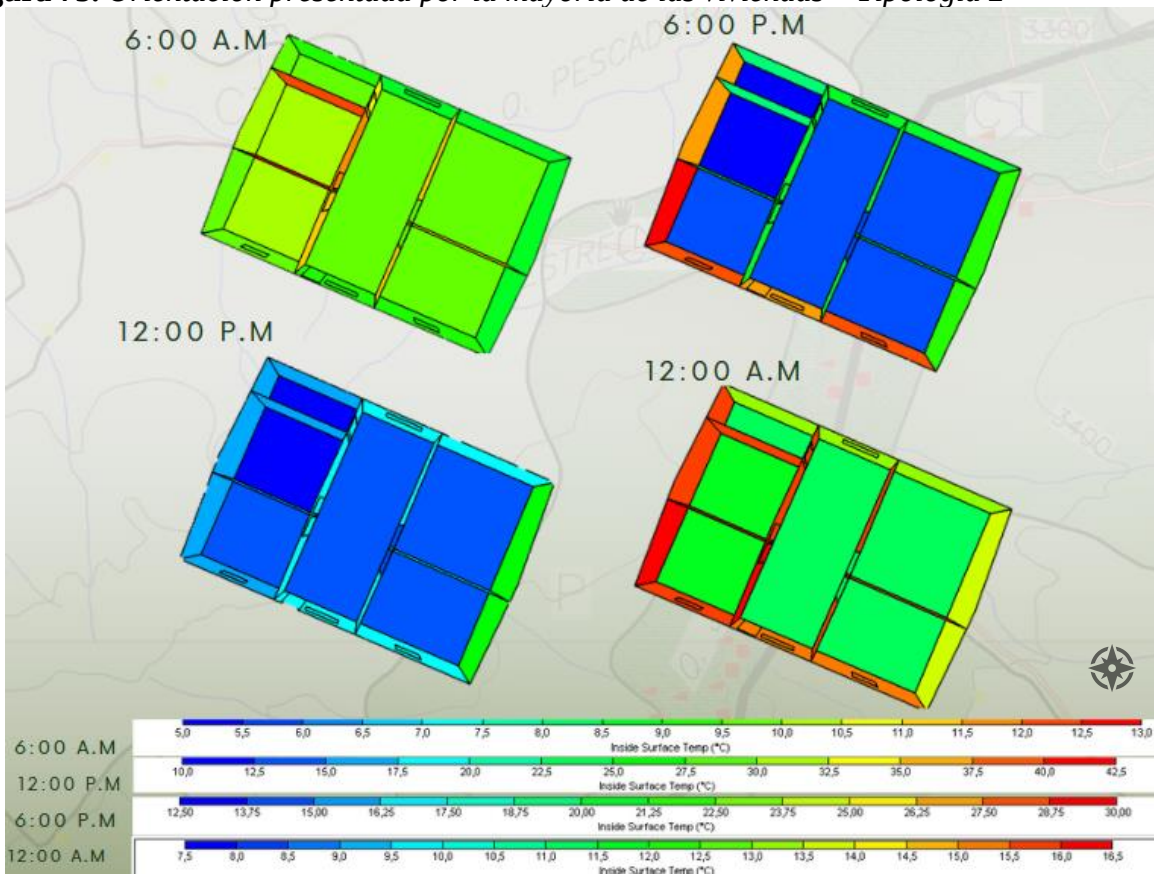
A continuación, se presentan las simulaciones complementarias de temperatura que incorporan variaciones en la configuración de los materiales. Estas simulaciones permitirán estudiar en detalle el comportamiento térmico de las 2 tipologías constructivas, evaluando sus dinámicas de pérdida y ganancia de energía en diferentes escenarios. A partir del análisis resultante, será posible identificar de manera precisa los problemas térmicos presentes en las edificaciones.

8.4.1 Orientación

Figura 74. Orientación presentada por la mayoría de las viviendas – Tipología 1

Adaptada de DesingBuilder, (s.f.)

Considerando la orientación y la distribución de esta tipología, la absorción de energía varía en función de la radiación solar. A las 6 a.m., se observa que el espacio de la sala es el que presenta la mayor temperatura, no solo debido a la exposición solar, sino también a la ocupación registrada en ese horario. Al mediodía, las dos habitaciones ubicadas detrás de la sala, así como el baño, son las áreas que mejor conservan el calor. Hacia la tarde, la cocina y las habitaciones adyacentes a esta se destacan como las zonas con mayor temperatura. Finalmente, a la medianoche, se aprecia que todas las áreas situadas en la zona noreste presentan un aumento térmico significativo.

Figura 75. Orientación presentada por la mayoría de las viviendas – Tipología 2

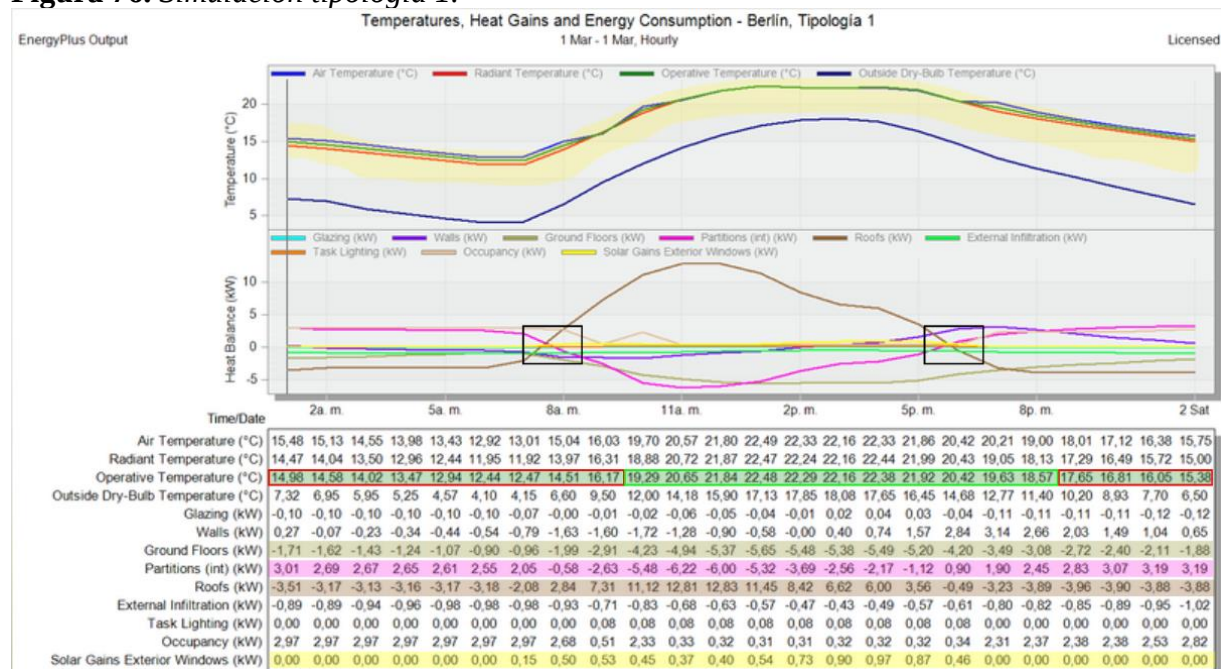
Adaptada de DesingBuilder, (s.f.)

Esta tipología, debido a su distribución, presenta variaciones respecto a la tipología 1 en la concentración de energía térmica a lo largo del día. En las primeras horas de la mañana, se observa que la mayor acumulación de calor se concentra en el baño, lo cual no es de gran ayuda al confort de la casa en general. Al mediodía, la cocina y la habitación situada detrás de esta son las áreas que registran la mayor retención de calor, influenciadas por la radiación solar directa y el uso de estos espacios. En horas de la tarde, la concentración de energía se desplaza hacia el frente de la vivienda, donde se encuentran la sala, una habitación y la cocina, las cuales experimentan una ganancia térmica. Finalmente, a la medianoche, las dos habitaciones ubicadas en el lado izquierdo

y el baño son las zonas que mejor conservan la energía, debido a la acumulación de calor generada a lo largo del día.

8.4.2 Análisis gráfica

Figura 76. Simulación tipología 1.



Adaptada de DesingBuilder. (s.f.)

En las primeras tres curvas del gráfico se observa un comportamiento coherente con la curva inferior de color azul, que representa la temperatura exterior. Esto indica que, a medida que el clima cambia, la temperatura de la vivienda también lo hace en consonancia; es decir, cuando la temperatura exterior desciende, la temperatura interna de la vivienda también disminuye. Tal como se muestra en la gráfica, a las 8 a.m., la temperatura aumenta de manera significativa hasta alcanzar su máximo a las 4 p.m., momento en el cual comienza a descender.

De manera similar, la curva correspondiente a la temperatura radiante de los materiales sigue esta misma tendencia, así como la curva de la temperatura operativa, que representa la

temperatura efectiva experimentada por el sistema o el entorno. Esta última no solo considera la temperatura del aire ambiente, sino también factores como la radiación térmica y otros mecanismos de transferencia de calor. En otras palabras, la temperatura operativa describe el equilibrio térmico alcanzado en un entorno donde interactúan diversos mecanismos de intercambio de energía térmica, reflejando con mayor precisión las condiciones reales a las que está expuesto el sistema.

En la gráfica inferior se observa que, durante las primeras horas de la mañana, la cubierta representada por la curva marrón muestra una considerable pérdida de calor, situándose por debajo de la línea de referencia (0°Kw). Esto se debe a las condiciones exteriores de bajas temperaturas a esa hora, se ve como en lugar de retener el calor generado internamente por la actividad de los ocupantes o el uso de electrodomésticos, la cubierta permite que la energía se disipe hacia el exterior, lo que sugiere una baja capacidad aislante. Hacia el mediodía, se nota un aumento significativo en la energía absorbida por la cubierta, coincidiendo con la elevación de la temperatura exterior debido a la radiación solar directa.

En cuanto a las paredes internas, al no estar expuestas al sol, mantienen una temperatura más estable y no ceden calor hacia el exterior. Este comportamiento está representado en la línea rosada del gráfico, que refleja cómo estas se calientan de forma progresiva por las actividades que tienen lugar en el interior de la vivienda. Durante las primeras horas de la madrugada y la mañana, las paredes internas contribuyen de manera gradual al equilibrio térmico del ambiente interior, mientras que las paredes exteriores juegan un papel menos relevante en este proceso. Es interesante cómo se observa un patrón opuesto entre los muros internos y la cubierta, y que en dos momentos clave (7:30 a.m. y 6:00 p.m.) sus curvas se cruzan, coincidiendo con importantes cambios en la temperatura ambiental.

Además, en cuanto a las ventanas, su contribución es limitada debido a que, por su pequeño tamaño, no logran captar de manera efectiva las horas de mayor radiación solar, lo que reduce su impacto en la ganancia térmica de la vivienda.

Finalmente, considerando que el rango de confort térmico se establece a partir de los 18°C, es importante resaltar que la vivienda se mantuvo por debajo de este nivel durante el 54,2% del día (13 horas), lo que significa que solo por 45,8% (11 horas) del día ofrecieron condiciones adecuadas de confort.

9. Conclusiones

Distribución y orientación: el análisis realizado reveló que la distribución de las habitaciones, en especial en la tipología 1, es sumamente eficiente desde el punto de vista térmico. Durante el día, los muros de estas estancias absorben y almacenan el calor proveniente de la radiación solar, actuando como una especie de reserva térmica. A medida que avanza la noche y las temperaturas exteriores descienden, los muros liberan de manera gradual este calor almacenado, ayudando a mantener un ambiente interior más confortable. En la madrugada, cuando las temperaturas suelen ser más bajas, se observó que los muros logran mantener temperaturas internas que rondan los 18 °C. Esta estabilidad térmica genera condiciones más agradables para los habitantes, reduciendo la necesidad de sistemas adicionales de calefacción y mejorando el confort general de los ocupantes en las horas más frías del día. (*ver figura 72*)

Asimismo, se observó que la mayoría de las viviendas seleccionadas presentan una orientación similar a la definida en las tipologías estudiadas. Esto se debe en gran medida a la disposición del corredor vial, ya que las viviendas están adosadas a este y se ajustan a su trazado y morfología. Esta configuración responde a las condiciones impuestas por el entorno.

Figura 77. Orientación viviendas.

Adaptado de Google earth, (s.f.)

Filtraciones: uno de los principales factores que afecta tanto a la eficiencia energética de las viviendas como al confort de sus ocupantes son las filtraciones de aire. Estas filtraciones ocurren debido a la incorrecta unión y sellado entre la cubierta y los muros, así como entre las ventanas y los muros, lo que provoca una pérdida significativa de calor. Este fenómeno es conocido como la ruptura del puente térmico, esto se produce en aquellas zonas donde la estructura no logra bloquear de forma eficiente el paso de la temperatura externa. En este caso, las uniones deficientes permiten que el aire se filtre, alterando la temperatura interior.

Según lo observado en la figura 74, durante 23 horas del día las filtraciones permanecen por debajo de un rango de 0, lo que indica que prácticamente todo el día se está produciendo una pérdida constante de energía a través de las uniones mal selladas. Este dato es especialmente revelador, ya que confirma que las filtraciones no son un evento esporádico, sino que ocurren de forma continua y contribuyen de manera significativa a la inestabilidad térmica de la vivienda.

Figura 78. Uniones deficientes entre muro-cubierta y muro-ventana.



Piso: según los resultados arrojados por las simulaciones y los datos recolectados directamente en el sitio, se identificó que uno de los factores principales que impacta de manera negativa el confort térmico de las viviendas es el piso, pues este se encuentra en una constante transferencia de calor del interior de la vivienda hacia el terreno, generando así que la vivienda experimente fluctuaciones de temperatura, lo que genera sensación de discomfort a los habitantes de la vivienda.

Figura 79. *Piso de las viviendas estudiadas.*



Cubierta: en cuanto a la cubierta, se observó que este es el elemento más expuesto de la vivienda en términos de intercambio térmico. Esto se debe a que el material por el cual está compuesto es la teja de fibrocemento, la cual cuenta con una alta conductividad térmica que varía de 0.145 a 0.15 W/m·K, lo que la convierte en un punto crítico para la ganancia o pérdida de calor. La cubierta responde de manera rápida y drástica a las variaciones climáticas externas, ganando calor durante las horas de mayor radiación solar y perdiéndolo rápidamente cuando las temperaturas descienden. Esta fluctuación constante genera inestabilidad térmica en el interior de la vivienda, afectando negativamente el confort de los ocupantes.

Figura 80. *Cubierta de las viviendas estudiadas.*



Muros internos y externos: en cuanto a los muros internos, se observó que estos desempeñan un papel fundamental en la regulación térmica de la vivienda, ya que, durante el día, los muros tienden a absorber el calor que es generado por la cubierta, especialmente cuando esta recibe radiación solar directa. Este calor se almacena en los muros actuando como reservorios térmicos. Una vez que la temperatura exterior desciende, y la cubierta comienza a perder calor, los muros liberan de manera gradual el calor almacenado, siendo estos los que contribuyen a mantener

una temperatura interna más estable. Este proceso de liberación de calor es conocido como inercia térmica y es esencial para reducir las fluctuaciones de temperatura dentro de la vivienda, ya que permite que el calor acumulado durante el día se distribuya durante las horas más frías de la noche.

Figura 81. Muros de las viviendas estudiadas.



Ventanas: el análisis detallado de la ganancia solar a través de las ventanas muestra que su punto máximo se alcanza a las 4:00 p.m. con un valor de 0.97 kW, tomando como referencia el primero de marzo, el cual es el día que presenta condiciones similares a las observadas durante la visita. Esto indica una subutilización de la energía solar disponible, lo que se traduce en un aporte mínimo a la temperatura interior. Esta baja eficiencia en la captación solar resalta la necesidad de implementar estrategias que optimicen el uso de la radiación solar, ya sea mediante la incorporación de sistemas de captación más eficientes o mediante ajustes en el diseño arquitectónico que permitan una mayor entrada de luz natural y un mejor aprovechamiento térmico en el interior de la vivienda. Por otro lado, se observa que las ventanas tienen una contribución limitada al calentamiento interior, lo que sugiere la necesidad de reconsiderar su diseño o ubicación para maximizar la captación de energía solar y mejorar la eficiencia energética de la vivienda.

Figura 82. Ventanas de las viviendas estudiadas.



General: los materiales presentes en la vivienda, especialmente aquellos con alta conductividad térmica, contribuyen significativamente a las fluctuaciones en la temperatura interior, lo que puede afectar la percepción de confort de los ocupantes. Así mismo, la variación diurna de temperatura, junto con la influencia de la ganancia solar, evidencia la necesidad de mejorar la gestión térmica del espacio para garantizar un ambiente interior más estable y confortable. La interacción dinámica entre los factores climáticos externos y los materiales de construcción internos juega un papel crucial en la determinación de la temperatura operativa y, en última instancia, en la percepción de confort de los ocupantes.

En resumen, las viviendas experimentan falta de confort térmico a lo largo del día, sin alcanzar condiciones óptimas de temperatura durante 13 horas del día. La variabilidad en el comportamiento térmico entre los diferentes componentes de la vivienda, especialmente entre la cubierta y los muros, refleja la influencia de las condiciones externas en el ambiente interior y destaca la necesidad de mejorar el aislamiento térmico y la eficiencia energética de la vivienda.

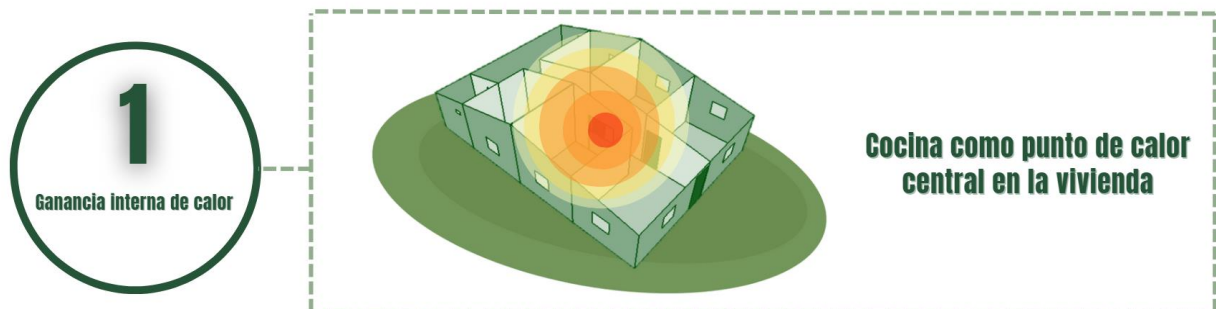
10. Lineamientos

Con base en la información previamente analizada y a partir de las conclusiones expuestas, se procede a formular directrices de diseño que incorporan criterios y parámetros derivados de los resultados obtenidos en la caracterización análoga y digital. Estas directrices tienen como objetivo principal optimizar el comportamiento termodinámico de las viviendas de Berlín, Santander, garantizando así un confort térmico adecuado y, por consiguiente, preservando la salud de sus habitantes.

A continuación, se mencionan los lineamientos propuestos.

Lineamiento uno: Ganancia interna de calor

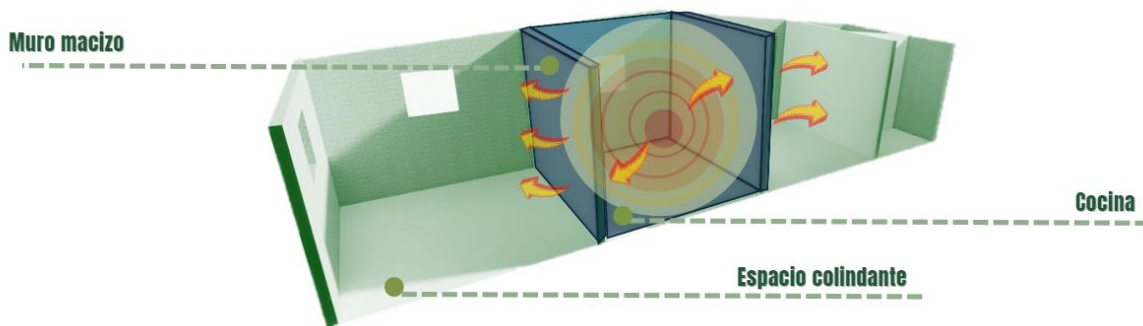
Figura 83. *Lineamiento de diseño 1*



Se ha determinado que la cocina, como principal fuente de calor en la vivienda, se ubicará en una posición central y estratégica debido a la presencia de equipos como la estufa y/o el fogón de leña. Estos elementos permiten que la cocina genere importantes ganancias térmicas durante su funcionamiento en lo largo del día. El calor producido en este espacio es absorbido por los muros macizos (estos pueden variar respecto a su grosor, pues al tener mayor masa, tiene la capacidad de brindar más inercia térmica al espacio), los cuales actúan como reservorios térmicos. De esta

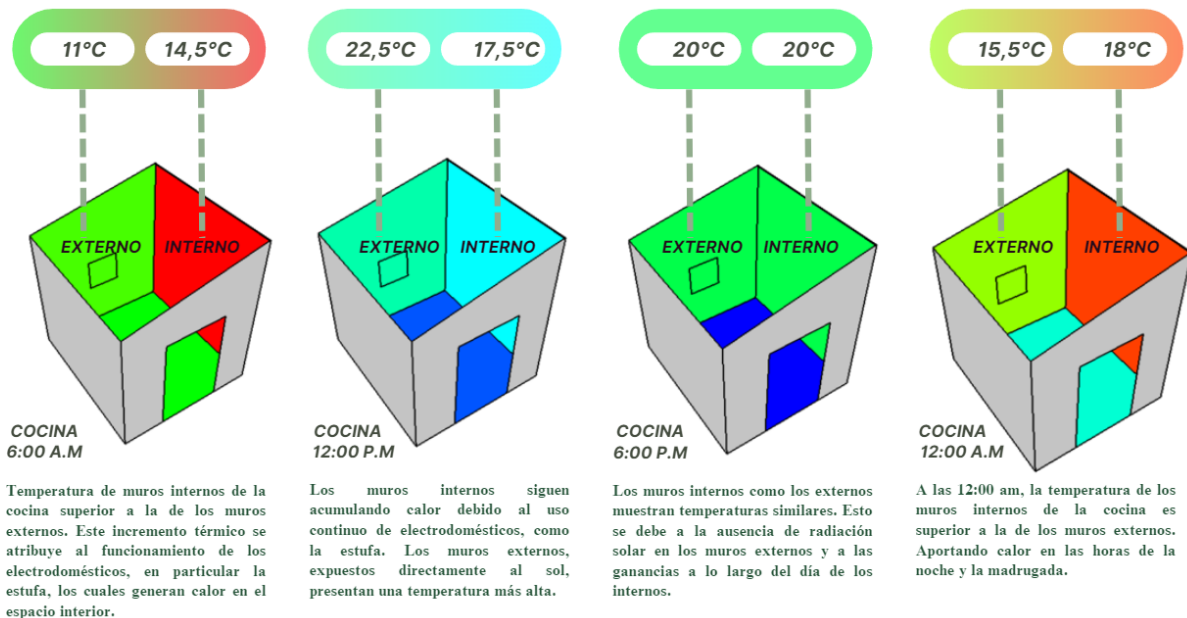
manera, el calor acumulado durante las horas de actividad en la cocina se disipa hacia el interior de los espacios colindantes de forma gradual en los momentos más fríos, particularmente cuando no hay ganancias solares, como por la noche o en días nublados. Esta capacidad de retención y liberación progresiva del calor contribuye a mantener un ambiente más cálido y confortable.

Figura 84. Variación de las temperaturas internas de las paredes de la cocina a lo largo del Día.



Adaptado de DesingBuilder, (s.f.)

Figura 85. Resultados simulación de la temperatura de las superficies que configuran el espacio de la cocina en distintos momentos del día.

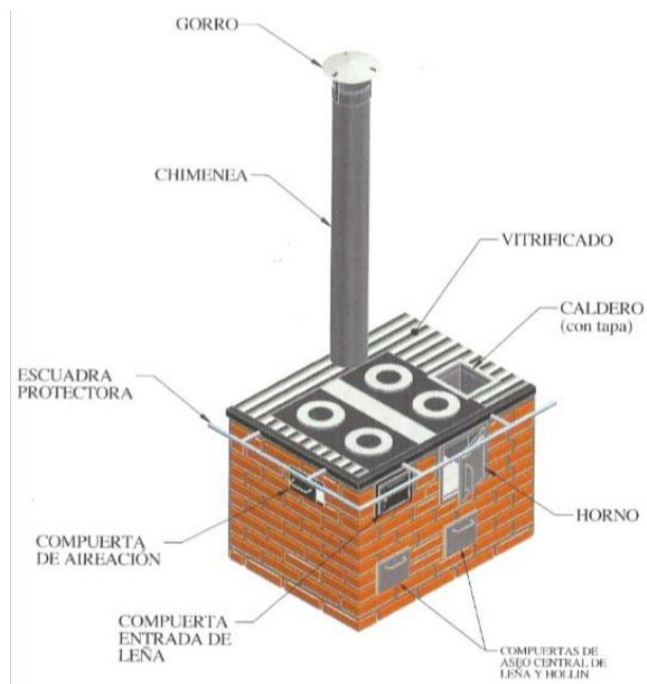


Adaptado de DesingBuilder, (s.f.)

Montes, E. (2005) describe que una ventilación eficiente mantiene el ambiente con niveles adecuados de temperatura y humedad, lo que favorece la comodidad de las personas y, al mismo tiempo, previene condiciones propicias para la proliferación de microorganismos patógenos. Este control también facilita la eliminación de olores, especialmente en áreas donde suelen concentrarse, como las zonas de cocción y lavado.

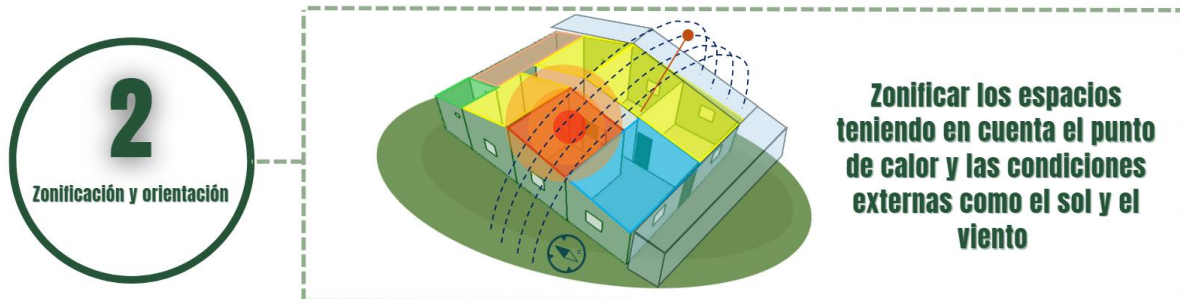
Para mantener la calidad del aire en la cocina, se recomienda instalar una rejilla de ventilación que proporcione una circulación constante y directa hacia el exterior. Esto es fundamental para eliminar los humos y gases de combustión, como el dióxido de carbono, cuya acumulación en niveles altos puede provocar fatiga. Además, una buena ventilación ayuda a reducir la acumulación de grasa en las superficies, lo que facilita la limpieza, y previene la condensación de humedad, evitando suelos resbaladizos, daños en los sistemas eléctricos, corrosión y la aparición de moho.

En cuanto a las soluciones técnicas, se recomienda el uso de conductos de ventilación verticales o chimeneas que dirijan el humo hacia el exterior. El Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible sugiere, por ejemplo, la implementación de estufas ecoeficientes para viviendas rurales, las cuales incorporan una chimenea metálica con un gorro chino que atraviesa la cubierta, mejorando la expulsión de gases de manera segura y eficiente.

Figura 86. Esquema estufa in situ

Tomado de Ministerio de Ambiente y Desarrollo sostenible, proyectos tipo, (2021)

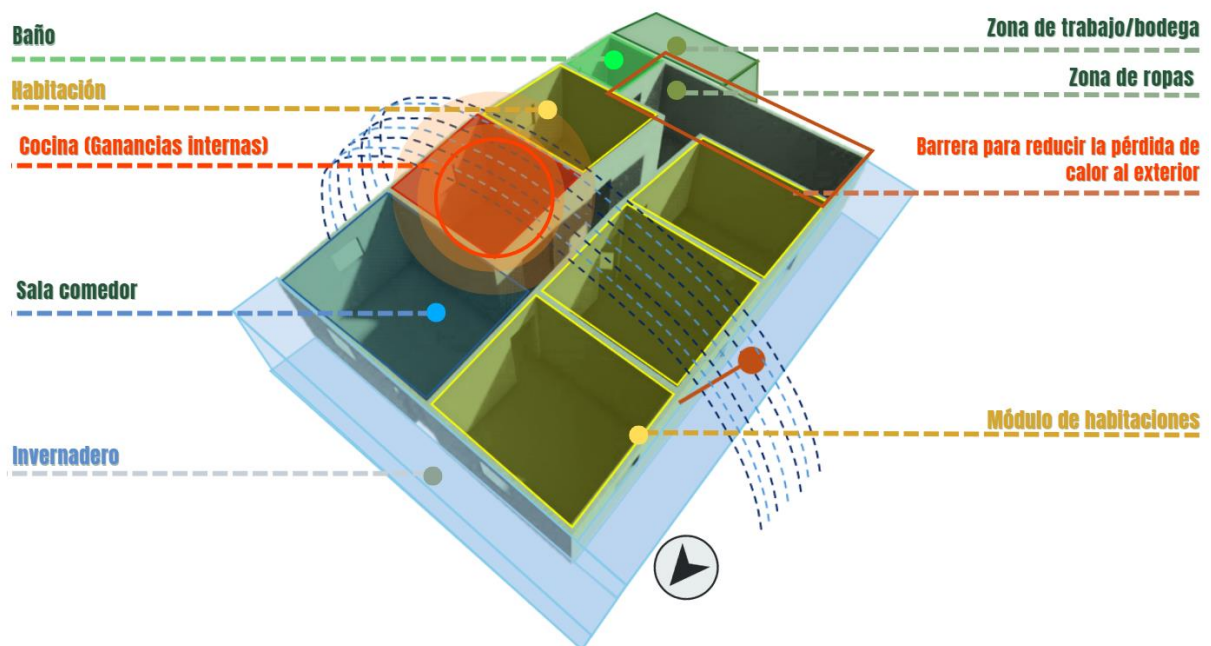
Lineamiento dos: Zonificación y orientación de los espacios.

Figura 87. Lineamiento de diseño 2

Este lineamiento se relaciona directamente con las ganancias internas, la inercia térmica y la conservación de los materiales. Se ha ubicado estratégicamente cada espacio para maximizar el acceso a la radiación solar a lo largo del día.

Tras el análisis de la orientación de las viviendas estudiadas, se determinó que la ubicación más idónea consiste en enfocar la fachada más corta con respecto al norte. Esta configuración minimiza la exposición de las fachadas más largas a las corrientes de viento predominantes provenientes del norte. Así mismo, se recomienda localizar los vanos y ventanas en las fachadas este y oeste, con el fin de optimizar la captación de luz solar a lo largo del día. Este aprovechamiento de la radiación solar permite obtener más ganancias térmicas.

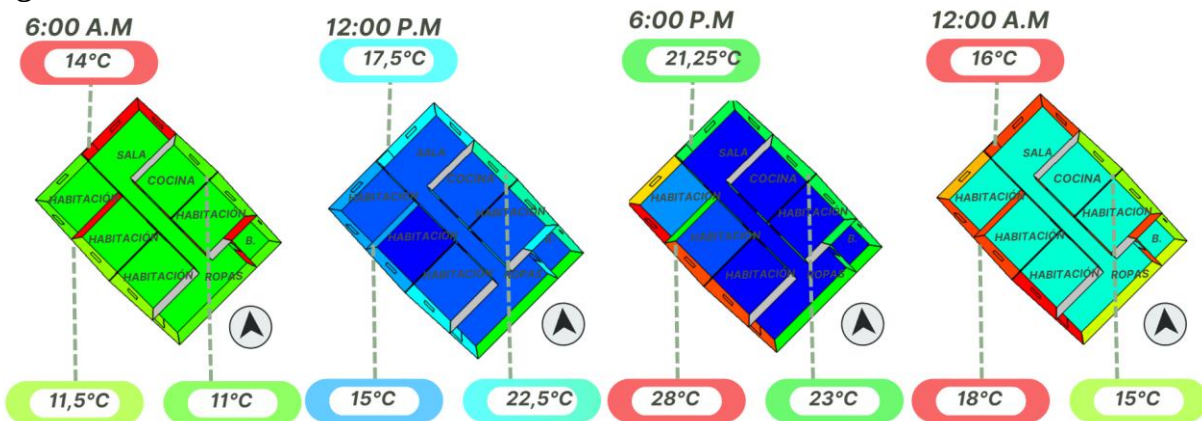
Figura 88. Zonificación de espacios



Adaptado de DesingBuilder (imagen con sol tarde), (s.f.)

A partir de la propuesta de zonificación, se establece que las áreas sociales, como la sala, utilizadas predominantemente durante las horas de la mañana, se orienten hacia la fachada este. Esta disposición permite aprovechar al máximo la radiación solar durante las primeras horas del día, especialmente en los momentos de mayor ocupación, como el desayuno. Así mismo, se situará adyacente a la cocina para aprovechar la energía residual durante las horas nocturnas. En cuanto a las habitaciones, se sugiere organizarlas en un módulo expuesto a la radiación solar de la tarde. Esto facilitará la absorción de energía a través de los materiales de la fachada, contribuyendo a reducir la pérdida de calor durante la noche.

Figura 89. Orientación a distintas horas del día.



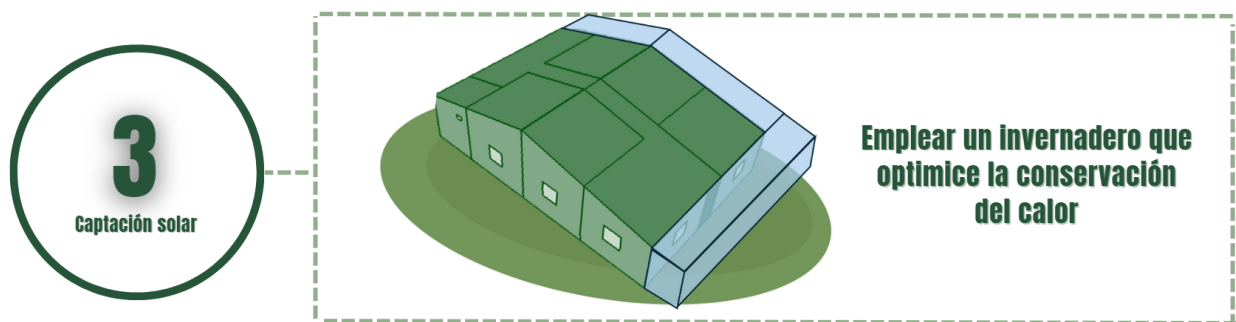
Adaptada de DesingBuilder, (s.f.)

Por otro lado, se recomienda ubicar los baños y otros espacios en los extremos de la vivienda, específicamente en la fachada este, donde recibirán radiación solar durante la mañana. Adosado a este, en la fachada sur, se sugiere situar el espacio de trabajo y almacenamiento, que actualmente se encuentra alejado de la vivienda. Esta disposición actúa como un amortiguador térmico, ya que recoge energía a lo largo del día y no está expuesta a los vientos predominantes del norte, lo que ayuda a minimizar la pérdida de calor hacia el exterior.

Además, se considera fundamental que la vivienda esté situada en proximidad a los cultivos, dado que se trata de una tipología de vivienda productiva, en la cual los residentes dependen directamente de las actividades agrícolas. Esta cercanía optimiza la logística de trabajo.

Lineamiento tres: invernadero ganancia solar directa (invernadero).

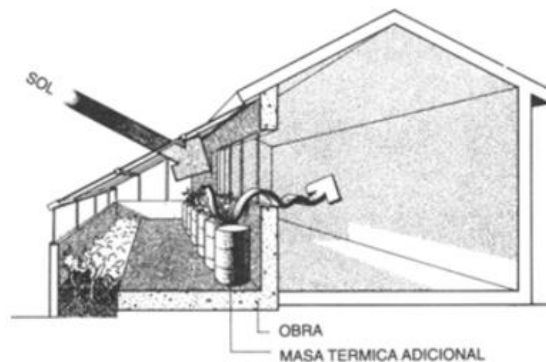
Figura 90. Lineamiento de diseño 3



La integración de un invernadero en la vivienda permite la captación y el almacenamiento de energía solar pasiva para optimizar el calentamiento de los espacios interiores. El invernadero actúa como un sistema de captación térmica, donde la radiación solar es absorbida y el calor se acumula dentro del espacio controlado. Posteriormente, este calor se transfiere al interior de la vivienda mediante las ventanas y/o puertas. Además, el invernadero genera un espacio de amortiguación térmica entre el exterior y el interior, minimizando la exposición directa de la envolvente de la vivienda a las bajas temperaturas exteriores al tener la ubicación hacia los vientos dominantes. Este espacio, además de su función térmica, puede configurarse como un área multifuncional, como una zona de cultivo, lo que resulta particularmente adecuado en el contexto donde los usuarios se dedican a la actividad agrícola.

Figura 91. *Invernadero*

Tomado de Greenhouse manual, (2019)

Figura 92. *Sección de invernadero*

Tomado de Investigación sobre el Comportamiento Térmico de Soluciones Constructivas Bioclimáticas Aplicación de Nuevas Tecnologías para la Rehabilitación Sostenible de Edificios, (2012)

Según el libro *Construcción de Invernaderos* de Z. Serrano Cermeño, se recomienda el uso de estructuras metálicas, especialmente de acero galvanizado, por su alta resistencia y durabilidad ante condiciones climáticas adversas y su capacidad para resistir la corrosión. En ciertos casos,

también se utilizan estructuras de aluminio, un material ligero y resistente a la oxidación, que es preferido en situaciones donde se requiere facilidad de transporte o montajes más ligeros. La estructura de hierro se auxilia de alambre galvanizado y de listones de madera para la sujeción del plástico.

Para cubierta y cerramiento se debe seleccionar un material que ayude a absorber y conservar temperaturas internas más estables, reduciendo la necesidad de factores activos, un ejemplo es el polietileno, este es el material más empleado debido a su bajo costo y facilidad de instalación, lo que lo convierte en una opción muy práctica para proyectos de menor presupuesto. Sin embargo, si se busca mayor durabilidad y resistencia, el policarbonato es una mejor opción, ya que no solo soporta los impactos del viento y las condiciones climáticas extremas, sino que también ofrece una mayor longevidad sin comprometer la transparencia de la luz.

El vidrio, aunque costoso y frágil, sigue siendo una opción destacada en invernaderos que requieren una transmisión de luz superior, no obstante, es más susceptible a los daños y requiere un mantenimiento más cuidadoso.

En comparación, los invernaderos de plástico, como se describe en el libro *Invernaderos de Plástico* de Nicolás Castilla, presentan varias ventajas. En primer lugar, son considerablemente más económicos tanto en construcción como en mantenimiento, lo que facilita su adopción entre agricultores que buscan soluciones más accesibles. Los plásticos modernos han evolucionado para permitir una mejor transmisión de luz, acercándose en calidad al vidrio.

Una ventaja crucial de los invernaderos de plástico es su flexibilidad y adaptabilidad, debido a su menor peso, pueden ajustarse a una amplia variedad de configuraciones y terrenos, lo que los hace ideales para proyectos que requieren personalización o instalación en terrenos

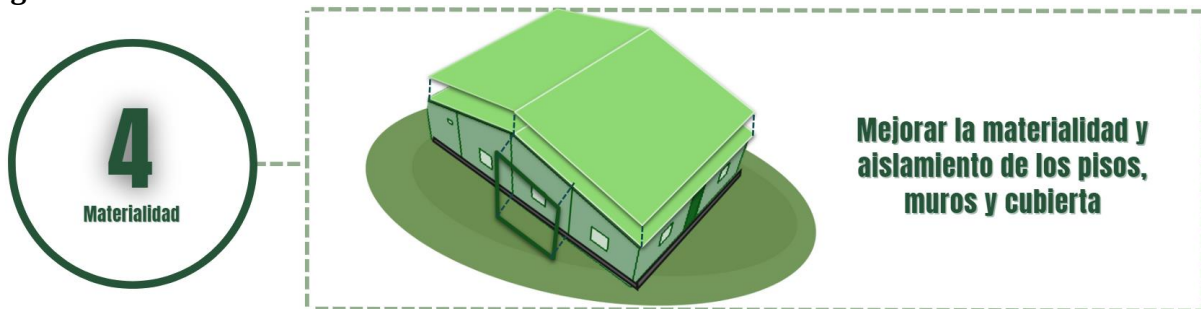
irregulares. Además, los plásticos son más resistentes a impactos y condiciones climáticas adversas en comparación con el vidrio, lo que reduce el riesgo de daños y costos de reparación.

Figura 93. *Diseño de invernadero*



Lineamiento de diseño quinto: Mejorar materialidad de la vivienda

Figura 94. *Lineamiento de diseño 4*



El cuarto lineamiento de mejora en el diseño de las viviendas se centra en optimizar la materialidad con relación a su capacidad para aislar térmicamente el espacio y acumular temperatura en el mismo, por lo que el papel principal de la envolvente en la edificación tiene que

ser tener la capacidad de poder retener la energía dentro del espacio, con lo cual los materiales designados para la piel del edificio deben tener como característica la capacidad de aislamiento térmico.

Este enfoque abarca la intervención en los muros externos, así como en el piso y la cubierta, dado que estos son los elementos que más influyen en las fluctuaciones térmicas y en la eficiencia energética de la vivienda. A partir de los datos obtenidos en las gráficas de las simulaciones, se ha identificado que la falta de aislamiento adecuado en estos componentes es la causa principal de que la vivienda experimente importantes pérdidas de calor, lo que genera condiciones de discomfort térmico durante gran parte del día. En particular, las cubiertas son las responsables de permitir la entrada o salida de calor de forma descontrolada, afectando negativamente la estabilidad térmica en el interior.

Piso:

Figura 95. Materialidad existente en el piso



Aislamiento térmico del suelo: para mejorar el aislamiento térmico del suelo, se propone la incorporación de materiales aislantes bajo la superficie del piso, creando una barrera térmica que disminuya la pérdida de calor hacia el terreno. Esto permitirá mantener una temperatura

interior más estable, especialmente durante las horas más frías del día. Para ello, se implementará el uso de caucho reciclado proveniente de neumáticos fuera de uso (NFU), compuesto por caucho natural y sintético. Este material no solo es una opción eficiente como aislante térmico, con una baja conductividad de $0.13 \text{ W/m}\cdot\text{K}$ según el CTE, sino que también resulta económico, ya que reutiliza residuos industriales, reduciendo costos en comparación con otros materiales aislantes. Entre sus formas de aplicación se destacan piezas como tapetes de caucho para carros, pisos, suelas de zapatos, material de grama sintética y llantas, aprovechando las propiedades aislantes del caucho para reducir las pérdidas de calor.

Figura 96. *Materialidad propuesta en el piso.*



Cálculo de transmitancia térmica (U) placa de piso:

$$U=1/\text{Resistencia térmica})$$

Para calcular la resistencia térmica de la placa de piso se suma capa de grava + lona de plástico + Cauchos NFU + Placa de piso en concreto + Cerámica de gres, se suman las resistencias térmicas más la superficial interior que equivale a (0.09 m². °C/w).

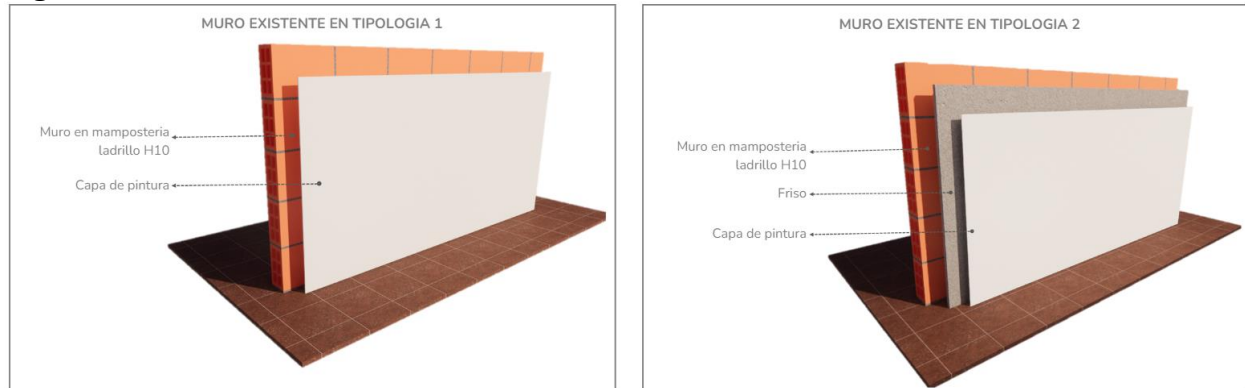
$$U=1/R$$

$U= 1/ (\text{resistencia térmica capa de grava} + \text{resistencia térmica lona de plástico} + \text{resistencia térmica cauchos NFU} + \text{resistencia térmica piso en concreto} + \text{resistencia térmica cerámica de gres} + 0.09 \text{ m}^2. \text{ °C/w})$

$$U= 1 / 0.13 \text{ m}^2. \text{ °C/w} + 0.004 \text{ m}^2. \text{ °C/w} + 0.308 \text{ m}^2. \text{ °C/w} + 0.088 \text{ m}^2. \text{ °C/w} + 0.0095 \text{ m}^2. \text{ °C/w} + 0.09 \text{ m}^2. \text{ °C/w})$$

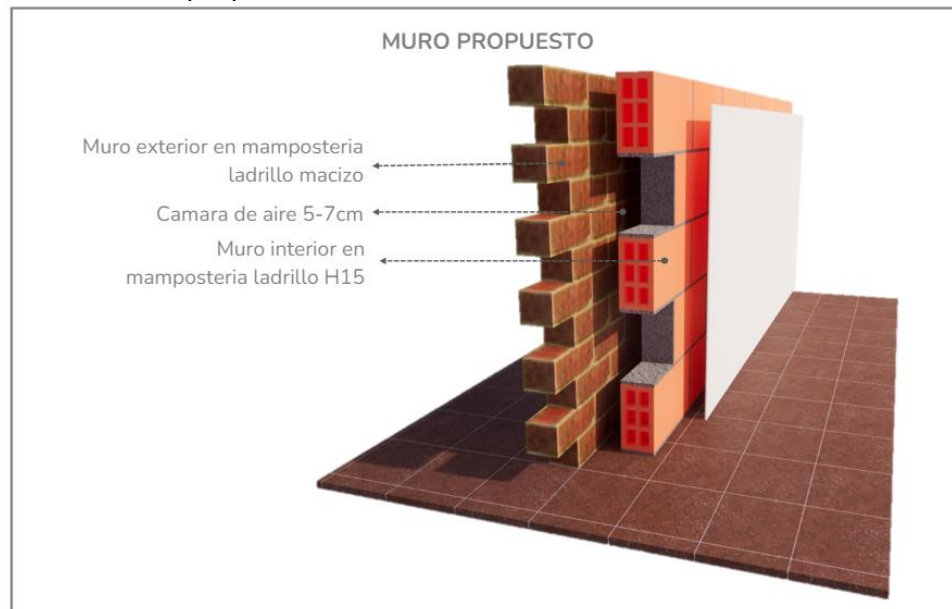
$$\underline{U= 1.58 \text{ W/m}^2. \text{ °C}}$$

El valor de la transmitancia térmica de la placa de piso es de 1.58 W/m²·°C, lo que indica una menor capacidad de transmisión de calor en comparación con la configuración anterior (3.356 W/m²·°C). Esto significa que la placa transfiere menos calor, lo que contribuye a un mejor aislamiento térmico en el espacio que cubre.

*Muros exteriores:***Figura 97. Materialidad existente en los muros.**

Aislamiento térmico de los muros exteriores: para mejorar el aislamiento térmico de los muros exteriores, se implementará un sistema de doble muro con una cámara de aire en su interior. Se usarán dos tipos de ladrillos: el ladrillo macizo para el muro que se encuentra en contacto directo con el exterior, debido a su mayor masa, lo que le otorga más inercia térmica, permitiéndole absorber calor durante el día y liberarlo por la noche; y el ladrillo hueco H15 para el muro que está en contacto con el interior, que, gracias a sus cavidades, relentiza la transferencia de calor hacia el exterior. Según el CTE, la conductividad térmica del ladrillo hueco es de $0.32 \text{ W/m}\cdot\text{K}$ y la del ladrillo macizo es de $0.85 \text{ W/m}\cdot\text{K}$.

Adicionalmente, el sistema de doble muro se complementará con una cámara de aire entre ambos muros, con un espesor recomendado de entre 4 y 5 cm. Este espesor es de gran importancia ya que de ser mayor se vería afectado el incremento de los costos de construcción y de igual manera no se aportarían beneficios significativos en el aislamiento. El aire atrapado en esta cámara actúa como una capa extra de protección, ayudando a mantener la temperatura interna estable.

Figura 98. *Materialidad propuesta en los muros.*

Cálculo de transmitancia térmica (U) muro compuesto:

$$U=1/\text{Resistencia térmica})$$

Para calcular la resistencia térmica del muro compuesto de muro macizo + cámara de aire + Muro h15, se suman las tres resistencias térmicas más la superficial interior y exterior que equivale a (0.17m2. °C/w).

$$U=1/R$$

$U= 1/ (\text{resistencia térmica ladrillo macizo} + \text{resistencia térmica ladrillo H15} + \text{resistencia térmica cámara de aire} + 0.17 \text{ m2. } ^\circ\text{C/w})$

$$U= 1/ (0,14117647 \text{ m2. } ^\circ\text{C/w} + 0,46875 \text{ m2. } ^\circ\text{C/w} + 0,18 \text{ m2. } ^\circ\text{C/w} + 0,17 \text{ m2. } ^\circ\text{C/w})$$

$$\underline{U= 1,0\text{W/m2. } ^\circ\text{C}}$$

Se observa que la transmitancia térmica del muro compuesto reduce favorablemente en comparación con la transmitancia térmica del muro macizo ($3,21\text{W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$) y el muro H15 ($1,56\text{W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$) por separados.

Cubierta:

Figura 99. Materialidad existente en cubierta.



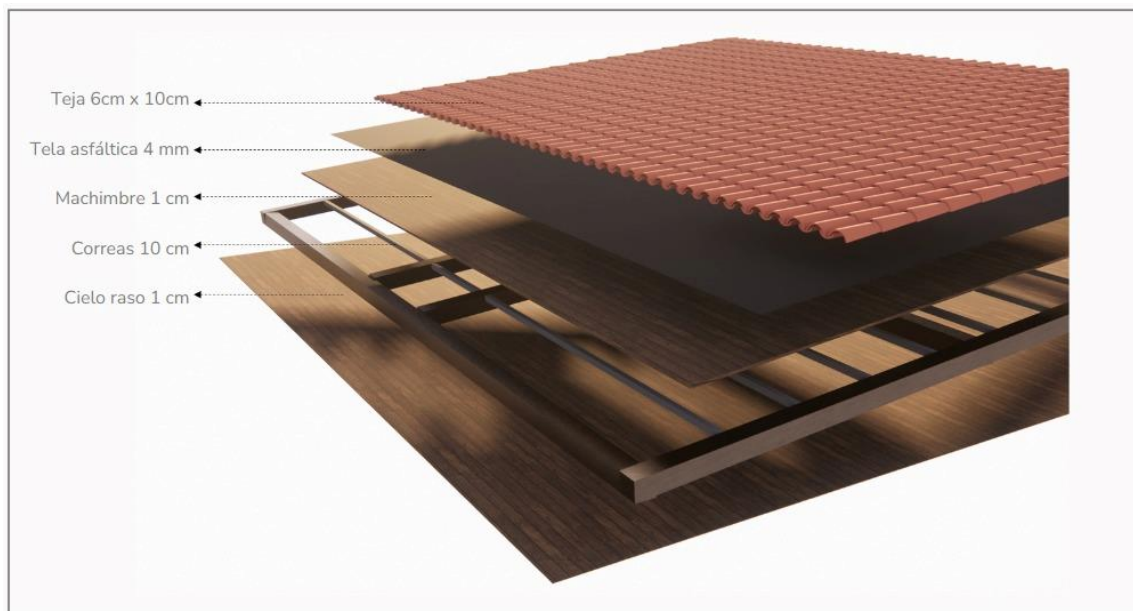
Aislamiento térmico de la cubierta: para mejorar el aislamiento térmico de la cubierta, se propone, en primera instancia, reemplazar el material actual. Actualmente, la cubierta está compuesta por tejas de fibrocemento, y como se mencionó anteriormente en la figura 63 este es un material que presenta una alta transmitancia térmica ($3,261\text{ W/m}^2\text{C}$), lo que provoca una mayor transferencia de calor entre el exterior y el interior de la vivienda. Además, el fibrocemento es conocido por ser potencialmente dañino para la salud, debido a los materiales con los que está fabricada, por lo que se refuerza la necesidad de un cambio.

Primera propuesta de cubierta: en su lugar, Se opta por el uso de cubiertas en tejas de barro, un material que no solo es más saludable, sino que también presenta varias ventajas significativas. Constructivamente, esta cubierta estará compuesta de la siguiente manera: De adentro hacia afuera se encontrará en primer lugar un cielo raso en madera, posteriormente estarán

las correas de las cuales pueden ser de madera o metálicas, que proporcionan el soporte estructural necesario, y crean también una cámara de aire entre ambos elementos, lo que funciona como aislante térmico; a continuación, se colocará el machimbre, que sirve como base sólida. Posteriormente, se aplicará una tela asfáltica para evitar filtraciones y garantizar la impermeabilidad de la cubierta. Por último, se dispondrán las tejas de barro, las cuales cuentan con una baja conductividad térmica de aproximadamente $1 \text{ W/m}\cdot\text{K}$, según el CTE. Contribuyendo también a mantener una temperatura interior más estable.

De igual manera se puede optar por mejorar la eficacia de la cámara de aire añadiendo un aislante térmico, siempre que los recursos económicos lo permitan. Esta adición contribuiría a incrementar la resistencia térmica del sistema constructivo, reduciendo significativamente la pérdida de calor a través de la cubierta y mejorando el confort interior.

Figura 100. *Materialidad propuesta en cubierta con teja de barro.*



Cálculo de transmitancia térmica (U) cubierta de teja de barro:

$$U=1/\text{Resistencia térmica})$$

Para calcular la resistencia térmica de la cubierta de teja de barro se suma cielo raso en madera + cámara de aire + Correas de amare + machimbre + tela asfáltica + teja de barro, más horizontales y flujo descendiente que equivale a (0.22m2. °C/w).

$$U=1/R$$

$U= 1/ (\text{resistencia térmica cielo raso en madera} + \text{resistencia térmica cámara de aire} + \text{resistencia térmica correas de amarre} + \text{resistencia térmica machimbre} + \text{resistencia térmica tela asfáltica} + \text{resistencia térmica teja de barro} + 0.22 \text{ m2.}^\circ\text{C/w})$

$$U= 1 / 0.167 \text{ m2. }^\circ\text{C/w} + 0.18 \text{ m2. }^\circ\text{C/w} + 0.417 \text{ m2. }^\circ\text{C/w} + 0.167 \text{ m2. }^\circ\text{C/w} + 0.022 \text{ m2. }^\circ\text{C/w} + 0.02\text{m2. }^\circ\text{C/w} + 0.22\text{m2. }^\circ\text{C/w})$$

$$\underline{U= 0.83 \text{ W/m2. }^\circ\text{C}}$$

El valor de la transmitancia térmica de la cubierta en teja de barro es de 0.83 W/m²·°C, lo que indica una menor capacidad de transmisión de calor en comparación con la cubierta utilizada actualmente en las viviendas (teja de fibrocemento 3.261 W/m²·°C). Esto significa que la placa transfiere menos calor, lo que contribuye a un mejor aislamiento térmico en el espacio que cubre.

Segunda propuesta de cubierta: sin embargo, también se propone una segunda cubierta la cual estaría compuesta constructivamente de la misma manera que la ya mencionada anteriormente, pero con la diferencia de que se cambiaria la teja de barro por teja Azembla, esta

se encuentra compuesta de PVC el cual según el CTE cuenta con una baja conductividad térmica de $0.3 \text{ W/m}\cdot\text{K}$

Figura 101. Características generales teja Azembla.



Tomado de Especificaciones técnicas teja trapezoidal Azembla, (2024)

Figura 102. Materialidad propuesta en cubierta con teja Azembla.



Cálculo de transmitancia térmica (U) cubierta de teja de Azembla:

$$U=1/\text{Resistencia térmica})$$

Para calcular la resistencia térmica de la cubierta de teja de barro se suma cielo raso en madera + cámara de aire + teja de Azembla, más horizontales y flujo descendiente que equivale a (0.22 m². °C/w).

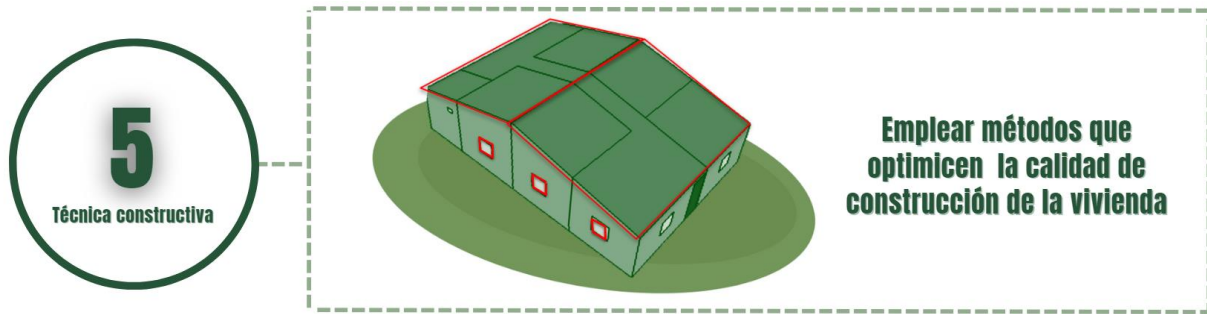
$$U=1/R$$

$U= 1/ (\text{resistencia térmica cielo raso en madera} + \text{resistencia térmica cámara de aire} + \text{resistencia térmica teja de Azembla} + 0.22 \text{ m}^2.\text{°C/w})$

$$U= 1 / \mathbf{0.167 \text{ m}^2.\text{°C/w} + 0.18 \text{ m}^2.\text{°C/w} + 0.27\text{m}^2.\text{°C/w} + 0.22 \text{ m}^2.\text{°C/w}}$$

$$\mathbf{U= 1.19 \text{ W/m}^2.\text{°C}}$$

El valor de la transmitancia térmica de la cubierta en teja de Azembla es de 1.19 W/m².°C, lo que indica una menor capacidad de transmisión de calor en comparación con la cubierta utilizada actualmente en las viviendas (teja de fibrocemento 3.261 W/m².°C). Esto significa que la placa transfiere menos calor, lo que contribuye a un mejor aislamiento térmico en el espacio que cubre.

*Lineamiento de diseño 5: Técnica constructiva.***Figura 103.** *Lineamiento de diseño 5*

Para el quinto y último lineamiento de mejora de diseño, se propone implementar técnicas constructivas que optimicen la calidad y eficiencia de las viviendas en cuanto a su desempeño térmico. Durante el análisis realizado, se detectaron fallas significativas en la técnica de construcción, especialmente en la unión de las ventanas con los muros y de la cubierta con los muros, observándose espacios de varios centímetros entre estos elementos. Estas deficiencias comprometen gravemente el aislamiento térmico y la hermeticidad de la vivienda, lo que genera fluctuaciones de temperatura interna y reduce el confort de los habitantes.

Por lo tanto, es fundamental que los usuarios se encuentren capacitados y sepan cómo deben estar constructivamente las uniones entre estos elementos, pues en muchos casos son ellos mismos los encargados de construir o mejorar sus propias viviendas. Esto incluye asegurar un sellado adecuado en los puntos críticos, como las uniones de ventanas y puertas (contra el muro), empleando una correcta técnica constructiva de estos para evitar filtraciones de aire frío. Por esta razón, siempre y cuando, los recursos económicos lo permitan se propone el uso de espumas expansivas el cual llene las cavidades de las perfilerías tanto en ventanas como en las puertas, así

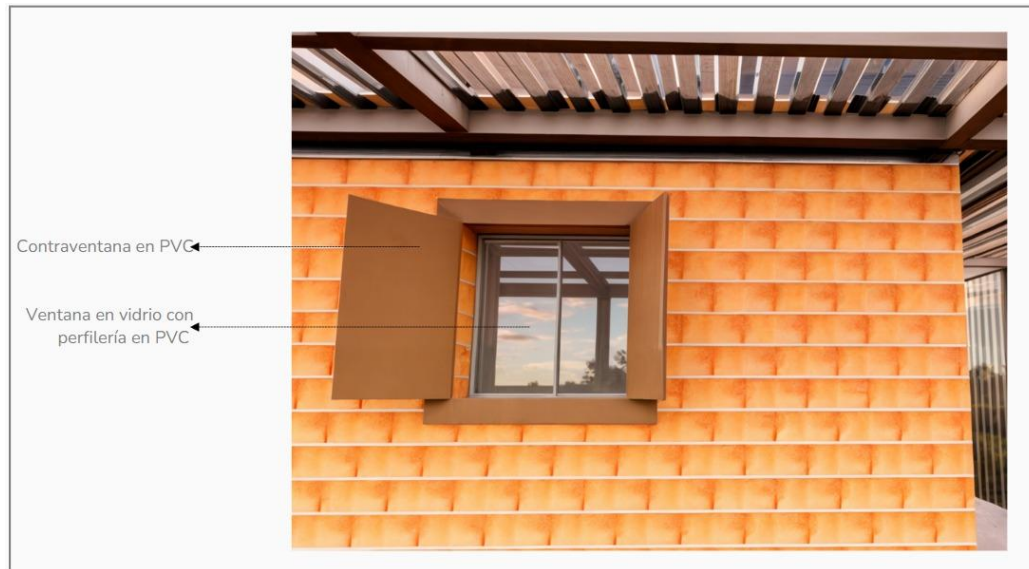
al mejorar estas prácticas constructivas, se reducirá la pérdida de calor a través de las dilataciones y se logrará una mayor estabilidad térmica en el interior, proporcionando un ambiente más confortable y eficiente energéticamente.(o alternativa más económica, eje mortero y pasta siliconada o similar)

Considerando la necesidad de mejorar la técnica constructiva, se evaluó inicialmente en la instalación de ventanas con doble acristalamiento, ya que es una de las opciones más eficientes para minimizar la pérdida de temperatura. Sin embargo, esta alternativa implicaría un incremento significativo en los costos. Dado que, como se menciona en la página 55, el proyecto está dirigido a una población vulnerable y de escasos recursos. Por lo tanto, se optó por utilizar contraventanas como la solución más adecuada.

Contraventanas: “Una contraventana en el exterior de una ventana introduce una resistencia térmica adicional, como resultado de tanto la cámara de aire encapsulado entre la contraventana y la ventana, como la contraventa por sí misma.” (ISO 10077, 2006, p. 10)

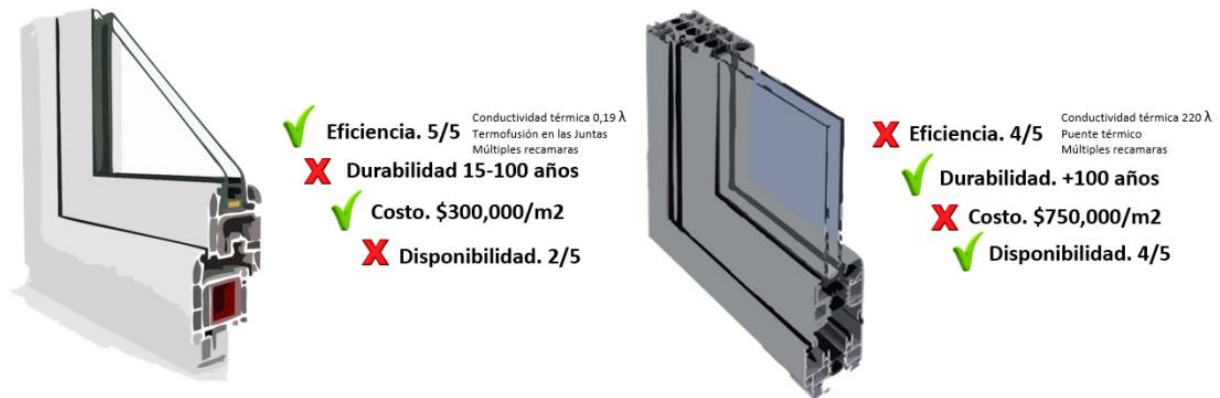
Las contraventanas representan una solución efectiva para mitigar los puentes térmicos en los edificios, al cerrarlas, se establece una barrera adicional que interrumpe el flujo de calor entre el interior y el exterior, lo que resulta en una reducción del coeficiente de transferencia de calor. Además, al disminuir la superficie expuesta de las ventanas, se limita aún más la pérdida de calor.

Las contraventanas también desempeñan un papel importante en la minimización de las corrientes de aire frío y en el control de la radiación solar directa, lo que ayuda a mantener una temperatura interior más constante. Por otro lado, al prevenir la condensación en los marcos de las ventanas, contribuyen a proteger la integridad de las casas y a mejorar la calidad del aire interior.

Figura 104. *Contraventana*

Ventana de doble acristalamiento: este tipo de ventanas está compuesto por dos hojas de vidrio separadas por una cámara de gas, generalmente argón. Esta capa intermedia de gas actúa como una barrera que reduce la transferencia de calor entre el interior y el exterior, lo que permite mantener una temperatura interior más estable y mejora el confort térmico de la vivienda.

Además, se recomienda que la perfilera de las ventanas sea de PVC en lugar de metal, ya que este material ofrece un mejor aislamiento térmico, la conductividad térmica del PVC es de $0.19 \text{ W/m}\cdot\text{K}$, mientras que la de los perfiles metálicos es considerablemente más alta, alcanzando los $220 \text{ W/m}\cdot\text{K}$. El uso de PVC no solo mejora la eficiencia energética de la vivienda, sino que también resulta en un costo más bajo, haciendo de este material una opción más económica y accesible. Según (Arenas, 2020, p. 16)

Figura 105. Relación eficiencia, durabilidad, costo y disponibilidad entre tipos de ventanas

Tomado de (Arenas, 2020)

De igual manera el espacio recomendado que debe haber entre cada uno de los vidrios es de 14mm a 16mm pues según (Arenas, 2020, p. 18). Cualquier valor inferior a este aumenta la incidencia de la transferencia de calor, y cualquier valor superior puede crear convección dentro de las unidades.

Referencias

- AENOR, (2002). Ergonomía del ambiente térmico. Vocabulario y símbolos. (ISO 13731:2001).
- AENOR, (2006). Ergonomía del medio ambiente Determinación analítica e interpretación del bienestar térmico mediante el cálculo de los índices PMV y PPD y los criterios de bienestar térmico local. (ISO 7730:2005)
- Airtightness and airtightness measurement [Passipedia EN]. (s. f.).
https://passipedia.org/planning/refurbishment_with_passive_house_components/thermal_envelope/airtightness#:~:text=Pressure%20test%20results%20of%20old,is%20%3C0.6%20h%2D1%20.
- Anemómetro Kestrel KESTREL 3000, varios parámetros de medición | RS. (s. f.). <https://es.rs-online.com/web/p/anemometros/3443494>
- Arenas, E. (2020). El doble acristalamiento como alternativa tecnológica para el mejoramiento del confort térmico en la vivienda de la Sabana de Bogotá. Universidad Piloto de Colombia.
<https://repository.unipiloto.edu.co/bitstream/handle/20.500.12277/2356/El%20doble%20acristalamiento%20como%20alternativa%20tecnol%20gica%20para%20el%20mejoramiento%20del%20confort%20t%20rmico%20en%20la%20vivienda%20de%20la%20Sabana%20de%20Bogot%20a1.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Arorga. (s. f.). Características de DesignBuilder. <https://www.designbuilder-lat.com/caracteristicas/descripcion-general>
- Avelar Melgar, F. A., Castaneda Nolasco, S. E., y Martínez López, D. S. (2015). Estudio de estrés térmico en los ambientes laborales de la Facultad de Ingeniería y Arquitectura de la Universidad de El Salvador (Doctoral dissertation, Universidad de El Salvador)
- Barranco, O. (2015). La arquitectura bioclimática. Módulo Arquitectura CUC, Vol.14 N°2 31-40.

- Borda, O. F. (1956). Aspectos psico-sociológicos de la vivienda rural colombiana. Revista colombiana de psicología, 1(2), 206-229.
- Castilla, N., y Prados, N. C. (2007). Invernaderos de plástico, Tecnología y manejo, (2ª ed, rev, y amp.): tecnología y manejo. Mundi-Prensa Libros.
- Cdmb-Corponor. (2008). Plan integral de manejo del distrito de manejo integrado de los recursos naturales “páramo de Berlín” departamentos de Santander y Norte de Santander. Corporación autónoma regional para la defensa de la meseta de Bucaramanga.
- Da Casa Martín, F., Celis D’amico, F., y Echeverría Valiente, E. (2019). Metodología para elaborar una cartografía regional y aplicar estrategias bioclimáticas según la carta de givoni. Revista hábitat sustentable, 9(2), 52-63.
- DANE. Boletín censo general 2005 perfil Tona Santander. 2006
https://www.dane.gov.co/files/censo2005/PERFIL_PDF_CG2005/00000T7T000.PDF
- Directrices de la OMS sobre vivienda y salud. (2022). Pan American Health Organization.
- Corporación Autónoma Regional de la Frontera Nororiental (CORPONOR). (2007) Distrito Manejo Integrado Páramo de Berlín: Resumen ejecutivo . [https://cor.gov.co/áreas/desc/DMI_Berlín_Resumen %20Ejecutivo_noviembre.pdf](https://cor.gov.co/áreas/desc/DMI_Berlín_Resumen%20Ejecutivo_noviembre.pdf)
- DesignBuilder Software Ltd - Home. <https://designbuilder.co.uk/>
- Corporación Autónoma Regional de la Frontera Nororiental (CORPONOR). (Distrito de Manejo Integrado Páramo de Berlín: Plan de Manejo Ambiental aprobado. [https://https://corpon.gov.co/áreas/descargas/DMI_Berlín_PMA_aprobado_agosto2008 .pdf](https://corpon.gov.co/áreas/descargas/DMI_Berlín_PMA_aprobado_agosto2008.pdf)
- Duque Botina, C. J., y Mendez Gil, J. P. (2018). Guía gráfica del título K de la NSR 10 (Reglamento Colombiano de construcciones sismo resistentes (Bachelor's thesis, Universidad La Gran Colombia).

EnergyPlus. (2022). EnergyPlus weather. <https://energyplus.net/weather>

Esquema de ordenamiento territorial - municipio de tona-.Edu.co,
<https://repositoriocdim.esap.edu.co/bitstream/handle/123456789/11812/77921.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Estrutechos. (2024). Ficha técnica Azembla 2024. https://estrutechos.com/wp-content/uploads/2024/03/ficha-tecnica-azembla-2024_compressed.x85385.pdf

Eternit. (2020). Teja Ondulada Perfil 7 Plus - Eternit. <https://www.eternit.com.co/project/teja-ondulada-perfil-7-plus/>

Farfán, B. R. O., y Otero, E. R. (2000). Vivienda rural y medio ambiente. Luna Azul, 1-de. Luna, M. (s/f).

Freixanet, V. A. F., y Viqueira, M. R. (2004). Ventilación natural: cálculos básicos para arquitectura.

Hidalgo, C. B., Avellaneda, D. A. J., y Roset, D. F. J. (2015). Diseño y soluciones constructivas en la envolvente de la vivienda social en El Salvador: estudio de la repercusión de la temperatura radiante en el confort térmico interior (Doctoral dissertation, Universitat Politècnica de Catalunya. Escola Tècnica Superior d'Arquitectura de Barcelona. Departament d'Enginyeria de la Construcció, 2015 (Màster universitari en Tecnologia a l'Arquitectura)).

Infrared Thermometer - Shenzhen Jumaoyuan Science and Technology Co.,Ltd. (s. f.).
<http://www.benotechco.net/en/products/infrared-thermometer.html>

H. Z. T. Wang y D. B. F. H. Hu, "Thermal bridging and its effect on building energy consumption," Building and Environment, vol. 92, pp. 292-301, 2015.

Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales. <https://www.ideam.gov.co/>

ISO/TC 159/SC 5 - Ergonomics of the physical environment, (2005) Ergonomics of the thermal environment — Application of International Standards to people with special requirements. (ISO/TS 14415:2005)

Índices de coma térmico — Temperatura radiante media, 1979-2020 — Descubra los servicios clave, las características temáticas y las herramientas de Climate-ADAPT. (s. f.). ClimateADAPT. <https://climate-adapt.eea.europa.eu/es/metadata/indicators/thermal-comfort-indices-mean-radiant-temperature-1979-2019>

Magnus, P. G. (2015, September). Aislamiento térmico móvil: filtros para la reducción de pérdidas de calor por aberturas en la envolvente en climas fríos (Projecte Final de Màster Oficial). UPC, Escola Tècnica Superior d'Arquitectura de Barcelona, Departament d'Enginyeria de la Construcció. Retrieved from <http://hdl.handle.net/2117/78658>

Manco-Jaraba, D. C., Martínez-Contreras, C. A., Gómez-Jiménez, J. E., Giraes-Puerta, D. I., y Molina-Arenas, S. I. (2020). Caracterización fisicoquímica de las arcillas utilizadas en la preparación de pastas cerámicas para la producción de los lotes de ladrillo tipo h-10 en la empresa Ladrillera Valledupar sas (Colombia). Aibi revista de investigación, administración e ingeniería, 8(3), 54-59.

Martín, F. y Equipo técnico IETCC. (s. f.). Investigación sobre el comportamiento térmico de soluciones constructivas bioclimáticas aplicación de nuevas tecnologías para la rehabilitación sostenible de edificios [Escuela Técnica Superior de Ingenieros Industriales de Sevilla. Universidad de Sevilla]. <https://arquieficiencia.wordpress.com/wp-content/uploads/2012/07/7-ga-invernaderos.pdf>

Mejía-Escalante, M. (2016). La vivienda digna y la vivienda adecuada. Estado del debate. Cuadernos de vivienda y urbanismo, 9(18), 292-307.

Meteonorm. (2022). Meteonorm. <https://meteonorm.com/en/>

Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. (2021). Instalación De Estufas Ecoeficientes Para Vivienda Rural. Versión 2. En Departamento Nacional De Planeación (Proyectos tipo). Departamento nacional de planeación. https://proyectostipo.dnp.gov.co/images/pdf/estufas/GUIA_FORMULACION_PT_ESTUFAS_ECOEFICIENTES_19052021.pdf

Montes, E. (2005). Diseño y gestión de cocinas. Díaz de santos editorial.

Moyano, M. P. P. (2012). Confort térmico. Universidad de Cuenca, Cuenca.

National Center for Appropriate Technology (NCAT), United States Botanic Garden,y cityblossoms. (2019). Greenhouse Manual An Introductory guide for educators. https://www.usbg.gov/sites/default/files/usbg-greenhouse_manual.pdf

Olano García, H. A., (2006). El derecho a la vivienda digna en Colombia. *Díkaion*, 20(15), 105-112.

Ortega, M. S. N., Zúñiga, J. V. S., y Molina, J. S. (2022). Comportamiento térmico de diferentes tipologías de ladrillo producidos por el clúster cerámico de Norte de Santander. *Revista colombiana de tecnologias de avanzada* (RCTA), 2(40), 47-52.

Plan de desarrollo tona santander 2020 – 2023. Alcaldía de Tona. <https://www.tona-santander.gov.co/>

Sánchez Quintanar, C., y Jiménez Rosas, E. O. (2010). La vivienda rural: su complejidad y estudio desde diversas disciplinas. *Luna Azul*, (30), 174-196.

Rougeron, C. (1977). Aislamiento acústico y térmico en la construcción. Reverte.

Serra Florensa, R., y Coch Roura, H. (2001). Arquitectura y energía natural. Llibre, Edicions UPC.

- Servando, A y Equipo técnico IETCC. (s. f.). Investigación sobre el comportamiento térmico de soluciones constructivas bioclimáticas aplicación de nuevas tecnologías para la rehabilitación sostenible de edificios [Escuela Técnica Superior de Ingenieros Industriales de Sevilla. Universidad de Sevilla]. <https://arquieficiencia.wordpress.com/wp-content/uploads/2012/07/7-ga-invernaderos.pdf>
- Serrano Cermeño, Z. (2005). Construcción de invernaderos. Ediciones Mundi-Prensa.
- Silva, F. P. (2006). Globalización, paisaje y vivienda rural. *Revista de urbanismo*, (14), ág-92.
- Telefónicas, T.-. E. (2024, 13 abril). Cuántos habitantes tenía Tona, Santander en 2023. Telencuestas.<https://telencuestas.com/censos-de-poblacion/colombia/2023/santander/tona>

Apéndices

Apéndice A. Encuesta de evaluación del confort térmico; toma de datos casa #12.

Proyecto de investigación										
Encuesta de evaluación del confort térmico										
2. Toma de datos: 12 de marzo										
Instrumentos de medición:		Anemometro		Anemometro		Termómetro laser		Anemometro		Termómetro laser
Casa 12		Humedad relativa %		Temperatura °C ambiente		Temperatura °C materiales		velocidad del viento m/s		Vanos m(medidas)
Espacio	Hora toma	Interior	Exterior	Interior	Exterior	Interior	Exterior	Interior	Exterior	
Cocina	7:01	48,8	82,9	11,5	8,9			0	1,5	
	13:18	56,4	54,8	22,7	21,6			0	0,6	
	18:04	74,1	46,4	14,3	11,1			0	1,8	
Sala	7:02	44,2		10,2				0		
	13:12	58,1		23,5				0		
	18:01	76,1		12,7				0		
Habitación principal	7:01	48,1		11,9				0		
	13:18	62,8		23,9				0		
	18:04	74,9		14,5				0		
Cubierta	4:04					6,7	4,2			
	13:10					33,5	23,9			
	18:11					13,5	14,5			
Piso	7:04					8	0,8			
	13:10					14,2	15,3			
	18:11					11,5	10,7			
Pared	7:04					10,4	7,2			
	13:10					15,3	15,4			
	18:11					14,4	12,7			

3. Observaciones:

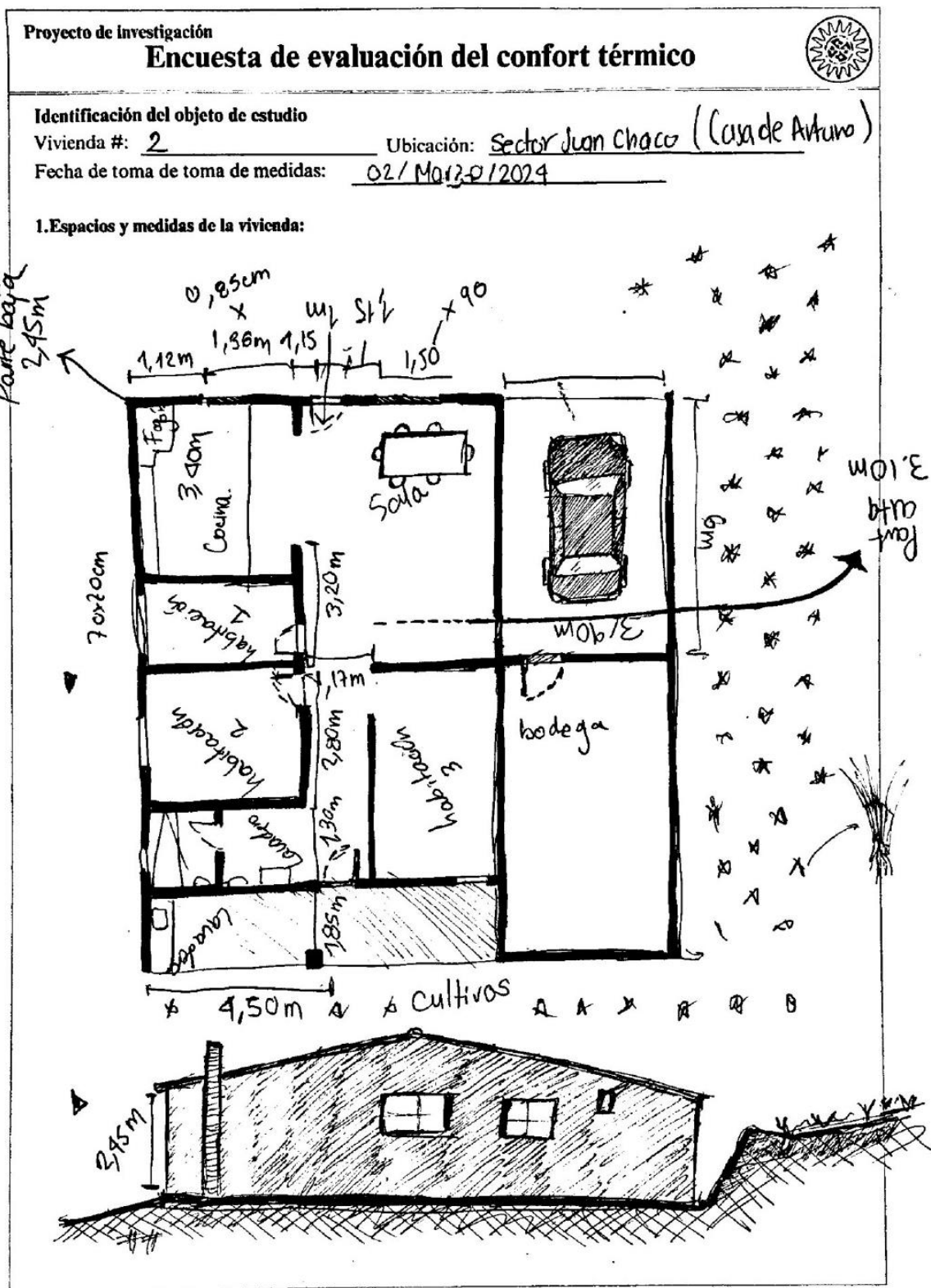
- Techo en lona en la cocina
- una hab tiene toldo y humedad

Apéndice B. Encuesta de evaluación del confort térmico

Proyecto de investigación		
Encuesta de evaluación del confort térmico		
Estimado/a ciudadano, Agradecemos tu colaboración en esta encuesta para evaluar la percepción térmica. Tu opinión es muy importante para ayudarnos en la investigación. Por favor, responde a las siguientes preguntas de manera honesta.		
1. ¿Cuántos integrantes viven actualmente en la vivienda y que rango de edad tienen? Número exacto de integrantes:		
Edad:	Sexo:	Trabajo o actividad que realiza al <u>interior de la vivienda</u>
2. ¿Cómo describirías tu nivel de actividad física diaria?		
	De 6:00 a.m a 8:00 a.m.	De 12:00 a.m a 2:00 p.m
Sedentario		
Ligero		
Moderado		
Intenso		
3. En general, ¿a qué hora del día sueles observar más personas en la vivienda? Selecciona todas las opciones que apliquen.		
• Mañana temprano (antes de las 9:00 a.m.)	☐	• Tarde (2:00 p.m. - 6:00 p.m.)
• Mañana (9:00 a.m. - 12:00 p.m.)	☐	• Noche (6:00 p.m. - 9:00 p.m.)
• Medio día (12:00 p.m. - 2:00 p.m.)	☐	• Noche tardía (después de las 9:00 p.m.)
4. ¿Cómo describirías la temperatura en la vivienda, y en qué momento del día?		
	De 6:00 a.m a 8:00 a.m.	De 12:00 a.m a 2:00 p.m
• Muy caluroso.		
• Caluroso.		
• Ligeramente caluroso		
• Agradable.		
• Ligeramente fresco		
• Frio		
• Muy Frio		
5. En una escala del 1 al 7, donde 1 es "Muy incómodo" y 7 es "Muy cómodo", ¿Cómo calificarías tu nivel de comodidad térmica en este momento?		
1. Muy incómodo.	☐	5. Ligeramente cómodo
2. incomodo	☐	6. Cómodo
3. Ligeramente incomodo	☐	7. Muy cómodo
4. Normal	☐	
6. ¿Ha notado algún cambio drástico de temperatura entre el interior y el exterior de su vivienda?		
• Sí, siento que es más cálido en el interior.	☐	• No, no percibo cambios significativos.
• Sí, siento que es más fresco en el interior.	☐	• No estoy seguro/no aplica.
7. ¿Cómo considera que es el nivel de ventilación en la vivienda?		
• Muy poca ventilación	☐	• Mucha ventilación
• Poca ventilación	☐	• No estoy seguro/a no me he fijado en la ventilación
• Ventilación moderada	☐	
8. Según la pregunta anterior ¿Considera que la ventilación que percibe es molesta?		
Si	No	• ¿Donde?

Proyecto de investigación		Encuesta de evaluación del confort térmico																																																				
9. ¿Ha realizado alguna modificación en la vivienda para hacerla más cómoda térmicamente? Si ☐ No ☐ • ¿Donde?																																																						
10. Si la respuesta anterior es afirmativa ¿Siente cambios notables de temperatura en la vivienda? Si ☐ No ☐ • ¿Donde?																																																						
11. En una escala del 1 al 7, donde 1 es “Muy húmedo” y 7 es “Muy seco”, ¿Cómo describiría la humedad de la vivienda? <table style="width: 100%; border: none;"> <tr> <td style="width: 50%; vertical-align: top;"> 1. Muy húmedo ☐ 2. Húmedo ☐ 3. Ligeramente húmedo ☐ 4. Normal ☐ </td> <td style="width: 50%; vertical-align: top;"> 5. Ligeramente seco ☐ 6. Seco ☐ 7. Muy seco ☐ </td> </tr> </table>					1. Muy húmedo ☐ 2. Húmedo ☐ 3. Ligeramente húmedo ☐ 4. Normal ☐	5. Ligeramente seco ☐ 6. Seco ☐ 7. Muy seco ☐																																																
1. Muy húmedo ☐ 2. Húmedo ☐ 3. Ligeramente húmedo ☐ 4. Normal ☐	5. Ligeramente seco ☐ 6. Seco ☐ 7. Muy seco ☐																																																					
12. En tu hogar, ¿utilizas algún electrodoméstico que genere calor? Escribe cuales y donde <table style="width: 100%; border: none;"> <thead> <tr> <th style="text-align: left; width: 50%;">Electrodoméstico</th> <th style="text-align: left; width: 50%;">Ubicación</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td> </td><td> </td></tr> <tr><td> </td><td> </td></tr> <tr><td> </td><td> </td></tr> <tr><td> </td><td> </td></tr> </tbody> </table>					Electrodoméstico	Ubicación																																																
Electrodoméstico	Ubicación																																																					
13. En una escala del 1 al 7, donde 1 es “Muy beneficioso” y 7 es “Muy perjudicial”, ¿Cómo influye la temperatura, respecto a su desempeño a la hora de trabajar? <table style="width: 100%; border: none;"> <tr> <td style="width: 50%; vertical-align: top;"> 1. Muy beneficioso ☐ 2. Beneficioso ☐ 3. Ligeramente beneficioso ☐ 4. Normal ☐ </td> <td style="width: 50%; vertical-align: top;"> 5. Ligeramente perjudicial ☐ 6. Perjudicial ☐ 7. Muy perjudicial ☐ </td> </tr> </table>					1. Muy beneficioso ☐ 2. Beneficioso ☐ 3. Ligeramente beneficioso ☐ 4. Normal ☐	5. Ligeramente perjudicial ☐ 6. Perjudicial ☐ 7. Muy perjudicial ☐																																																
1. Muy beneficioso ☐ 2. Beneficioso ☐ 3. Ligeramente beneficioso ☐ 4. Normal ☐	5. Ligeramente perjudicial ☐ 6. Perjudicial ☐ 7. Muy perjudicial ☐																																																					
14. En qué momento del día usa usted más prendas de ropa? escriba aproximadamente cuantas capas utiliza <table style="width: 100%; border-collapse: collapse; margin-top: 10px;"> <thead> <tr> <th style="width: 5%;"></th> <th style="width: 25%;">De 6:00 a.m a 8:00 a.m.</th> <th style="width: 25%;">De 12:00 a.m a 2:00 p.m</th> <th style="width: 25%;">De 4:00 p.m a 6:00 p.m</th> <th style="width: 20%;">Noche</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td style="text-align: center; vertical-align: middle;">N</td> <td> </td> <td> </td> <td> </td> <td> </td> </tr> <tr> <td style="text-align: center; vertical-align: middle;">u</td> <td> </td> <td> </td> <td> </td> <td> </td> </tr> <tr> <td style="text-align: center; vertical-align: middle;">a</td> <td> </td> <td> </td> <td> </td> <td> </td> </tr> <tr> <td style="text-align: center; vertical-align: middle;">p</td> <td> </td> <td> </td> <td> </td> <td> </td> </tr> <tr> <td style="text-align: center; vertical-align: middle;">e</td> <td> </td> <td> </td> <td> </td> <td> </td> </tr> <tr> <td style="text-align: center; vertical-align: middle;">r</td> <td> </td> <td> </td> <td> </td> <td> </td> </tr> <tr> <td style="text-align: center; vertical-align: middle;">a</td> <td> </td> <td> </td> <td> </td> <td> </td> </tr> <tr> <td style="text-align: center; vertical-align: middle;">s</td> <td> </td> <td> </td> <td> </td> <td> </td> </tr> <tr> <td style="text-align: center; vertical-align: middle;">o</td> <td> </td> <td> </td> <td> </td> <td> </td> </tr> </tbody> </table>						De 6:00 a.m a 8:00 a.m.	De 12:00 a.m a 2:00 p.m	De 4:00 p.m a 6:00 p.m	Noche	N					u					a					p					e					r					a					s					o				
	De 6:00 a.m a 8:00 a.m.	De 12:00 a.m a 2:00 p.m	De 4:00 p.m a 6:00 p.m	Noche																																																		
N																																																						
u																																																						
a																																																						
p																																																						
e																																																						
r																																																						
a																																																						
s																																																						
o																																																						

Apéndice C. Ejemplo de medidas tomadas en sitio de la segunda casa analizada



Apéndice D. Calculo renovaciones del aire*Tasa de ventilación requerida tipología 1*

T.M.P de Co2 por tipo de Actividad	0,022	4	X PERSONA	M3/H	—
					—
			16		—
Tasa de Aire introducido	0,0004				—
					—
Volumen del Espacio	Alto	2,3	193,57	m3	—
	Ancho	7,7			—
	Profundidad	10,93			—
			0,083	(C/H)	—

Tasa de ventilación requerida tipología 2

T.M.P Co2 por tipo de Actividad	0,022	4	X PERSONA	M3/H	—
					—
			16		—
0,001-Tasa de Aire introducido	0,0004				—
					—
Volumen del Espacio	189,41			m3	—
					—
			0,084	(C/H)	—