

UNIVERSIDAD DE COSTA RICA  
SISTEMA DE ESTUDIOS DE POSGRADO

ESTRATEGIAS BIOCLIMÁTICAS PARA VIVIENDAS DE INTERÉS  
PRIORITARIO - CASO MURILLO, TOLIMA - COLOMBIA

Trabajo final de investigación aplicada sometida a la consideración de la  
Comisión del Programa de Estudios de Posgrado en Arquitectura para optar al  
grado y título de Maestría Profesional en Arquitectura Tropical

LUIS ENRIQUE HERNÁNDEZ GÓMEZ

Ciudad Universitaria Rodrigo Facio, Costa Rica

2019

## **DEDICATORIA**

*Dedico esta investigación a lo invisible que habita en cada instante, a la paciencia que cosecha resultados, a mi pareja el opuesto que me complementa, a mi madre y mi padre por su amor incondicional, a mi familia y amigos por el apoyo recibido, a mis maestros por sus enseñanzas, al universo en su total diversidad, y al misterio del cual proviene la existencia.*

## **AGRADECIMIENTOS**

*Agradezco a la Universidad de Costa Rica por abrir sus aulas y fronteras al conocimiento, al sistema de estudios de posgrado que financio parte de esta investigación, a los pobladores y alcaldía del municipio de Murillo Tolima, Colombia, por abrirme las puertas de sus casas para realizar este trabajo; y en fin, a la vida que me guio hasta este mágico lugar en busca de aprendizaje.*

“Este trabajo final de investigación aplicada fue aceptado por la Comisión del Programa de Estudios Posgrado en Arquitectura de la Universidad de Costa Rica como requisito parcial para optar al grado y título de Maestría Profesional en Arquitectura Tropical.”



Dr. Arq. José Enrique Garnier Zamora  
Representante del Decano Sistema de Estudios de Posgrado



Mg. Arq. Eugenia Solís Umaña  
Profesara Guía



Dra. Arq. Emily Vargas S.  
Lectora



M.Sc. Arq. Alberto Negrini  
Lector



Mag. Arq. Adrián Aguilar González  
Representante del Director del Posgrado en Arquitectura



Arq. Luis Enrique Hernández Gómez  
Sustentante



## TABLA DE CONTENIDO

PORTADA .....	I
DEDICATORIA .....	II
AGRADECIMIENTOS.....	III
HOJA DE APROBACIÓN .....	IV
TABLA DE CONTENIDO.....	V
LISTA DE TABLAS .....	IX
LISTA DE FIGURAS.....	IX
LISTA DE ABREVIATURAS.....	XIV
GLOSARIO.....	XIV
1) INTRODUCCIÓN.....	1
2) CONTEXTO.....	5
HISTORICO SOCIAL.....	5
2.1 FUNDACIÓN.....	6
2.2 CONFLICTO ARMADO.....	7
2.3 ARQUITECTURA Y CONTEXTO.....	8
3) JUSTIFICACIÓN .....	12
4) OBJETIVOS .....	15
4.1 OBJETIVO GENERAL: .....	16
4.2 OBJETIVO ESPECÍFICOS: .....	16
5) ANTECEDENTES .....	17
5.1 LA VIVIENDA SOCIAL EN COLOMBIA .....	18
5.2 CALIDAD EN LA VIVIENDA SOCIAL EN COLOMBIA.....	18
5.3 ARQUITECTURA BIOCLIMÁTICA EN EL TROPICO ALTO ANDINO.....	19
6) MARCO TEÓRICO.....	23
5.4 ARQUITECTURA BIOCLIMÁTICA.....	24
5.5 MÉTODO BIOCLIMÁTICO.....	25
5.5.1 FACTOR CLIMÁTICO .....	26
5.5.2 FACTOR BIOLÓGICO.....	27
5.5.3 EL DIAGRAMA DE GIVONI.....	28
5.5.4 CLIMOGRAMA DE BIENESTAR ADAPTADO (CBA) .....	29
5.5.5 FACTOR TECNOLÓGICO: .....	29
5.5.6 FACTOR ARQUITECTÓNICO (SÍNTESIS).....	32
5.6 CRECIMIENTO PROGRESIVO Y FLEXIBLE .....	33
5.7 ZONA DE CONVERGENCIA INTERTROPICAL.....	37
5.8 ZONA DE CONFORT .....	38
5.9 TASA METABOLICA - MET .....	39
5.10 CLO – AISLAMIENTO TÉRMICO DE LA ROPA.....	40
5.11 TRANSFERENCIA DE CALOR.....	41
5.11.1 CONDUCCIÓN TÉRMICA:.....	41
5.11.2 RADIACIÓN TÉRMICA:.....	42
5.11.3 CONVECCIÓN TÉRMICA: .....	43
5.12 PROPIEDADES DE LOS MATERIALES .....	44

5.12.1 CONDUCTIVIDAD - CONDUCTANCIA:.....	44
5.12.2 RESISTENCIA.....	45
5.12.3 TRANSMITANCIA TÉRMICA - COEFICIENTE DE TRANSMISIÓN U:.....	45
5.13 SIMULACIÓN ENERGÉTICA DE EDIFICIOS.....	46
5.13.1 ONSET HOBOWARE.....	46
5.13.2 METEONORM.....	46
5.13.3 AUTODESK ECOTEC.....	47
5.13.4 DESIGN BUILDER.....	47
6) METODOLOGÍA.....	48
7) ANÁLISIS.....	53
GEOGRAFICO Y CLIMÁTICO.....	53
7.1 UBICACIÓN GEOGRÁFICA.....	54
7.2 CLIMA DE COLOMBIA:.....	56
7.3 CLIMA DE MURILLO.....	60
7.4 CLIMOGRAMA DE COLUMNA.....	61
7.5 VIENTOS.....	62
7.6 DIAGRAMA PSICROMÉTRICO PARA MURILLO.....	64
7.7 CLIMOGRAMA DE BIENESTAR ADAPTADO.....	65
8) CASOS DE ESTUDIO.....	66
8.1 UBICACIÓN CASOS DE ESTUDIO.....	67
8.2 BIOMONITOREO VIVIENDA POPULAR.....	67
8.2.1 BIOMONITOREO PUNTUAL.....	70
8.2.2 BIOMONITOREO PROLONGADO TEMPORADA LLUVIOSA.....	72
8.2.3 BIOMONITOREO PROLONGADO TEMPORADA SECA.....	74
8.2.4 CONCLUSIONES DE BIOMONITOREO VIVIENDA POPULAR.....	75
8.3 BIOMONITOREO VIVIENDA EN MAMPOSTERÍA CONFINADA.....	77
8.3.1 BIOMONITOREO PUNTUAL.....	80
8.3.2 BIOMONITOREO PROLONGADO TEMPORADA LLUVIOSA.....	82
8.3.3 BIOMONITOREO PROLONGADO TEMPORADA SECA.....	84
8.3.4 CONCLUSIONES BIOMONITOREO VIVIENDA EN MAMAPOSTERÍA CONFINADA.....	85
8.4 COMPARATIVO BIOMONITOREOS.....	85
9) ESTRATEGIAS BIOCLIMÁTICAS.....	87
9.1 SISTEMAS PASIVOS DE CALEFACCIÓN.....	88
9.1.1 CALEFACCIÓN SOLAR PASIVA - GANANCIA DIRECTA:.....	89
9.1.2 INVERNADERO ADOSADO:.....	90
9.1.3 MURO TROMBE:.....	91
9.1.4 MASA TÉRMICA.....	92
10) PROPUESTAS ARQUITECTÓNICAS.....	94
10.1 INTRODUCCIÓN.....	95
10.2 VIP EN LOTE PROPIO MEDIANERO.....	97
10.2.1 VIP EN LOTE PROPIO MEDIANERO- MODULO SEMILLA.....	100
10.2.2 VIP EN LOTE PROPIO MEDIANERO- MODULO SEMILLA + AMPLIACIÓN FRONTAL.....	109
10.2.3 VIP EN LOTE MEDIANERO- MODULO SEMILLA + APARTAMENTO.....	113
10.2.4 REPRESENTACIÓN VIRTUAL.....	115
10.3 VIP EN LOTE PROPIO AISLADO.....	121

10.3.1 VIP EN LOTE PROPIO AISLADO - MODULO SEMILLA .....	124
10.3.2 VIP EN LOTE PROPIO AISLADO - MODULO SEMILLA + AMPLIACIÓN 1 .....	127
10.3.3 VIP EN LOTE PROPIO AISLADO - MODULO SEMILLA + APARTAMENTO .....	131
10.3.4 REPRESENTACIÓN VIRTUAL .....	135
11) SIMULACIONES VIRTUALES.....	141
VIVIENDAS DE INTERES PRIORITARIO VIP.....	141
11.1 INTRODUCCIÓN SIMULACIONES VIRTUALES VIP .....	142
11.2 SIMULACIONES VIRTUALES VIP LOTE PROPIO MEDIANERO.....	143
11.2.1 ANALISIS DE SOMBRAS VIP EN LOTE PROPIO MEDIANERO .....	143
11.2.2 ANALISIS DE LA RADIACIÓN SOLAR VIP EN LOTE MEDIANERO .....	144
11.2.3 VENTILACIÓN NATURAL VIP EN LOTE PROPIO MEDIANERO .....	145
11.2.4 ANALISIS TÉRMICO VIP EN LOTE PROPIO MEDIANERO .....	145
11.3 SIMULACIONES VIRTUALES VIP EN LOTE PROPIO AISLADO.....	153
11.3.1 ANALISIS DE SOMBRAS VIP EN LOTE PROPIO AISLADO .....	153
11.3.2 ANALISIS DE RADIACIÓN SOLAR VIP EN LOTE PROPIO AISLADO .....	154
11.3.3 ANALISIS DE ILUMINACIÓN NATURAL .....	155
VIP EN LOTE PROPIO AISLADO .....	155
11.3.4 ANALISIS VENTILACIÓN NATURAL VIP EN LOTE PROPIO AISLADO .....	155
11.3.5 ANALISIS TÉRMICO VIP EN LOTE PROPIO AISLADO.....	156
12) CONCLUSIONES.....	163
13) RECOMENDACIONES .....	166
14) BIBLIOGRAFIA.....	169

**Resumen:** La presente investigación se centra en el diseño bioclimático de dos viviendas de interés prioritario acondicionadas térmicamente mediante las estrategias de calefacción solar pasiva y el efecto de la masa térmica al clima muy frío húmedo del municipio de Murillo Tolima, Colombia. La metodología utilizada para la investigación parte del estudio del contexto histórico y político, del análisis de los datos climáticos de la región, del estudio de las estrategias de climatización pasiva, del biomonitoreo prolongado de dos viviendas del lugar **con el fin de comprender el comportamiento térmico de la arquitectura del lugar de análisis**, del estudio de los conceptos de crecimiento progresivo y flexible de las viviendas sociales, y finalmente de la comprobación del funcionamiento de las estrategias bioclimáticas aplicadas al diseño de las propuestas arquitectónicas planteadas en el desarrollo del trabajo académico mediante las herramientas digitales de Ecotec y Design Builder.

**Abstract:** The present investigation focuses on the bioclimatic design of two houses of priority interest conditioned thermally by the strategies of passive solar heating and the effect of the thermal mass to the very cold humid climate of the municipality of Murillo Tolima, Colombia. The methodology used for the investigation is based on the study of the historical and political context, the analysis of the climatic data of the region, the study of passive climate control strategies, the prolonged biomonitoring of two houses in the area, in order to understand the thermal behavior of the architecture of the analysis site, the study of the concepts of growth progressive and flexible social housing, and finally the verification of the functioning of the bioclimatic strategies applied to the design of the architectural proposals raised in the development of academic work through the digital tools of Ecotec and Design Builder.

## LISTA DE TABLAS

Tabla 1- Efectos sensibles, fisiológicos en la salud, según escala térmica. Fuente:(Gonzalo, G., 2003). Editado por Luis Hernández.....	38
Tabla 2 - Velocidad del metabolismo según la actividad. Fuente (Neila, 2004), editado por Luis Hernández.....	40
Tabla 3 - Grado de vestido. Fuente: (ASHRAE), editado por Luis Hernández.....	40
Tabla 4 - Propiedades de conductividad de materiales de construcción. Fuente: ASHRAE, editado por Luis Hernández.....	44
Tabla 5. Clasificación climática Caldas Lang – Fuente: EOT 2002 Municipio de murillo. Editado por: Luis Hernández.....	60
Tabla 6. Materiales con masa térmica, fuente: Manual de Diseño Pasivo y Eficiencia Energética en Edificios Públicos. ....	92
Tabla 7. Materiales constructivos y estrategias bioclimáticas - VIP en lote propio medianero. Fuente: Luis Hernández.....	99
Tabla 8. Estrategias de climatización pasivas, VIP en lote aislado - Tabla basada en la ficha técnica de estrategias bioclimáticas del Ministerio de Control y Saneamiento del Perú. Editado por: Luis Hernández.....	123
Tabla 9. Niveles de iluminancia según los usos. Fuente Neila Javier. Editado por Luis Hernández... <b>¡Error! Marcador no definido.</b>	
Tabla 10. Tabla de propiedad de los muros de arcilla espesor 12 centímetros. Fuente: Editado por Luis Hernández.....	145
Tabla 11 - Tabla de propiedad de los muros de arcilla espesor 24cm. Fuente: Editado por Luis Hernández.....	146
Tabla 12 - Tabla de propiedad de bahareque de tierra - Espesor 24 centímetros. Fuente: Editado por Luis Hernández.....	156

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Déficit cuantitativo y cualitativo de vivienda en Latinoamérica. Fuente BID. 2012.....	2
Figura 2. Lugar conocido como casas viejas. Primer asentamiento del municipio de Murillo Tolima. Foto: Luis Hernández.....	6
Figura 3. Vista área del municipio de Murillo-Tolima, Foto: Alcaldía de Murillo-Tolima.....	8
Figura 4. Fotografía del parque principal de Murillo – Tolima con el nevado del Ruiz al fondo. Foto: Alcaldía de Murillo.....	9
Figura 5 Fachada de una vivienda popular de tabla parada, municipio de Murillo - Tolima. Foto. Luis Hernández.....	9
Figura 6. Fogón de leña vivienda campesina – Murillo, Tolima, Foto: Luis Hernández.....	10
Figura 7. Las puertas, el color y la forma, arquitectura popular en tabla parada –Murillo, Tolima Foto: Luis Hernández.....	11
Figura 8. Diversidad de ventanas – arquitectura popular en tabla parada - Murillo Tolima Foto: Oscar Parra - Arquitecto.....	11
Figura 9: Viviendas de interés prioritario construidas en el año 2016 - Tolima. Foto: Luis Hernández.....	13
Figura 10. Intervención con Muros Trombe en las zonas frías del Perú. Fuente: Alejandro Gómez Ríos. 20	
Figura 11. Curva de radiación solar directa terrestre diaria, durante un año pasando por un vidrio Cuzco (lat. 13°. Altitud 3400 msnm). Fuente: ¿Los muros trombe sirven en el Perú? .....	20
Figura 12. Vivienda Nueva, provincia Huaytará, distrito Pilpichaca, localidad San Felipe, altitud 4480 msnm. Fuente: Ministerio de Construcción y Saneamiento del Perú. ....	21
Figura 13. Construcción de un Iglú, (casa de nieve) vivienda de las comunidades Inuit, Foto: Frank E. Kleinschidt. Fuente: <a href="http://ecoemas.com/un-iglu-paradigma-de-arquitectura-sostenible/">http://ecoemas.com/un-iglu-paradigma-de-arquitectura-sostenible/</a> .....	25
Figura 14: campos interrelacionados del equilibrio climático. Fuente: (Ogyay. V., 1998,). Editado por Luis Hernández.....	26
Figura 15. Diagrama de Ogyay. Fuente: <a href="http://pedrojhernandez.com/2014/03/03/diagrama-bioclimatico-de-givoni-2/">http://pedrojhernandez.com/2014/03/03/diagrama-bioclimatico-de-givoni-2/</a> .....	27
Figura 16. Diagrama de Givoni Fuente: <a href="http://pedrojhernandez.com/2014/03/03/diagrama-bioclimatico-de-givoni-2/">http://pedrojhernandez.com/2014/03/03/diagrama-bioclimatico-de-givoni-2/</a> . Editado por Luis Hernández.....	28
Figura 17. Climograma de Bienestar Adaptado. Fuente: hoja de cálculo de Javier Neila. Editado por Luis Hernández.....	29
Figura 18. Vista en planta. Adecuada orientación de las edificaciones para climas cálidos del trópico. Las caras cortas de la edificación deben ubicarse en el sentido este - oeste y las caras largas en el sentido norte – sur. Fuente. Luis Hernández.....	30

Figura 19. Carta Solar. Latitud 4.7°N Fuente: Autodesk Ecotec. Editado por Luis Hernández. ....	31
Figura 20. Edificio ruta N Medellín, Colombia. Diseño Arq. Alejandro Echeverri . Fuente. <a href="http://alejandroecheverriarquitectos.tumblr.com/rutan">http://alejandroecheverriarquitectos.tumblr.com/rutan</a> .....	31
Figura 21. Orquideorama Jardín Botánico de Medellín- <a href="http://www.planbarquitectura.com/index.php?/proyectos/orquideorama/">http://www.planbarquitectura.com/index.php?/proyectos/orquideorama/</a> .....	33
Figura 22. Clasificación general de las modalidades de vivienda progresiva – Fuente: (Gelabert, D y González, D. 2013) .....	33
Figura 23. Módulo de vivienda inicial – Modalidad de crecimiento Semilla + Soporte, fuente: <a href="http://www.plataformaarquitectura.cl/cl/">http://www.plataformaarquitectura.cl/cl/</a> .....	34
Figura 24. Ampliación de la vivienda en el tiempo – Modalidad de crecimiento Semilla + Soporte, fuente: <a href="http://www.plataformaarquitectura.cl/cl/">http://www.plataformaarquitectura.cl/cl/</a> .....	34
Figura 25. Paisaje de arcilla – viviendas populares, Bogotá Colombia. Foto: Luis Hernández. ....	35
Figura 26. La vivienda debe atender la diversidad de estructuras familiares presentes en la sociedad contemporánea – desde la persona sola a la familia numerosa. Fuente: Mignnuci, A., Habraken, N., 2010. Editado por Luis Hernández. ....	35
Figura 27. Modalidad Semilla: se inicia con un módulo básico al que en el tiempo se le pueden agregar espacios según sean las necesidades y recursos de la familia. Fuente: (Gelabert, D., González, D., 2013). Modificado por autor.....	36
Figura 28. Modalidad Mejorable: La vivienda se entrega con todos sus servicios básicos y en obra gris, y los habitantes según sus capacidades la van mejorando en el tiempo. Fuente: <a href="https://es.dreamstime.com/fotos-de-archivo-libres-de-regal%C3%ADas-el-hombre-instala-la-baldosa-cer%C3%A1mica-image1942028">https://es.dreamstime.com/fotos-de-archivo-libres-de-regal%C3%ADas-el-hombre-instala-la-baldosa-cer%C3%A1mica-image1942028</a> .....	36
Figura 29. Zona de Convergencia Intertropical en Mapamundi. Fuente: Maestría en Arquitectura Tropical. ....	37
Figura 30. Zona de convergencia intertropical Fuente: Moreno, S. Editado por: Luis Hernández .....	37
Figura 31. Transmisión de calor por convección. Fuente: <a href="http://www.correodelmaestro.com">www.correodelmaestro.com</a> .....	41
Figura 32. Transmisión de calor por radiación. Fuente: <a href="http://www.satirnet.com/satirnet/2014/10/23/transmision-propagacion-del-calor-radiacion/">http://www.satirnet.com/satirnet/2014/10/23/transmision-propagacion-del-calor-radiacion/</a> .....	42
Figura 33. Convección térmica. Fuente: <a href="https://www.vix.com/es/btg/curiosidades/5074/que-es-la-conveccion">https://www.vix.com/es/btg/curiosidades/5074/que-es-la-conveccion</a> .....	43
Figura 34. Síntesis de la metodología aplica a la investigación. Fuente: Luis Hernández. ....	49
Figura 35. Kestrel 3000. Fuente: <a href="http://www.sbk_mexico.com/catalogo/product_info.php?products_id=214">http://www.sbk_mexico.com/catalogo/product_info.php?products_id=214</a> .....	51
Figura 36. Dispositivo de registro y compilación de datos marca HOBO. Fuente: <a href="https://colombia.bioweb.co/products/data-logger-hobo-de-temperatura-relative-humidity-light-external-data-logger?variant=17984463365">https://colombia.bioweb.co/products/data-logger-hobo-de-temperatura-relative-humidity-light-external-data-logger?variant=17984463365</a> .....	51
Figura 37. Ubicación de Colombia en América, Fuente: <a href="http://www.mincit.gov.co">http://www.mincit.gov.co</a> , editado por Luis Hernández.....	54
Figura 38. Ubicación del departamento del Tolima en Colombia Fuente: sociedad geográfica de Colombia, editado por Luis Hernández. ....	55
Figura 39. Ubicación del municipio de Murillo dentro del departamento del Tolima. Fuente: sociedad geográfica de Colombia, editado por Luis Hernández.....	55
Figura 40. Ubicación del casco urbano dentro del municipio de Murillo. Fuente: Cortolima, editado por el autor.....	55
Figura 41. Ubicación municipio de Murillo Tolima, respecto al volcán nevado del Ruiz. Fuente: Google Map, editado por Luis Hernández .....	56
Figura 42. Cordillera central andina. Murillo Tolima. Paisaje de alta montaña. Foto: Luis Hernández. ....	56
Figura 43. Mapa de clasificación climática de Caldas – Lang. Fuente: IDEAM.....	57
Figura 44. Mapa de pluviosidad media anual. Fuente: IDEAM. ....	58
Figura 45. Mapa de humedad relativa media anual. Fuente: IDEAM. ....	58
Figura 46. Mapa de radicación solar Global promedio multianual mes de enero: Fuente IDEAM .....	59
Figura 47. Sección transversal Este – Oeste – Colombia. Fuente: Jorge Galindo. Editado por Luis Hernández.....	59
Figura 48. Gradiente vertical de temperatura Fuente: <a href="http://www.meted.ucar.edu">www.meted.ucar.edu</a> .....	60
Figura 49. Climograma de columna, en el que se muestra el comportamiento climático anual del municipio Murillo. Fuente: Datos de temperatura, humedad, pluviosidad y radiación solar suministrados por el IDEAM, Datos de brillo solar obtenidos del programa METEONORM versión 5.1. Realizado en el programa Weather Tool de Ecotect y editado por autor.....	61
Figura 50. Fenómeno regional de vientos que afecta al municipio de Murillo, Tolima – Colombia, Elaborado por Luis Hernández.....	63
Figura 51. Viento dominante, municipio de Murillo, Tolima – Colombia, Elaborado por Luis Hernández..	63
Figura 52. Diagrama psicométrico para Murillo, Tolima – Colombia, Elaborado con el programa Weather Tool. Editado por Luis Hernández. ....	64
Figura 53. Climograma de bienestar adaptado. Murillo, Tolima – Colombia, Elaborado con la tabla dinámica de CBA del Arq. Javier Neila. Editado por Luis Hernández. ....	65
Figura 54. Diagrama de isopletas. Elaborado con la tabla dinámica de CBA del Arq. Javier Neila. Editado por Luis Hernández. ....	65

Figura 55. Ubicación de los estudios de caso en el municipio de Murillo. Vivienda popular. Vivienda en mampostería. Fuente: planeación municipal Murillo Tolima. Editado por Luis Hernández. ....	67
Figura 56. Vivienda popular en tabla parada monitoreada. Foto: Luis Hernández. ....	68
Figura 57. Fachadas de la vivienda popular en tabla parada. Elaborado por: Luis Hernández .....	68
Figura 58. Rango de sombras 21 de marzo 7:00, y recorrido solar en el contexto de la vivienda popular en tabla parada. Fuente: Autodesk Ecotec Analysis. Editado por Luis Hernández.....	69
Figura 59. Proyección de sombras con una matriz 3x3 (tres periodos, tres momento del día), vivienda popular en tabla parada. Fuente: Autodesk Ecotec Analysis. Editado por Luis Hernández.....	69
Figura 60. Planta de la vivienda popular en tabla parada – las letras y número en color representan los datos del biomonitoreo puntual. Elaborado por Luis Hernández. ....	70
Figura 61. Sección A01-Espacios de toma de datos puntuales. Elaborado por: Luis Hernández.....	71
Figura 62. Planta de la vivienda popular en tabla parada – las letras y números en rojo representan los espacios monitoreados con los equipos de medición prolongada. Fuente: Autor .....	72
Figura 63. Gráfico de registro de temperatura por un periodo de 15 días en la vivienda popular de tabla parada - temporada lluviosa – del 19 de abril de 2017 al 4 de mayo de 2017. Fuente: datos obtenido con los equipos de medición prolongada Hobo. Editado por autor. ....	73
Figura 64. Gráfico de registro de humedad por un periodo de 15 días en la vivienda popular en tabla parada - temporada lluviosa – del 19 de abril de 2017 al 4 de mayo de 2017. Fuente: datos obtenido con los equipos de medición prolongada .....	73
Figura 65. Gráfico de registro de temperatura por un periodo de 15 días en la vivienda popular en tabla parada - temporada seca – del 28 de junio de 2017 al 13 de julio de 2017. Fuente: datos obtenido con los equipos de medición prolongada Hobo. Editado por autor.....	74
Figura 66. Gráfico de registro de humedad por un periodo de 15 días en la vivienda popular en tabla parada - temporada seca – del 28 de junio de 2017 al 13 de julio de 2017. Fuente: datos obtenido con los equipos de medición prolongada Hobo .....	75
Figura 67. Vivienda de interés prioritario en lote propio construida por la alcaldía de Murillo Tolima. Foto: Luis Hernández.....	77
Figura 68. Envolventes de la vivienda en mampostería confinada. Elaborado por: Luis Hernández. ....	78
Figura 69. Rango de sombras 21 de marzo a las 7:00 am, y recorrido solar en el contexto de la vivienda en mampostería confinada.Elaborado en el programa Autodesk Ecotec Analysis.....	79
Figura 70. Proyección de sombras con una matriz 3x3 (tres periodos, tres momento del día), vivienda en mampostería confinada. Elaborado en el programa Autodesk Ecotec Analysis. ....	79
Figura 71. Biomonitoreo puntual de espacios en la vivienda en mampostería confinada. Fuente: Luis Hernández.....	80
Figura 72. Sección A01- Biomonitoreo puntual de espacios en la vivienda en mampostería confinada. Fuente: Luis Hernández. ....	81
Figura 73. Ubicación de los hobos para el biomonitoreo prolongado de espacios en la vivienda en mampostería confinada. H1-H2-H3: Fuente: Luis Hernández.....	82
Figura 74. Gráfico de registro de temperatura por un periodo de 15 días en la vivienda en mampostería confinada - temporada lluviosa – del 19 de abril al 4 de mayo. Fuente: datos obtenido con los equipos de medición prolongada Hobo. Editado por Luis Hernández. Figura 75. Gráfico de registro de humedad por un periodo de 15 días en la vivienda en mampostería confinada - temporada lluviosa – del 19 de abril al 4 de mayo. Fuente: datos obtenido con los equipos de medición prolongada Hobo. Editado por Luis Hernández.....	83
Figura 76. Gráfico de registro de temperatura por un periodo de 15 días en la vivienda en mampostería confinada - temporada seca – del 28 de junio al 13 julio..Fuente: datos obtenido con los equipos de medición prolongada Hobo. Editado por Luis Hernández. ....	84
Figura 77. Gráfico de registro de temperatura por un periodo de 15 días en la vivienda en mampostería confinada - temporada seca – del 28 de junio al 13 julio. Fuente: datos obtenido con los equipos de medición prolongada Hobo. Editado por Luis Hernández. ....	84
Figura 78. Comparación entre la vivienda popular y la vivienda en mampostería.....	86
Figura 79. Ganancia directa, fuente: (Yañes G. 2010). Editado por Luis Hernández.....	89
Figura 80. Invernadero adosado, fuente: (Yañes G. 2010). Editado por Luis Hernández .....	90
Figura 81. Muro Trombe, fuente: (Yañes G. 2010). Editado por Luis Hernández .....	91
Figura 82. Masa térmica, fuente: ( <a href="https://www.thecambiumdesign.com/the-cambium-design-blog/construccion/la-inercia-termica-en-las-casas-de-madera-parte-1/">https://www.thecambiumdesign.com/the-cambium-design-blog/construccion/la-inercia-termica-en-las-casas-de-madera-parte-1/</a> ) .....	92
Figura 83.Sede de Gobierno de la ciudad de Buenos Aires Argentina. Diseñador: Arq. Norman Foster. Fuente: <a href="https://www.buenosaires.travel/sede-del-gobierno-de-la-ciudad-de-buenos-aires/">https://www.buenosaires.travel/sede-del-gobierno-de-la-ciudad-de-buenos-aires/</a> .....	93
Figura 84. Lote medianero para la construcción futura de VIP en lote propio. Foto: Luis Hernández.....	95
Figura 85. Construcción de VIP Murillo en lote aislado. Foto: Luis Hernández.....	96
Figura 86. Vista general del municipio de Murillo-Tolima, Foto: Luis Hernández.....	96
Figura 87. Esquema volumétrico y propuesta del crecimiento progresivo de la vivienda. Realizado por: Luis Hernández.....	97
Figura 88. Ángulos de incidencia de radiación solar. Mediante geometría solar se determina que la forma más eficiente de captar la radiación solar es por cubierta. Fuente Luis Hernández .....	97
Figura 89. Zonificación espacial y estrategias pasivas VIP en lote propio medianero. Fuente: Luis Hernández.....	98

Figura 90. Detalle ventanas vivienda. Ventana en vidrio y contraventana en madera. Fuente: Luis Hernández.....	99
Figura 91. Isométricos y plantas arquitectónicas del Módulo Semilla. Elaborado por: Luis Hernández ...	100
Figura 92 Primeramente se realizan las vigas de cimentación y contra pisos, posteriormente se erigen los muros divisorios. Fuente: Luis Hernández. ....	101
Figura 93. Sistema constructivo mampostería confinada - columnas y vigas de confinamiento en concreto reforzado. Fuente: Luis Hernández.....	101
Figura 94. Sistema constructivo mampostería confinada + trapicheles de madera pernados a la viga superior de concreto reforzado. Fuente: Luis Hernández. ....	102
Figura 95. Detalle tapichel. Fuente: Luis Hernández.....	102
Figura 96. Vista general cielo raso y ductos de iluminación - VIP en lote medianero. Fuente: Luis Hernández.....	103
Figura 97. Volumetría final VIP en lote medianero. Fuente: Luis Hernández.....	103
Figura 98. Estructura de cubierta móvil - crecimiento en altura. Fuente: Luis Hernández.....	104
Figura 99. Fachada principal VIP en lote medianero. Fuente: Luis Hernández.....	105
Figura 100. Cubierta ambientada VIP en lote medianero. Fuente: Luis Hernández.....	105
Figura 101. Sección A01 – corte bioclimático. Fuente: Luis Hernández.....	106
Figura 102. Sección A02. Corte bioclimático. Fuente: Luis Hernández.....	106
Figura 103. Sección A03. Corte bioclimático. Fuente: Luis Hernández.....	107
Figura 104. Planta arquitectónica e isométricos del Módulo Semilla en lote medianero+ habitación principal con baño privado en segundo nivel. Fuente: Luis Hernández.....	109
Figura 105. Se propone para el segundo nivel paredes laterales y divisiones interiores en módulos de madera más aislante térmico y cerramientos en fibrocemento y madera. Fuente: Luis Hernández.....	110
Figura 106. Fachada frontal modulo semilla ampliado. Fuente: Luis Hernández.....	111
Figura 107. Sección A01. Fuente: Luis Hernández.....	111
Figura 108. Sección A02. Fuente: Luis Hernández.....	112
Figura 109. Sección A03. Fuente: Luis Hernández.....	112
Figura 110. Isométricos y plantas arquitectónicas de la VIP en lote medianero + apartamento en el segundo nivel. Fuente: Luis Hernández.....	113
Figura 111. Sección A01. Fuente: Autor.....	114
Figura 112. Sección A01. Fuente: Luis Hernández.....	114
Figura 113. Perspectiva frontal 1. VIP en lote medianero - modulo semilla. Fuente: Luis Hernández.....	115
Figura 114. Perspectiva frontal 2. VIP en lote medianero - modulo semilla. Fuente: Luis Hernández.....	115
Figura 115. Perspectiva frontal 2. VIP en lote medianero - modulo semilla. Fuente: Luis Hernández.....	115
Figura 116. Vista del acceso a la vivienda. Fuente: Luis Hernández.....	116
Figura 117. Vista del Baño e Invernadero frontal. Fuente: Luis Hernández.....	116
Figura 118. Vista de la zona social. Fuente: Luis Hernández.....	116
Figura 119. Vista de la Habitación 2. Fuente: Luis Hernández.....	117
Figura 120. Vista del patio y del invernadero posterior. Fuente: Luis Hernández.....	117
Figura 121. Vista del patio de ropas y la zona social. Fuente: Luis Hernández.....	117
Figura 122. Vista de la ampliación de la habitación frontal - segundo nivel. Fuente: Luis Hernández.....	118
Figura 123. Vista de la escalera invernadero – circulación vertical e invernadero. Fuente: Autor.....	118
Figura 124. Espacio de escalera - invernadero, piso en vidrio - segundo nivel. Fuente: Autor.....	118
Figura 125. Baño y escalera invernadero segundo nivel .Fuente: Luis Hernández.....	119
Figura 126. Escalera invernadero, segundo nivel. Fuente: Luis Hernández.....	119
Figura 127. Habitación 1 apartamento segundo nivel. Fuente: Luis Hernández.....	119
Figura 128. VIP en lote medianero ampliada a dos apartamentos. Fuente: Luis Hernández.....	120
Figura 129. Zona social apartamento segundo nivel. Fuente: Luis Hernández.....	120
Figura 130. Zona social y cocina apartamento segundo nivel. Fuente: Luis Hernández.....	120
Figura 131. Esquema de crecimiento progresivo en el tiempo de la VIP-LP Aislada. Fuente. Luis Hernández.....	121
Figura 132. Ángulos de la altura del sol en la latitud 4.5° norte. Fuente: Luis Hernández.....	121
Figura 133. Esquema funcional en planta del módulo semilla de la VIP en lote propio aislado. Fuente: Luis Hernández.....	122
Figura 134. Isométricos y plantas arquitectónicas VIP en lote propio aislado – Modulo semilla. Fuente: Luis Hernández.....	124
Figura 135. CL1 VIP en lote propio aislado – Modulo semilla. Fuente. Luis Hernández.....	125
Figura 136. CT1 VIP n lote propio aislado – Modulo semilla. Fuente: Luis Hernández.....	125
Figura 137. Alzado sur VIP en lote propio aislado - módulo semilla. Fuente: Luis Hernández.....	126
Figura 138. Alzado norte VIP en lote propio aislado. Módulo semilla. Fuente: Luis Hernández.....	126
Figura 139. Alzado este VIP en lote propio aislado. Módulo semilla. Fuente: Luis Hernández.....	126
Figura 140. Alzado oeste VIP en lote propio aislado. Módulo semilla. Fuente: Luis Hernández.....	126
Figura 141. Isométricos y planta arquitectónica del módulo semilla + ampliación de dos habitaciones en segundo nivel - área 77.4 m2. Fuente: Luis Hernández.....	127
Figura 142. CL1 VIP en lote propio aislado - Módulo semilla + ampliación. Fuente: Luis Hernández.....	128
Figura 143. CT1 VIP en lote propio aislado - Módulo semilla + ampliación. Fuente: Luis Hernández.....	128



Figura 144. Fachada sur VIP en lote propio aislado - Módulo semilla + ampliación. Fuente: Luis Hernández.....	129
Figura 145. Fachada norte – VIP en lote propio aislado - Módulo semilla + ampliación. Fuente: Luis Hernández.....	129
Figura 146. Fachada este - VIP en lote propio aislado - Módulo semilla + ampliación. Fuente: Luis Hernández.....	130
Figura 147. Fachada oeste - VIP en lote propio aislado - Módulo semilla + ampliación. Fuente: Luis Hernández.....	130
Figura 148. Isométrico y plantas arquitectónicas VIP en lote propio aislado. Modulo semilla + apartamento – área: 122.1 m2. Fuente: Luis Hernández.....	131
Figura 149. Sección CT1 VIP en lote propio aislado. Modulo semilla + apartamento. Fuente: Luis Hernández G.....	132
Figura 150. Sección CL1 VIP en lote propio aislado. Modulo semilla + apartamento. Fuente: Luis Hernández.....	132
Figura 151. Fachada sur - VIP en lote propio aislado. Modulo semilla + apartamento. Fuente: Luis Hernández.....	133
Figura 152. Fachada norte - VIP en lote propio aislado. Modulo semilla + apartamento. Fuente: Luis Hernández.....	133
Figura 153. Fachada Este - VIP en lote propio aislado. Modulo semilla + apartamento. Fuente: Luis Hernández.....	134
Figura 154. Fachada norte VIP en lote propio aislado. Modulo semilla + apartamento. Fuente: Luis Hernández.....	134
Figura 155. Perspectiva frontal VIP en lote aislado. Módulo semilla. Fuente: Luis Hernández.....	135
Figura 156. Perspectiva frontal VIP en lote propio aislado. Módulo semilla. Fuente: Luis Hernández.....	135
Figura 157. Perspectiva posterior VIP en lote propio aislado. Módulo semilla. Fuente: Luis Hernández.....	135
Figura 158. Zona social VIP en lote propio aislado. Modulo semilla. Fuente: Luis Hernández.....	136
Figura 159. Habitación 1 VIP en lote propio aislado. Modulo semilla. Fuente: Luis Hernández.....	136
Figura 160. Habitación 2 VIP en lote propio aislado. Módulo semilla. Fuente: Luis Hernández.....	136
Figura 161. Perspectiva frontal VIP en lote propio aislado. Módulo semilla + ampliación. Fuente: Luis Hernández.....	137
Figura 162. Perspectiva lateral VIP en lote propio aislado. Módulo semilla + ampliación. Fuente: Luis Hernández.....	137
Figura 163. Perspectiva posterior VIP en lote propio aislado. Módulo semilla + ampliación. Fuente: Luis Hernández.....	137
Figura 164. Perspectiva interna invernadero VIP en lote propio aislado. Módulo semilla + ampliación. Fuente: Luis Hernández.....	138
Figura 165. Perspectiva interior invernadero VIP en lote propio aislado. Módulo semilla + ampliación. Fuente: Luis Hernández.....	138
Figura 166. Habitación 3 VIP en lote propio aislado. Módulo semilla + ampliación. Fuente: Luis Hernández.....	138
Figura 167. Perspectiva VIP en lote propio aislado. Modulo semilla + apartamento. Fuente: Luis Hernández.....	139
Figura 168. Perspectiva la VIP en lote propio aislado. Modulo semilla + apartamento. Fuente: Luis Hernández.....	139
Figura 169. Perspectiva VIP en lote propio aislado. Modulo semilla + apartamento. Fuente: Luis Hernández.....	139
Figura 170. Sala comedor apartamento segundo nivel. VIP en lote propio aislado. Fuente: Luis Hernández.....	140
Figura 171. Zona social apartamento segundo nivel. VIP en lote propio aislado. Fuente: Luis Hernández.....	140
Figura 172. Habitación 2 apartamento segundo nivel. VIP en lote aislado. Fuente: Luis Hernández.....	140
Figura 173. Rango de sombras de un día completo VIP en lote propio medianero. Elaborado en el programa Autodesk Ecotec. Editado por Luis Hernández.....	143
Figura 174. Rango de sombras VIP en lote propio medianero. Elaborado en el programa Autodesk Ecotec. Editado por Luis Hernández.....	144
Figura 175. Simulación de iluminación natural VIP en lote propio medianero. Elaborado en el programa Autodesk Ecotec. Editado por Luis Hernández.....	<b>¡Error! Marcador no definido.</b>
Figura 176. Simulación de ventilación natural VIP en lote propio medianero. Elaborado en el programa Autodesk Ecotec. Editado por Luis Hernández.....	145
Figura 177. Análisis de confort térmico – semana tipo - habitación 1. Fuente: Luis Hernández.....	146
Figura 178. Análisis de confort térmico VIP en lote propio medianero. Elaborado en el programa Design Builder. Editado por Luis Hernández.....	147
Figura 179. Análisis de confort térmico VIP en lote propio medianero. Elaborado en el programa Design Builder. Editado por Luis Hernández.....	149
Figura 180. Análisis de confort térmico VIP en lote propio medianero – semana tipo - habitación 1. Elaborado en el programa Design Builder. Editado por Luis Hernández.....	151

<i>Figura 181. Rango de sombras de la VIP en lote aislado. Elaborado en el programa Autodesk Ecotec. Editado por: Luis Hernández.....</i>	<i>153</i>
<i>Figura 182. Análisis de radiación solar - Unidad de medida wh/m2 Elaborado en el programa Autodesk Ecotec. - Editado por: Luis Hernández.....</i>	<i>154</i>
<i>Figura 183. Análisis de iluminación natural - Elaborado en el programa Autodesk Ecotec. - Editado por: Luis Hernández .....</i>	<i>155</i>
<i>Figura 184. Análisis de viento. Elaborado en el programa Autodesk Ecotec - Editado por: Luis Hernández .....</i>	<i>155</i>
<i>Figura 185. Análisis de confort térmico VIP en lote propio aislado – semana tipo - habitación 1. Elaborado en el programa Design Builder. Editado por Luis Hernández.....</i>	<i>157</i>
<i>Figura 186. Análisis de confort térmico VIP en lote propio aislada – semana tipo - habitación 1. Elaborado en el programa Design Builder. Editado por Luis Hernández.....</i>	<i>159</i>
<i>Figura 187. Análisis de confort térmico VIP en lote propio aislada – semana tipo - habitación 1. Elaborado en el programa Design Builder. Editado por Luis Hernández.....</i>	<i>161</i>

## LISTA DE ABREVIATURAS

<b>VIP</b>	Vivienda de Interés Prioritario
<b>BID</b>	Banco Interamericano de Desarrollo
<b>IDEAM</b>	Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales
<b>NSR</b>	Norma Sismo Resistente Colombiana
<b>ONU</b>	Organización de las Naciones Unidas
<b>EOT</b>	Esquema de Ordenamiento Territorial

## GLOSARIO

**Arquitectura popular de tabla parada:** Vivienda del interior del territorio colombiano elaborada tradicionalmente mediante la disposición de tablas de madera de forma vertical.

**Termo-circulación:** Designa el movimiento de un fluido debido a su calentamiento diferencial y a la gravedad (convección).

**Biomonitoreo puntual:** Evaluación de las condiciones ambientales (temperatura, humedad, iluminancia, ventilación natural) de una edificación en un día típico del año.

**Biomontoreo prolongado:** Evaluación de las condiciones ambientales (temperatura, humedad, iluminancia, ventilación natural) de una edificación durante un periodo prolongado (días semanas, meses).

**Esquema de ordenamiento territorial EOT:** Documento que ordena y regula municipios con poblaciones menores a 10.000 habitantes.



UNIVERSIDAD DE  
COSTA RICA

SEP Sistema de  
Estudios de Posgrado

**Autorización para digitalización y comunicación pública de Trabajos Finales de Graduación del Sistema de Estudios de Posgrado en el Repositorio Institucional de la Universidad de Costa Rica.**

Yo, Luis Enrique Hernández Gómez, con cédula de identidad AQ095467, en mi condición de autor del TFG titulado ESTRATEGIAS BIOCLIMÁTICAS PARA VIVIENDAS DE INTERÉS PRIORITARIO CASO MURILLO, TOLIMA - COLOMBIA

Autorizo a la Universidad de Costa Rica para digitalizar y hacer divulgación pública de forma gratuita de dicho TFG a través del Repositorio Institucional u otro medio electrónico, para ser puesto a disposición del público según lo que establezca el Sistema de Estudios de Posgrado. SI  NO \*

\*En caso de la negativa favor indicar el tiempo de restricción: \_\_\_\_\_ año (s).

Este Trabajo Final de Graduación será publicado en formato PDF, o en el formato que en el momento se establezca, de tal forma que el acceso al mismo sea libre, con el fin de permitir la consulta e impresión, pero no su modificación.

Manifiesto que mi Trabajo Final de Graduación fue debidamente subido al sistema digital Kerwá y su contenido corresponde al documento original que sirvió para la obtención de mi título, y que su información no infringe ni violenta ningún derecho a terceros. El TFG además cuenta con el visto bueno de mi Director (a) de Tesis o Tutor (a) y cumplió con lo establecido en la revisión del Formato por parte del Sistema de Estudios de Posgrado.

**INFORMACIÓN DEL ESTUDIANTE:**

Nombre Completo: Luis Enrique Hernández Gómez

Número de Carné: B58076 Número de cédula: AQ095467

Correo Electrónico: lehernandezgom@gmail.com

Fecha: 28 de de octubre de 2019 Número de teléfono: 57-3175882373

Nombre del Director (a) de Tesis o Tutor (a): Eugenia Solís Umaña

*Luis E. Hernández G.*

**FIRMA ESTUDIANTE**

Nota: El presente documento constituye una declaración jurada, cuyos alcances aseguran a la Universidad, que su contenido sea tomado como cierto. Su importancia radica en que permite abreviar procedimientos administrativos, y al mismo tiempo genera una responsabilidad legal para que quien declare contrario a la verdad de lo que manifiesta, puede como consecuencia, enfrentar un proceso penal por delito de perjurio, tipificado en el artículo 318 de nuestro Código Penal. Lo anterior implica que el estudiante se vea forzado a realizar su mayor esfuerzo para que no sólo incluya información veraz en la Licencia de Publicación, sino que también realice diligentemente la gestión de subir el documento correcto en la plataforma digital Kerwá.

# **1)INTRODUCCIÓN**

La arquitectura doméstica desde tiempos inmemorables ha sido el refugio ante las inclemencias del clima, descanso del cuerpo y el espíritu, lugar de preparación de los alimentos, espacio predilecto para la reproducción de la especie humana, e independientemente del territorio en donde se encuentre y de su forma, toda vivienda ha respondido en mayor o menor medida a estas necesidades, siendo así uno de los principales soportes materiales de las sociedades en cada cultura y momento histórico.

La relación entre arquitectura y clima siempre ha sido estrecha, es por ello que a través del tiempo el ser humano adquirió los conocimientos técnicos para desarrollar arquitecturas que respondieran a las necesidades de su hábitat, y a su vez afrontaran adecuadamente las características climáticas de cada región del planeta.

Pero en la sociedad contemporánea la apropiada relación entre arquitectura y clima se ha perdido, esto en primera medida por el acelerado estilo de vida de la sociedad de consumo, el desplazamiento de los seres humanos hacia las grandes metrópolis, adicionalmente por el desconocimiento del entorno natural y finalmente por la pérdida de conocimientos constructivos para el adecuado desarrollo de la arquitectura en su entorno.



Figura 1. Déficit cuantitativo y cualitativo de vivienda en Latinoamérica. Fuente BID. 2012.

Teniendo en cuenta estos aspectos y sumando la problemática de carencia de vivienda en la que se encuentra Latinoamérica (fig.1), en donde casi **58 millones** de hogares no cuenta con

vivienda, o si cuenta con ella tiene algún problema de título de propiedad, hacinamiento, infraestructura y materiales de mala calidad (BID 2011).

**El Trabajo Final de Investigación Aplicado TFIA: “Estrategias Bioclimáticas para Viviendas de Interés Prioritario - Caso Murillo, Tolima – Colombia”**, se centra en el diseño de 2 prototipos de **Vivienda de Interés Prioritario** en lote propio, **VIP** a partir de ahora, adaptadas bioclimáticamente al clima de la alta montaña, del municipio estudio de caso. Como respuesta a la necesidad de construir viviendas sociales subsidiadas que disminuyan el déficit habitacional del municipio.

Se propone una arquitectura construible y replicable bajo los parámetros establecidos por la alcaldía de Murillo - Tolima para el desarrollo de las **VIP**. El proceso de investigación para el diseño bioclimático de las **VIP**, tiene como parámetro teórico los cuatro componentes del método Bioclimático del Arquitecto y Urbanista Hungaro **Victor Olgyay**. **Climatología – Biología – Tecnología – Arquitectura**, y a su vez se complementa con el método bioclimático del arquitecto Israelí **Baruch Givoni**, quien establece mediante un diagrama psicométrico las distintas técnicas y estrategias bioclimáticas que se deben proponer para adaptar una edificación a un clima determinado.

Adicionalmente se realizó un estudio de caso mediante **dos biomonitoreos** con dispositivos de medición prolongada para determinar el **comportamiento higrotérmico** de dos viviendas construidas en el **municipio de Murillo – Tolima**, esto con el fin de analizar los factores que influyen en la **sensación de confort de los habitantes** de estas edificaciones, y así obtener resultados y conclusiones para mejorar y adaptar las nuevas viviendas al clima característico de esta región del planeta.

La primera casa monitoreada es una **VIP** construida por la actual administración en el año 2017, mediante el sistema constructivo de **muros de mampostería confinada**. La segunda edificación monitoreada es una **vivienda popular de “tabla parada”**, con una estructura conformada netamente en madera por diagonales, travesaños horizontales y la utilización de tablonces de madera de forma vertical, este tipo de viviendas se construyeron a principios del **siglo XX** por campesinos colonos provenientes de los departamentos de **Antioquia y Boyacá**, y se caracteriza por ser una arquitectura netamente maderable, replicable, liviana y rápida de construir.

De forma resumida se describe en el capítulo dos el **contexto histórico- social del proyecto**, con el fin de ubicar al lector en el lugar donde se realiza la investigación y su caracterización general. En el tercer capítulo se justifica la investigación y su importancia en el diseño de las **VIP**. En el cuarto capítulo se describen el objetivo general y los específicos.

En el capítulo quinto se estudia los antecedentes de la vivienda social en Colombia, su calidad e igualmente se exponen ejemplos de viviendas bioclimáticas adaptadas a los climas de alta montaña de los andes tropicales. En el capítulo sexto se desarrolla el marco teórico para la elaboración del **TFIA**. En el capítulo séptimo se expresa la metodología utilizada para alcanzar los objetivos planteados, En el capítulo octavo se investiga la ubicación geográfica y climática del lugar de intervención.

En el capítulo noveno se realizan los estudios de caso mediante un biomonitoreo a dos viviendas ubicadas en el casco urbano del municipio, en el capítulo decimo se describen las estrategias bioclimáticas de calefacción solar pasiva y el efecto de la masa térmica para el acondicionamiento climático de las **VIP**. En el capítulo décimo primero se describen los diseños arquitectónicos de las **VIP** con la incorporación de las **estrategias bioclimáticas**, en el décimo segundo capítulo se realizan las simulaciones virtuales desarrolladas con los programas **Autodesk Ecotec Analisis, Design Builder**, esto con el fin de realizar la comprobación del comportamiento bioclimático del diseño arquitectónico de acuerdo a las características climáticas del clima frio húmedo, clasificación climática Caldas-Lang, del municipio de Murillo, Tolima, Colombia. En el décimo tercer capítulo se expresan las conclusiones, en el décimo cuarto capítulo se realizan recomendaciones para el desarrollo de arquitecturas bioclimáticas adaptadas al trópico alto andino. Como capítulo final se describe la bibliografía utilizada en la investigación

## **2) CONTEXTO HISTORICO SOCIAL**



## 2.1 FUNDACIÓN

Hacia 1846 se funda el primer establecimiento agrícola en el lugar llamado **Casas Viejas** (fig. 2), posterior a esto en el año de 1872 se establece la fundación de Murillo a unos cuantos kilómetros en dirección Este (Santa, 1997).



*Figura 2. Lugar conocido como casas viejas. Primer asentamiento del municipio de Murillo Tolima. Foto: Luis Hernández*

El poblado surge de las iniciativas políticas de la Nueva Granada (actual Colombia) de mediados del siglo XIX, en donde un aire de expansión y modernidad impulsó al gobierno de turno administrado por el Presidente José Hilario López a realizar políticas para la fundación de nuevos poblados a nivel nacional, por entonces el congreso de la República expidió el decreto del 23 de abril de 1849, el cual fue sancionado por el Presidente López, cuya finalidad era la de fundar un nuevo distrito parroquial en la provincia de Mariquita, Estado Soberano del Tolima (Santa, 1997).

Este poblado nace de la migración de colonos Antioqueños y Boyacenses que impulsados por las políticas nacionales de la época, se aventuraron a realizar expediciones con el fin de encontrar nuevas tierras, que mediante concesiones especiales se les adjudicaba. El decreto del 23 de abril de 1849 otorgaba lo siguiente: *“a cada poblador se le darán hasta cincuenta fanegadas de tierras baldías, quedando obligado a poner en ellas casa y labranza, después de cuatro años de hecha la concesión; y se le eximirá de prestar el servicio militar en tiempo de paz, por ocho años* (Santa, 1997).

## 2.2 CONFLICTO ARMADO

El municipio de Murillo, Tolima, se ha visto afectado por los dos grandes conflictos armados del siglo XX en Colombia. El primer conflicto es la época denominada como **La Violencia**, guerra Bipartidista entre los partidos políticos Liberal y Conservador, y a la que algunos investigadores enmarcan sus inicios en 1930 por diversos sucesos sociales, políticos y económicos. Este conflicto se agudizó hacia la década de los 50 por el asesinato el 9 de abril de 1948 en Bogotá del candidato presidencial del partido Liberal Jorge Eliecer Gaitán Ayala. (Guzmán, G., Fals, O., & Umaña, E. 2010)

El segundo conflicto bélico, es la guerra entre el gobierno Colombiano y las guerrillas, Fuerzas Armadas Revolucionarias de Colombia FARC (fundación 1964) y el Ejército de Liberación Nacional ELN (fundación 1965) por tan solo nombrar dos de los grupos insurgentes más representativos en el país de más de una veintena de los que han existido (fuente: Saumeth, E. Disponible en: <http://ecsbdefesa.com.br/defesa/fts/HGC.pdf>).

*Hacia la década de los 80's ingresó un nuevo actor conocido como los grupos paramilitar que tienen su origen en la promulgación de la ley 48 de 1968 a través de la cual el estado Colombiano mediante civiles armados permitió proteger los intereses de las elites regionales, lo cual recrudeció el conflicto armado interno y la estabilidad social. (fuente: [https://www.cidob.org/publicaciones/documentacion/dossiers/dossier\\_proceso\\_de\\_paz\\_en\\_colombia/dossier\\_proceso\\_de\\_paz\\_en\\_colombia/conflicto\\_en\\_colombia\\_antecedentes\\_historicos\\_y\\_actores](https://www.cidob.org/publicaciones/documentacion/dossiers/dossier_proceso_de_paz_en_colombia/dossier_proceso_de_paz_en_colombia/conflicto_en_colombia_antecedentes_historicos_y_actores)).*

Los grupos paramilitares se desmovilizaron luego del acuerdo de Santa Fe de Ralito, firmado el 15 de Julio de 2003 (Fuente: Fundación Verdad Abierta. 11 de febrero de 2008). Después de más de 50 años de guerra interna se firma el 24 de noviembre del 2016 un acuerdo de paz entre el gobierno Colombiano y las FARC, el 1 de septiembre del 2017 este grupo insurgente se oficializó como partido político, quedando así pendiente un acuerdo de paz con el ELN. Para el año 2017 el municipio de Murillo - Tolima se encuentra en total calma en cuanto al orden público, y dados los acontecimientos y el aire de cambio que se está dando actualmente en el territorio Colombiano, este pueblo ubicado en la alta montaña de los andes tropicales se perfila por sus características paisajísticas y culturales en una región con un gran potencial turístico y ecológico a nivel nacional y mundial.

## 2.3 ARQUITECTURA Y CONTEXTO

El municipio cuenta con una población aproximada de 4957 habitantes, y su vocación es netamente agraria (EOT, 2002).

Una característica del poblado es su trama urbana (fig. 3), la cual es una retícula ortogonal en donde se distribuyen las viviendas con una gran área verde disponible para el cultivo de productos agrícolas o pastoreo, los límites entre el casco urbano y la zona rural son difusos, esto debido al enfoque del uso del suelo en donde se evidencian la cultura campesina presente en la región.



*Figura 3. Vista área del municipio de Murillo-Tolima, Foto: Alcaldía de Murillo-Tolima*

El municipio cuenta también con una vocación turística marcada hacia el turismo ecológico, atractivos paisajísticos y naturales como el Volcán Nevado del Ruiz, ecosistemas de páramo, aguas termales, paisajes campesinos, arquitectura popular, riqueza cultural y gastronómica. Potencian una economía verde, con potencial de crecimiento regional y nacional.





*Figura 4. Fotografía del parque principal de Murillo – Tolima con el nevado del Ruiz al fondo. Foto: Alcaldía de Murillo.*

Su arquitectura tradicional se caracteriza por la utilización de colores vistosos y llamativos (fig. 4 – fig. 5) algunas de sus construcciones están realizadas con bahareque de tierra, y otra cantidad de viviendas populares están construidas con paredes de tabla parada a un solo forro, sus cubiertas se distinguen por ser a cuatro aguas y se componen de largos aleros que están pensados para brindar protección a las fachadas de las lluvias de la región. Las viviendas se elevan del suelo mediante cimientos de piedra o mampostería, esto con el fin de aislar los espacios internos de la humedad presente en el suelo.



*Figura 5. Fachada de una vivienda popular de tabla parada, municipio de Murillo - Tolima. Foto. Luis Hernández*

Una de las características de las viviendas populares de Murillo es el fogón de leña en el interior de la casa (fig. 6), el cual cumple dos funciones: el de la preparación de los alimentos y el de calefacción de los espacios internos.



Figura 6. Fogón de leña vivienda campesina – Murillo, Tolima, Foto: Luis Hernández

Estas edificaciones según palabras del arquitecto Colombiano Simón Vélez representante de la arquitectura de **Bambú, *Guadua Angustifolia Kunt***, expresa que este tipo de viviendas de tabla parada es la herencia de una tradición constructiva inglesa, puesto que está en sus épocas de expansión como imperio británico era una cultura netamente forestal y hacia uso intensivo de la madera presente en el lugar para la construcción de edificaciones, a diferencia de la arquitectura de la colonización española que tiene una influencia Romana y Árabe y usaba piedra y tierra para la construcción de sus edificaciones. (arquitecturaycolor.wordpress.com/2014/10/14/murillo/)

La influencia inglesa en esta región del país se debe a la migración de colonos Antioqueños y Boyacenses que influenciados por las políticas de tierras de mediados del siglo XIX viajaron a distintos territorios de Colombia en busca de una mejor suerte, y con los cuales venían a su vez mineros ingleses que transmitieron sus conocimientos constructivos a los colonos de estas nuevas tierras. La tradición constructiva del bahareque no es indígena ni española, esa tradición se aprendió de la cultura inglesa. (arquitecturaycolor.wordpress.com/2014/10/14/murillo/)



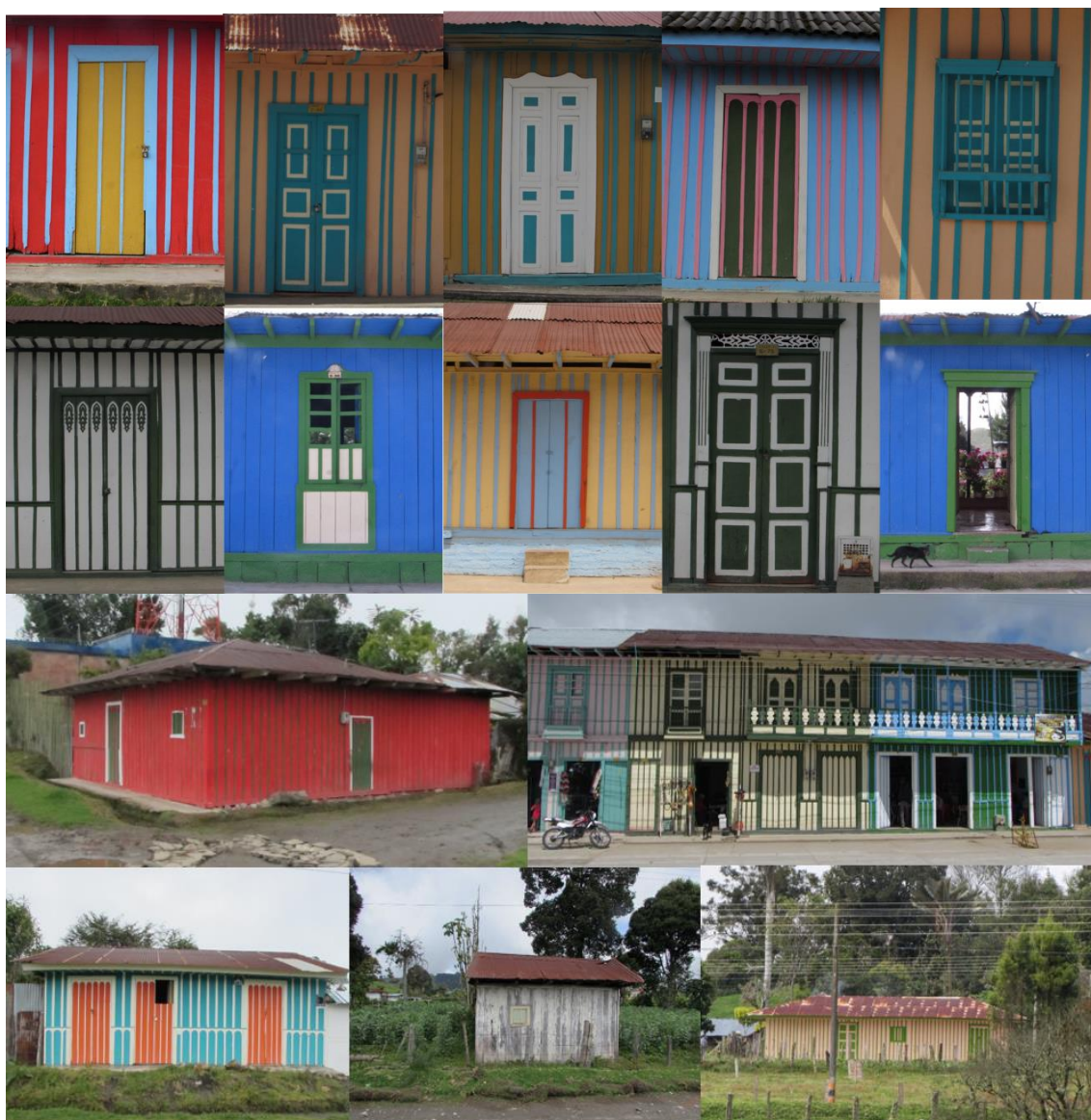


Figura 7. Las puertas, el color y la forma, arquitectura popular en tabla parada –Murillo, Tolima Foto: Luis Hernández

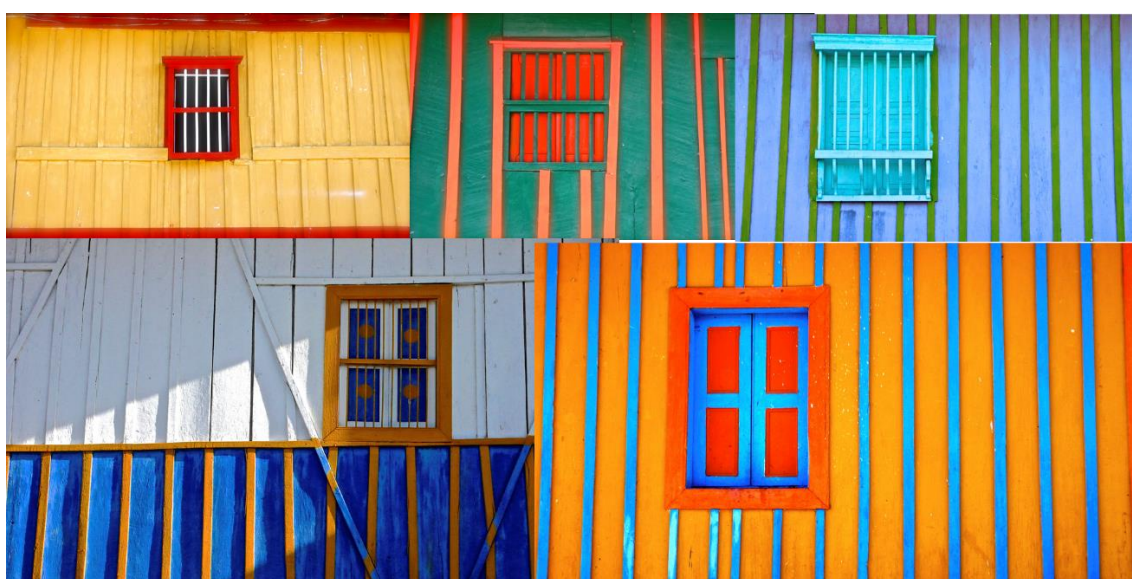


Figura 8. Diversidad de ventanas – arquitectura popular en tabla parada - Murillo Tolima Foto: Oscar Parra - Arquitecto.

### **3) JUSTIFICACIÓN**

Esta investigación se origina específicamente con el fin de dar una respuesta apropiada a la Vivienda de Interés Prioritario en lote propio, de ahora en adelante **VIP en lote propio** para el clima **frio húmedo** según la clasificación climática Caldas-Lang, propuesta de vivienda social planteada por el municipio de **Murillo, Tolima, Colombia**, poblado del trópico que tiene características climáticas singulares por estar ubicado a una altitud de 3000 msnm.

El clima de Murillo presenta temperaturas mínimas de hasta 1.2°C en horas de la madrugada y de 24°C en horas de la tarde, y humedades relativas de hasta el 100% en horas de la noche (*Estación climática: Murillo Automática. Fuente: IDEAM*), condiciones higrotérmicas que evidencian realmente la necesidad del uso de estrategias bioclimáticas para la climatización pasiva de cualquier proyecto de arquitectura que se emplace en este territorio.

La República de Colombia mediante el **artículo 51 de la constitución política de 1991** declara que todos los colombianos tienen derecho a vivienda digna, El estado fijará las condiciones necesarias para hacer efectivo este derecho y promoverá planes de vivienda de interés social, sistemas adecuados de financiación a largo plazo y formas asociativas de ejecución a largo plazo.

Dentro de este escenario la alcaldía de Murillo – Tolima, en el año 2016 construyó 42 **VIP** en un lote de propiedad del municipio (fig. 9), y en la actualidad la administración municipal tiene contemplado en su plan de desarrollo (2015-2019) la ejecución de 30 **VIP** adicionales para familias que cuenten con lote propio y aporten este para su ejecución. Los recursos económicos provienen del sistema General de Participación del Gobierno Nacional y tienen como fin mitigar el déficit cuantitativo de vivienda que presenta el poblado.



*Figura 9: Viviendas de interés prioritario construidas en el año 2016 - Tolima. Foto: Luis Hernández.*

La **VIP** que actualmente se desarrolla en el territorio Colombiano en su gran mayoría no tiene ninguna adaptación a su territorio y clima, son tipologías genéricas que buscan mediante un sistema constructivo de muros de mampostería confinada solucionar la problemática



habitacional que aqueja al país de la forma más económica, esto sin tener en cuenta la debida orientación de la edificación, la dirección de los vientos, la calidad de la iluminación natural, la forma óptima del objeto arquitectónico para cada contexto climático. A estas anteriores variables se le suma la poca generación de propuestas habitacionales que incorporen un diseño arquitectónico mediante la modalidad de crecimiento progresivo y flexible en el tiempo, modalidad de diseño que brinda la posibilidad de adaptar la vivienda según las necesidades y requerimientos de cada familia.

Es por este hecho que la finalidad de esta investigación es la de desarrollar dos prototipos de **VIP** en lote propio, adaptados a su territorio mediante las estrategias bioclimáticas de calefacción solar pasiva y el efecto de la masa térmica, y que adicionalmente el diseño arquitectónico se incorpore un componente de progresividad para reducir la inversión inicial y así tener la posibilidad de mejorarla en el tiempo según las capacidades y posibilidades de cada familia.

## **4)OBJETIVOS**

## 4.1 OBJETIVO GENERAL:

Diseñar dos prototipos de Vivienda de Interés Prioritario **VIP** para dos tipos de lotes (lotes medianeros y aislados), incorporando conceptos de progresividad y flexibilidad y adaptando bioclimáticamente su arquitectura en respuesta al clima frío húmedo (clasificación climática caldas-lang) del municipio de Murillo – Tolima, Colombia, con el fin de mejorar el confort térmico de sus habitantes.

## 4.2 OBJETIVO ESPECÍFICOS:

1. Investigar las estrategias bioclimáticas de calefacción solar pasiva y el efecto de la masa térmica para la climatización pasiva de la vivienda de interés social en el municipio de Murillo, Tolima - Colombia
2. Evaluar la implementación y el funcionamiento de las técnicas de calefacción solar pasiva y el efecto de la masa térmica mediante la simulación virtual de los diseños arquitectónicos de las viviendas en los programas de simulación ambiental **Autodesk Ecotec Analysis – Design Builder**.
3. Mediante la metodología de estudio de caso realizar la medición prolongada de temperatura y humedad de una vivienda popular en madera y una vivienda en mampostería confinada, con el fin de comparar, comprender y evaluar su confort higrotérmico.
4. Generar conclusiones y recomendaciones para la construcción de arquitecturas climáticamente equilibradas para esta región del planeta.

## **5) ANTECEDENTES**

## 5.1 LA VIVIENDA SOCIAL EN COLOMBIA

La historia de la vivienda social en Colombia se divide en cinco periodos: higienista, institucional, de transición, corporaciones de Ahorro y Vivienda y de mercado. Este último periodo inicia en la línea del tiempo en 1992, y en el 2012 fue objeto de unos ajustes significativos a partir de la política nacional de vivienda., lo cual conllevó a que en la actualidad opere un modelo diferente en donde **la acción del estado ha ganado participación**. (Cien años de políticas habitacionales, Ministerio de Vivienda, Ciudad y territorio, 2014)

**Mediante la ley 1537 del 2012**, se introdujo el marco legal que abrió la gratuidad en el acceso a la vivienda para hogares en **situación de vulnerabilidad priorizada**, sin capacidad de ahorro ni acceso a crédito. La promulgación de la ley 1537 tiene un precedente en materia de **atención a población desplazada contenida en la ley 1448 de 2011 (ley de Víctimas y Restitución de Tierras)**, precedente legal que ordena que esta población Colombiana debe ser priorizada y asegurar su goce efectivo a una vivienda digna (Cien años de políticas habitacionales, Ministerio de Vivienda, Ciudad y territorio, 2014).

Dentro del marco legal de estas políticas se encuentran **las Viviendas de Interés Social Prioritario VIP**, que se definen como las viviendas de interés social cuyo valor máximo es de 70 salarios mínimos legales mensuales (70 SMLM). (Cien años de políticas habitacionales, Ministerio de Vivienda, Ciudad y territorio, 2014).

La necesidad de generar viviendas que dignifiquen a la sociedad colombiana y que a su vez satisfagan las necesidades de la población vulnerables del país, incentivan la investigación y profundización en el **diseño bioclimático de las viviendas sociales, con el fin de producir espacios confortables, energéticamente eficientes y ambientalmente responsables**.

## 5.2 CALIDAD EN LA VIVIENDA SOCIAL EN COLOMBIA

El Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial de Colombia realizó 4 guías con el objetivo de generar una herramienta para la formulación, desarrollo y puesta en marcha de proyectos de vivienda de interés social. Las guías se ordenan de la siguiente manera:

*Guía 1: Aborda el tema de la calidad en la vivienda en aspectos como las determinantes poblacionales, los parámetros de calidad en el terreno, la formulación de los diseños urbanísticos y arquitectónicos, todo esto con el fin de enfocar de la forma más idónea el desarrollo de proyectos de vivienda social (Colombia. Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo).*

*Guía 2: Está enfocada en los materiales y la calidad que deben tener los mismos en el desarrollo de la vivienda. La escogencia de los materiales adecuados para garantizar la calidad*

*en el comportamiento acústico, térmico y estructural (Colombia. Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo), es importante expresar que la guía presenta los tipos de materiales idóneos para cada zona climática en forma de referencia, pero no profundiza en las dimensiones de los materiales ni los espesores de los aislamientos térmicos y acústicos requeridos para cada zona climática.*

*Guía 3. Resalta las responsabilidades normativas de los ejecutores de los planes de vivienda, a través de la recopilación de seis reglamentos técnicos: Reglamento de Construcción Sismo Resistente NSR-10, Reglamento de Agua y Saneamiento RAS 2000, Reglamento Técnico de GAS, Reglamento Técnico de Iluminación y Alumbrado Público RETILAP y el proceso del Reglamento técnico de eficiencia energética para Vivienda de Interés Social RETEVIS (Colombia. Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo).*

*Guía 4. Se encuentra una herramienta de consulta y orientación de que contiene los procedimientos generales de la política de vivienda y su aplicación en los procesos para la formulación, presentación, ejecución y legalización de proyectos de vivienda subsidiados con recursos del Estado a través del Fondo Nacional de Vivienda y el Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial (Colombia. Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo).*

## **5.3 ARQUITECTURA BIOCLIMÁTICA EN EL TROPICO ALTO ANDINO**

La necesidad de nuestra época de minimizar los impactos negativos de las acciones de la humanidad sobre el medio ambiente y aportar de forma positiva al cambio climático, conlleva a que en el ámbito de la arquitectura doméstica se proyecten edificaciones que dialoguen con su entorno natural y utilicen las variables climáticas a su favor, con el mínimo impacto ambiental y el ahorro energético mediante **estrategias bioclimáticas**.

En el contexto latinoamericano existen algunos ejemplos de la aplicabilidad de **estrategias bioclimáticas** para el acondicionamiento de viviendas en climas fríos de alta montaña, como lo es el caso del Perú, en donde entre los **años 2009-2010 el Ministerio de Vivienda Construcción y Saneamiento MVCS** con apoyo del Servicio Nacional de Capacitación para la Industria de la Construcción **SENCICO** realizo mejoramientos de vivienda mediante muros trombe para contrarrestar las bajas temperaturas presentes en los Andes Peruanos (fuente: Gómez, A)

Según un artículo publicado por el arquitecto Peruano Alejandro Gómez Ríos, el trabajo de las intervenciones arquitectónicas con los Muros Trombe (fig. 10) que son sistemas de calefacción solar pasiva indirectos no ha tenido el resultado esperado en el Perú, debido al desconocimiento del movimiento del sol, ya que los territorios que se encuentran en la franja

tropical la radiación solar incide mayoritariamente de forma perpendicular, y los muros Trombe fueron diseñados para calentar pasivamente espacios internos de un edificio en latitudes fuera del Trópico, donde un gran porcentaje de la radiación solar incide en épocas de invierno mayoritariamente sobre la pared sur (Latitud norte) y sobre la pared norte (Latitud sur).



Figura 10. Intervención con Muros Trombe en las zonas frías del Perú. Fuente: Alejandro Gómez Ríos.

Una investigación llevada por un equipo de académicos de la **Facultad de Ciencias, Universidad de Ingeniería, Lima, Perú**, demostró que la pared que mayor radiación obtiene en la latitud 13° sur, Cuzco, es la superficie horizontal (cubierta) (fig. 11), puesto que Perú se encuentra dentro de la zona de convergencia intertropical donde los rayos solares inciden mayoritariamente de forma perpendicular, se determina que la mejor forma de captar los rayos solares para los territorios que se encuentran en el trópico es mediante la cubierta y también a través de invernaderos.

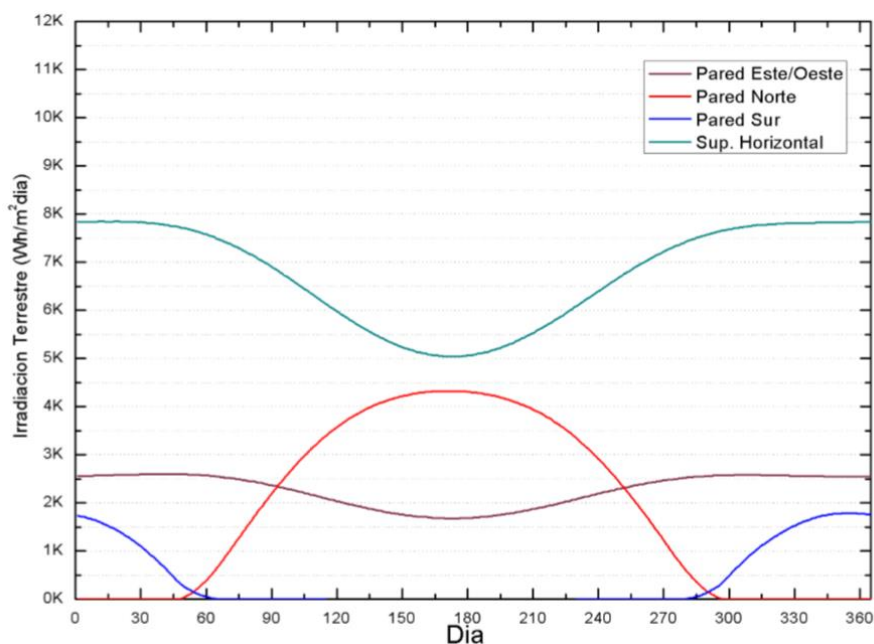


Figura 11. Curva de radiación solar directa terrestre diaria, durante un año pasando por un vidrio Cuzco (lat. 13°. Altitud 3400 msnm). Fuente: ¿Los muros trombe sirven en el Perú?

El **MVCS** del Perú realizó para el año 2012 el estudio Piloto “**Acondicionamiento Térmico en Zonas Rurales Alto Andinas**”, en donde se adecuaron viviendas existentes y a su vez se construyeron viviendas nuevas con la finalidad de mejorar las condiciones térmicas de sus espacios internos.

En el documento realizado por el **MVCS** del Perú llamado **Soluciones Constructivas para Elevar la Temperatura Interior en Viviendas Rurales Ubicadas en Zonas Alto Andinas**, se encuentran mayoritariamente ejemplos de **estrategias de calefacción solar a partir de invernaderos adosados en las viviendas** y también mediante la estrategia pasiva de captación de la radiación solar directa por cubierta, técnicas bioclimáticas combinadas con construcción de muros de tierra, pisos aislados mediante cámaras de aire y cubiertas aisladas mediante paja y polietileno.

El **MVCS** del Perú realizó biomonitoreos de las intervenciones ejecutadas y **básicamente todas las viviendas tuvieron aumentos de temperatura en sus espacios internos**. Un ejemplo de esto es el de una vivienda nueva (fig. 5.3) construida en el distrito Pilpichaca, localidad San Felipe, en donde se presentan temperaturas externas de  $-1^{\circ}\text{C}$  y al interior  $7^{\circ}\text{C}$ , logrando así un aumento de la temperatura interna de la vivienda de  $8^{\circ}\text{C}$ , se utilizaron las **estrategias bioclimáticas de ganancia directa** mediante la captación de radiación solar por cubierta, y **ganancia indirecta** mediante un invernadero adosado a la vivienda. (fig. 12), (Ministerio de Construcción y Saneamiento del Perú)



FICHA TECNICA DE VIVIENDA NUEVA N° 1					
Región:	<b>Huancavelica</b>	Provincia:	<b>Huaytará</b>	Distrito:	<b>Pilpichaca</b>
Localidad:	<b>San Felipe</b>	Altitud:	<b>4480 m.s.n.m.</b>	Propietario:	<b>Vivienda Nueva</b>
TEMPERATURA DESPUÉS DE LA INTERVENCIÓN					
Temperatura Exterior	Temperatura Interior	$\Delta$ Temperatura Interior/Exterior			
<b><math>-1^{\circ}\text{C}</math></b>	<b><math>7^{\circ}\text{C}</math></b>	<b><math>8^{\circ}\text{C}</math></b>			

Figura 12. Vivienda Nueva, provincia Huaytará, distrito Pilpichaca, localidad San Felipe, altitud 4480 msnm.  
Fuente: Ministerio de Construcción y Saneamiento del Perú.

Una investigación por parte igualmente en el contexto Latinoamericano el Gobierno de Chile hacia el año 2000 implemento la **Reglamentación Térmica para Complejo de Techumbre**, y en el 2007 la **Reglamentación Térmica para toda la Envolvente de la Vivienda** (muros, ventanas y piso) (fuente - Patricia Poblete Bennett – Ministra de Vivienda y Urbanismo).



Buscando de esta forma aplicar criterios de eficiencia energética a las viviendas, iniciativas que buscan mejorar la calidad de vida de los pobladores con un menor impacto medioambiental.

Para llevar a buen término estas normativas el gobierno chileno elaboró una **Guía de Diseño Para la Eficiencia Energética en la Vivienda Social**, documento dirigido a las instituciones encargadas del diseño y construcción de viviendas sociales. En donde se destacan las recomendaciones de diseño arquitectónico según las zonas climáticas con el objetivo de alcanzar confort y uso eficiente de la energía, y en donde se pueden evidenciar parámetros para el diseño de viviendas ubicadas en la cadena montañosa de los andes.

Estos avances y búsquedas por parte de algunos gobiernos latinoamericanos dan cuenta de la importancia del tema hoy en día, para dar solución a la problemática del impacto ambiental de la construcción, que según algunas investigaciones describen que está consume un 50 % de los recursos mundiales (Yañes, 2008). Estas iniciativas anteriormente descritas buscan en cierta medida introducir pautas, conceptos y normativas para el desarrollo de edificaciones y ciudades que brinden una adecuada calidad de vida para los seres humanos y el mejoramiento del ambiente interior de las viviendas con un mínimo gasto energético, contribuyendo de esta forma desde el contexto latinoamericano a solucionar parte de las problemáticas del cambio climático y el efecto invernadero que afectan actualmente a los seres humanos y al planeta tierra entero.

## **6) MARCO TEÓRICO**

## 5.4 ARQUITECTURA BIOCLIMÁTICA

La urgencia de planificar correctamente y encontrar soluciones a las problemáticas producidas a lo largo del siglo XX y principios del XXI (alto consumo de los recursos naturales, dependencia de la energía fósil, crecimiento demográfico, especies en vía de extinción, etc.), produce el concepto de **desarrollo sostenible**, que tiene como objetivo el desarrollo del ser humano y sus sociedades mediante el equilibrio entre: **la economía, la sociedad y el medio ambiente**. El concepto de **desarrollo sostenible** se investigó por varios países para la ONU en 1987, por una comisión encabezada por la Doctora Gro Harlem Brundtland, **en donde se desarrolló un informe titulado (nuestro futuro común) y donde se define el concepto de desarrollo sostenible o (desarrollo sustentable) como aquel que satisface las necesidades presentes sin comprometer las necesidades de las futuras generaciones. Fuente: <http://www.un.org/es/ga/president/65/issues/sustdev.shtml>.**

En el marco del concepto de desarrollo sostenible, la Arquitectura Bioclimática se preocupa por la aplicación de técnicas constructivas que generen bajo impacto en el medio ambiente, que se adapten a las condiciones ambientales, sociales y económicas de un **territorio**, y que mediante un estudio lógico de los elementos climáticos se obtenga como resultado arquitecturas que satisfagan integralmente el confort térmico, acústico, olfativo y lumínico del usuario, con el menor gasto energético posible.

. En la actualidad para el caso de **Latinoamérica** una de sus principales necesidades sociales es la de construir viviendas dignas para sus pobladores, y por este hecho es de suma importancia la aplicación del **diseño bioclimático**, con el fin de producir viviendas adaptadas a su clima, confortables, con un uso adecuado de la energía y un mínimo impacto ambiental.

Según (Celis F., 2000) expresa que la arquitectura bioclimática la podemos catalogar en tres tipos:

**Los edificios que se preocupan únicamente en conseguir una alta eficiencia energética, y que una vez construidos regulan las ganancias y gastos energéticos en la búsqueda del confort climático.**

**Como segundo tipo están aquellas edificaciones en donde la eficiencia energética se incorpora a todas las variables del diseño y la vida útil del edificio desde la extracción de los materiales, su elaboración industrial, su puesta en obra, su uso y su destrucción.**

**Y por último están las edificaciones que también incluyen la eficiencia energética, y adicionalmente se incorporan paisajísticamente en su territorio por intermedio del uso de materiales locales y el fomento de especies vegetales endémicas en el edificio; incluye estrategias de captación de aguas lluvia y energías renovables, elementos complementarios en la ayuda al ahorro energético y en la adquisición de las condiciones óptimas de confort del usuario”.**

Para otro autor *la arquitectura popular (fig. 6.1) representa la adecuación perfecta entre el clima, las necesidades humanas y la construcción sostenible, y por ello se podría decir que es la primigenia arquitectura bioclimática. En ese mismo sentido, se podría definir la arquitectura bioclimática actual como una arquitectura popular evolucionada* (Neila, 2004).



Figura 13. Construcción de un Iglú, (casa de nieve) vivienda de las comunidades Inuit, Foto: Frank E. Kleinschidt.  
Fuente: <http://ecoemas.com/un-iglu-paradigma-de-arquitectura-sostenible/>

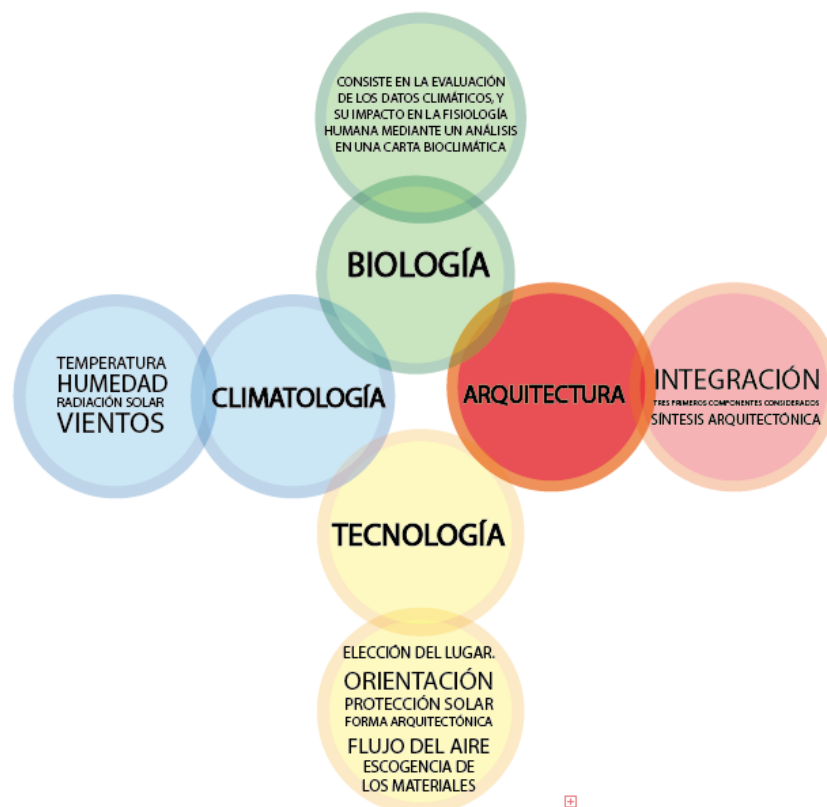
En resumen para el autor de la presente investigación, la finalidad la Arquitectura Bioclimática es la de realizar un análisis de las determinantes climáticas del lugar de intervención, dar la debida orientación a la edificación teniendo en cuenta el recorrido solar y la dirección de los vientos, ubicar los rangos óptimos de confort para la habitabilidad de los seres humanos en el espacio interior de una edificación, seleccionar los materiales por su capacidad térmica en las fachadas con el fin de mitigar las inclemencias del clima, y como resultado final dar una forma arquitectónica que parta del estudio del entorno respondiendo eficientemente al acondicionamiento térmico, lumínico, acústico y al gasto energético en la construcción y su mantenimiento en el tiempo.

## 5.5 MÉTODO BIOCLIMÁTICO

En este apéndice se describirá de forma Sintética el método bioclimático que desarrolló hacia los años cincuenta **Victor Olgyay**, arquitecto y urbanista de origen húngaro, quien fue pionero en la investigación de las interacciones entre el edificio, el hombre y el medio natural, realizó estudios, y dictó pautas para acondicionar la arquitectura y el urbanismo al medio ambiente, publicando en 1962 un texto titulado en ingles **Design With Climate** y traducido al español como **Arquitectura y clima – Manual de diseño bioclimático para arquitectos y urbanistas**, texto en donde expresa el método bioclimático para cuatro tipos de clima de Estados Unidos: clima frio, clima templado, clima caliente seco y clima cálido húmedo.

El método bioclimático descrito en este capítulo fue la primera síntesis de una aproximación metodológica para el **diseño bioclimático en la arquitectura**, y el cual tiene una gran influencia en la actualidad y por ende es un referente teórico para el desarrollo del presente **TFIA** con su debida interpretación, puesto que los trabajos realizado por Olgay Givoni fueron desarrollados para latitudes del norte por encima de la franja intertropical.

La “interpretación Bioclimática” de la arquitectura, es la lectura acertada y apropiada de los cuatro componentes del método bioclimático de Victor Olgay (fig. 14), los cuales se describen a continuación: **Climatología – Biología – Tecnología – Arquitectura** (Olgay. V., 1998).



LAS INTERACCIONES ENTRE EL EDIFICIO  
EL HOMBRE Y EL MEDIO NATURAL  
1962 - DESIGN WHIT CLIMATE  
VICTOR OLGAY - ALADAR OLGAY

Figura 14: campos interrelacionados del equilibrio climático. Fuente: (Olgay. V; Aladar Olgay., 1998.). Editado por Luis Hernández.

### 5.5.1 FACTOR CLIMÁTICO

El clima es el conjunto de los valores promedio de las condiciones climáticas atmosféricas predominantes a lo largo de un tiempo suficientemente largo (más de 20 años) (Rodríguez, V., 2001).

Los efectos del clima inciden directamente en las actividades humanas, por este hecho es indispensable hacer un análisis climático de los valores anuales de (humedad relativa, pluviosidad, brillo solar, velocidad de los vientos, temperatura promedio, etc.). Con estos datos

se debe trabajar en sus periodos críticos, para determinar así con mayor exactitud las acciones a aplicar en el proceso de diseño y desarrollo de un proyecto arquitectónico.

## 5.5.2 FACTOR BIOLÓGICO

Consiste en la evaluación de los datos climáticos, y su impacto en la fisiología humana mediante un análisis en una carta bioclimática.

### 5.5.2.1 CARTA BIOCLIMÁTICA DE OLGYAY

Uno de los primeros climogramas implementados para el estudio bioclimático es la carta bioclimática de Olgay (1963) (Fig. 15), la cual usa dos ejes, en el **eje Y la temperatura del aire**, y en el **eje X la humedad relativa**. El climograma muestra la zona de confort para el ser humano en donde los valores de temperatura y humedad proporcionan un bienestar térmico aceptable para una mayoría de personas con una actividad sedentaria y vestimenta convencional. (Yañes, 2008). Esta carta bioclimática **no considera la contribución del edificio como objeto de climatización**.

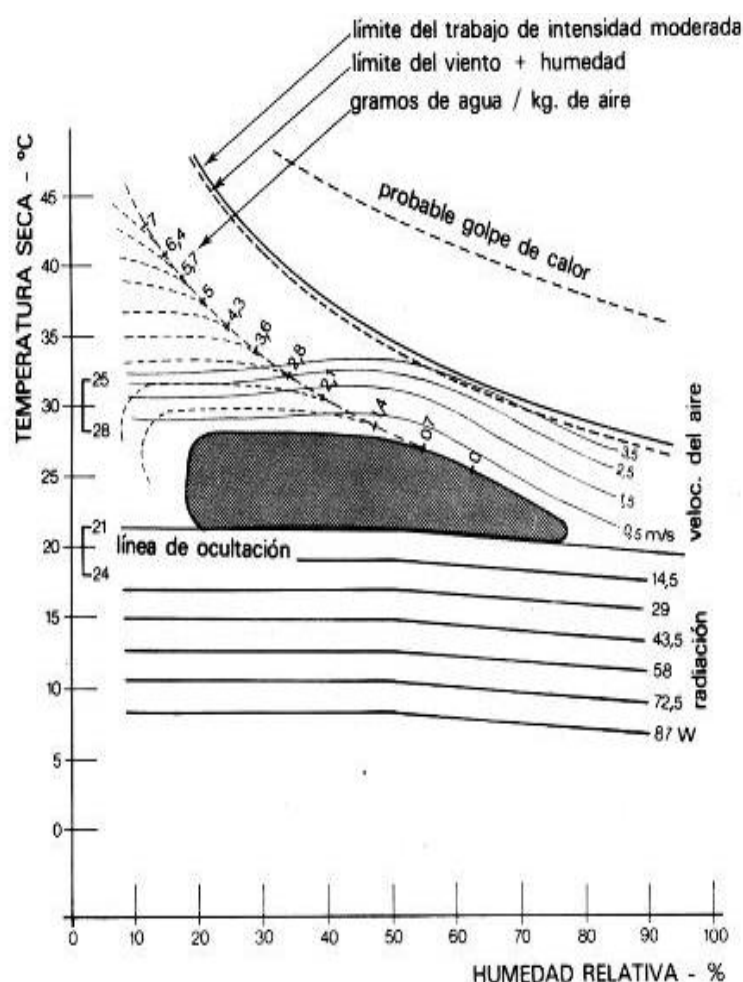


Figura 15. Diagrama de Olgay. Fuente: <http://pedrojherandez.com/2014/03/03/diagrama-bioclimatico-de-givoni-2/>

Cuando existe desfase en la zona de confort, se puede alcanzar esta con la implementación del viento en verano, y de la radiación solar en invierno. La carta aquí expuesta fue implementada para latitud 40°, altitud media 300m.

### 5.5.3 EL DIAGRAMA DE GIVONI

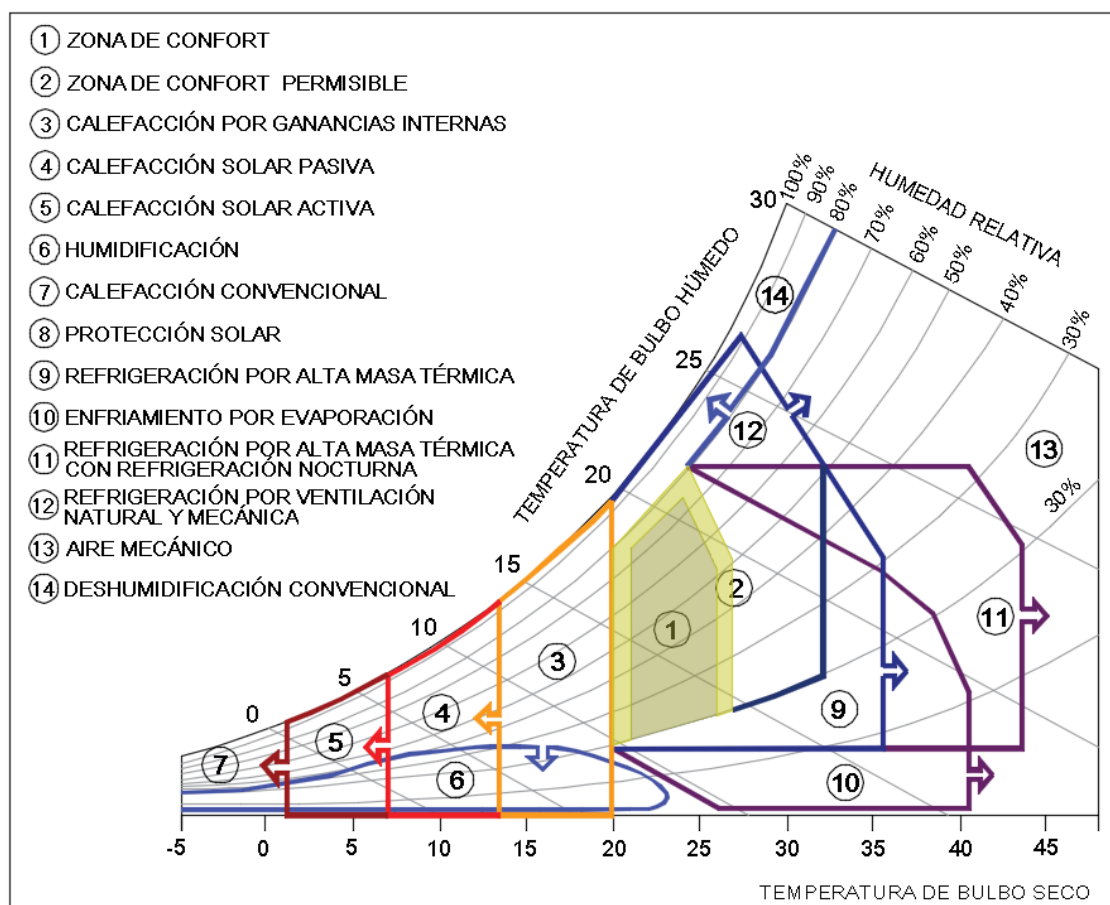


Figura 16. Diagrama de Givoni Fuente: <http://pedrojherandez.com/2014/03/03/diagrama-bioclimatico-de-givoni-2/>. Editado por Luis Hernández

El diagrama de Givoni (fig. 16) es la síntesis del trabajo de investigación del arquitecto **Baruch Givoni** publicado en el libro "Man, Climate and Architecture", "Hombre Clima y Arquitectura" en 1969. En este diagrama **Givoni** avanza en el estudio de los datos climáticos y su impacto en el ser humano, **su característica principal es la de tener en cuenta al edificio como objeto receptor y transformador de las variables climáticas y su implicación en la generación de adecuados ambientes internos.**

**El principal objetivo del diagrama de Givoni es el de proponer materiales constructivos y estrategias bioclimáticas que respondan a las variables climáticas para obtener así edificaciones climáticamente equilibradas.** El diagrama de Givoni delimita la zona de confort entre los 20°C y 27°C con humedades relativas entre los 20% y 80%, y enumera las distintas estrategias de climatización pasivas para conseguir adaptar los espacios internos dentro de la zona de confort.

## 5.5.4 CLIMOGRAMA DE BIENESTAR ADAPTADO (CBA)

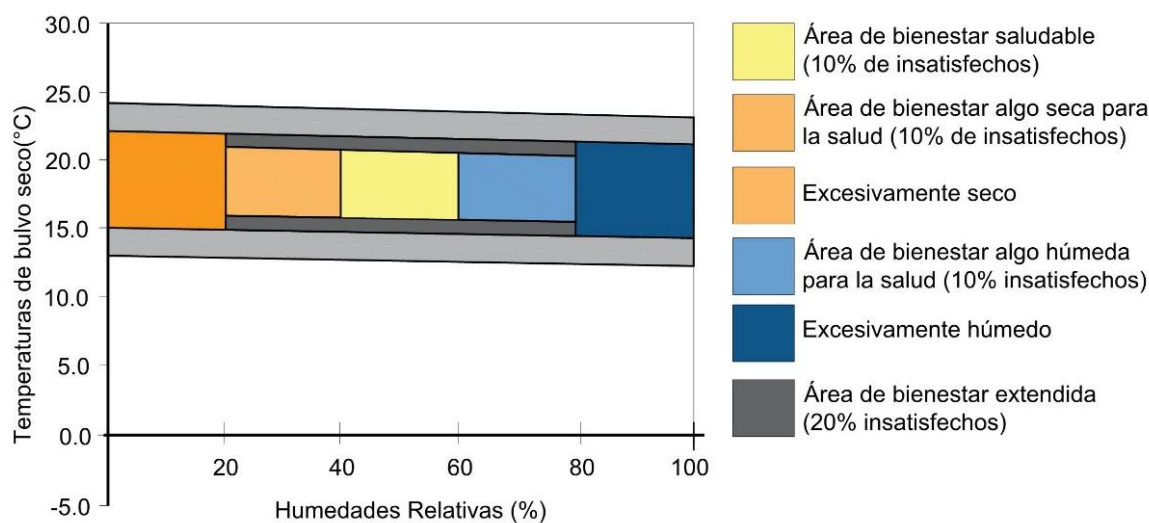


Figura 17. Climograma de Bienestar Adaptado. Fuente: hoja de cálculo de Javier Neila. Editado por Luis Hernández

El climograma de bienestar adaptado o CBA (fig. 17) es un compendio de los climogramas de Victor Olgya y de Baruch Givoni, resuelto a través de una hoja de cálculo. Éste sintetiza los diferentes aspectos para indicar cuales son buenas condiciones higrotérmicas. Fue desarrollado por el profesor Javier Neila (2004) y entre las variables que toma en cuenta están: el tipo de actividad para determinar el nivel de metabolismo (*met*), el nivel de arropamiento (*clo*) y la temperatura media radiante (Salas, A., 2013).

## 5.5.5 FACTOR TECNOLÓGICO:

En este caso se analizarán las variadas actuaciones técnicas y tecnológicas para hacer frente a las inclemencias del clima, debe analizarse mediante los siguientes pasos:

### 5.5.5.1 ELECCIÓN DEL LUGAR.

En la elección del lugar la mayoría de los factores varían. Dependiendo del entorno, los datos climáticos de una región, la topografía y el desarrollo de las actividades humanas se determina un lugar libre de amenazas naturales, y que para el caso del trópico que muestre beneficios y mejores características en relación entre la temporada seca y la lluviosa.

Para el presente trabajo resulta complejo una elección del lugar por parte del diseñador, puesto que la elección del sitio está determinada por el usuario que tiene un lote dispuesto para la construcción de una vivienda subsidiada por el gobierno nacional.

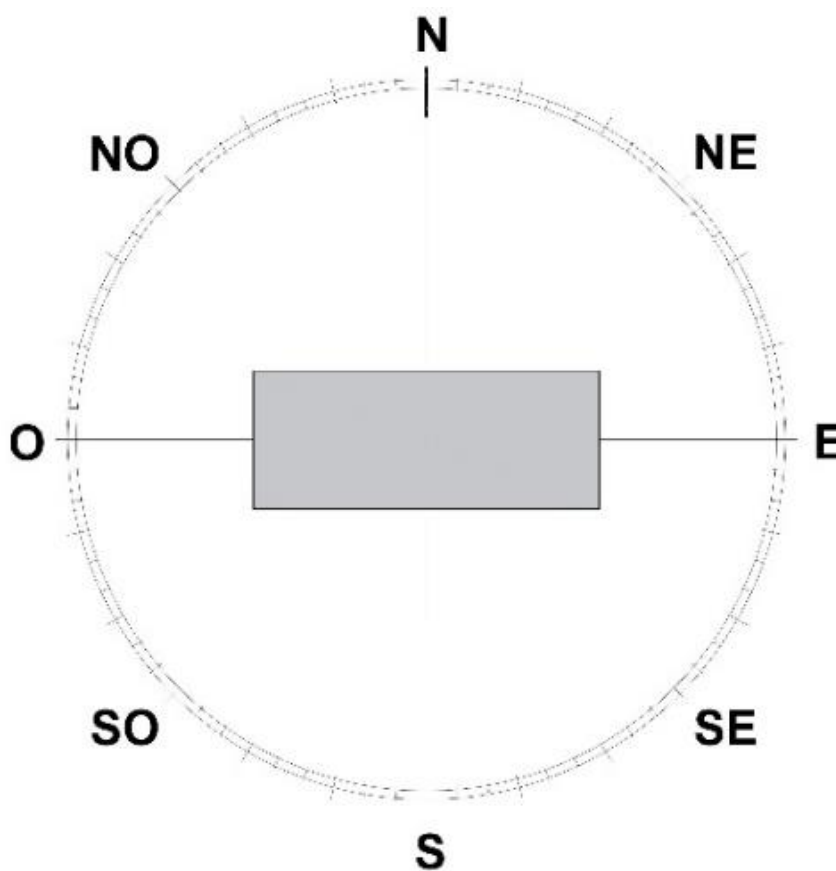
### 5.5.5.2 ORIENTACIÓN

La orientación de la edificación como primera medida estará determinada por amplios factores: el recorrido del sol, la topografía del lugar, las limitaciones del lote y la incidencia de los elementos climáticos. La orientación de la edificación determina en gran medida la eficiencia energética y confort de una vivienda, y la funcionalidad de las estrategias bioclimáticas para la



climatización pasiva de una edificación. Por este hecho la debida orientación y configuración del edificio incidirá en el comportamiento climático del edificio.

Como ejemplo en las regiones cálidas del trópico se deben propiciar orientaciones en donde la gran mayoría de aberturas se genere en el sentido norte - sur, esto con el objetivo de obtener en el sentido este - oeste fachadas solidas que protejan a la edificación de la radiación solar directa (fig.18).



*Figura 18. Vista en planta. Adecuada orientación de las edificaciones para climas cálidos del trópico. Las caras cortas de la edificación deben ubicarse en el sentido este - oeste y las caras largas en el sentido norte – sur. Fuente. Luis Hernández.*

### 5.5.5.3 PROTECCIÓN SOLAR

Mediante la implementación de una carta solar (Fig. 19) y dependiendo del clima y uso del proyecto arquitectónico se definirá la orientación del proyecto y se analizará la implementación de elementos que dispuestos en cierto orden generarán la protección de la radiación al interior de la edificación en caso de climas calientes, o permitan su captación en el caso de climas fríos.

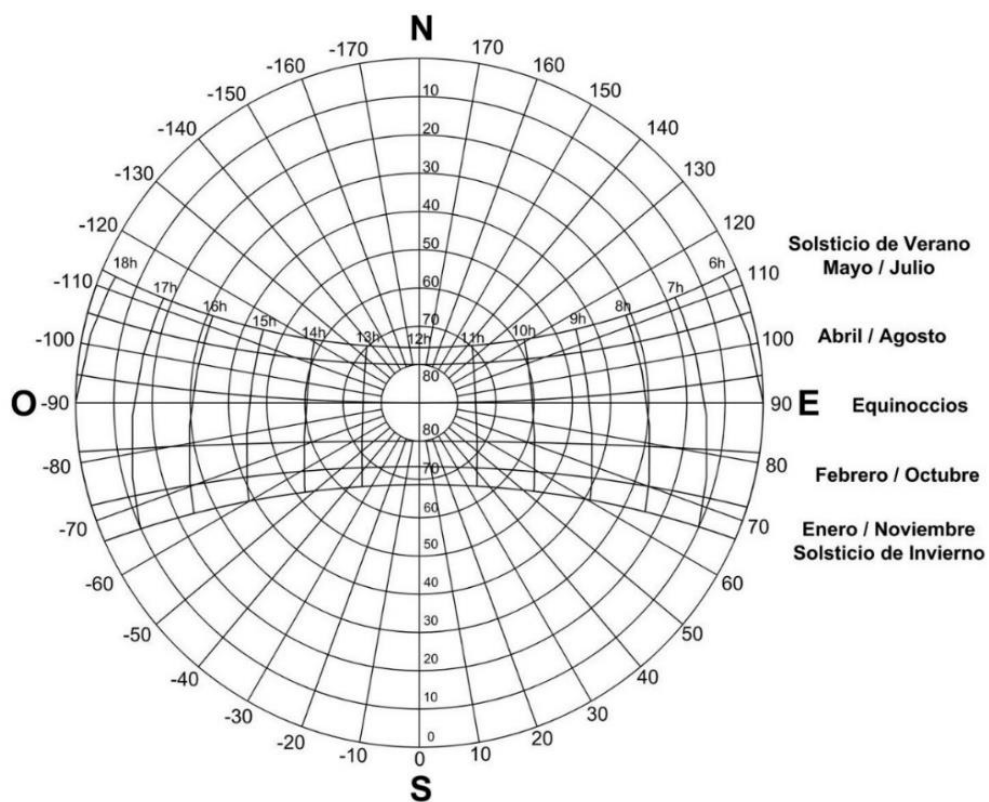


Figura 19. Carta Solar. Latitud 4.7°N, Municipio de Murillo, Tolima, Colombia. Fuente. Autodesk Ecotec. Editado por Luis Hernández.



Figura 20. Edificio ruta N Medellín, Colombia. Diseño Arq. Alejandro Echeverri. Fuente. <http://alejandroecheverriarquitectos.tumblr.com/rutan>

Un ejemplo de este caso es el edificio **ruta N** en Medellín, Colombia (fig. 20), en donde los diseñadores realizaron un estudio de la incidencia de la radiación directa en cada una de las fachadas de la infraestructura, dando como resultado un edificio que en sus cerramientos con

orientación hacia el Oeste son sólidos en su conjunto arquitectónico y que tienen por finalidad proteger los espacios internos de la incidencia de la radiación solar directa.

#### 5.5.5.4 FORMA ARQUITECTÓNICA

“la forma óptima según Víctor Olgay para el territorio Estadunidense es aquella que desprende la mínima cantidad de Kcal en invierno y que absorbe el mínimo de Kcal en verano” (Olgay, 1996). Reinterpretando lo anteriormente expuesto para nuestro clima tropical que se define en dos períodos: el lluvioso y el seco, se puede deducir que la forma óptima de una edificación es aquella que se adapta apropiadamente a las variables climáticas de una región y que responde de forma eficiente al acondicionamiento térmico y gasto energético dentro de sus espacios construidos.

#### 5.5.5.5 FLUJO DEL AIRE

Como lo expresa Rodríguez (2001), el viento es un factor climático fundamental en la arquitectura, y funciona como una técnica de climatización pasiva, ya sea por la necesidad de captarlo, evitarlo o controlarlo. Para generar un diseño con un adecuado uso de la ventilación es indispensable comprender su comportamiento y de qué manera puede utilizarse.

El aire se debe de aprovechar de manera favorable en aquellos sitios calurosos en donde por el exceso de temperatura se necesite que este penetre en la totalidad de los espacios construidos, y por el contrario en zonas climáticas frías se debe de buscar la protección contra la incidencia directa del viento.

Otro aspecto importante del viento es su relación directa con la salud, puesto que si entendemos su velocidad, dirección y frecuencia podremos introducirlo al edificio con el fin de renovar el aire en su interior y así obtener espacios con unas calidades óptimas de habitabilidad.

#### 5.5.5.6 ESCOGENCIA DE LOS MATERIALES CONSTRUCTIVOS

Los materiales deberán seleccionarse por su uso, mantenimiento y deterioro, pero su mayor criterio para el caso del método bioclimático es el de su capacidad térmica en las fachadas, ya que los impactos del medio ambiente deberán ser soportados en mayor o menor medida por los materiales que componen las envolventes de la edificación.

Los materiales implementados en la construcción de las fachadas de una infraestructura forman un papel protagónico en el control de la radiación solar y del ruido, son el filtro del aire a través del edificio y por último forman parte de los elementos de composición del objeto arquitectónico.

### 5.5.6 FACTOR ARQUITECTÓNICO (SÍNTESIS)

Como último componente del método bioclimático tendremos **la síntesis arquitectónica**, la cual se encarga de generar una **propuesta desde el ordenamiento urbanístico hasta el**

**aspecto formal de las viviendas**, integrando las conclusiones de los tres primeros componentes considerados por separado y teniendo como principal premisa la de generar condiciones de habitabilidad dentro de la zona de confort, la eficiencia energética y el bajo impacto ambiental.



Figura 21. Orquideorama Jardín Botánico de Medellín-  
<http://www.planbarquitectura.com/index.php?/proyectos/orquideorama/>

## 5.6 CRECIMIENTO PROGRESIVO Y FLEXIBLE.

Mediante la implementación del concepto de flexibilidad y crecimiento progresivo en la planificación de la vivienda se pretende dar una respuesta para su modificación por parte del usuario en el tiempo, según sus necesidades y capacidad económica. Básicamente existen **4 modalidades** (fig. 22) para el crecimiento progresivo de la vivienda en el tiempo: **Semilla, Mejorable, Soporte y Cáscara**. (Gelabert, D y González, D. 2013).



Figura 22. Clasificación general de las modalidades de vivienda progresiva – Fuente: (Gelabert, D y González, D. 2013)

El arquitecto Alejandro Aravena en el año 2003 proyectó un conjunto de viviendas en Iquique, Tarapacá, Chile. Proponiendo una vivienda que combina la modalidad de diseño progresivo tipo semilla + soporte, iniciando con una construcción de una vivienda inicial de 36 m<sup>2</sup> con la



capacidad de crecer hasta los 70 m<sup>2</sup>, y un dúplex inicial de 25 m<sup>2</sup> con capacidad de crecer hasta 72 m<sup>2</sup> (fig.23 -24).



Figura 23. Módulo de vivienda inicial – Modalidad de crecimiento Semilla + Soporte, fuente: <http://www.plataformaarquitectura.cl/cl>



Figura 24. Ampliación de la vivienda en el tiempo – Modalidad de crecimiento Semilla + Soporte, fuente: <http://www.plataformaarquitectura.cl/cl>

Entender la vivienda como proceso y no como un objeto terminado es el ejemplo y legado de la arquitectura popular en Latinoamérica, viviendas que se desarrollan en el tiempo según la disponibilidad de recursos, la capacidad económica y necesidad de las familias de modificar su

espacio en el tiempo (fig. 25). Más del 50% de las familias latinoamericanas auto-produce su vivienda (Salas, J. 2000)



Figura 25. Paisaje de arcilla – viviendas populares, Bogotá Colombia. Foto: Luis Hernández.



Figura 26. La vivienda debe atender la diversidad de estructuras familiares presentes en la sociedad contemporánea – desde la persona sola a la familia numerosa. Fuente: Mignnuci, A., Habraken, N., 2010. Editado por Luis Hernández.

El proyecto busca resolver el problema habitacional con dos prototipos de **VIP en lote propio**, que incorporen el cambio y la flexibilidad en el tiempo para así brindar posibles soluciones espaciales ante las diversas estructuras familiares presentes en el poblado (fig. 26).

Dado el tipo de vivienda que se va a desarrollar en la presente investigación, se opta por aplicar las modalidades de crecimiento progresivo tipo **semilla y mejorable** (fig. 26 – 26) las cuales son óptimas para un lugar con bajas densidades y presupuesto limitado como es el caso de Murillo -Tolima.

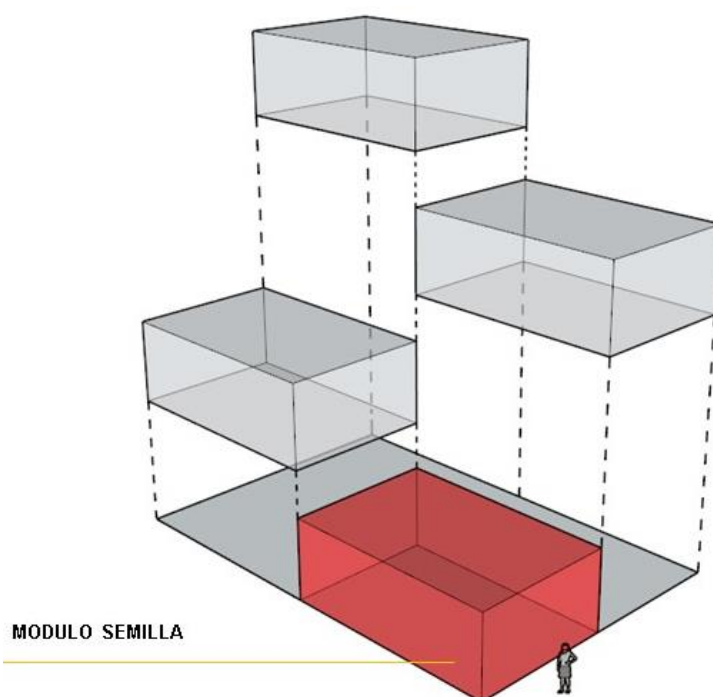


Figura 27. Modalidad Semilla: se inicia con un módulo básico al que en el tiempo se le pueden agregar espacios según sean las necesidades y recursos de la familia. Fuente: (Gelabert, D., González, D., 2013). Modificado por autor.

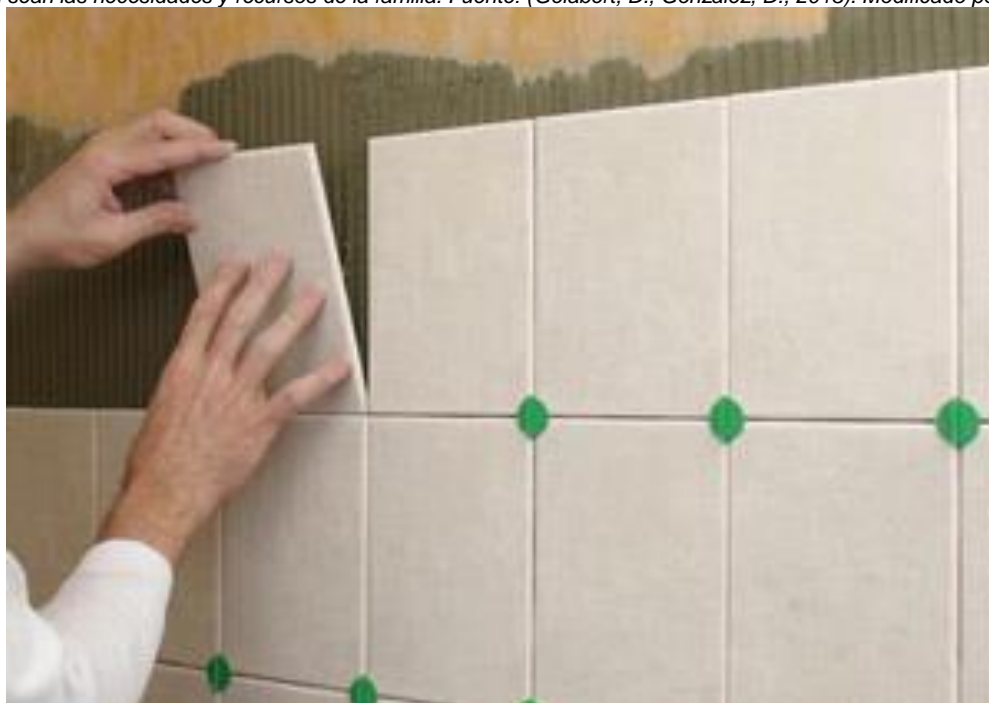


Figura 28. Modalidad Mejorable: La vivienda se entrega con todos sus servicios básicos y en obra gris, y los habitantes según sus capacidades la van mejorando en el tiempo. Fuente: <https://es.dreamstime.com/fotos-de-archivo-libres-de-regal%C3%ADas-el-hombre-instala-la-baldosa-cer%C3%A1mica-image1942028>

Este enfoque de desarrollo habitacional según algunos investigadores (Ortiz, E., 2012) busca responder en la práctica social, a la forma en que la mayor parte de los seres humanos

produce su vivienda, de acuerdo con la dinámica de sus recursos, necesidades, posibilidades y sueños.

## 5.7 ZONA DE CONVERGENCIA INTERTROPICAL

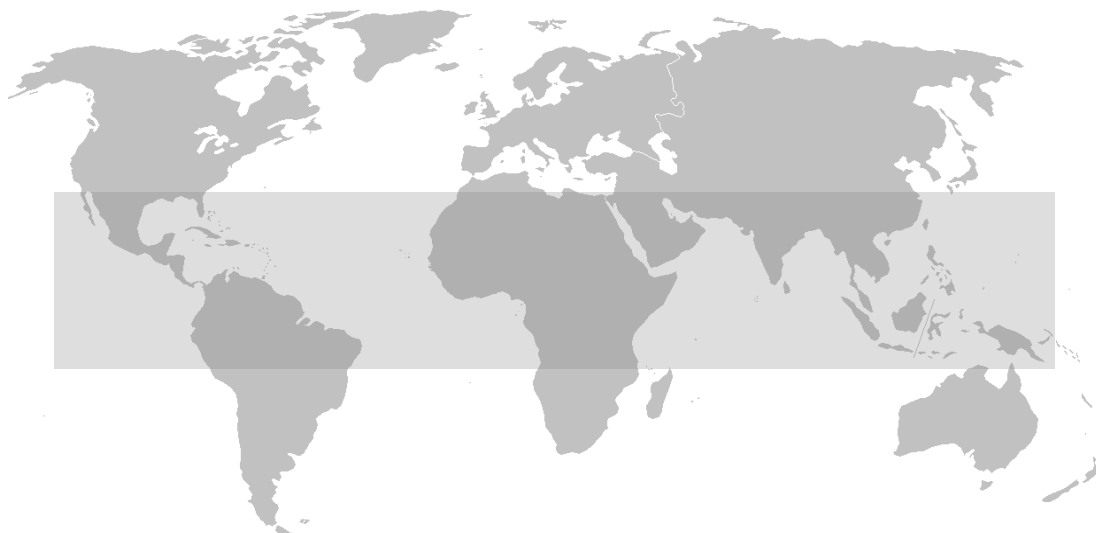


Figura 29. Zona de Convergencia Intertropical en Mapamundi. Fuente: Maestría en Arquitectura Tropical.

Zona de Convergencia Intertropical (fig. 29 – 30), llamada así porque es donde convergen el aire húmedo y el aire cálido que provienen de latitudes por debajo y por encima de la línea del Ecuador. Esta zona se ubica en la región ecuatorial entre el trópico de cáncer y el trópico de capricornio (Szokolay, M. 1997).

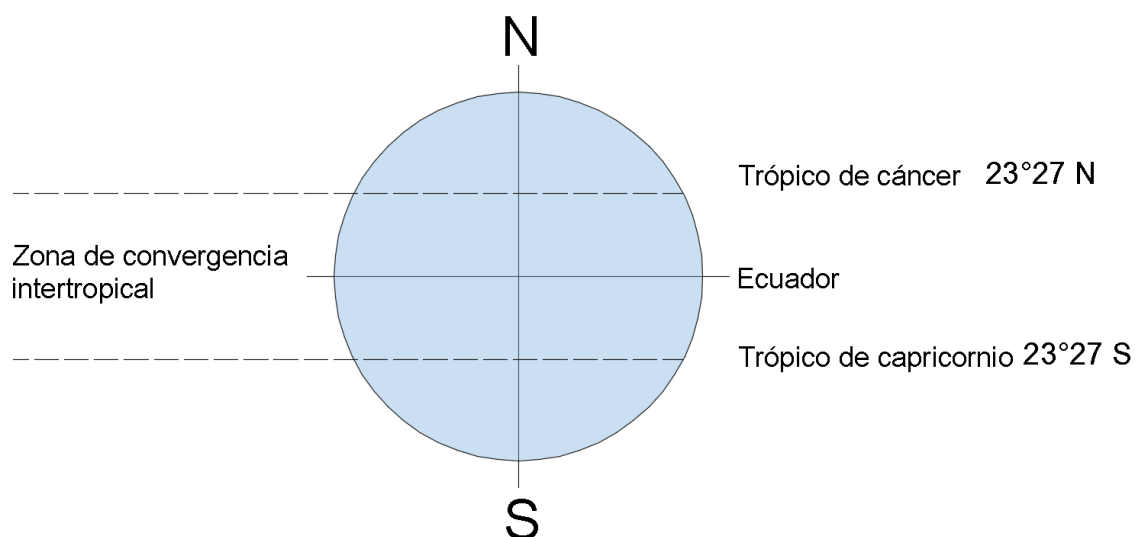


Figura 30. Zona de convergencia intertropical Fuente: Moreno, S. Editado por: Luis Hernández

La situación de la Zona de Convergencia Intertropical sigue al calentamiento solar máximo, es decir a la trayectoria cenital del sol con un retardo de aproximadamente un mes. A consecuencia de este cambio anual la mayor parte de las regiones terrestres experimentan



cambios estacionales no sólo en la temperatura sino también en la dirección del viento y en las precipitaciones (Szokolay, M. 1997).

## 5.8 ZONA DE CONFORT

Según la *American Society of Heating Refrigeration and Air Conditioning Engineers ASHRAE*, define al confort como aquellas condiciones de la mente, que expresan satisfacción al ambiente térmico. Y la real academia de la lengua española lo define como un estado que produce bienestar y comodidad al ser humano. Para tener un espectro más amplio del confort, este se debe interpretar como un estado que se ve directamente influenciado por múltiples factores como lo son el clima del lugar, el ruido, el olor, la vestimenta del individuo, su actividad física, su metabolismo, el factor cultural, el factor psicológico, todos estos interrelacionados en su justa medida conllevan a un estado de bienestar en relación con su entorno.

La sensación de confort o de inconfort que percibe un ser humano al interior de un recinto se encuentra determinado por la combinación de estos cuatro componentes al tiempo, pero la determinante fundamental para alcanzar el estado de bienestar al interior de una edificación es el confort higrotérmico, *el cual se define como la situación en la que el trabajo de adaptación del organismo en las operaciones de dispersión de calor es mínimo* (Quesada, et al., 2011).

TEMP. °C	SENSACIÓN		FISIOLOGÍA	SALUD
45	LIMITE DE TOLERANCIA		SOBRECALENTAMIENTO FALLA EN REGULACIONES	COLAPSO CIRCULATORIO
40	MUY CALIENTE	MUY INCONFORABLE	INCREMENTO DE STRESS POR SUDOR Y CIRCULACIÓN DE LA SANGRE	PELIGRO CHOQUE TERMICO PROBLEMAS CARDIOVASCULARES
35	CALIENTE	INCONFORABLE		
30	UN POCO TIBIO			
25	NEUTRAL	CONFORTABLE		SALUD NORMAL
20	UN POCO FRESO			REGULACIÓN POR CAMBIOS VASCULARES
15	FRESO	UN POCO INCONFORABLE	INCREMENTO DE PÉRDIDA DE CALOR SENSIBLE MAYOR ARROPAMIENTO O EJERCICIO	
10	FRIO	INCONFORABLE	VASOCONSTRICIÓN EN MANOS - PIES TEMBLOR	INCREMENTO DAÑO MUCOSA SECA Y PIEL (<10mm Hg) DOLOR MUSCULAR Y DISMINUCIÓN DE LA CIRCULACIÓN PERIFERICA
10	MUY FRIO			

Tabla 1- Efectos sensibles, fisiológicos en la salud, según escala térmica. Fuente:(Gonzalo, G., 2003). Editado por Luis Hernández.

La constitución fisiológica del cuerpo humano cuenta con una temperatura interna aproximada de 37°C, y dependiendo de la temperatura ambiente se percibirán sensaciones térmicas y repercusiones en la fisiología y la salud (tabla 1). Según algunas investigaciones los valores de confort higrotérmico se van a mover dentro de márgenes estrechos por la propia constitución fisiológica del ser humano (Gonzalo, G., 2003)

Definido en dos procesos:

- 1- **Defensa contra el frío (conservación del calor)**
- 2- **Defensa contra el calor (disipación del calor)**

No existe una condición única e ideal para alcanzar una sensación de bienestar, pero con el fin de abarcar todas estas condicionantes se crea el concepto de **sensación integral de confort**, (Salas, A., 2013), el cual está conformado por cuatro estímulos o componentes: el confort higrotérmico, el acústico, el lumínico y el olfativo.

Algunas investigaciones resaltan que los parámetros más importantes que determinan el estado de confort higrotérmico son: temperatura del aire, temperatura media radiante, humedad del aire, velocidad del aire, nivel de actividad y vestimenta (Yáñez, 2008). Se puede resaltar que no existe un parámetro universal para obtener el confort térmico, pero se aclara que la eficiencia del intercambio de calor dentro de un recinto dependerá del diseño apropiado para las actividades que se van a llevar a cabo en su interior, la orientación del objeto arquitectónico con respecto al sol y los vientos, y la relación de la edificación con el ambiente exterior mediante su envolvente.

## 5.9 TASA METABOLICA - MET

Una definición totalmente fisiológica define el metabolismo como el conjunto de las transformaciones que se producen constantemente en las células del organismo (Gonzalo, G., 2003).

El metabolismo corresponde a una unidad llamada *met* definida en 58.2 W/m<sup>2</sup> o 50Kcal/m<sup>2</sup> h. Para un hombre promedio el calor disipado al ambiente equivale a 100W cada *met* y en reposo absoluto desprende en una hora una cantidad de calor que se denomina *metabolismo basal*, que tiene un valor establecido para hombres de 44W/m<sup>2</sup> (79W), y en mujeres de 41 W/m<sup>2</sup> (65W).

En el diseño bioclimático las actividades humanas que se desarrollarán al interior de una edificación son tomadas en cuenta para dimensionar y proporcionar los espacios, ya que la cantidad de energía que desprenden los seres humanos será una determinante más en el desarrollo funcional y de adaptación climática de la edificación (tabla 2).

Actividad		Metabolismo (W/m <sup>2</sup> ) (met)	
00 Nula	Metabolismo basal	41/44	0,65/079
0. Mínima	Descansado	65	1,15
1. Baja	Actividad manual sentado Ligeros desplazamientos (<1,0m/s).	100	1,8
2. Media	Trabajos con brazos y piernas	165	2,95
3. Alta	Trabajos intensos	230	4,15
4. Muy alta	Trabajos muy intensos Desplazamientos corriendo (>2,0 m/s).	290	5,2

Tabla 2 - Velocidad del metabolismo según la actividad. Fuente (Neila, 2004), editado por Luis Hernández

## 5.10 CLO – AISLAMIENTO TÉRMICO DE LA ROPA

La vestimenta es un factor de aislamiento y de sensación de calor, y se toma como unidad de medida el CLO que equivale a 0.155 m<sup>2</sup>C/W.

El vestuario es uno de los mecanismos de adaptación del ser humano para alcanzar un estado de bienestar térmico, y según las combinaciones de las prendas de vestir en la unidad de medida CLO se les asigna un valor (tabla 3).

Vestimenta	clo
Desnudo	0
Ropa ligera (Pantalones cortos, camisa)	0.5
Vestido con camisa, pantalón, calcetines, zapatos	0.7
Ropa normal de faena	0.8 - 1.0
Ropa ligera de deporte con chaqueta	1.0
Ropa pesada de faena con mudas, calcetinas, zapatos, chaleco, chaqueta	1.25
Ropa para tiempo frío con abrigo	1.5 - 2.0
Ropa para tiempo muy frío	3.0 - 4.0

Tabla 3 - Grado de vestido. Fuente: (ASHRAE), editado por Luis Hernández

## 5.11 TRANSFERENCIA DE CALOR

La transferencia de calor al interior del edificio se genera mediante su envolvente por las diferencias de temperatura entre el aire exterior y el aire interior, y se produce cumpliendo la segunda ley de la termodinámica, que expresa que la energía calorífica se trasfiere espontáneamente en una sola dirección: del cuerpo más caliente al más frío.

Se debe distinguir el concepto de temperatura que es la representación del grado o nivel térmico de un cuerpo o del aire, del concepto de calor, que es la energía térmica que tiene un cuerpo o que pasa de un cuerpo a otro. *Por ejemplo, si tenemos dos termotanques de 75 y 150 litros de capacidad a una misma temperatura, al segundo tendremos que entregar el doble de calor que al primero, para elevar sus temperaturas a una misma cantidad de grados Celsius (Gonzalo, G., 2003).*

Los fenómenos físicos que intervienen directamente en la transferencia de calor en una edificación son la radiación, la convección y la conducción. También se producen transmisiones por la necesidad de ventilación natural y por la estanqueidad de las carpinterías y cerramientos.

Para este apéndice se describirán más a fondo las tres primeras por ser las que tienen mayor importancia en la transferencia de calor mediante las técnicas de calefacción solar pasiva y el efecto de la masa térmica en el edificio.

### 5.11.1 CONDUCCIÓN TÉRMICA:

Es la forma mediante la energía térmica se trasfiere a través de las moléculas de los materiales. El recorrido del calor se genera a partir del área de temperatura más alta del material hacia la de menor temperatura, este tipo de transferencia de calor se realiza mediante el estímulo de las moléculas del material en contacto con la fuente de calor.

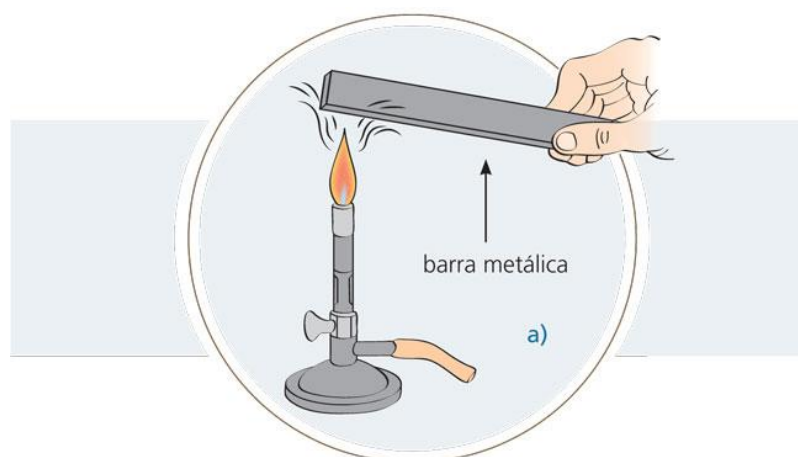


Figura 31. Transmisión de calor por convección. Fuente: [www.correodelmaestro.com](http://www.correodelmaestro.com)

Un ejemplo de este fenómeno es el de una vela calentando el extremo de una barra de metal (fig. 31), barra en la cual con el transcurrir de un determinado tiempo se evidencia el calentamiento de su extremo opuesto.

El flujo de calor por conducción depende de un factor de proporcionalidad, *la conductividad*  $K$ , que es una propiedad del material, que mide la densidad del flujo de calor en  $W/m^2$  en 1 m de espesor, cuando existe un desfase de temperatura de 1 Kelvin. (Yáñez, 2008).

Siendo la unidad de mediada:

$W m/m^2 K = W/m K$  .

### 5.11.2 RADIACIÓN TÉRMICA:

La transferencia de calor mediante la radiación no requiere de un cuerpo material para su emisión y transporte, este tipo de transferencia de energía se genera mediante dos cuerpos en el espacio que poseen distinta temperatura a través del vacío. Un ejemplo de este tipo de transmisión de calor lo brinda la sencilla acción de poner las manos sobre un bombilla incandescente para constatar cómo se percibe el aumento de la temperatura en esa parte del cuerpo (fig. 32).



Figura 32. Transmisión de calor por radiación. Fuente: <http://www.satirnet.com/satirnet/2014/10/23/transmision-propagacion-del-calor-radiacion/>

La energía radiante que recibe un objeto va depender de su capacidad absorbente., expresada por su absorptancia total, que es el cociente entre el calor radiante absorbido por una superficie y el flujo de calor radiante total, siendo su símbolo ( $\alpha$ ). También dependerá de su capacidad reflexiva o reflectancia, que es el cociente entre el flujo de calor radiante reflejado y

el incidente ( $p$ ) y de su capacidad de transmisión ( $T$ ). Que es el cociente entre el flujo calor transmitido por una superficie y el flujo de calor total (Gonzalo, G., 2003).

Tendremos que para una superficie transparente:

$$\alpha + p + T = 1$$

Y para una superficie opaca, donde la transmitancia es nula:

$$\alpha + p = 1$$

### 5.11.3 CONVECCIÓN TÉRMICA:

La transferencia térmica por convección se da a través de un fluido, desde un cuerpo que está a mayor temperatura a otro de menor temperatura, las moléculas de un fluido en contacto con una superficie con mayor temperatura son excitadas, por lo que su densidad disminuye y se elevan, desplazándose y transfiriendo el calor por medio del movimiento de la materia (Gonzalo, G., 2003).



Figura 33. Convección térmica. Fuente: <https://www.vix.com/es/btg/curiosidades/5074/que-es-la-conveccion>

La convección se presenta de dos maneras, natural cuando el desplazamiento del fluido se realiza por diferencias de temperatura, por ejemplo al calentar una olla con agua, el agua con cercanía a la llama asciende y el agua de la superficie desciende para remplazar la más caliente (fig. 33). También la convección puede ser forzada, por ejemplo cuando se utilizan ventiladores o aire acondicionado se genera un desplazamiento del aire mediante la utilización de fuerzas mecánicas.

## 5.12 PROPIEDADES DE LOS MATERIALES

### 5.12.1 CONDUCTIVIDAD - CONDUCTANCIA:

Es la propiedad característica de cada material que determina el flujo de calor transferido por el material en la unidad de tiempo, por unidad de espesor y de área, de una superficie a la otra, por unidad de diferencia de temperatura entre ambas superficies (Gonzalo, G., 2003).

En el sistema internacional de unidades su símbolo es:  $[\lambda]$ , y en estados unidos su símbolo es  $[K]$ . Siendo su unidad de medida:  $\lambda$ :  $W/(m \cdot K)$ .

Entre más alta sea la conductividad térmica de un material mayor será la cantidad de calor que transmite, y entre menor sea su conductividad térmica mayor capacidad de aislamiento posee (tabla 4).

Material	Conductividad W/(m.K)
Espuma de Ureaformaldehído seca	0,030 a 0,032
Fibra de vidrio	0,038 a 0,039
Tablero de papel laminado	0,072
Pino con 12% de humedad	0,092
Gypsum	0,16
Fibra, tablero de cemento	0,25
Asbesto / tablero de cemento	0,57
Tela asfáltica	1,2
Ladrillo Rojo	1,21 a 1,47
Marmol	1,59
Calizo	2,31

Tabla 4 - Propiedades de conductividad de materiales de construcción. Fuente: ASHRAE, editado por Luis Hernández

La conductividad del aire,  $K = 0.024 \text{ W/m K}$ , es uno de los coeficientes de conductividad más bajos de la naturaleza, esta propiedad del aire es utilizado en aislamientos térmicos, siempre y cuando este confinado en pequeños compartimientos que le impidan un movimiento convectivo del aire (Yáñez., 2008).

Cuando consideramos un muro homogéneo delimitado por dos caras la propiedad correspondiente a la conductividad se convierte en *conductancia*  $C$  que se mide entre ambas superficies de dicho muro. Para una sola capa homogénea la conductancia es igual a la conductividad dividida por el espesor, es decir,  $C = K/L$ , ( $W/m^2 K$ ) (Yáñez., 2008).

## 5.12.2 RESISTENCIA

El recíproco de la conductancia es la *resistencia*,  $R_i = L/K$ , en  $m^2 K/W$ . Si el muro está compuesto por varias capas distintas entonces:

$$R = \sum R_i$$

La conductancia total de un muro compuesto será por tanto la inversa de la resistencia, es decir:

$$C_T = \sum 1/R_i$$

(Yáñez., 2008).

## 5.12.3 TRANSMITANCIA TÉRMICA - COEFICIENTE DE TRANSMISIÓN U:

La transmitancia térmica es una magnitud que expresa la cantidad de energía que atraviesa un cuerpo en una cantidad de tiempo.

Mediante este valor es posible determinar, de manera aproximada, las pérdidas de calor que se dan a través del elemento de construcción por unidad de superficie y diferencia de temperatura de los medios situados a cada lado del cerramiento (Díaz, M.I y Tenorio, J. A., 2005) (Quesada, et al., 2011).

Si el muro está compuesto por varias capas, y su resistencia térmica total es:

$R = \sum R_i$ , el coeficiente de transmisión, aire-aire,  $U$ , es el inverso de la expresión anterior, lo que equivale a:

$$U = 1/R$$

Por lo tanto se denomina coeficiente de transmisión de calor de un muro que separa dos ambientes a la densidad de flujo  $W/m^2$ , que por cada grado  $K$  de diferencia de temperatura entre la cara interior y exterior ( $W/m^2 K$ ).

(Yáñez., 2008).

El flujo de calor que atraviesa por unidad de tiempo dicho muro será igual al producto de la superficie del muro por la diferencia de temperaturas entre ambos medios, y por el factor de proporcionalidad, que es el coeficiente de transmisión de calor. (Yáñez., 2008).

El flujo de calor  $q$  a través del muro será:

$$q = \sum R(A * U) * (T_e - T_i).$$

$q$  es positivo cuando existen pérdidas de calor y negativo en caso de ganancias.

El coeficiente de transmisión de calor, llamado también transmitancia  $U$ , aire –aire, de un muro, incluye los efectos de transmisión de la superficie y el aire exterior, su unidad es  $W/m^2 K$ ,



es decir la densidad de flujo  $W/m^2$ , por cada grado K de diferencia de temperatura entre la cara interior y exterior.

$$U = 1 / \Sigma (1/h_i + 1/h_e + 1/C_i)$$

(Yáñez., 2008).

## 5.13 SIMULACIÓN ENERGÉTICA DE EDIFICIOS.

Las simulaciones energéticas de edificios surgen por la necesidad de demostrar el desempeño energético de una edificación. Mediante herramientas digitales y modelos tridimensionales y bidimensionales se puede predecir el comportamiento energético de un edificio, prediciéndose así su calidad de iluminación natural, su eficiencia en cuanto a la renovación del aire, la cantidad de radiación solar incidente en las diferentes fachadas de un edificio y su comportamiento térmico, entre otras.

Las simulaciones energéticas de edificios se realizan mediante la información climática suministrada por un instituto meteorológico, el uso de base de datos climáticos en programas digitales especializados, o con datos tomados en campo con dispositivos de medición prolongada. A partir de esta información se predice el comportamiento energético de un edificio. Estas herramientas digitales son un apoyo para arquitectos e ingenieros en etapas de anteproyectos y proyectos construidos en busca de su mejora, puesto que desde estas herramientas digitales se pueden evaluar distintas formas, geometrías, materiales y orientación de un objeto arquitectónico con el fin de obtener la mejora calidad ambiental al interior de un edificio.

### 5.13.1 ONSET HOBOWARE

*Onset Hoboware es un software especializado para el uso de registradores y compiladores de datos HOBO. El programa permite programar los instrumentos para su funcionamiento independiente en operaciones de bio-monitoreos remotos. Además facilita la lectura de los datos a través de una fácil lectura de los datos a través de una conexión USB a PC o Mac, donde los climáticos pueden ser almacenados en una interface gráfica. El programa proporciona varias herramientas estadísticas para seleccionar, recortar, traslapar y analizar grupos de datos particulares de los parámetros climáticos grabados (Viquez A., Mora, F., Frederik, J., González, M., Obando, M., & Rodríguez, V. 2011).*

### 5.13.2 METEONORM

*Meteonorm suministra datos meteorológicos precisos para cualquier lugar en la Tierra: irradiación, temperatura, humedad, viento, precipitación y más parámetros climáticos. Meteonorm incluye los modelos de interpolación más avanzados que permiten la entrega de los*

*datos climáticos más precisos en el mercado. Exporta datos climáticos en más de 35 formatos distintos. Usa Excel para el análisis manual de los datos o escoge entre los formatos estándar utilizados en fotovoltaica, software de simulación térmica, simulación de edificios o de energía solar (<https://aiguasol.coop/es/software-energia/meteonorm-7-2-datos-climaticos-globales/>)*

### **5.13.3 AUTODESK ECOTEC**

ECOTEC es una herramienta digital que apoya el proceso de diseño bioclimático y con el cual se evalúa el comportamiento de un proyecto arquitectónico, urbanístico o edificio existente ante las distintas determinantes climáticas de un territorio.

El programa utiliza información climática del lugar de intervención, para evaluar la calidad ambiental de las edificaciones. Esta herramienta digital tiene un entorno de trabajo en tres dimensiones y genera diversos análisis: calidad de iluminación natural, iluminación artificial, radiación solar, ventilación natural, comportamiento térmico y acústico, entre otros.

Los análisis ejecutados con ECOTEC se pueden realizar en un rango de horas, días, meses y años. Esto facilita la comprensión del funcionamiento energético y ambiental de un edificio durante una larga temporada o un uso horario determinado.

Los resultados de los análisis influyen en las decisiones de diseño aportando a la optimización de la edificación y a la toma de decisiones en su forma, distribución y debida orientación, siempre en búsqueda de una arquitectura adaptada a su clima local en mejora de la calidad ambiental de los espacios internos.

### **5.13.4 DESIGN BUILDER.**

**Design Builder** es un software especializado en la simulación ambiental y energética de edificios. Permite evaluar aspectos como los niveles de confort, los consumos de energía y las emisiones de carbono. Es un programa virtual de alto desempeño para el diseño, la consultoría y la certificación energética. ([www.designbuilder-lat.com](http://www.designbuilder-lat.com))

Este programa virtual de simulación ambiental, usa archivos climáticos para predecir el comportamiento térmico, el análisis de vientos, el estudio de la radiación solar y la visualización del sombreado de un edificio, con el fin de definir espacios de la más alta calidad habitacional.

## **6)METODOLOGÍA**

La presente investigación busca desarrollar dos prototipos de **VIP** en lote propio adaptadas al clima frío de alta montaña presente en el municipio de Murillo, Tolima. Para el proceso de investigación primeramente se definió el problema: diseñar bioclimáticamente 2 modelos de vivienda de interés prioritario en lote propio adaptadas al clima muy frío húmedo de Murillo Tolima, Colombia.

Para lograr que las viviendas se acondicionen apropiadamente al clima del lugar e incorporen el concepto de crecimiento progresivo y flexible se elaboró la siguiente síntesis metodológica:

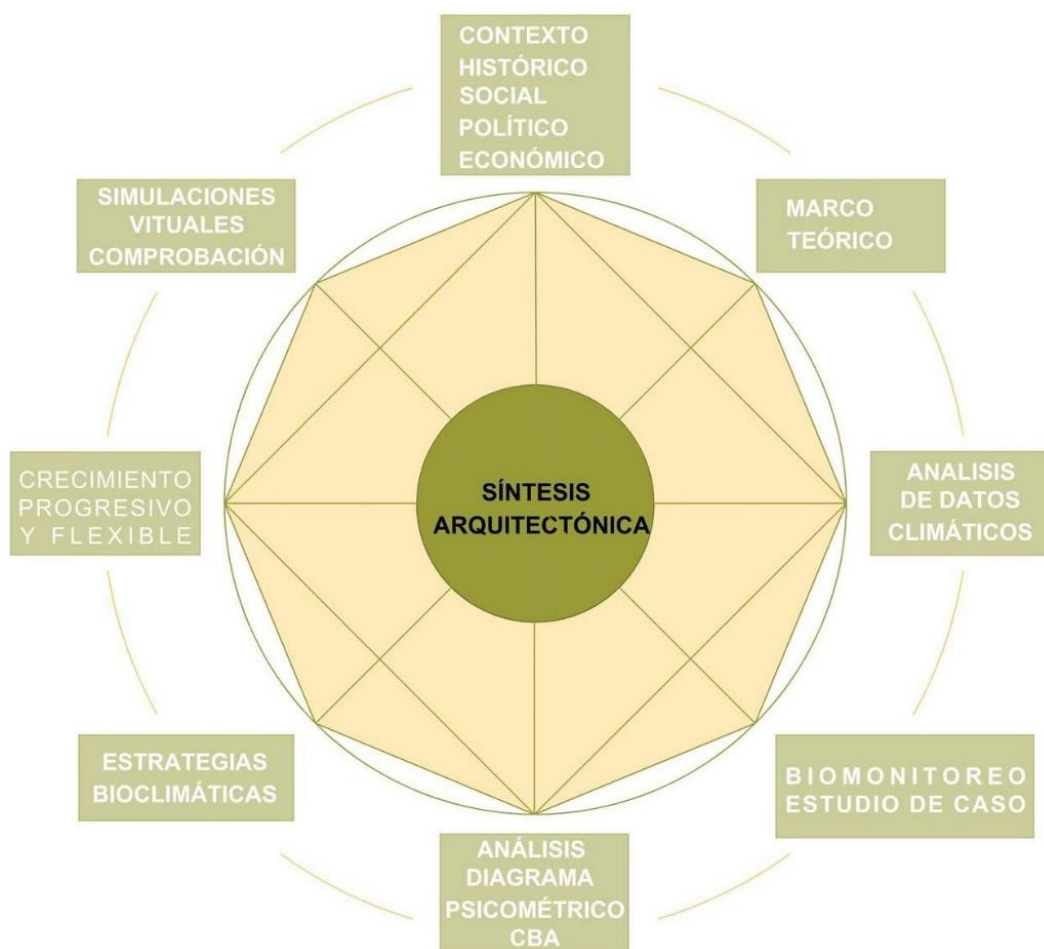


Figura 34. Síntesis de la metodología aplica a la investigación. Fuente: Luis Hernández.

1. Aspectos históricos, políticos, sociales, económicos y arquitectónicos.
2. Revisión bibliográfica con el fin de establecer un marco teórico.
3. Análisis de los datos climáticos. (Datos de temperatura, humedad y radiación solar, obtenidos de la estación meteorológica Murillo Automática, elevación 3023 msnm, y suministrados por el IDEAM. Análisis de los datos climáticos de pluviosidad y brillo solar, se obtuvieron de la interpolación de estaciones meteorológicas por el programa METEONORM. Datos expresados en un climograma de Columna.

4. **Biomonitoreo prolongado de Dos Viviendas locales, con el fin de obtener conclusiones y recomendaciones para el diseño arquitectónico de las viviendas.**
5. **Evaluación de los datos climáticos del lugar en el diagrama psicrométrico con respecto a la zona de confort del ser humano.**
6. **Aplicación de las estrategias pasivas de acondicionamiento climático en las propuestas arquitectónicas.**
7. **Interpretación y aplicación del concepto de crecimiento progresivo mediante la modalidad de diseño arquitectónico tipo semilla y mejorable (Gelabert, D y González, D. 2013). Modalidades de desarrollo habitacional que pretenden asumir el crecimiento progresivo de la vivienda social en el tiempo.**
8. **Análisis de las viviendas mediante simulaciones virtuales en los programas especializados con el fin de comprobar su funcionamiento bioclimático.**

Inicialmente el contexto histórico dentro de la metodología de investigación es un referente que sirve de guía para entender el contexto cultural y las bases de la política de vivienda social que se está ejerciendo actualmente en Colombia. Con el conocimiento de las políticas públicas se definen los aspectos **económicos** para el desarrollo y construcción de las viviendas sociales en el territorio nacional. Como segunda medida en el marco metodológico se realizó una revisión documental con el fin de establecer una justificación y marco teórico de la investigación.

Posteriormente se estudian los datos climáticos suministrados por el IDEAM y datos climáticos obtenidos por la interpolación de estaciones meteorológicas en el programa METENORM, la información obtenida se expresa en un climograma de columna en donde se analizan y referencian las temporadas climáticas más críticas.

La metodología de investigación se complementa con el **estudio de caso** de dos viviendas ubicadas en el municipio de Murillo Tolima. Mediante instrumentos de medición climática prolongada y registrando la temperatura y humedad interna de dos viviendas, se tiene como fin comparar y analizar los datos y así obtener conclusiones que aporten al mejoramiento y acondicionamiento climático de las nuevas propuestas habitacionales a diseñar en el presente documento

Para realizar el **biomonitoreo** primeramente se seleccionaron una **vivienda popular de tabla parada** construida por campesinos de la región hacia **principios del siglo XX** y una **VIP** construida en mampostería confinada en el año 2017 por la alcaldía municipal de Murillo, Tolima.

El fin de tomar como **caso de estudio dos viviendas de épocas y materiales distintos** es el de comparar el comportamiento higrotérmico de la arquitectura popular de la región de estudio y el comportamiento higrotérmico de las **VIP** construidas para el presente año. Se

seleccionaron las viviendas con la misma orientación - noreste, y a una misma altitud 3000 msnm. Se aclara que ninguna de las viviendas seleccionadas utiliza acondicionamiento mecánico para calentar las viviendas en sus horas críticas.

Para el biomonitoreo se realizaron mediciones durante los meses de Abril y mayo del año 2017 en época lluviosa, y en el mes de junio y julio del año 2017 en época seca

**El biomonitoreo se dividió en tres etapas:** La primera etapa es un análisis preliminar de las condiciones climáticas de los inmuebles y su entorno de manera puntual en distintas zonas de las viviendas, por medio de la toma manual de los datos en el sitio con instrumentos de medición de temperatura, humedad e iluminancia. Esta primera etapa se trata de tener una **referencia del comportamiento bioclimático** de la edificación.



Figura 35. Kestrel 3000. Fuente: [http://www.sbk-mexico.com/catalogo/product\\_info.php?products\\_id=214](http://www.sbk-mexico.com/catalogo/product_info.php?products_id=214)

Para la recolección de los datos de temperatura y humedad se utilizó una estación meteorológica portátil marca Kestrel 3000 (fig. 35) y para medir los niveles de iluminancia se utilizó un luxómetro marca Lutro EM 9200.

En la segunda etapa, el objetivo principal es monitorear de manera continua y automática mediante la programación de los equipos de medición prolongada (HOBO) marca Onset (Fig. 36) para que tomen datos de temperatura y humedad con un lapso de 10 minutos entre medición. Para cada vivienda se utilizaron 3 dispositivos de medición prolongada.



Figura 36. Dispositivo de registro y compilación de datos marca HOBO. Fuente: <https://colombia.bioweb.co/products/data-logger-hobo-de-temperatura-relative-humidity-light-external-data-logger?variant=17984463365>

En la tercera etapa se realizan gráficos de temperatura y humedad mediante la información obtenida por los dispositivos de medición prolongada en el programa **HOBOWare**, los gráficos se comparan y se generan **conclusiones del funcionamiento higrotérmico de las viviendas**.

Luego de obtener las conclusiones de los análisis de los biomonitoreos de las dos viviendas localizadas en el poblado de estudio, se procede a iniciar el diseño arquitectónico de las **VIP en lote propio**, comenzando por el análisis de los datos climáticos del municipio de Murillo en el **diagrama psicométrico y el climograma de bienestar adaptado (CBA)** con el fin de determinar las distintas estrategias bioclimáticas para la climatización pasiva de las viviendas.

Seguidamente se procede a analizar el **crecimiento progresivo de las viviendas sociales** y sus aplicaciones en el diseño arquitectónico de las **VIP**. Posteriormente se proponen dos prototipos de **VIP** conjugando las estrategias bioclimáticas de climatización pasiva y el componente de crecimiento progresivo. Los dos prototipos diseñados se analizan en los programas virtuales de simulación energética con el propósito de comprender y evaluar su funcionamiento.

En resumen el proceso de investigación inicia con la definición del problema, como segunda parte con la revisión documental para la construcción de la justificación, los antecedentes y el marco teórico del proyecto académico. Como tercera parte con un diagnóstico del clima regional y con la recopilación y análisis de los datos climáticos del sitio mediante los programas virtuales waether tool y Meteonorm.

En la cuarta parte se realiza un análisis higrotérmico de dos viviendas presentes en el poblado para tener una comprensión de su comportamiento climático y su relación con el confort de sus habitantes. Como quinta parte y con base en la información climática estudiada mediante el análisis del diagrama psicométrico se determinan las estrategias bioclimáticas para el diseño arquitectónico, seguidamente realizan los análisis de las distintas posibilidades espaciales para el crecimiento progresivo de las viviendas.

Mediante el concepto bioclimático y el concepto de crecimiento progresivo de las viviendas sociales se proponen dos prototipos de **VIP en lote propio**. Prototipos que finalmente se evalúan mediante los programas de simulación energética de edificios Ecotec y Design Builder con el fin de comprobar su funcionamiento bioclimático y su calidad habitacional en términos de confort térmico, calidad de la iluminación natural, funcionamiento de la ventilación natural, cantidad de radiación solar recibida en las distintas superficies y el estudio de sombras con respecto a la orientación de las viviendas.

Como parte final se generan conclusiones y se dan recomendaciones para la generación y adaptación de arquitecturas domesticas en climas de alta montaña.

# **7)ANÁLISIS**

## **GEOGRAFICO Y CLIMÁTICO**



## 7.1 UBICACIÓN GEOGRÁFICA

Colombia se ubica al extremo norte de Sudamérica entre los océanos atlántico y pacífico (fig. 37), su localización continental se encuentra entre los 12°30'46" latitud norte y los 4°13'30" latitud sur y entre los meridianos 66°50'54" oeste y 79°01'22" este (IDEAM).

El lugar de estudio se encuentra localizado en el municipio de Murillo al norte del departamento del Tolima, Colombia, en las coordenadas 4° 52'25" norte, 75° 10'14" oeste, a los 3000 msnm (IDEAM) (figuras 38 – 39 – 40).

El municipio cuenta con un área urbana de 1 Km<sup>2</sup> y un área rural de 416.29 Km<sup>2</sup> (Estadísticas 2011 – 2014, Municipio de Murillo), se encuentra a una distancia de 144 Km de Ibagué ciudad capital del departamento del Tolima, a 80 Km de Manizales capital del departamento de Caldas, a 216 Km de Bogotá la ciudad capital de Colombia y a 40 km por carretera del **Volcán Nevado del Ruiz** (fig. 41 -42). Con respecto al uso del suelo, el 3,21% del territorio está dedicado a la explotación agrícola; el 38,34% son pastos, el 4,91% bosques y el 53,54% está dedicado a otros usos (acuerdo número 011 de 2012, por el cual se adopta el plan de desarrollo del Municipio de Murillo).



Figura 37. Ubicación de Colombia en América, Fuente: <http://www.mincit.gov.co>, editado por Luis Hernández.

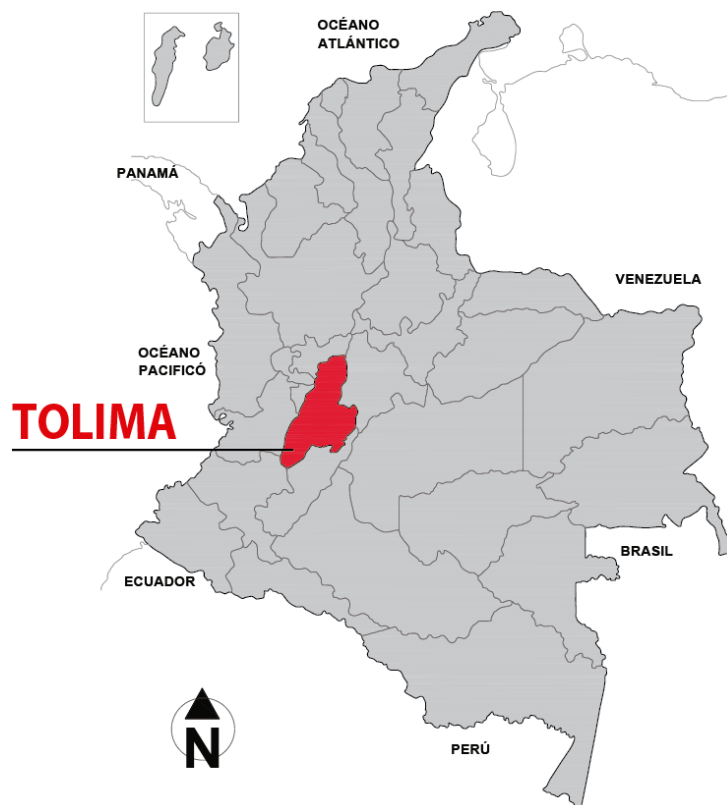


Figura 38. Ubicación del departamento del Tolima en Colombia Fuente: sociedad geográfica de Colombia, editado por Luis Hernández



Figura 39. Ubicación del municipio de Murillo dentro del departamento del Tolima. Fuente: sociedad geográfica de Colombia, editado por Luis Hernández.



Figura 40. Ubicación del casco urbano dentro del municipio de Murillo. Fuente: Cortolima, editado por el autor



Figura 41. Ubicación municipio de Murillo Tolima, respecto al volcán nevado del Ruiz. Fuente: Google Map, editado por Luis Hernández



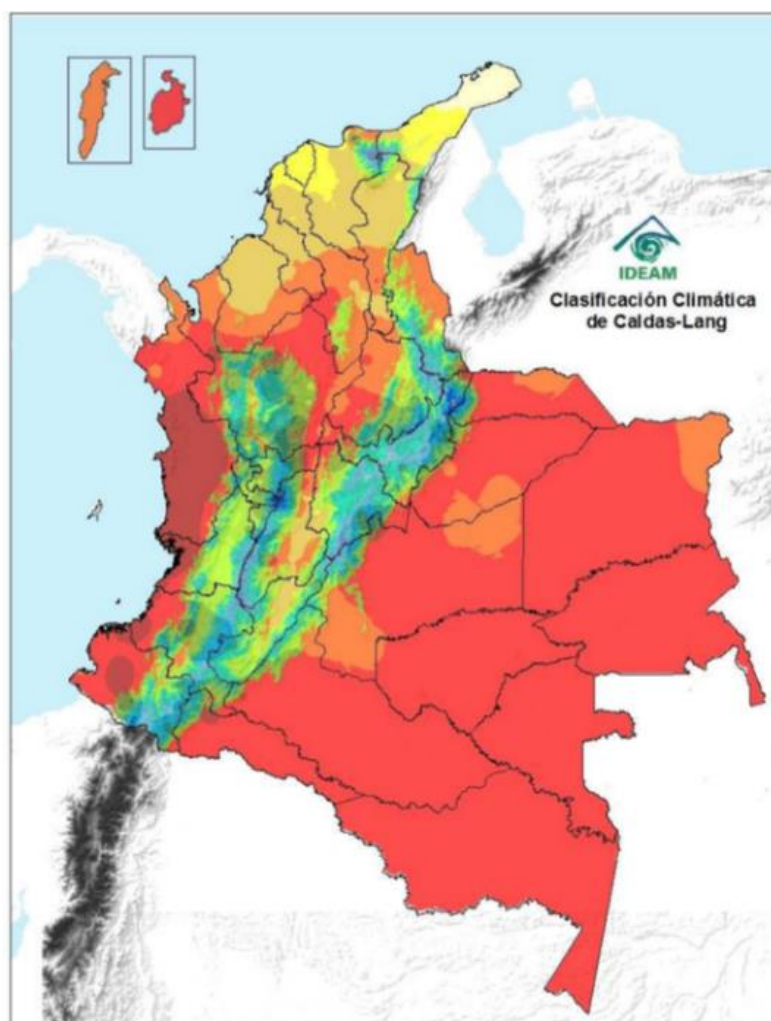
Figura 42. Cordillera central andina. Murillo Tolima. Paisaje de alta montaña. Foto: Luis Hernández.

## 7.2 CLIMA DE COLOMBIA:

Colombia se caracteriza por contener dos regímenes pluviométricos, el primero es monomodal, una larga temporada lluviosa con una temporada seca, presente en la Orinoquia y Amazonia. El segundo es bimodal, dos épocas lluviosas, y dos épocas secas, este último régimen pluviométrico se presenta para gran parte de la región andina (lugar de estudio) y el caribe, la región del choco costa pacífica no presenta cambios de lluvia significativos (IDEAM).

Posee una gran diversidad de microclimas por factores como lo son los vientos alisios del noreste y sureste, la gran humedad y pluviosidad de las selvas chocoanas y amazónicas, pero una de sus grandes características microclimáticas es tener condiciones térmicas tan marcadas como lo son las temperaturas presentes en las costas y valles interandinos que alcanzan 30°C, en comparación con las temperaturas de las cumbres de las montañas de la cordillera de los andes y la sierra nevada de santa marta que alcanzan los 0°C (IDEAM).

Para el presente trabajo se toma como referencia la clasificación Climática de Caldas – Lang (fig. 43) (IDEAM), la cual tiene 25 tipos de climas que tienen en cuenta la elevación del lugar, la temperatura media anual y la precipitación total media anual (IDEAM).



#### Leyenda

	Cálido desértico		Frio humedo
	Cálido arido		Frio superhumedo
	Cálido semiarido		Muy frio semiarido
	Cálido semihumedo		Muy frio semihumedo
	Cálido humedo		Muy frio humedo
	Cálido superhumedo		Muy frio superhumedo
	Templado arido		Extremadamente frio semiarido
	Templado semiarido		Extremadamente frio semihumedo
	Templado semihumedo		Extremadamente frio humedo
	Templado humedo		Extremadamente frio superhumedo
	Templado superhumedo		Nival semiarido
	Frio arido		Nival semihumedo
	Frio semiarido		Nival humedo
	Frio semihumedo		Nival superhumedo

Figura 43. Mapa de clasificación climática de Caldas – Lang. Fuente: IDEAM



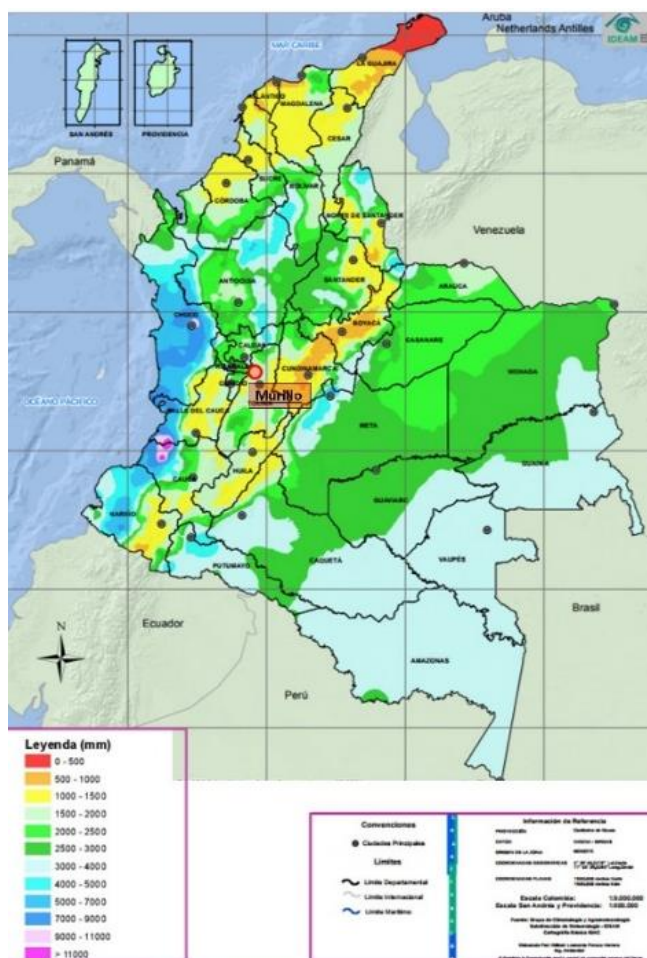


Figura 44. Mapa de pluviosidad media anual. Fuente: IDEAM.

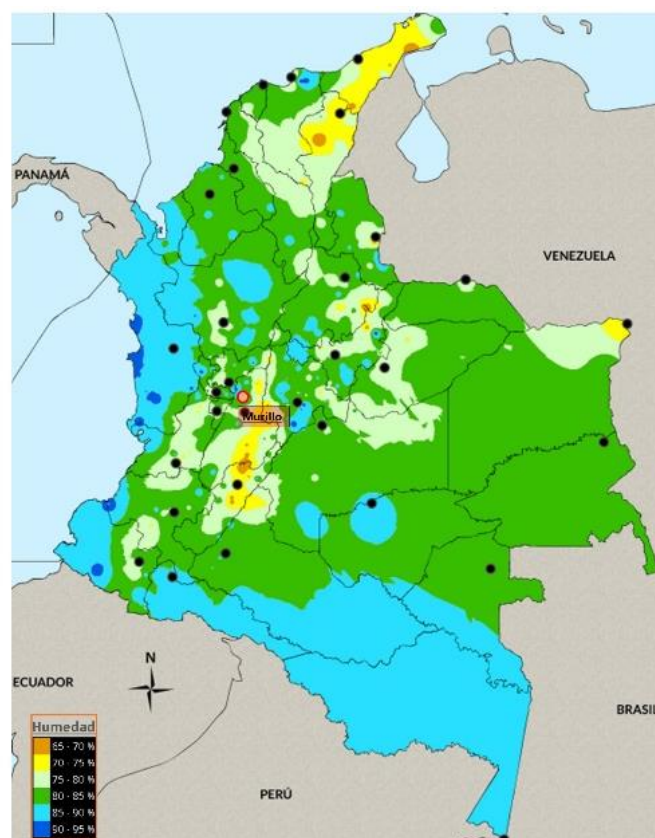


Figura 45. Mapa de humedad relativa media anual. Fuente: IDEAM.

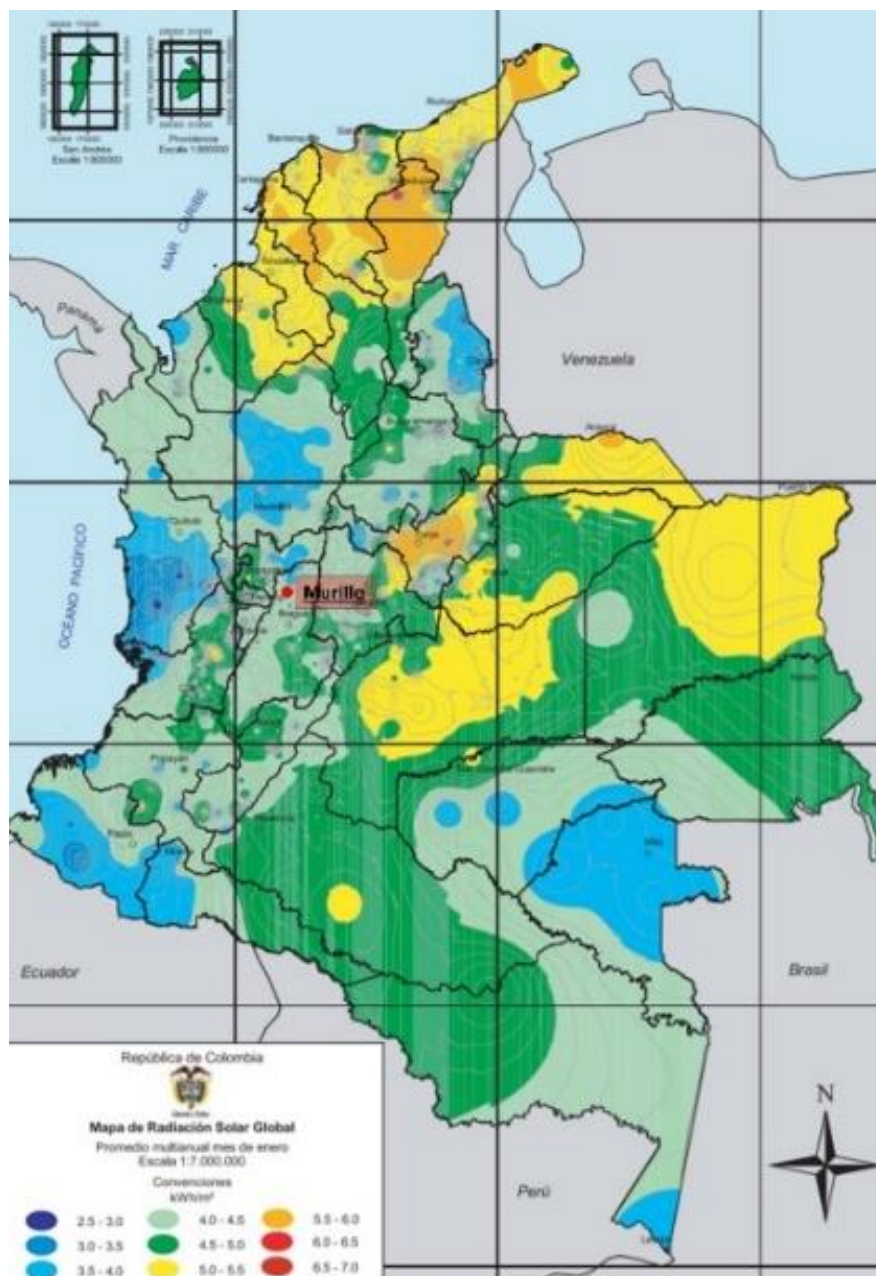


Figura 46. Mapa de radiación solar Global promedio multianual mes de enero: Fuente IDEAM

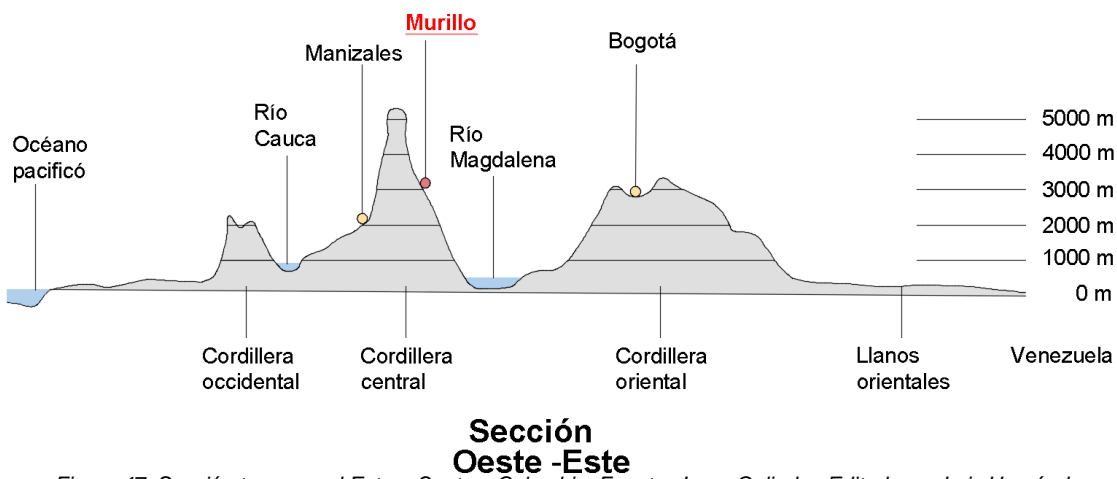


Figura 47. Sección transversal Este – Oeste – Colombia. Fuente: Jorge Galindo. Editado por Luis Hernández.

## 7.3 CLIMA DE MURILLO

Los climas ubicados sobre la montaña varían su temperatura dependiendo de la altura sobre el nivel del mar, esta variación se debe al gradiente vertical de temperatura, el cual aproximadamente es de 6 a 7°C por Km en la troposfera, con algunas variaciones dependiendo de la latitud, lugar y la hora del día, este fenómeno se genera puesto que el mayor porcentaje de radiación solar que llega al planeta es captado por la superficie de la tierra ósea aproximadamente un 45%, un 35% de la radiación solar es reflejada hacia el espacio exterior, y aproximadamente el 22% es absorbida por la atmósfera (fig. 48). Por este hecho la superficie terrestre conserva la mayor cantidad de calor y entre mayor altitud sobre el nivel del mar menores temperaturas. (<http://meteoares.blogspot.com>).

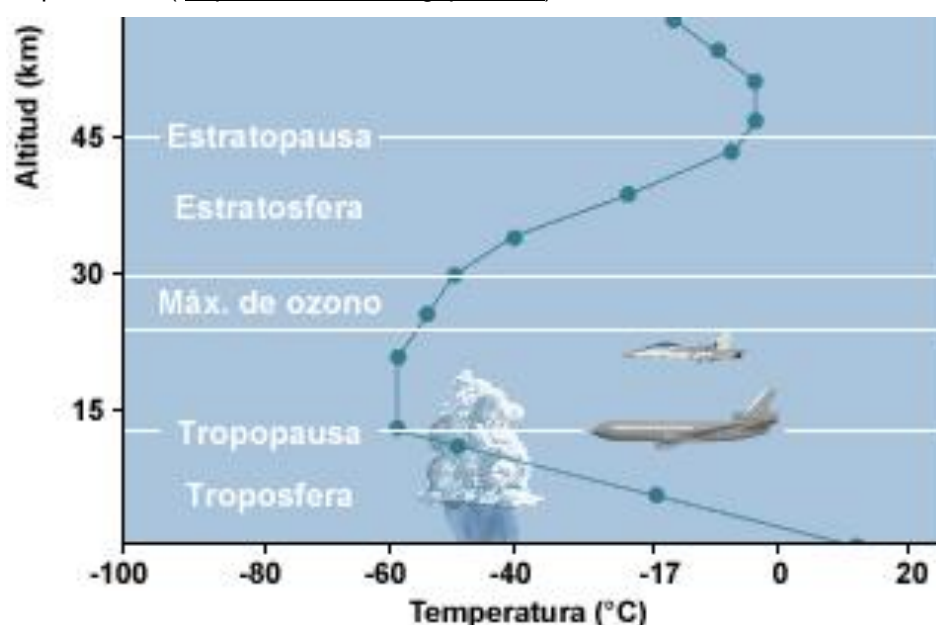


Figura 48. Gradiente vertical de temperatura Fuente: [www.meted.ucar.edu](http://www.meted.ucar.edu)

Según la clasificación climática de Caldas-Lang, en el territorio del municipio de Murillo se encuentran 5 unidades climáticas (tabla 5) (EOT Murillo 2002). El casco urbano del municipio de murillo se encuentra a 3.000 msnm y su clasificación climática es **frio húmedo**.

CLASIFICACIÓN CLIMÁTICA CALDAS LANG - MUNICIPIO DE MURILLO		
Tipo de clima	Simbolo	Característica
Páramo Alto Húmedo	PAH	Precipitación anual de 1869 mm., temperatura entre los 6,0 y 8,5°C. Altura superior a los 3,700 m.s.n.m
Párama alto semihumedo	PAsh	Precipitación anual multianual de 1600 mm., temperatura entre los 6,0 y 8,5°C. Altura superior a los 3700 msnm
Páramo bajo semihumedo	PBsh	Precipitación anual multianual de 1500 mm., temperatura entre los 8,0 y 9,5 °C. Altura ente los 3000 y 3700 msnm
Frío Humedo	FH	Precipitación anual multianual de 1800 mm., temperatura entre los 8,0 y 12°C. Altura entre los 2000 y 3000 msnm
Templado Humedo	TH	Precipitación anual multianual de 2000 mm., temperatura entre los 9,5 y 14°C. Altura entre los 1500 y 2000 msnm.

Tabla 5. Clasificación climática Caldas Lang – Fuente: EOT 2002 Municipio de murillo. Editado por: Luis Hernández.

## 7.4 CLIMOGRAMA DE COLUMNA

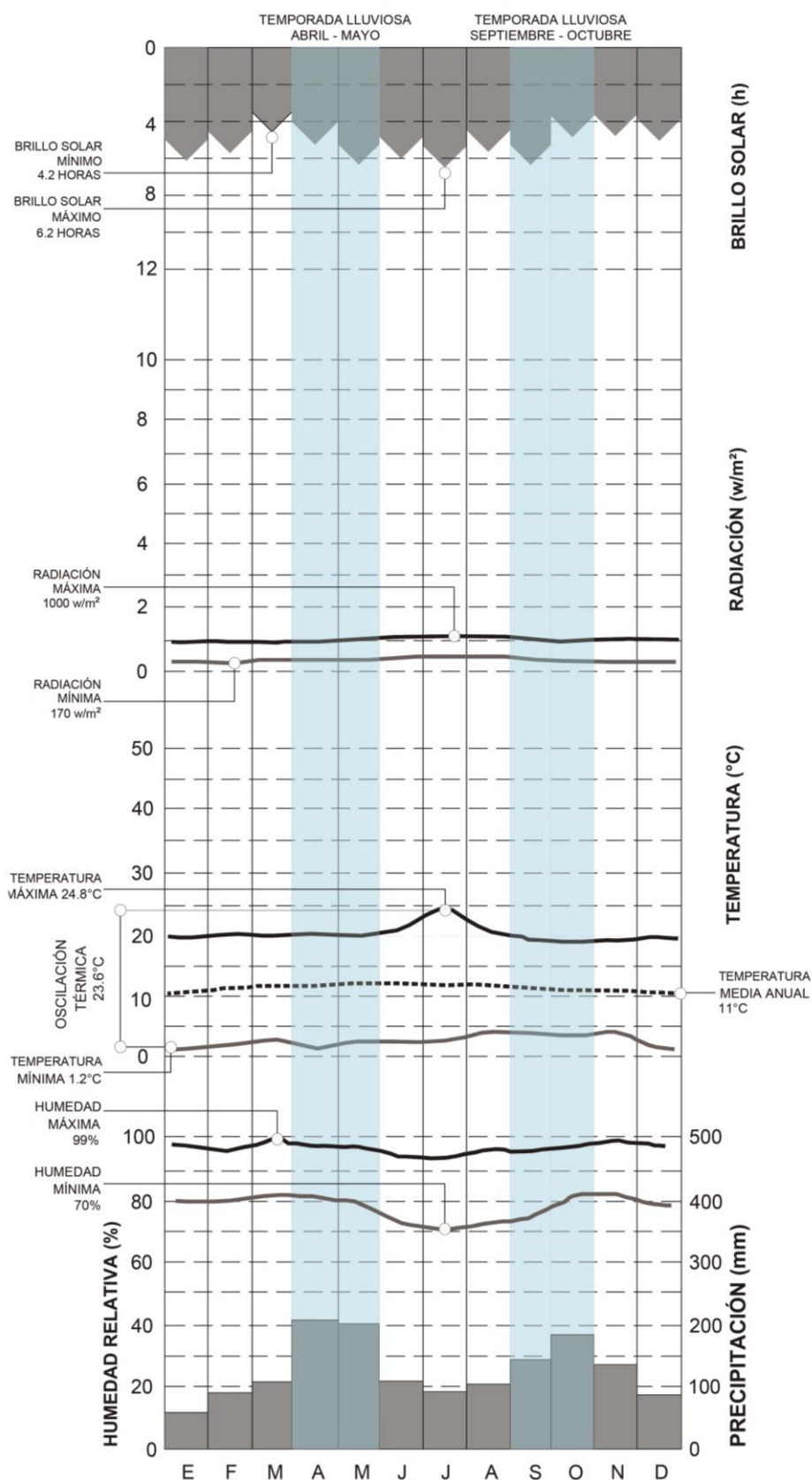


Figura 49. Climograma de columna, en el que se muestra el comportamiento climático anual del municipio Murillo. Fuente: Datos de temperatura, humedad, pluviosidad y radiación solar suministrados por el IDEAM, Datos de brillo solar obtenidos del programa METEONORM versión 5.1. Realizado en el programa Weather Tool de Ecotect y editado por autor.



El climograma de columna (fig. 49) esta basado en los datos mensuales de temperatura, humedad, pluviosidad y radiación solar de la estación climática Murillo Automática, elevación 3023 msnm, datos suministrados por el IDEAM, y en cuanto a los datos de brillo solar se obtuvieron de la interpolación de estaciones meteorológicas por el programa METEONORM. El climograma de columna se elaboró con el programa Weather Tool y contiene un resumen anual de las condiciones climáticas de la zona de estudio.

**Altitud: 3000 msnm**

**Temperatura media anual: 11°C**

**Promedio precipitación anual: 1552,9 mm**

En el climograma de columna se pueden observar los dos periodos de lluvia de la región comprendidos entre los meses de abril (213,2 mm) a mayo (204,4 mm) y los meses de septiembre (149,6 mm) a octubre (170,2). Se identifican las dos épocas secas que se localizan en los meses de diciembre (78,3mm), enero (61,1 mm) y febrero (92,1mm), y los meses de junio (116,1 mm), julio (95,3 mm) y agosto (112,1 mm). Los meses de Marzo (115,6) y noviembre (144, 9mm) son periodos de transición entre las temporadas secas y las temporadas lluvias.

En el mes de julio se registra una temperatura máxima de 24,8°C, los meses de diciembre y enero registran las temperaturas más bajas 1,2°C. El promedio máximo de temperaturas anuales es de 18.8°C, el promedio mínimo de temperaturas anuales es 2,3°C, La oscilación térmica alcanza valores de hasta 19°C entre el día y la noche.

La humedad relativa de la región de análisis alcanza valores en el día de 60 y 70% y humedades máximas de 90% y hasta el 100% en horas de la noche. Su promedio de radiación solar anual es de 340 Kwh/m<sup>2</sup> y tiene picos máximos de hasta 1000 Kwh/m<sup>2</sup> en horas del medio día o cuando se presenta un cielo despejado.

## 7.5 VIENTOS

Existe un fenómeno regional que afecta al municipio de Murillo, y obedece al sistema de circulación de vientos en unión con factores del relieve montañoso de la región. En este caso las masas de aire cargadas de humedad provenientes del valle del magdalena ascienden en la tarde por el fenómeno de convección a la cordillera central y chocan con su flanco este (fig. 50) (EOT Murillo 2002)

Estos vientos se enfrían en la cumbre nevada del nevado del Ruiz y descienden en las madrugadas al valle del magdalena para calentarse con la radiación solar del día y

nuevamente volver ascender en la tarde. El viento dominante en el lugar de análisis es el en sentido este – oeste (fig. 51). Actualmente no se cuentan con datos de velocidad del viento. (EOT Murillo 2002).

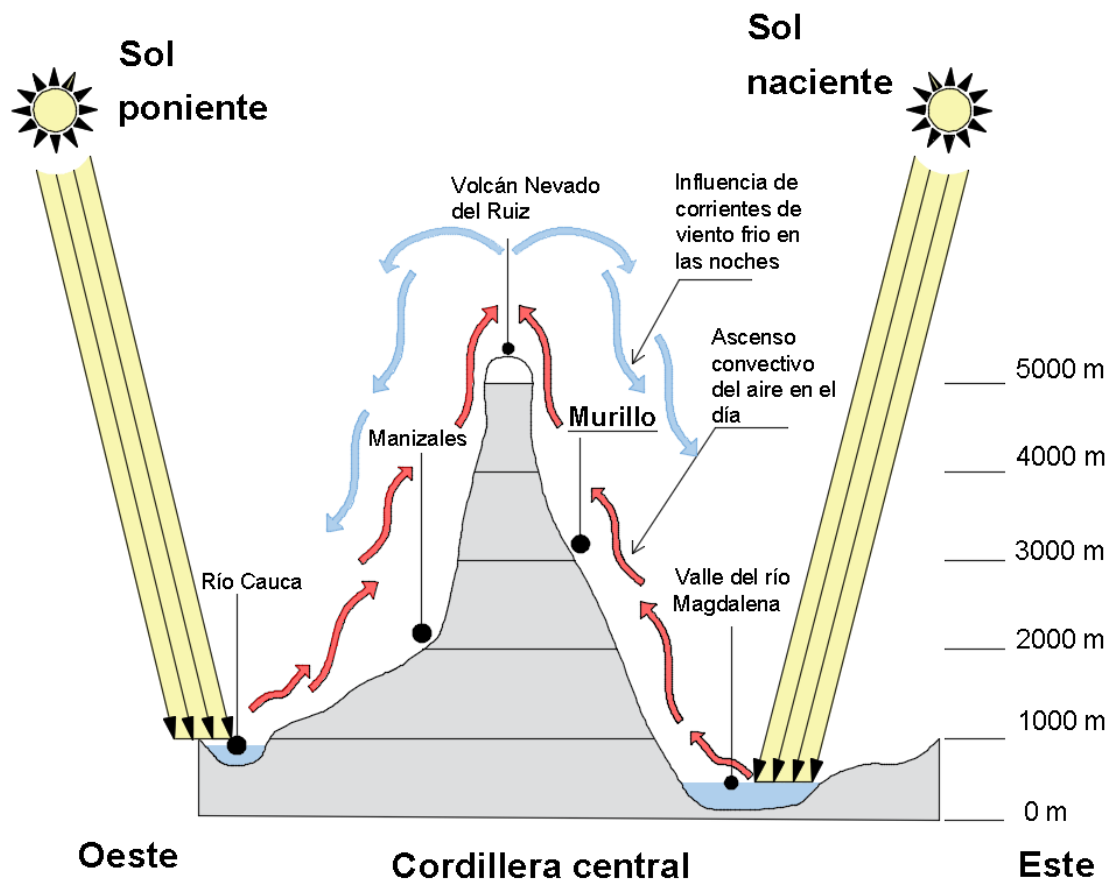


Figura 50. Fenómeno regional de vientos que afecta al municipio de Murillo, Tolima – Colombia, Elaborado por Luis Hernández.

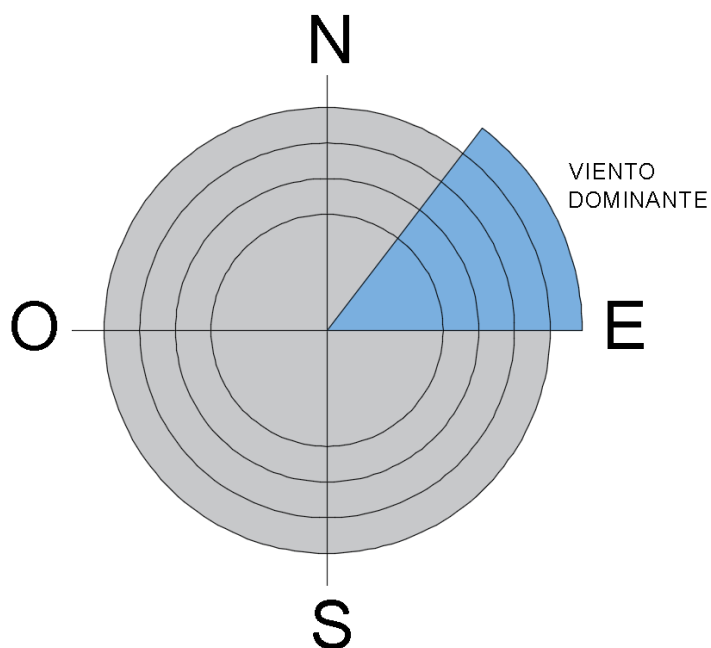


Figura 51. Viento dominante, municipio de Murillo, Tolima – Colombia, Elaborado por Luis Hernández.

## 7.6 DIAGRAMA PSICROMÉTRICO PARA MURILLO

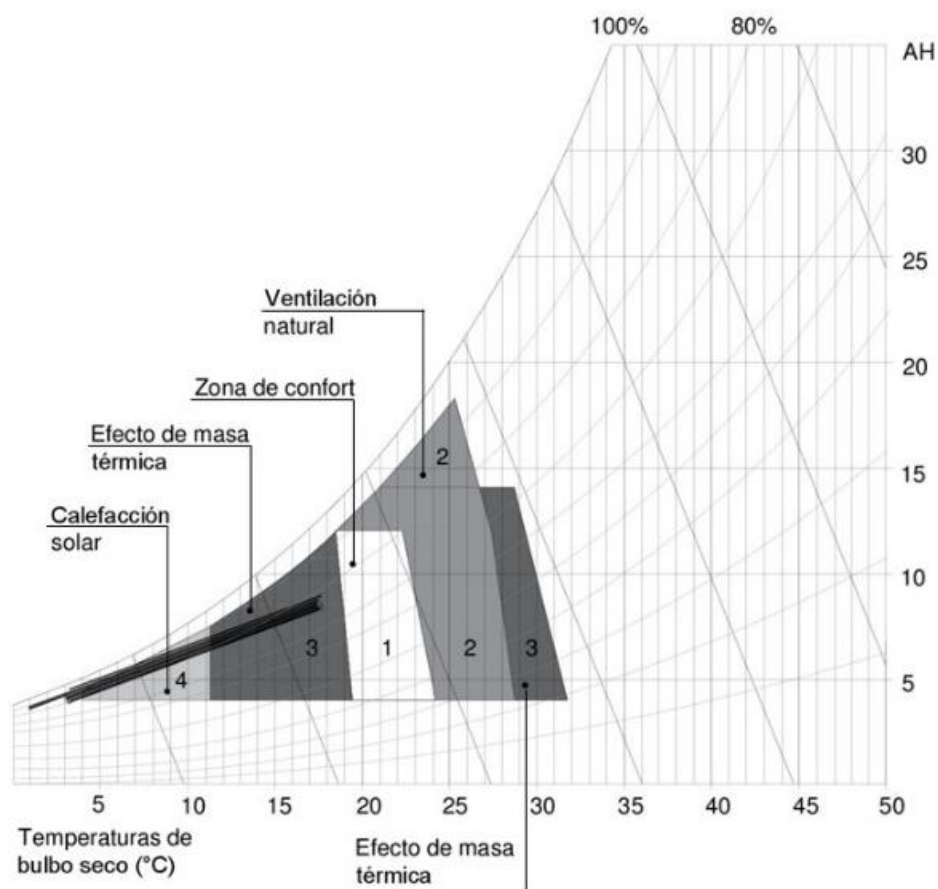


Figura 52. Diagrama psicrométrico para Murillo, Tolima – Colombia, Elaborado con el programa Weather Tool. Editado por Luis Hernández.

El diagrama Psicrométrico (fig 52) está basado en los datos mensuales de temperatura, humedad y radiación de la estación climática: Murillo Automática, elevación 3023 msnm, suministrados por el IDEAM, y en cuanto a los datos de pluviosidad y brillo solar se obtuvieron de la interpolación de estaciones meteorológicas por el programa METEONORM. El diagrama psicrométrico se elaboró con el programa Weather Tool, en donde se ubica la zona de confort para Murillo, Tolima entre los 18.5°C y los 25°C, y expresando las distintas técnicas bioclimáticas para alcanzar dicha zona.

La lectura arrojada por el diagrama muestra que las características climáticas de la región en estudio se encuentran fuera del área 1 la cual corresponde a la de zona confort, y enumera las dos posibles estrategias bioclimáticas pasivas, **áreas 4 y 3 las cuales corresponden a calefacción solar pasiva y al efecto de masa térmica** y que combinadas apropiadamente permiten primero que todo captar la energía solar durante el mayor número de horas al día mediante la correcta ubicación de las ventanas e invernaderos adosados a las viviendas, y posteriormente el calor captado al interior de la infraestructura se acumula interior de la vivienda mediante el efecto de la masa térmica, el cual debe de estar compuesto por materiales de alta inercia térmica y con un buen aislamiento en el exterior con el fin de conservar el calor la mayor cantidad de tiempo posible.

## 7.7 CLIMOGRAMA DE BIENESTAR ADAPTADO

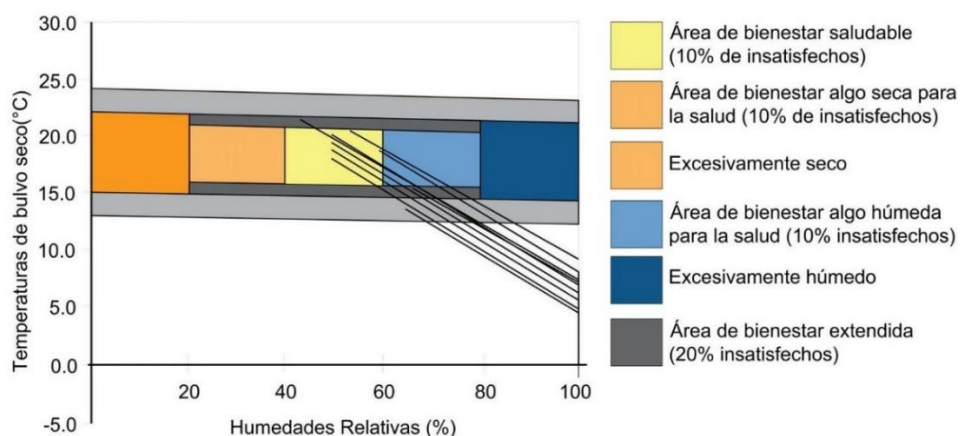


Figura 53. Climograma de bienestar adaptado. Murillo, Tolima – Colombia, Elaborado con la tabla dinámica de CBA del Arq. Javier Neila. Editado por Luis Hernández.

El climograma de bienestar a adaptado (fig. 53) se muestra que el municipio de Murillo, Tolima, tiene un clima por fuera del área de bienestar saludable, con temperaturas bajas promedio de 11 °C y humedades relativas máximas del 100%

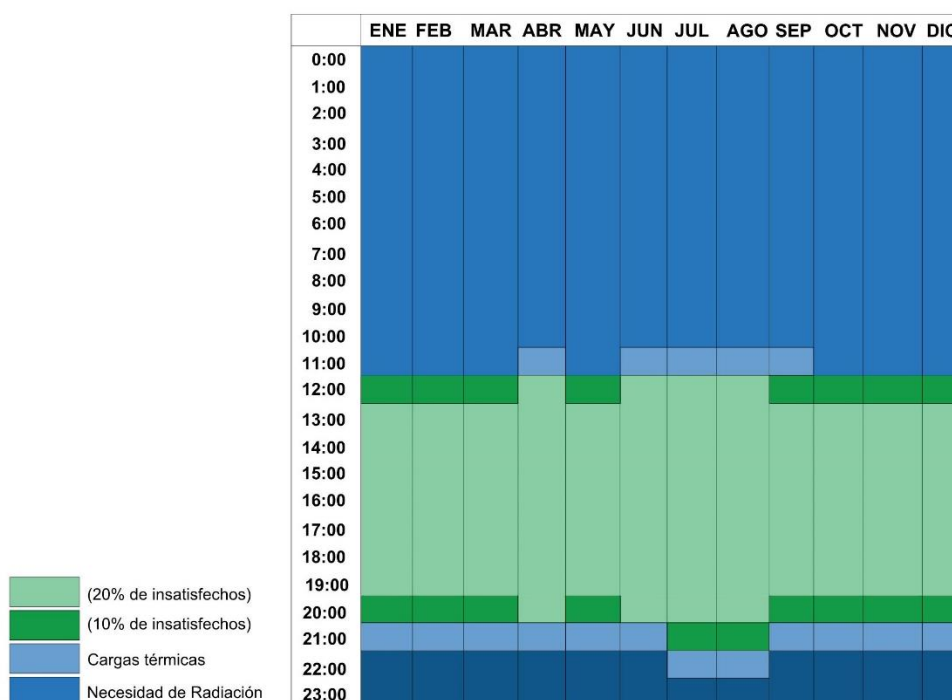


Figura 54. Diagrama de isopletras. Elaborado con la tabla dinámica de CBA del Arq. Javier Neila. Editado por Luis Hernández.

En el diagrama de isopletras de Javier Neila (fig. 54) hace parte del trabajo de análisis del factor biológico del ser humano y el clima, y se observa, que para el clima frío húmedo de Murillo, Tolima, en el día existe mayoritariamente un 20% de personas insatisfechas, y que durante la noche y las mañanas se requiere de cargas térmicas para contrarrestar las bajas temperaturas. Los análisis de este apéndice se desarrollaron con promedios de los datos climáticos suministrados por el IDEAM, de la estación Murillo Automático, y con un aislamiento térmico de 3 Clo, ropa para tiempo muy frío.

## **8)CASOS DE ESTUDIO**

## 8.1 UBICACIÓN CASOS DE ESTUDIO

Para la presente investigación se tomaron como casos de estudio una **vivienda popular en tabla parada** construida por campesinos de la región hacia **principios del siglo XX** y una **VIP** construida en mampostería confinada en el año 2017 por la alcaldía municipal de Murillo, Tolima (fig. 55), para realizar los estudios de caso se tomaron datos de humedad y temperatura de las dos viviendas mediante mediciones puntuales y mediciones prolongadas en el tiempo. El fin de realizar los estudios de caso es el de comprender el comportamiento higrotérmico de la arquitectura popular de la región de estudio y también de las **VIP** construidas por la administración de turno. Las viviendas evaluadas se seleccionaron con la misma orientación y a una misma altitud 3000 msnm, se aclara que ninguna de las viviendas seleccionadas utiliza acondicionamiento mecánico para climatizar sus espacios internos.

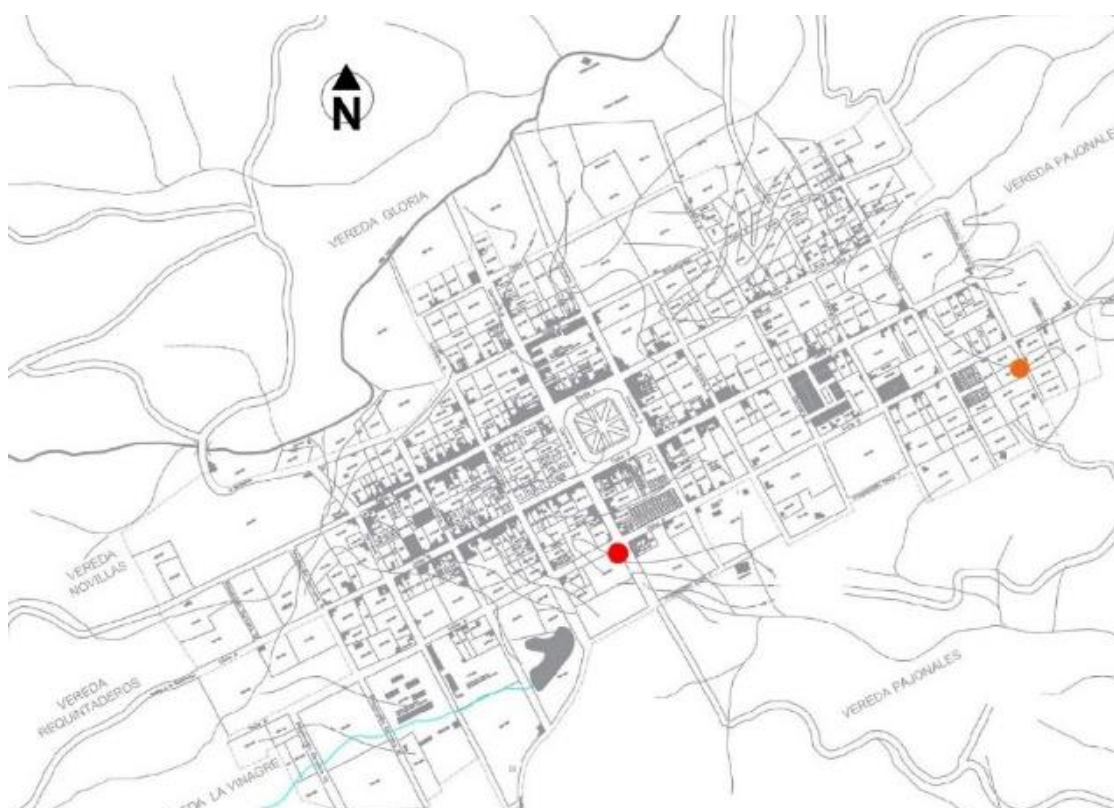


Figura 55. Ubicación de los estudios de caso en el municipio de Murillo. ● Vivienda popular. ● Vivienda en mampostería. Fuente: planeación municipal Murillo Tolima. Editado por Luis Hernández.

## 8.2 BIOMONITOREO VIVIENDA POPULAR

La vivienda evaluada (fig. 54) se orienta con una rotación de 27° Oeste en la carrera 8 con calle 2, esta se compone por una parte de estructura de tabla de principios del siglo XX y una ampliación en mampostería de la década de los 80's. La edificación en su parte antigua tiene un área de 73.5 m<sup>2</sup> y se compone de cinco cuartos, un comedor, una cocina y un baño. Su zona de ampliación tiene un área de 31,5 m<sup>2</sup> y se compone por dos bodegas, un baño, una pila (alberca) y un muro de cerramiento que configura un patio. Se distingue en la casa la utilización del fogón de leña al interior de la vivienda característico de la arquitectura popular de esta región.



Figura 56. Vivienda popular en tabla parada monitoreada. Foto: Luis Hernández.

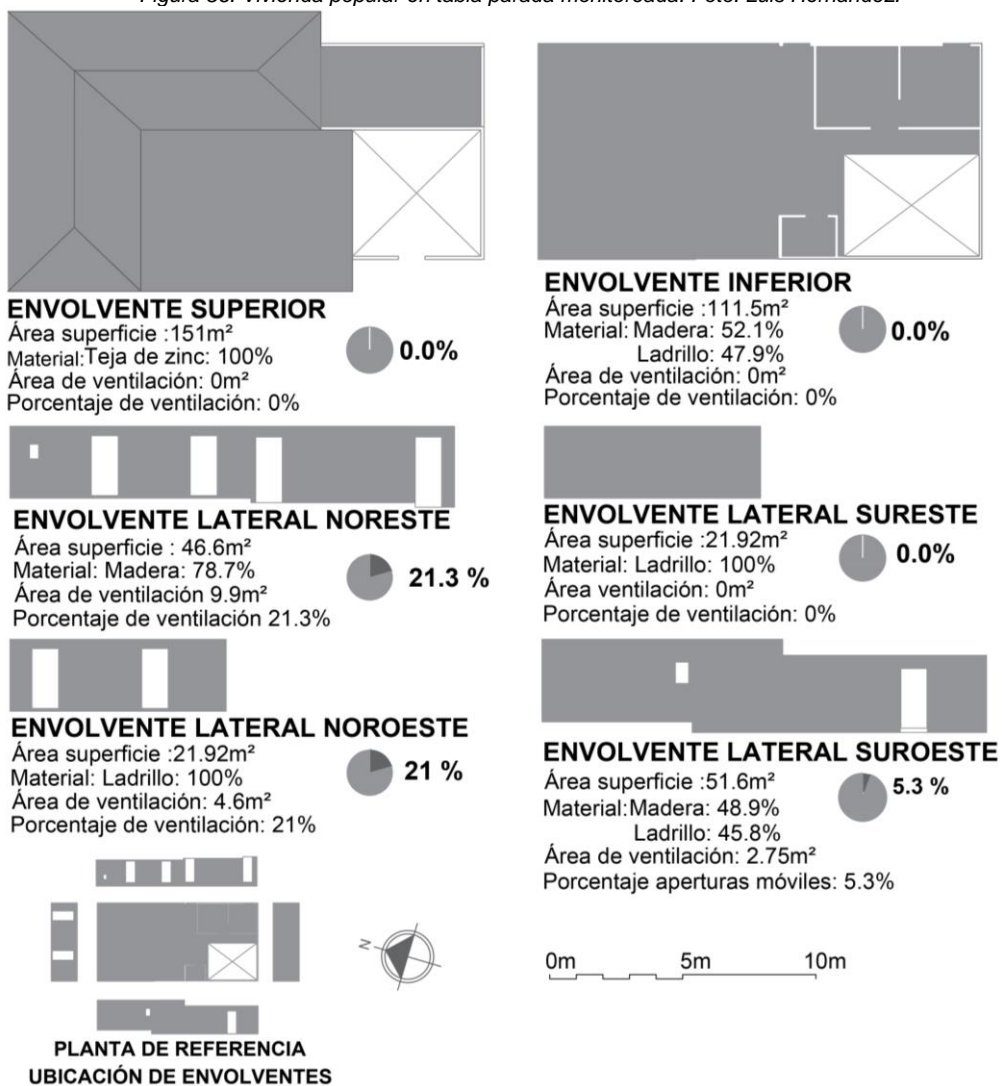


Figura 57. Fachadas de la vivienda popular en tabla parada. Elaborado por: Luis Hernández



Los materiales que componen la vivienda tradicional son: paredes externas y divisiones internas en tabla parada a un solo forro, cubierta en teja de zinc, cielo raso en madera, puertas y ventanas en madera, los pisos de las habitaciones y el comedor son en madera, el piso de la cocina es en concreto.

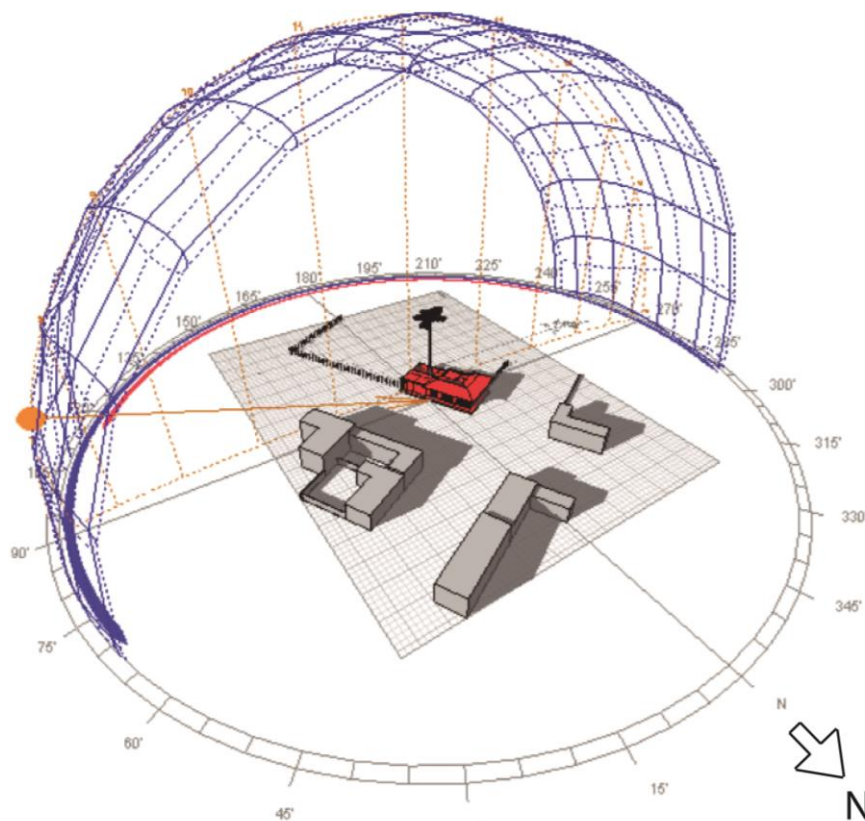


Figura 58. Rango de sombras 21 se marzo 7:00, y recorrido solar en el contexto de la vivienda popular en tabla parada. Fuente: Autodesk Ecotec Analysis. Editado por Luis Hernández

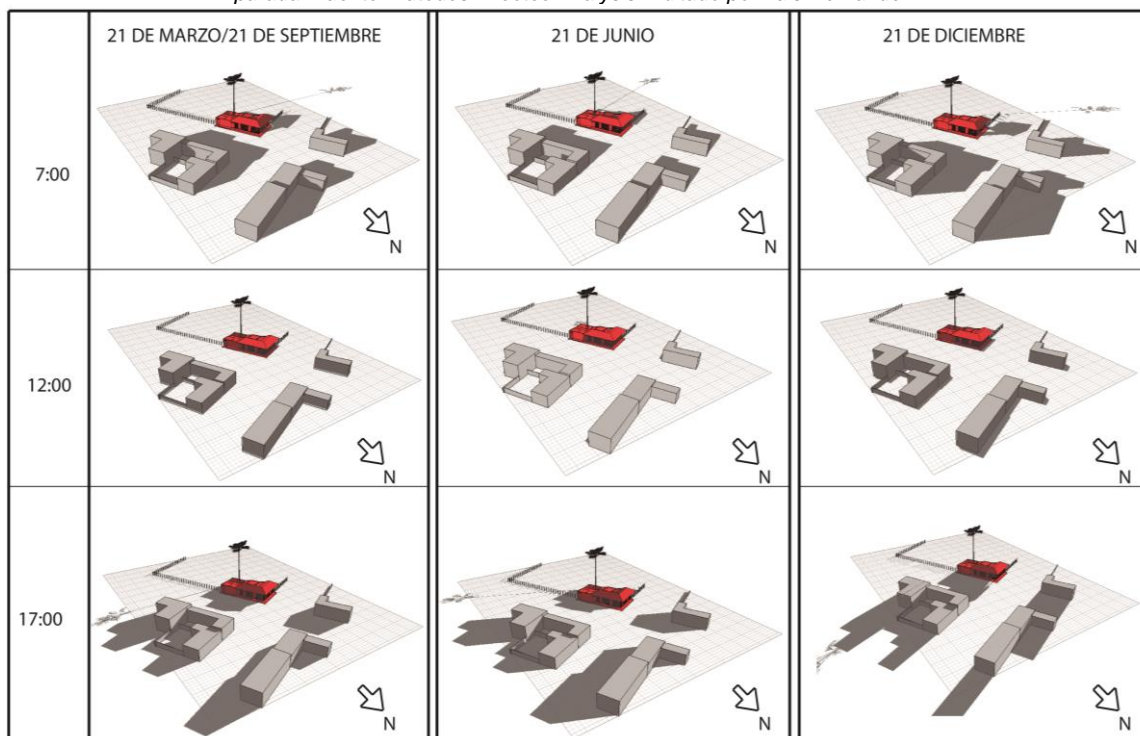


Figura 59. Proyección de sombras con una matriz 3x3 (tres periodos, tres momento del día), vivienda popular en tabla parada. Fuente: Autodesk Ecotec Analysis. Editado por Luis Hernández



## 8.2.1 BIOMONITOREO PUNTUAL

El biomonitoreo puntual se realizó el día 15 de Mayo de 2017 las 3 pm (fig. 60), se tomaron datos de temperatura, humedad e iluminancia. Los lugares donde se realizó la toma de datos son los siguientes:

- Habitación 2
- Habitación 4
- Cocina – Comedor
- Pasillo

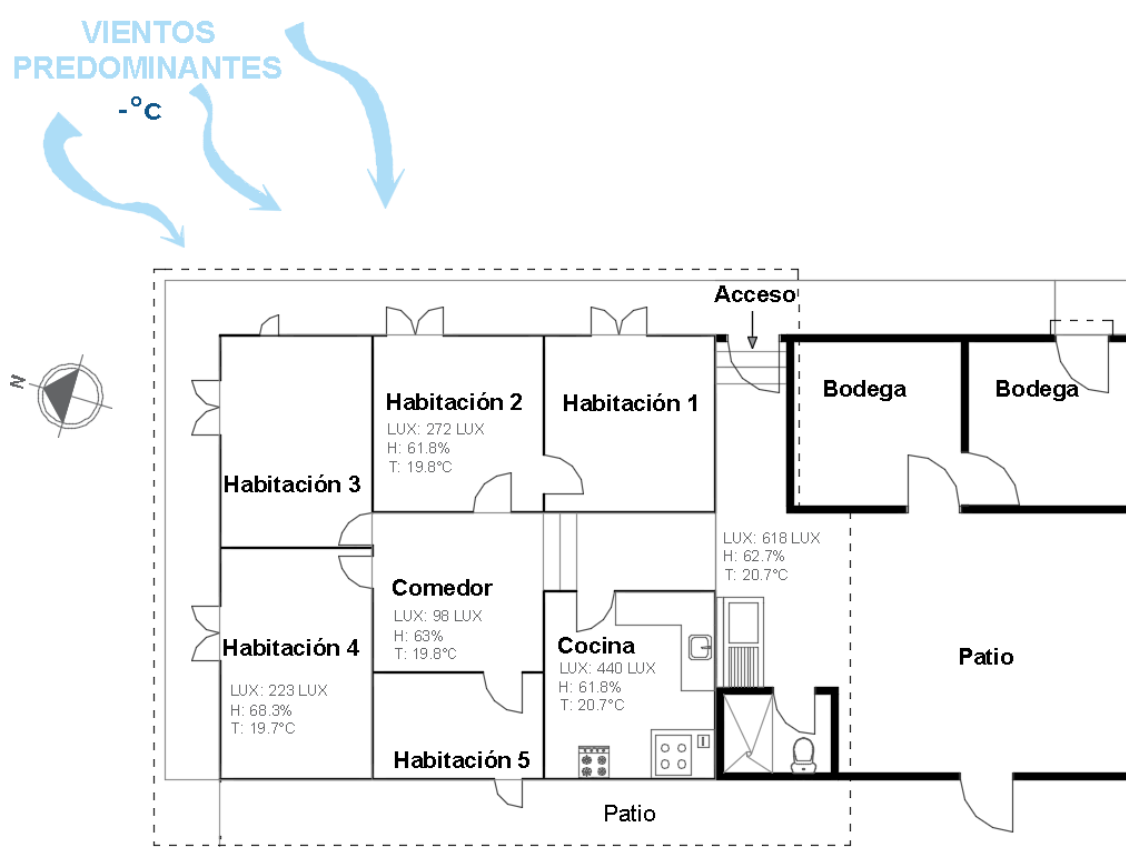
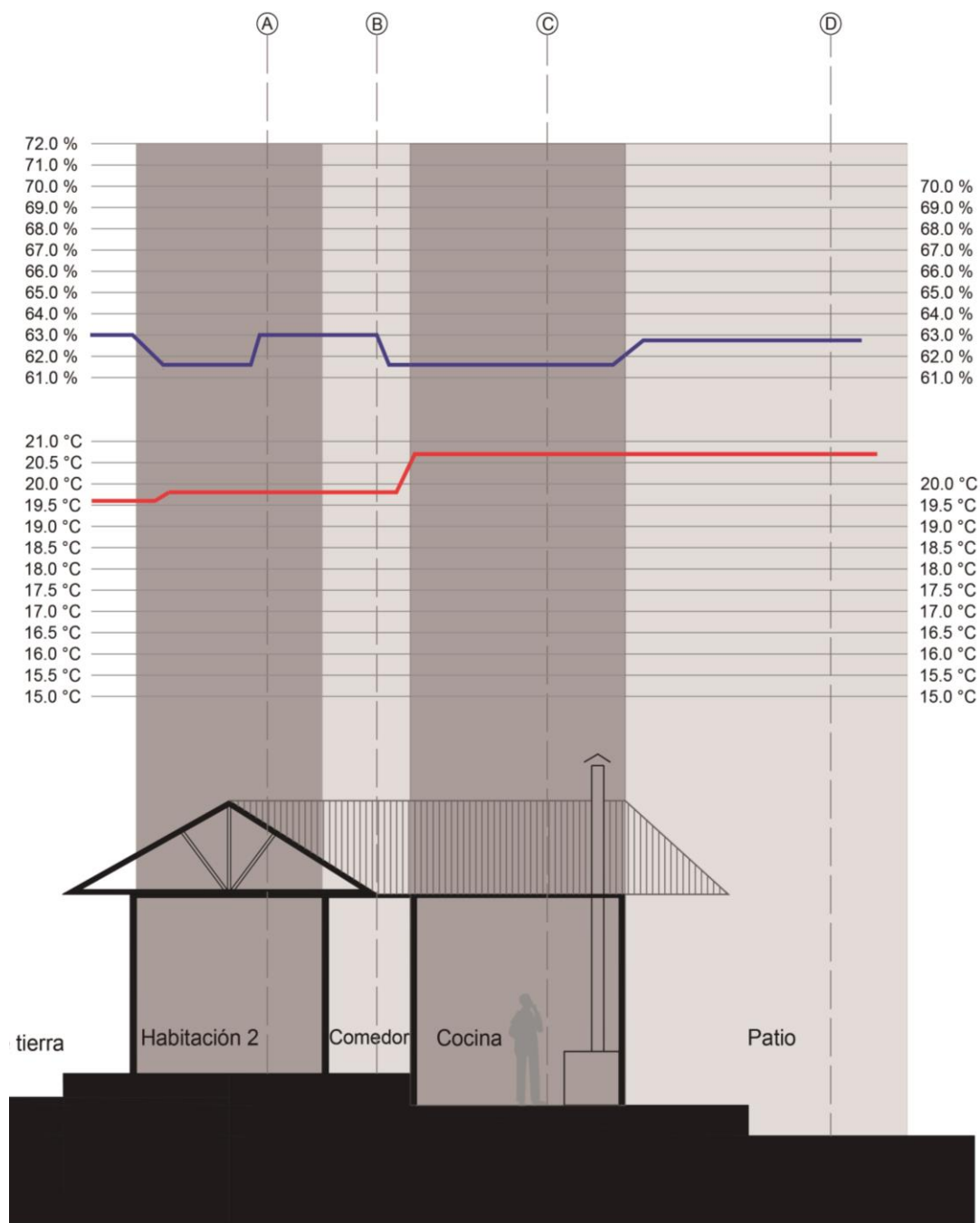


Figura 60. Planta de la vivienda popular en tabla parada – las letras y número en color representan los datos del biomonitoreo puntual. Elaborado por Luis Hernández.

Según los datos puntuales registrados (fig. 60) el espacio más cálido es la cocina con 20.7°C y el más frío es la habitación 4 con 19.7°C. El espacio más húmedo es la habitación 4 con 68.3% y los menos húmedos son la cocina y la habitación 4 con 61.8%. El espacio que goza de mayor iluminación natural es la cocina con 440 lux puesto que cuenta con un lucernario, el espacio más oscuro es el comedor con 98 lux, esto es debido a que este espacio se encuentra en el centro de la vivienda y solo cuenta con la iluminación natural que brinda el pasillo.



DATOS TOMADOS EL 15 DE MAYO DE 2017 A LAS 3:00 PM

— HUMEDAD

— TEMPERATURA

### SECCIÓN A01

Figura 61. Sección A01-Espacios de toma de datos puntuales. Elaborado por: Luis Hernández.

## 8.2.2 BIOMONITOREO PROLONGADO TEMPORADA LLUVIOSA

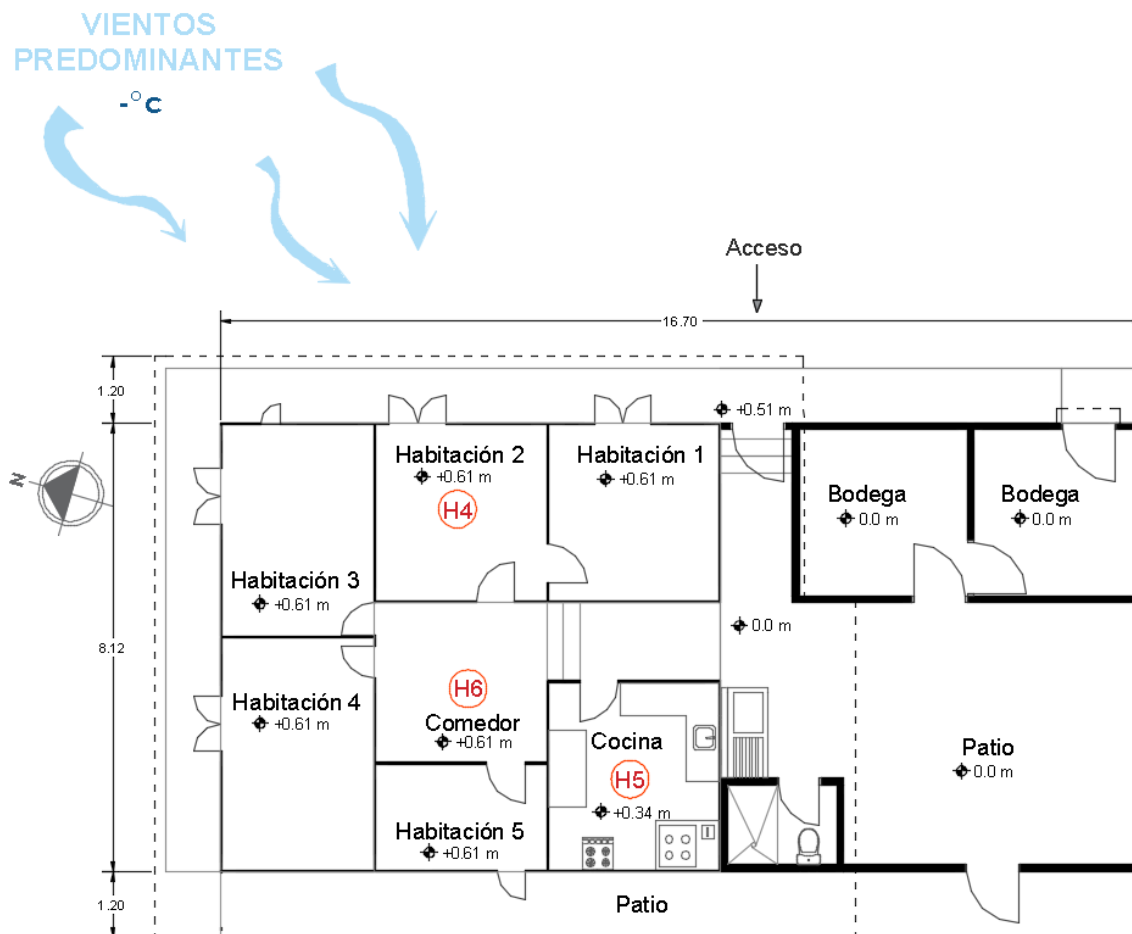


Figura 62. Planta de la vivienda popular en tabla parada – las letras y números en rojo representan los espacios monitoreados con los equipos de medición prolongada. Fuente: Autor

El bio-monitoreo prolongado se realizó en la temporada lluviosa en un periodo de dos semanas del **19 de abril de 2017 al 4 de mayo de 2017**. Para realizar este trabajo se utilizaron 3 equipos de medición prolongada (HOBO) ubicados en la habitación 2, el comedor y la cocina (fig. 62).

El objetivo del biomonioreo es comprender el comportamiento higrotérmico (temperatura y humedad) de los espacios analizados con el fin de obtener datos climáticos de los espacios internos y entender su comportamiento ambiental, todo con el fin de obtener conclusiones y parámetros de diseño de para el desarrollo de las VIP en lote propio objeto de investigación.

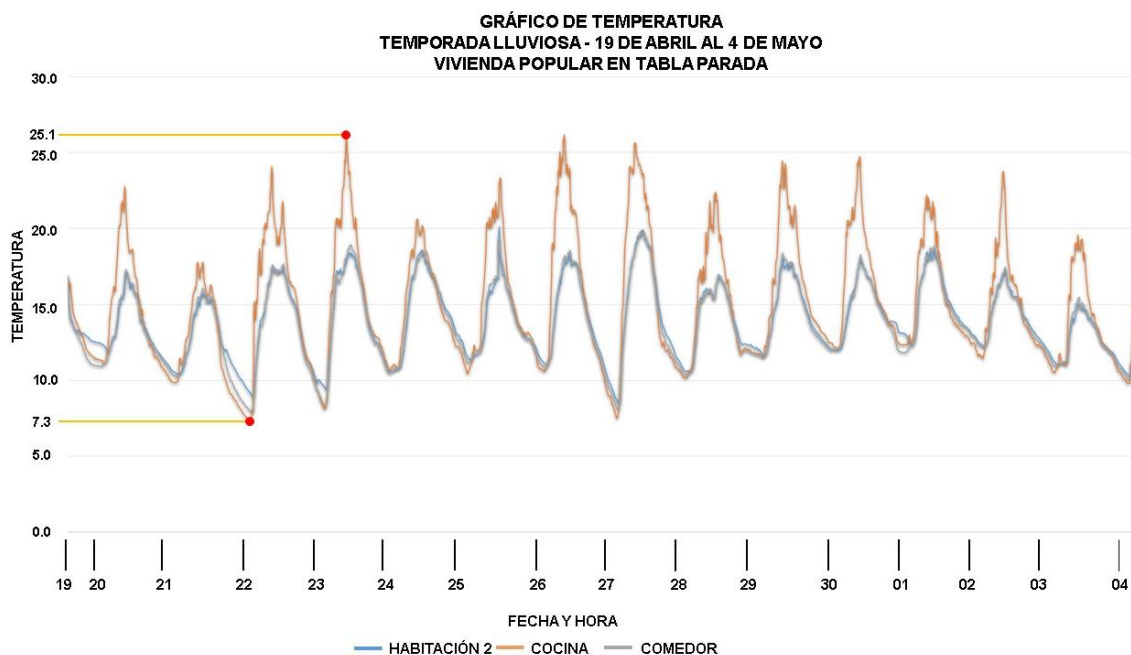


Figura 63. Gráfico de registro de temperatura por un periodo de 15 días en la vivienda popular de tabla parada - temporada lluviosa – del 19 de abril de 2017 al 4 de mayo de 2017. Fuente: datos obtenido con los equipos de medición prolongada Hobo. Editado por autor.

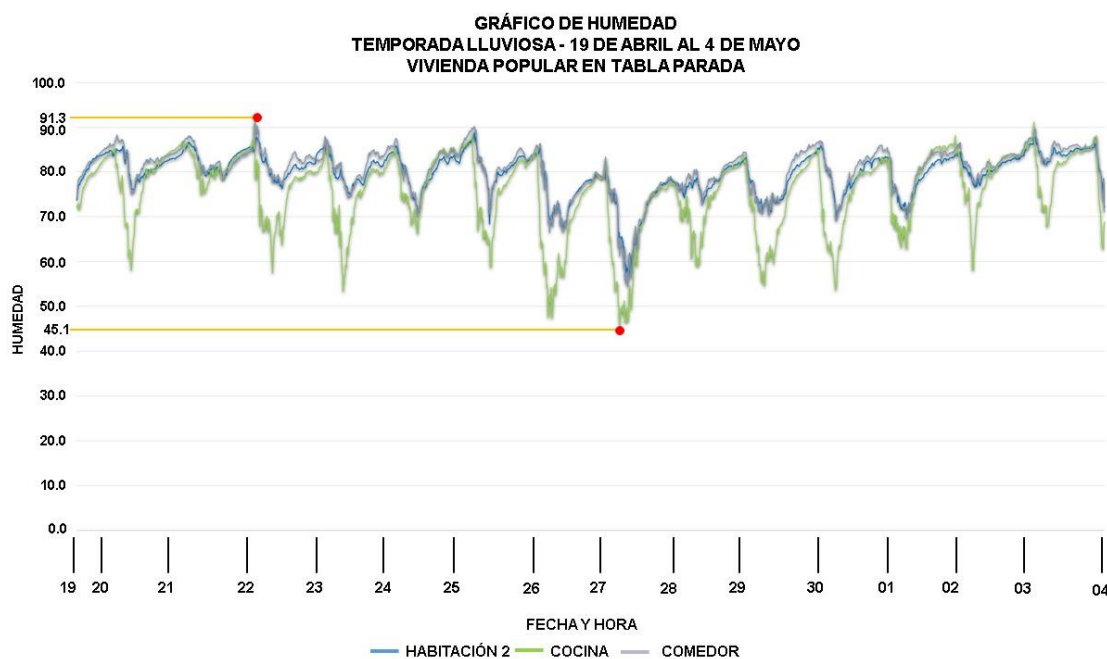


Figura 64. Gráfico de registro de humedad por un periodo de 15 días en la vivienda popular en tabla parada - temporada lluviosa – del 19 de abril de 2017 al 4 de mayo de 2017. Fuente: datos obtenido con los equipos de medición prolongada

En el gráfico de temperatura (fig. 63) se observa que el espacio más cálido registrado en la vivienda de madera en temporada lluviosa es la cocina con 25.1°C el día 23 de abril de 2017 a la 1:20 pm, este resultado se debe a las ganancias internas de temperatura generadas por el fogón de leña que se presentan hacia horas del mediodía, y que comparado con los registros de temperatura entregados por el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales IDEAM, para esta época del año se observa un aumento de temperatura de 7.7°C entre el

espacio exterior 17.4°C y el espacio de la cocina 25.1°C. El espacio más frío es la cocina con una temperatura de 7.3 °C para el día 22 de abril a las 5:20 am, que comparado con la temperatura externa 6.2°C registrada por la estación meteorológica del IDEAM para esta época del año obtiene un aumento de 1.1°C. Se puede observar que la habitación 2 el día 22 de abril a las 5:20 registró una temperatura de 8.5°C, obtuvo un incremento de temperatura de 1.7°C con respecto al espacio exterior 6.2°C según los datos de la estación meteorológica del IDEAM.

En el gráfico de humedad (fig. 64) se determina que el espacio más húmedo de la vivienda registrado en la temporada lluviosa es el comedor con 91.3% para el día 22 de abril a las 7:10 pm, y el menos húmedo es igualmente la cocina con 45.1% el día 27 de abril a la 12:00 pm.

### 8.2.3 BIOMONITOREO PROLONGADO TEMPORADA SECA

El Bio-monitoreo prolongado se realizó en la temporada seca en un periodo de dos semanas, del **28 de junio de 2017 al 13 de julio de 2017**. Para realizar este trabajo se utilizaron 3 equipos de medición prolongada (HOBO) ubicados en los mismos sectores: en la habitación 2, el comedor y la cocina (fig. 62).

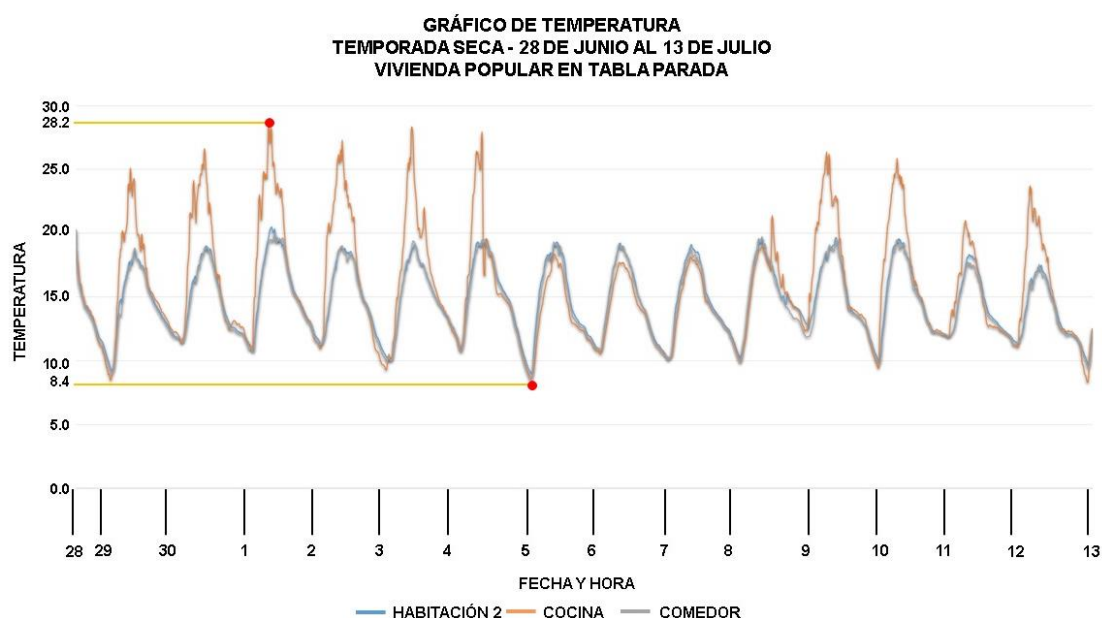


Figura 65. Gráfico de registro de temperatura por un periodo de 15 días en la vivienda popular en tabla parada - temporada seca – del 28 de junio de 2017 al 13 de julio de 2017. Fuente: datos obtenido con los equipos de medición prolongada Hobo. Editado por autor.

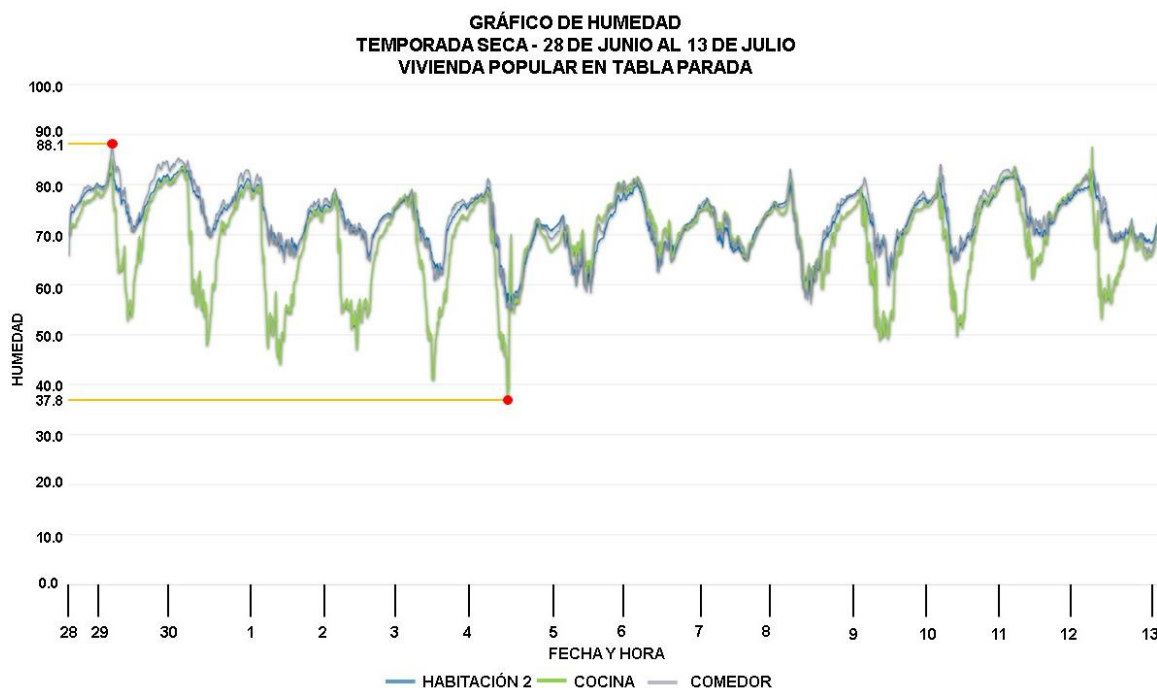


Figura 66. Gráfico de registro de humedad por un periodo de 15 días en la vivienda popular en tabla parada - temporada seca – del 28 de junio de 2017 al 13 de julio de 2017. Fuente: datos obtenido con los equipos de medición prolongada Hobo

En el gráfico de temperatura (fig. 65) para la temporada seca se determina que el espacio con mayor temperatura de la vivienda es la cocina con 28.2°C el 1 de julio de 2017 a la 1:10 pm, y la menor temperatura registrada se encuentra en el espacio del comedor con 8.4°C el día 25 de abril a las 6:20 am. En el gráfico de humedad (fig. 66) se determinó que el espacio con mayor humedad registrada para esta época del año es el comedor con 88.1% el 29 de junio a las 7:30 am, y el espacio con menor humedad es la cocina con 37.8% el día 4 de julio a la 1:30 pm. Cabe aclarar que para esta fecha del año la vivienda se encontraba ocupada por 2 habitantes, a diferencia de la temporada lluviosa que se mantuvo sin habitante alguno.

## 8.2.4 CONCLUSIONES DE BIOMONITOREO VIVIENDA POPULAR

El fogón que comúnmente se usa para la preparación de los alimentos, funciona a su vez como una estrategia pasiva (ganancia interna) para mejorar el confort térmico del espacio de la cocina durante el día, alcanzándose temperaturas de hasta 25.1 °C en la temporada lluviosa y de 28.2°C en la temporada seca.

Se concluye que este tipo de viviendas no alcanzan a generar espacios dentro de la zona de confort para el clima frío húmedo (clasificación climática Caldas-Lang). De Murillo Tolima. Aunque es de resaltar que la forma y proporción de la vivienda, la utilización de cielo raso,

paredes y pisos en madera, evitan pérdidas de temperatura y proporcionan temperaturas internas en la vivienda entre los 1.2°C y 4.6°C por encima de la temperatura ambiente.

Se concluye que las viviendas en tabla parada requieren la utilización de estrategias pasivas como los invernaderos adosados y la captación de radiación solar directa mediante la cubierta, la implementación de aislamientos térmicos en las paredes y un doble forro en madera, todo esto con el objetivo de incrementar la temperatura interna de sus espacios construidos y mejorar el confort térmico de sus habitantes

### 8.3 BIOMONITOREO VIVIENDA EN MAMPOSTERÍA CONFINADA

La **VIP** en lote propio construida por la alcaldía municipal de Murillo Tolima (fig. 65) posee un área de 43,5 m<sup>2</sup> construidos, y se compone por dos habitaciones, una cocina, una sala comedor, un baño y una zona para el lavado de la ropa. Se ubica en la carrera 3 entre calles 3 y 2, se seleccionó la vivienda por tener la misma orientación que la vivienda popular de tabla parada 27° Oeste.

Los materiales constructivos que componen la **VIP** son: paredes externas e internas en ladrillo de arcilla hueco de 10cmx20cmx30cm sin acabado, la pared de la fachada principal es en madera de tabla parada, pisos en concreto a la vista, cubierta en lámina de zinc, puertas y ventanas en metal, la vivienda no cuenta con cielo raso (fig. 67).



*Figura 67. Vivienda de interés prioritario en lote propio construida por la alcaldía de Murillo Tolima. Foto: Luis Hernández*



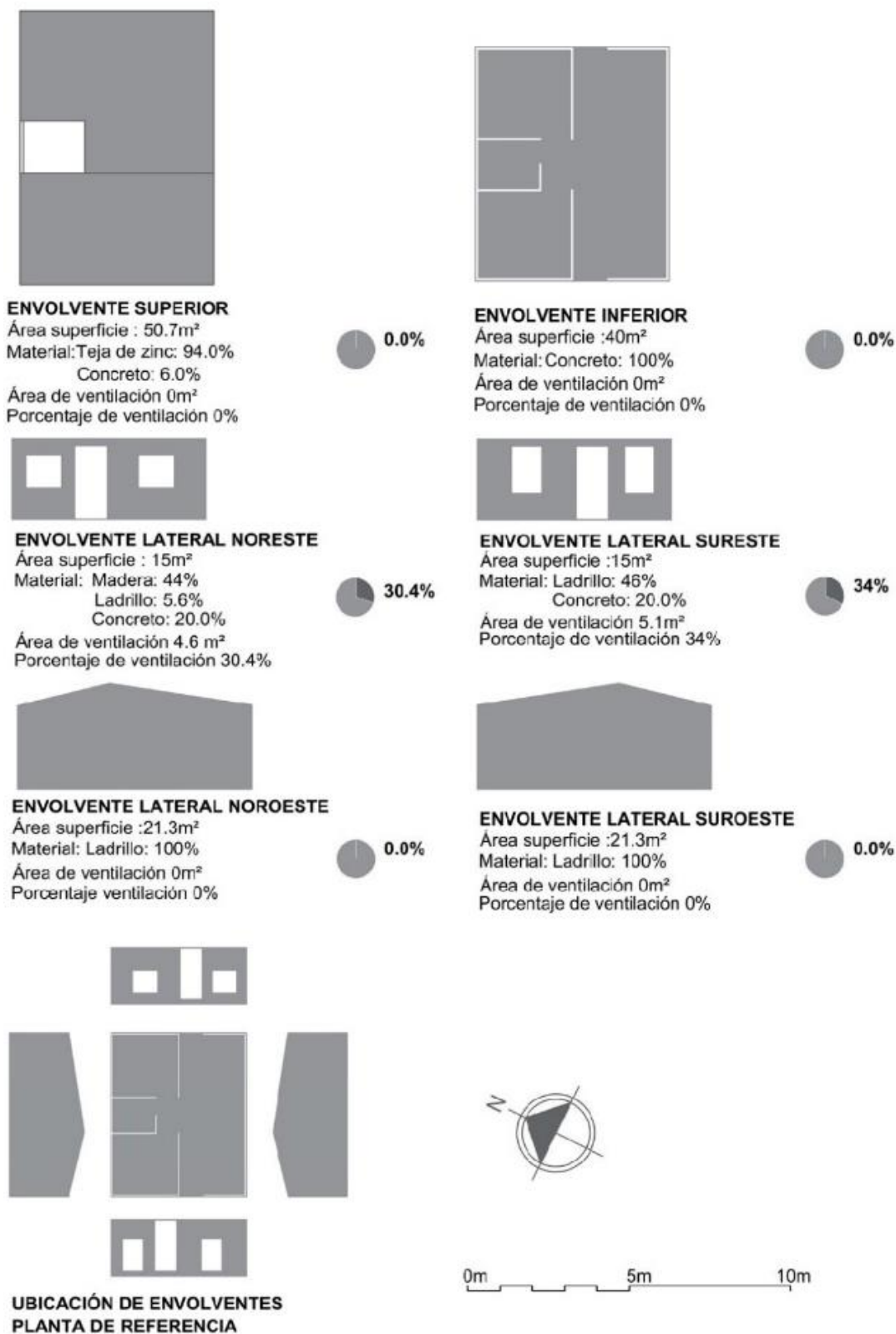


Figura 68. Envolturas de la vivienda en mampostería confinada. Elaborado por: Luis Hernández.

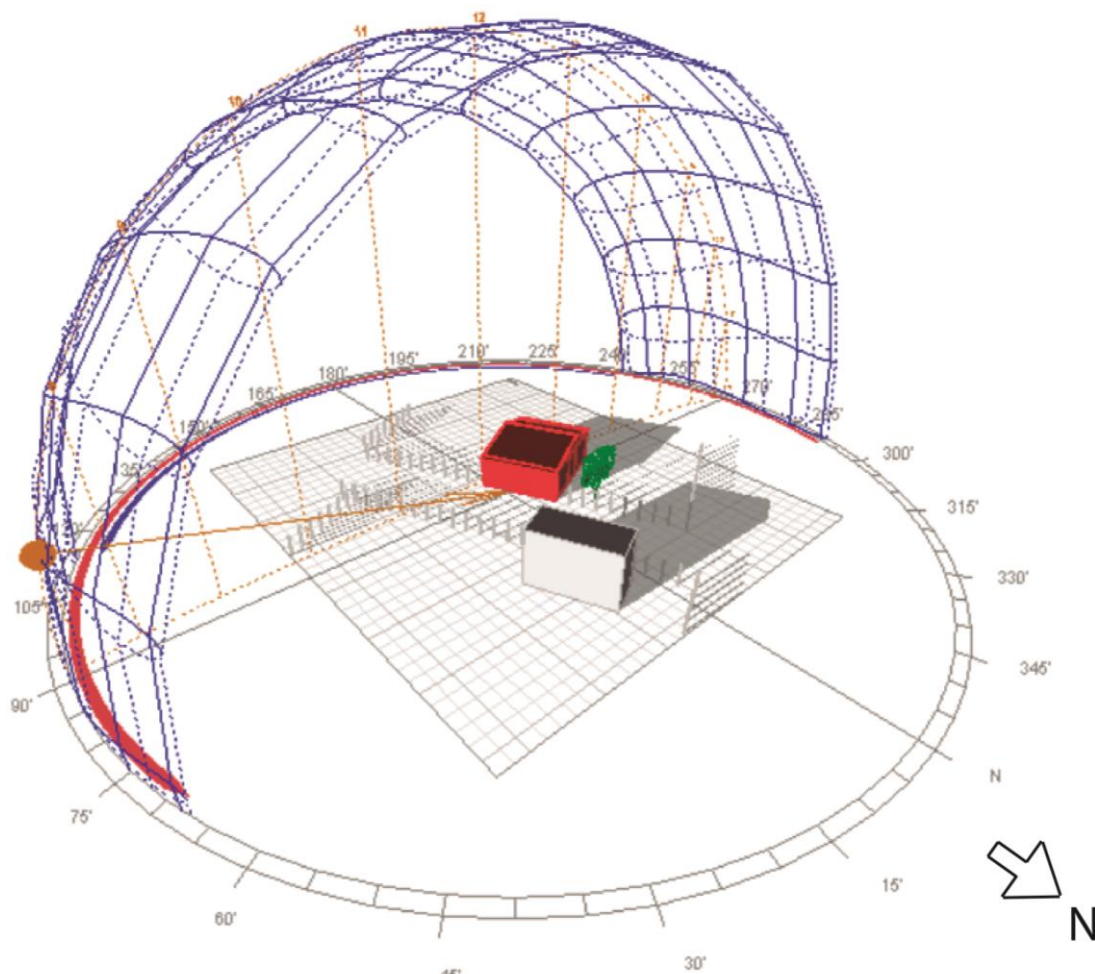


Figura 69. Rango de sombras 21 de marzo a las 7:00 am, y recorrido solar en el contexto de la vivienda en mampostería confinada. Elaborado en el programa Autodesk Ecotec Analysis.

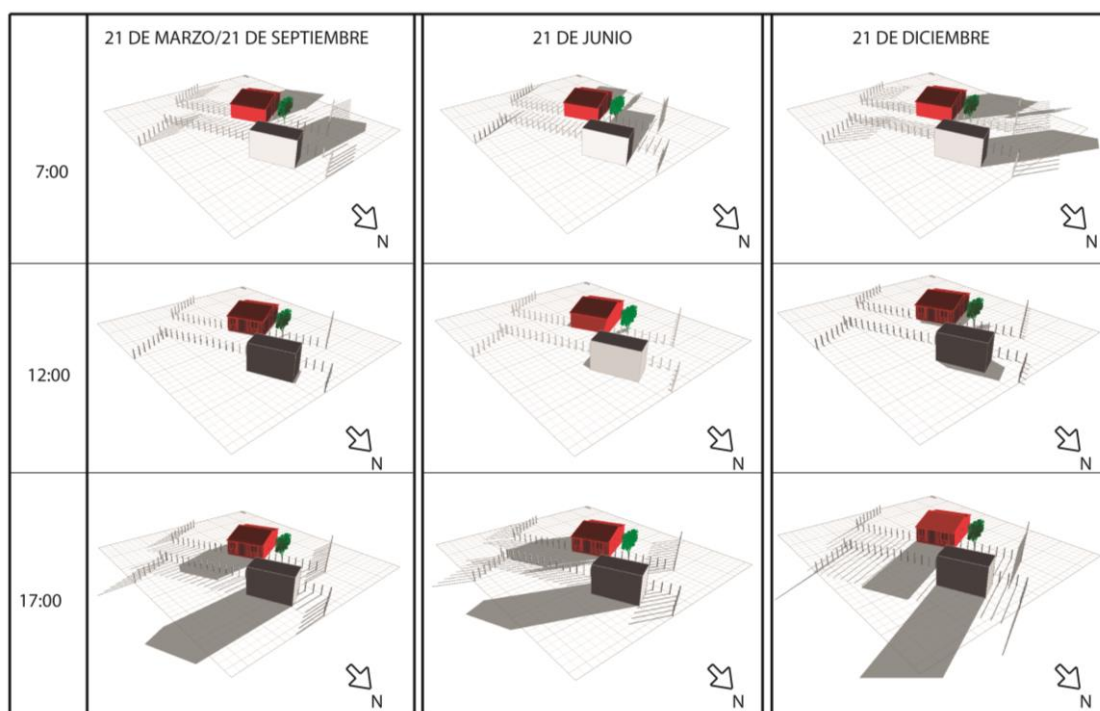


Figura 70. Proyección de sombras con una matriz 3x3 (tres periodos, tres momento del día), vivienda en mampostería confinada. Elaborado en el programa Autodesk Ecotec Analysis.

### 8.3.1 BIOMONITOREO PUNTUAL

El biomonitoreo puntual (fig. 71) se realizó el día 15 de Mayo las 2 pm, se tomaron datos de temperatura, humedad e iluminancia. Los lugares donde se realizó la toma de datos son los siguientes:

- Habitación 1
- Habitación 2
- Sala comedor
- Cocina
- Baño

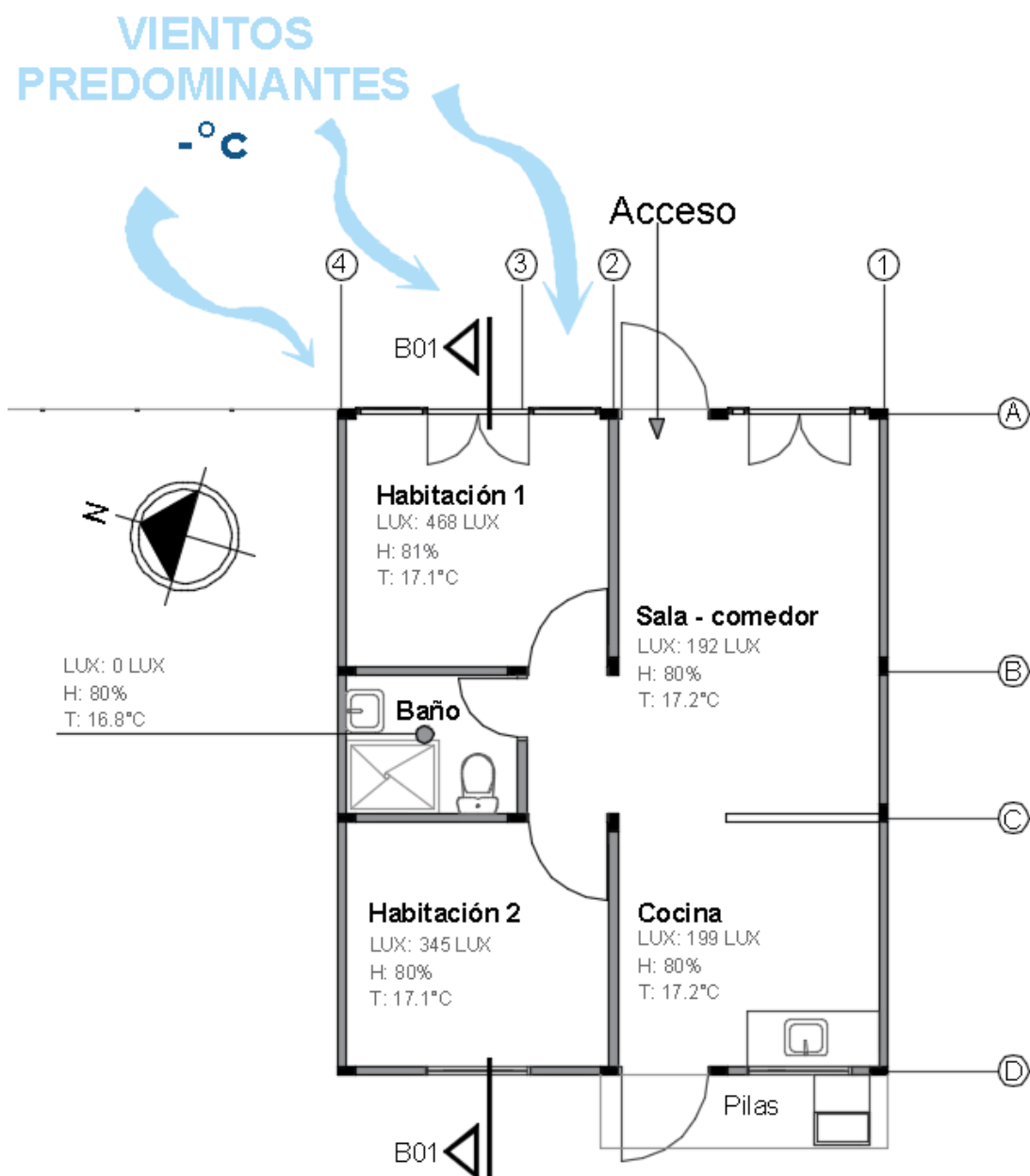


Figura 71. Biomonitoreo puntual de espacios en la vivienda en mampostería confinada. Fuente: Luis Hernández.

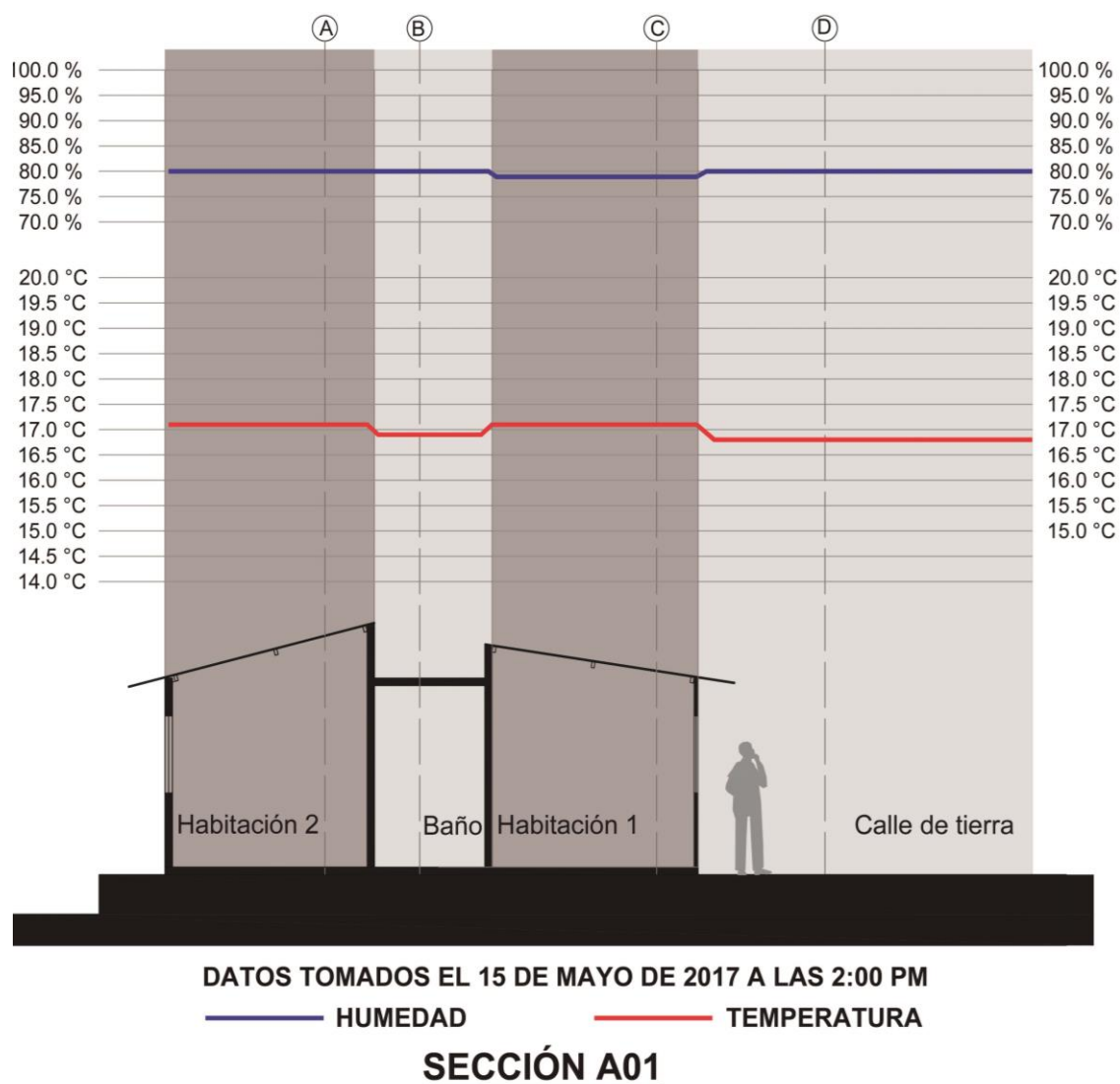


Figura 72. Sección A01- Biomonitorio puntual de espacios en la vivienda en mampostería confinada. Fuente: Luis Hernández.

Se determinó que el espacio con mayor temperatura es el espacio de la cocina y la sala comedor con 17.2°C, el espacio con menor temperatura es el baño con 16.8°C, la humedad es constante en toda la vivienda con un valor de 80% a excepción de la habitación 1 que cuenta con 81%, el espacio con mayor iluminación es la habitación 1 con 468 lux, y el espacio con menor iluminación es el baño con 0 lux por el hecho que el diseño arquitectónico de la vivienda no contempla iluminación natural para este sector de la vivienda.

### 8.3.2 BIOMONITOREO PROLONGADO TEMPORADA LLUVIOSA

El biomonitoreo prolongado se realizó en la temporada lluviosa en un periodo de dos semanas del **19 de mayo al 4 de abril**. Para realizar este trabajo se utilizaron 3 equipos de medición prolongada (HOBO) ubicados en la cocina, habitación 1 y habitación 2. (fig. 73)

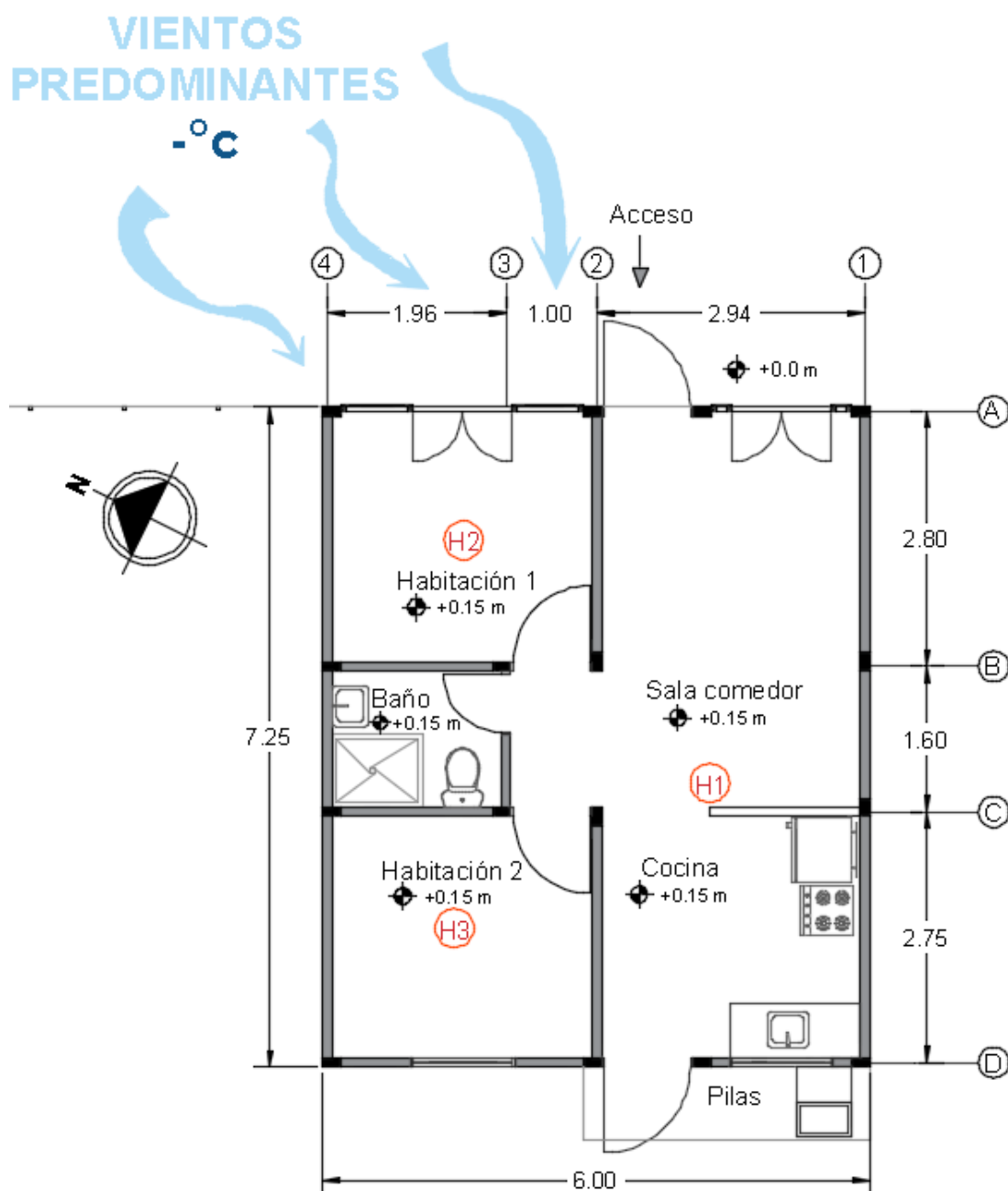


Figura 73. Ubicación de los hobos para el biomonitoreo prolongado de espacios en la vivienda en mampostería confinada. H1-H2-H3: Fuente: Luis Hernández

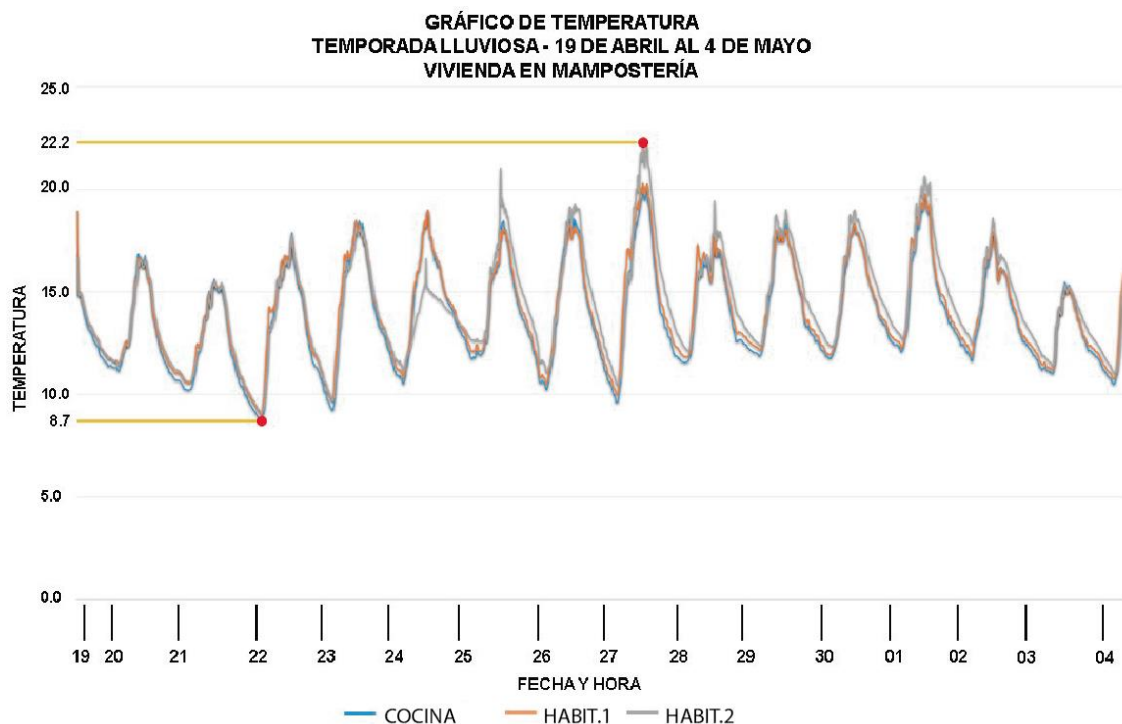


Figura 74. Gráfico de registro de temperatura por un periodo de 15 días en la vivienda en mampostería confinada - temporada lluviosa – del 19 de abril al 4 de mayo. Fuente: datos obtenido con los equipos de medición prolongada Hobo. Editado por Luis Hernández.

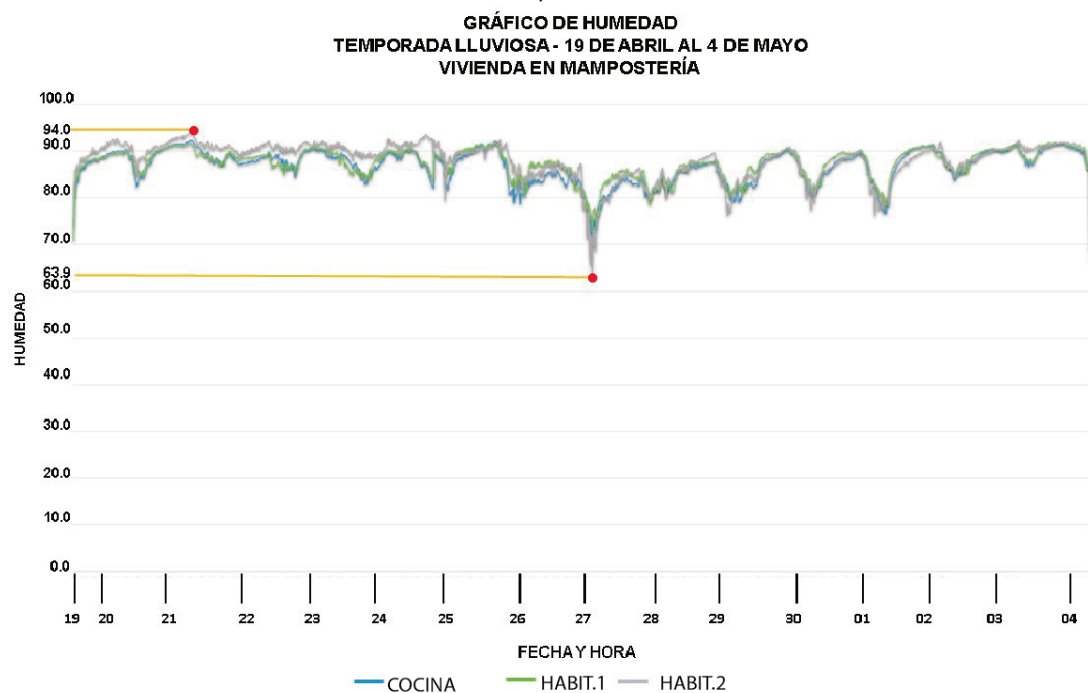


Figura 75. Gráfico de registro de humedad por un periodo de 15 días en la vivienda en mampostería confinada - temporada lluviosa – del 19 de abril al 4 de mayo. Fuente: datos obtenido con los equipos de medición prolongada Hobo. Editado por Luis Hernández.

Se observa para la temporada lluviosa en el gráfico de temperatura (fig. 74) que el espacio con mayor temperatura es la habitación 2 con 22.2°C el día 27 de abril a la 1:10 pm, y el espacio con menor temperatura registrada es la cocina con 8.7°C el día 22 de abril a las 6:30 am. La máxima oscilación térmica dentro de la vivienda fue de 15.5 °C el 27 de abril, con una temperatura mínima de 9,6 °C en horas de la madrugada y una máxima de 25.1°C, el registro de temperatura durante este periodo demuestra que solamente la temperatura supero los 20°C

durante tres días de los 15 monitoreados. Se observó que el espacio con mayor humedad registrada (fig. 75) es la habitación 2 con un 94.0% el día 22 de abril a las 11:00 am, y el espacio con menor humedad registrado es también la habitación 2 con 63% el 27 de abril a las 1:30 pm.

### 8.3.3 BIOMONITOREO PROLONGADO TEMPORADA SECA

El Bio-monitoreo prolongado se realizó en la temporada seca en un periodo de dos semanas, del 28 de junio al 13 de julio.

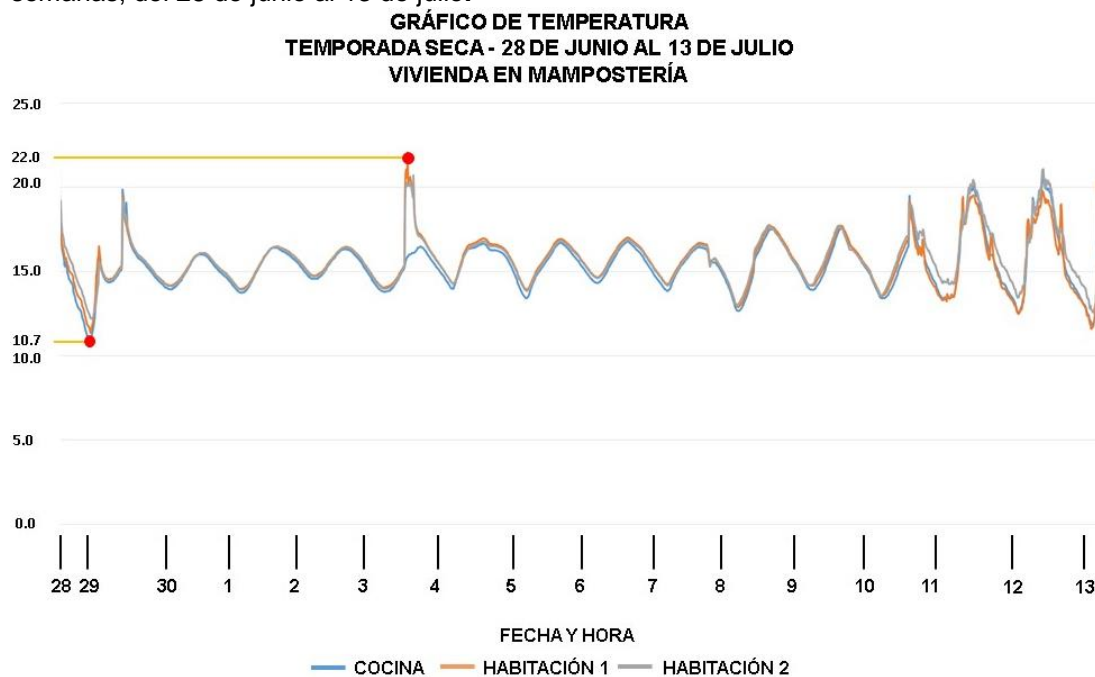


Figura 76. Gráfico de registro de temperatura por un periodo de 15 días en la vivienda en mampostería confinada - temporada seca – del 28 de junio al 13 julio..Fuente: datos obtenido con los equipos de medición prolongada Hobo. Editado por Luis Hernández.

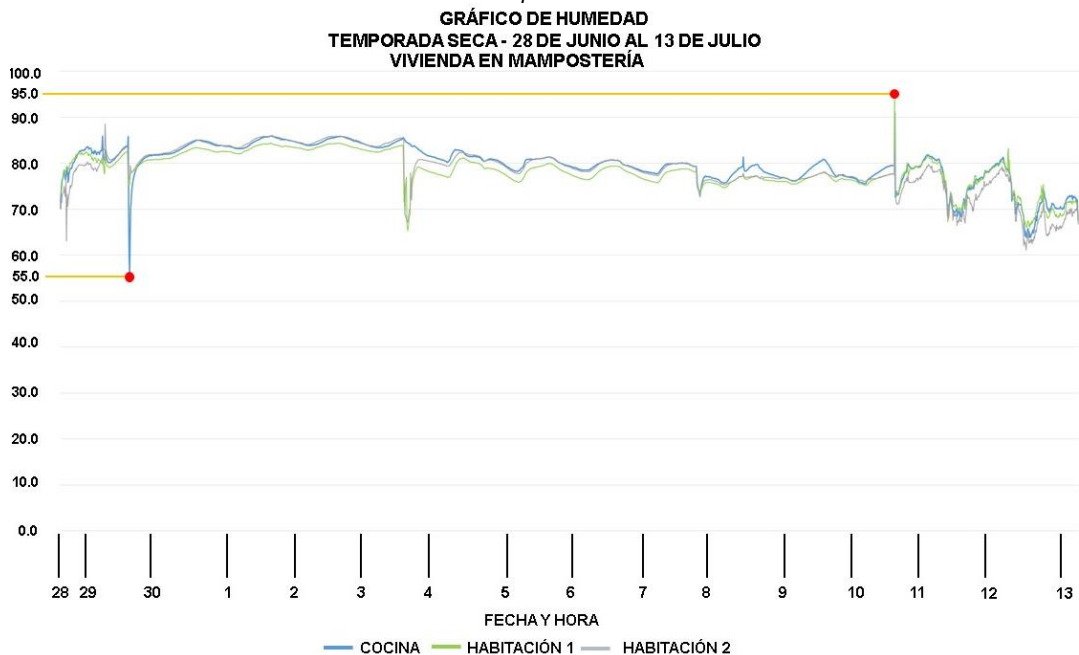


Figura 77. Gráfico de registro de temperatura por un periodo de 15 días en la vivienda en mampostería confinada - temporada seca – del 28 de junio al 13 julio. Fuente: datos obtenido con los equipos de medición prolongada Hobo. Editado por Luis Hernández.



Se observa para la temporada seca en el gráfico de temperatura (fig. 76) que el espacio con mayor temperatura es la cocina con 22.0°C a las 4:50 pm, y el espacio con menor temperatura registrada es la cocina con 10.7°C a las 5:50 am. En el gráfico de humedad (fig. 77) se observó que el espacio con mayor humedad es la cocina con un 95.0% en horas de la madrugada, y el espacio con menor humedad es igualmente la cocina con 55.4% hacia el mediodía.

### **8.3.4 CONCLUSIONES BIOMONITOREO VIVIENDA EN MAMPOSTERÍA CONFINADA**

Se concluye que las viviendas en mampostería confinada no alcanzan a generar espacios dentro de la zona de confort para el clima frío húmedo (clasificación climática Caldas-Lang) de Murillo Tolima. Aunque es de resaltar que la forma y proporción de la vivienda y la utilización del ladrillo de arcilla proporcionan espacios que tienen temperaturas mínimas en temporada lluviosa de 8.7°C y en temporada seca de 10.7°C.

Se concluye que las viviendas en mampostería confinada requieren la utilización de estrategias pasivas como los invernaderos adosados y la captación de radiación directa mediante la cubierta, la utilización de cielo rasos y el uso de aleros para evitar la absorción de humedad en los muros de arcilla, todo esto con el objetivo de equilibrar térmicamente sus espacios construidos.

## **8.4 COMPARATIVO BIOMONITOREOS**

En los espacios de las habitaciones no existen grandes diferencias de temperatura entre la vivienda en tabla parada y la vivienda en mampostería confinada. En la temporada lluviosa la menor temperatura de la habitación monitoreada de la vivienda en tabla parada fue de 8.5°C en comparación con las habitaciones 1 y 2 de la vivienda en mampostería que fue de 9.0°C, para la temporada seca la habitación monitoreada de la vivienda en tabla parada obtuvo una temperatura de 8.9°C en comparación con el registro de la habitación 2 de la vivienda en mampostería que obtuvo 8.4°C.

Se puede determinar que de las dos viviendas evaluadas el espacio que mayor temperatura alcanzó durante el día es la cocina de la vivienda popular, esto por el uso del fogón de leña para la preparación de los alimentos y que al estar encendido durante el día y parte de la noche funciona como generador de calor al interior de este espacio, alcanzándose para la época lluviosa una temperatura máxima de 25.1°C el día 23 de abril de 2017 a la 1:20 pm, y para la temporada lluviosa de 28.2°C el 1 de julio de 2017 a la 1:10 pm.



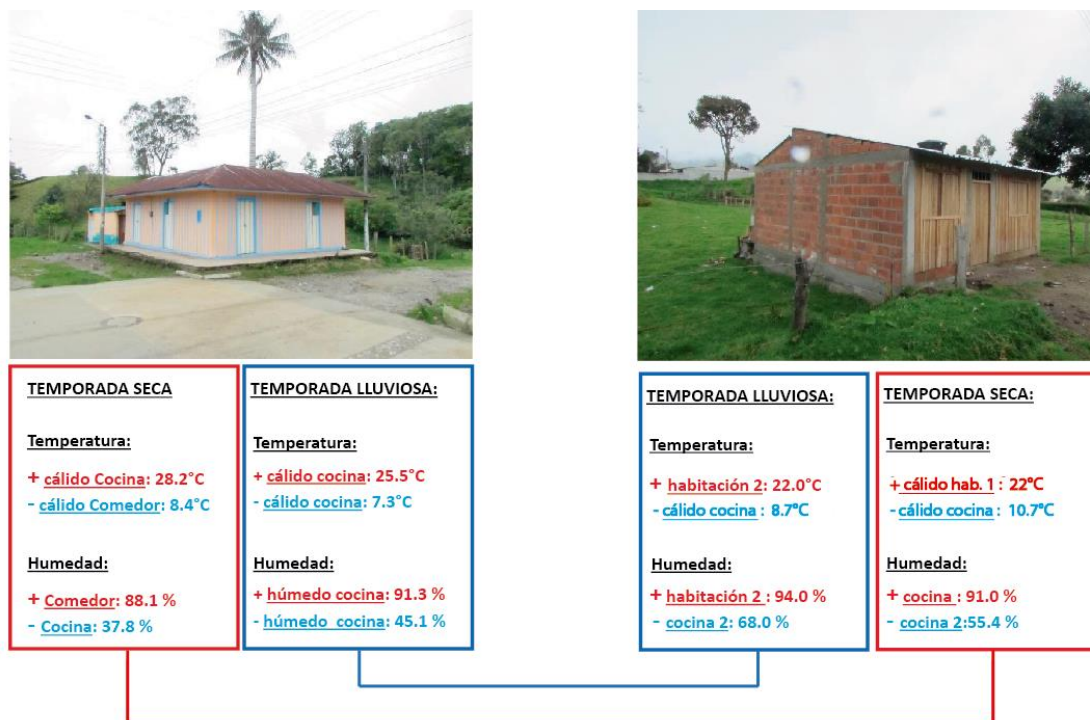


Figura 78. Comparación entre la vivienda popular y la vivienda en mampostería.

De las dos viviendas el espacio con la menor concentración de humedad es la cocina de la vivienda en tabla parada, puesto que por la generación de calor se disminuyen la humedad. Alcanzando valores por debajo del 50% de humedad durante el día.

En la temporada lluviosa la vivienda que tuvo una mayor concentración de humedad fue la vivienda en mampostería confinada 94%, en comparación con la vivienda en tabla parada 91%, esto dado a que la vivienda en ladrillos de arcilla no cuenta con aleros y acabado de ningún tipo que los protejan de la alta humedad y lluvia de la región.

Se concluye que ninguna de las 2 viviendas evaluadas, la vivienda en tabla parada y la vivienda en mampostería confinada no alcanzan a generar espacios dentro de la zona de confort para el clima frío húmedo (clasificación climática Caldas-Lang) de Murillo Tolima. Se recomienda el uso de las estrategias bioclimáticas de calefacción solar pasiva mediante invernadero adosado y la captación de radiación solar directa mediante la cubierta para intervenir y equilibrar térmicamente las viviendas evaluadas.

## **9) ESTRATEGIAS BIOCLIMÁTICAS**

## 9.1 SISTEMAS PASIVOS DE CALEFACCIÓN.

Las estrategias bioclimáticas de calefacción solar se componen básicamente de tres funciones térmicas básicas que son la captación solar, acumulación y aislamiento térmico. Este tipo de estrategias pasivas de calefacción solar se pueden dividir en sistemas activos y sistemas pasivos. Los sistemas de calefacción activos por lo general son de función única y presentan una mínima integración en la edificación. Por otra parte los sistemas pasivos tienen diversas funciones y hacen parte integral de la edificación (Yañes, 2010).

El arquitecto Guillermo Yañes **afirma que las ventajas de los sistemas pasivos frente a los activos son las siguientes:** 1) Son sistemas que se integran en el edificio formando parte de la propia construcción; 2) son económicos por su bajo costo adicional, sobre la construcción convencional, precisamente por formar parte de la misma; 3) tienen gran durabilidad, con una vida prácticamente análoga a la del propio edificio y 4) su funcionamiento es sencillo precisando solo un mínimo de mantenimiento y no requieren, salvo los sistemas híbridos, energía auxiliar para su funcionamiento.

Para realizar un edificio que aspire a obtener eficiencia energética, un menor impacto en el medio ambiente y una mejor calidad de vida para sus habitantes, es de suma importancia la incorporación de sistemas pasivos que disminuyan los gastos energéticos que se requiere para refrigerar o calentar una edificación.

Es por ello que el planteamiento de estos debe ser prioritario por encima de los sistemas activos, o en excepciones funcionar como sistemas complementarios en casos específicos en donde por la severidad del clima se requieran de combinar (Yañes, 2010).

Pero es de tener en cuenta que el aspecto urbano es fundamental para un adecuado funcionamiento de las estrategias bioclimáticas en general y entre ellas para las estrategias de calefacción solar pasivas. Puesto que si no se orientan y distribuyen las edificaciones de la mejor manera y se cumplen con requerimientos de altura para evitar demasiada sombra, no se podrá conseguir una apropiada arquitectura que trabaje con las fuerzas de la naturaleza incluyendo en estas al sol.

Por el objetivo del TFIA se describirán los sistemas de calefacción solar pasivos, los cuales se pueden catalogar en **sistemas directos e indirectos**. En los sistemas directos la captación de la energía solar la realiza el propio edificio aprovechando el efecto invernadero, a través de sus ventanas o hueco acristalados (ganancia directa). En los sistemas indirectos la transferencia se realiza a través de muros con superficies acristaladas adosadas (invernadero adosado y muro acumulador térmico), (Yañes, 2010).

Los sistemas de calefacción solar antes mencionados se describirán a continuación:

### 9.1.1 CALEFACCIÓN SOLAR PASIVA - GANANCIA DIRECTA:

El sistema de calefacción solar pasiva de ganancia directa (fig. 79) se obtiene mediante la debida orientación de las ventanas de una edificación para captar la radiación solar y acumularla en las superficies internas del recinto a calentar, las cuales deben de tener una capacidad térmica y absorción suficiente. Para compensar el balance térmico del conjunto es fundamental reducir las pérdidas de calor, especialmente en la ventana en la cual se producen las perdidas por conducción, convección radiación de onda larga y por infiltraciones, (Yañes, 2010).

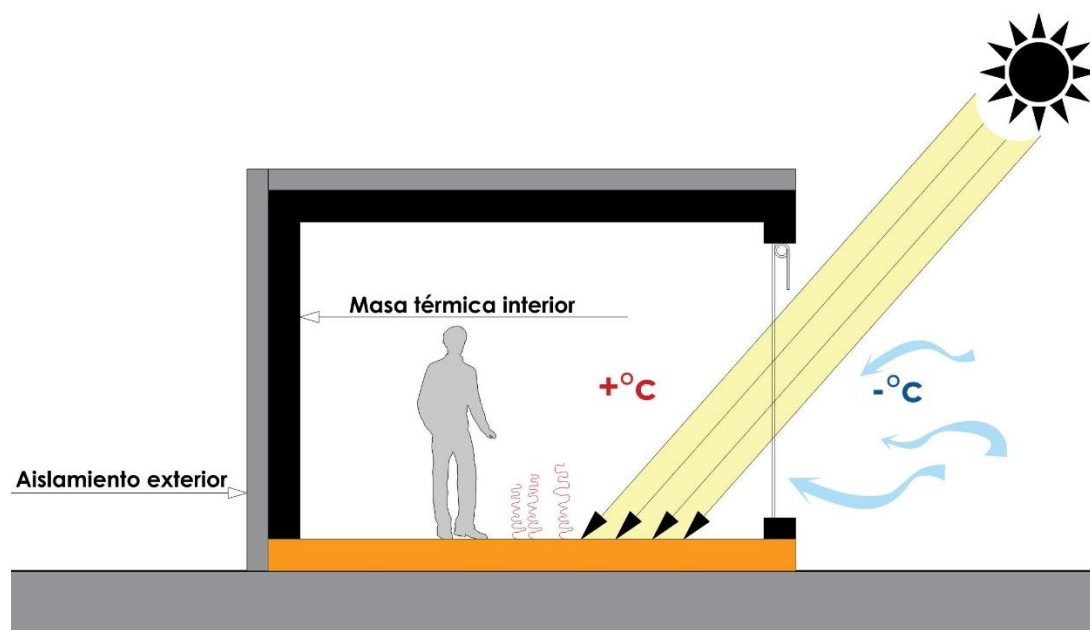


Figura 79. Ganancia directa, fuente: (Yañes G. 2010). Editado por Luis Hernández

Para obtener la ganancia directa de forma eficiente, como primera medida se debe de tener un conocimiento previo de la cantidad de radiación presente, los ángulos solares y la latitud del lugar de intervención. A partir de este conocimiento previo se debe orientar y configurar la edificación de tal forma que reciba en el plano o planos proyectados para recibir la radiación solar, la cantidad necesaria en los días o meses con necesidad de calefacción interna.

Es de aclarar que la técnica de calefacción solar pasiva mediante la ganancia directa para el caso del proyecto en realización es una de las estrategias seleccionadas para la climatización pasiva. Esta técnica se decidió aplicar a las viviendas medianeras que no cuentan con grandes áreas para disponer de un invernadero, y donde la ganancia directa será realizada mediante la cubierta por ser este el plano del edificio que para el caso del trópico se cuenta con la mayor cantidad de radiación solar al año. Se propone captar la radiación solar a través de láminas de policarbonato traslucido dispuestos en la zona social de la vivienda.

### 9.1.2 INVERNADERO ADOSADO:

El principio básico del invernadero adosado (fig. 80) es la utilización del efecto invernadero para generar calefacción solar. El muro que se designa en la edificación para disponer el invernadero debe tener gran capacidad de absorción y alta inercia térmica.

Si se diseña correctamente es posible utilizar las ventanas ubicadas en el invernadero para captar la radiación solar directa, pero es de suma importancia que estos orificio tengan contraventanas para disminuir las pérdidas de calor en las noches por la escasa resistencia térmica del vidrio.

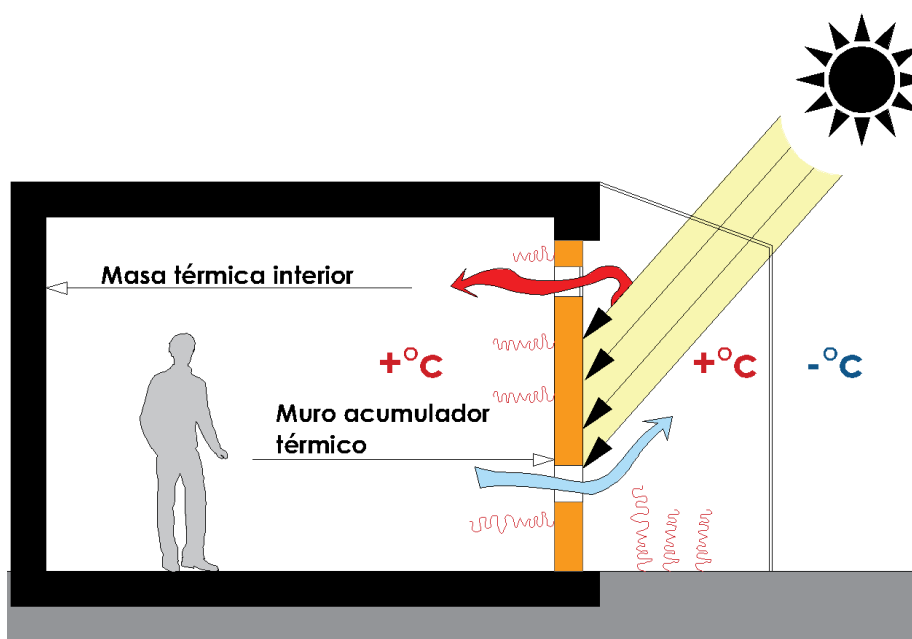


Figura 80. Invernadero adosado, fuente: (Yañes G. 2010). Editado por Luis Hernández

El arquitecto Guillermo Yañes Pararera en su libro "Arquitectura solar e iluminación natural", describe **cuatro componentes que aportan a la calefacción solar pasiva mediante invernadero adosado:**

- 1) Reducción de las pérdidas caloríficas desde el local hacia el espacio exterior debido a que la temperatura del invernadero es generalmente más alta, sobre todo cuando incide sobre el la radiación solar;
- 2) Ganancia directa a través de las ventanas situadas entre el invernadero y el espacio interior;
- 3) Pre calentamiento del aire de ventilación en la galería acristalada, el cual circula desde el invernadero hacia el interior de forma natural o forzada a través de aberturas móviles;
- 4) Absorción de calor en la superficie externa del muro, dentro del invernadero, y conducción a través de él, hacia el espacio interior.

Este sistema tiene la ventaja de tener doble función: **espacio de ingreso de la iluminación natural** al edificio, y **elemento de captación de la radiación solar** para la calefacción solar pasiva de la edificación. Se debe de tener en cuenta la ventilación natural y la protección solar del invernadero, puesto que este durante el día puede alcanzar altas temperaturas.

Para el caso de esta investigación se opta por la aplicación del invernadero adosado para el calentamiento solar pasivo de las viviendas de interés prioritario. Esto por el hecho de que los rayos solares para la latitud 4.5° norte donde se encuentra localizado el proyecto inciden mayoritariamente durante el transcurso del año de forma perpendicular a la tierra.

### 9.1.3 MURO TROMBE:

Este sistema de calefacción (fig. 81) fue diseñado por los investigadores franceses del Laboratorio de Energía Solar Mont-Louis, coordinado por el profesor Felix Trombe, en donde proponen en 1974 un sistema pasivo de calefacción llamado "Muro Trombe" o muro acumulador térmico, (Yañes, 2010).

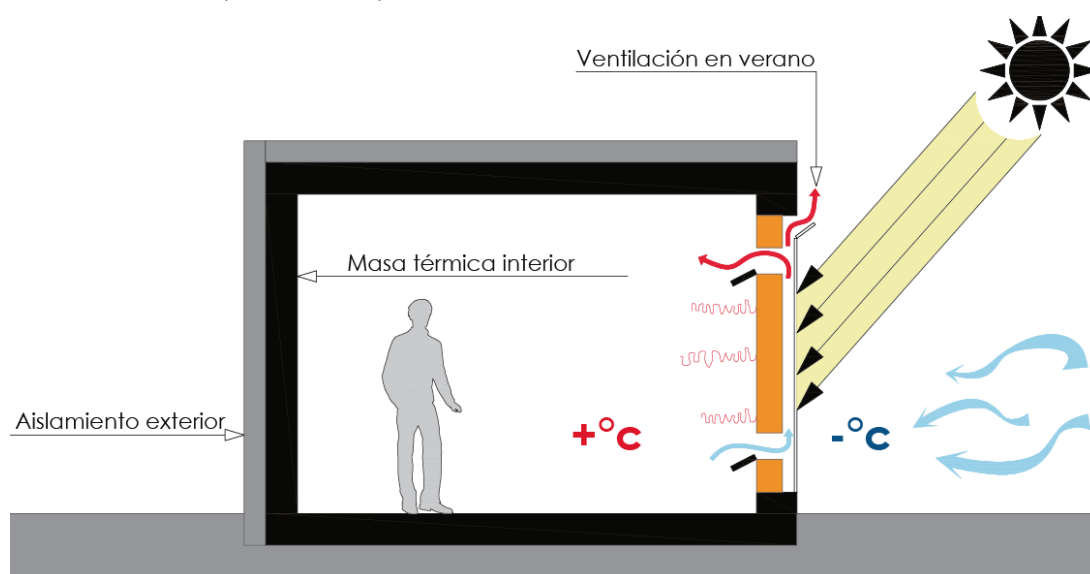


Figura 81. Muro Trombe, fuente: (Yañes G. 2010). Editado por Luis Hernández

El muro trombe (fig. 79) como fue diseñado para Mont Louis Francia latitud 42° norte, el muro se ubica en la fachada sur, la cual para esta región del planeta es la que mayor cantidad de energía solar recibe en invierno.

El muro trombe se compone del interior al exterior por un muro de gran capacidad térmica pintado en su cara externa con pintura negra, una cámara de aire de 12 cm entre el muro y una lámina de vidrio transparente externa.

El muro funciona puesto que la radiación solar captada a través del vidrio crea el efecto invernadero en la cámara de aire, el muro mediante el recubrimiento de pintura negra mejora su capacidad de absorción de la energía solar, y mediante su gran capacidad térmica funciona como un acumulador del calor captado durante gran parte del día, para así transmitirlo mediante conducción al interior del recinto cuando desciendan las temperaturas en horas de la noche.

Se ubica al muro acumulador térmico como un sistema de calefacción indirecto, esto debido a que la radiación solar no entra directamente en el espacio interno de la edificación, ya que la

energía solar que calienta el muro en su parte externa se trasmite mediante conducción a través de este, y al alcanzar la cara interna del muro el calor se trasmite mediante radiación y convección al interior del espacio a calentar.

El muro trombe también trasmite el calor al interior del recinto mediante la termocirculación generada por dos compuertas móviles ubicadas en la parte inferior y superior de la pared y que son graduables para controlar el ingreso del aire cálido al espacio interior.

### 9.1.4 MASA TÉRMICA

La masa térmica es una estrategia de climatización pasiva de edificaciones que funciona tanto para calentamiento en climas fríos como de enfriamiento en climas cálidos. Esto se debe a las propiedades de los materiales que hacen más estable la temperatura al interior de los edificios.

La definición de la masa térmica es el valor de la cantidad potencial que tiene un material para almacenar calor en su interior. Depende del volumen del material, de su densidad y del calor específico. (<https://www.thecambiumdesign.com/the-cambium-design-blog/construccion/la-inercia-termica-en-las-casas-de-madera-parte-1/>)

**masa térmica**  
kJ/K (ó kJ/m<sup>3</sup>·K, mt por ud de volumen)

$$m_t = V \cdot \rho \cdot c^e$$

volumen m<sup>3</sup>      densidad kg/m<sup>3</sup>      calor específico kJ/kg·K

Figura 82. Masa térmica, fuente: (<https://www.thecambiumdesign.com/the-cambium-design-blog/construccion/la-inercia-termica-en-las-casas-de-madera-parte-1/>)

**CONDUCTIVIDAD TÉRMICA:** es la facilidad con que el calor puede viajar a través de un material.

**DENSIDAD:** masa por unidad de volumen de un material. Materiales con una densidad alta.

**CALOR ESPECÍFICO:** capacidad de un material para almacenar calor por cada kilogramo de masa. Es un valor alto en un material.

MATERIALES CON MASA TÉRMICA			
Material	Densidad (Kg/m <sup>3</sup> )	Calor especifico (KJ/Kg.K)	Capacidad térmica volumétrica Masa termica (KJ/m <sup>3</sup> .K)
Agua	1000	4.186	4186
Concreto	2240	0.920	2060
Ladrillo	1700	0.920	1360
Piedra	2000	0.900	1800
Adobe	1550	0.837	1300
Tierra apisonada	2000	0.837	1673

Tabla 6. Materiales con masa térmica, fuente: Manual de Diseño Pasivo y Eficiencia Energética en Edificios Públicos.

Para el calentamiento pasivo de una edificación la implementación de la masa térmica se complementa con la estrategia de captación solar, el trabajo en conjunto de estas dos técnicas consigue primero que todo captar la radiación solar mediante invernaderos o ventanas debidamente orientadas y luego mediante la capacidad térmica de los materiales acumular el calor captado al interior de estos, para luego ser aportados al ambiente interior cuando las temperaturas descienden.

Algunas investigaciones (Yañes, 2010) definen que las condiciones para obtener una óptima acumulación térmica en los materiales son:

- 1) Alta absorción: ( $\alpha = 0.8-0.9$ )
- 2) Alta conductividad térmica  $K$
- 3) Alta capacidad térmica: depende del calor específico  $C$  y de la densidad del material  $\rho$ .



Figura 83. Sede de Gobierno de la ciudad de Buenos Aires Argentina. Diseñador: Arq. Norman Foster. Fuente: <https://www.buenosaires.travel/sede-del-gobierno-de-la-ciudad-de-buenos-aires/>.

La capacidad de acumulación de calor de los materiales permite la atenuación de las fluctuaciones de temperatura entre el interior y el exterior de un edificio. Conservando así la temperatura de los recintos constante durante un gran número de horas al día. Un ejemplo de esto es la sede de gobierno de la ciudad de Buenos Aires Argentina, en donde se aprovecha la masa térmica del hormigón expuesto para estabilizar la temperatura interna del edificio (fig. 83)

Para que el funcionamiento de la acumulación térmica de los materiales sea apropiado debe existir suficiente espesor en los materiales de construcción. En materiales pétreos como la roca o el concreto el espesor debe ser de por lo menos 150mm a 200mm, también en materiales arcillosos el espesor debe de ser de 150mm a 200mm como mínimo. (Yañes, 2010).



# **10) PROPUESTAS ARQUITECTÓNICAS**

**VIVIENDAS DE INTERES PRIORITARIO**

## 10.1 INTRODUCCIÓN

Las propuestas arquitectónicas se centran en el diseño de 2 prototipos de **VIP en lote propio**, adecuados a dos tipos de lotes presentes en el municipio de Murillo Tolima, **lotes medianeros** (fig. 84) y **lotes aislados** (fig. 85). Esta variedad de terrenos surge debido a la modalidad de financiamiento que actualmente está implementando la alcaldía municipal para la construcción de **VIP**, la cual selecciona familias que cuenten con lote propio y necesidades socio-económicas con el fin de financiar la construcción de una **VIP**.

Se propone una arquitectura domestica adaptada al clima frio húmedo, clasificación climática Caldas-Lang, presente en el municipio de Murillo, Tolima – Colombia. Para implementar las estrategias bioclimáticas se analizaron los datos climáticos del lugar de estudio en el diagrama psicrométrico (capítulo 8) y se determinaron el uso de la captación de la radiación solar mediante invernaderos y el uso de la masa térmica para acondicionar pasivamente las condiciones climáticas de los módulos habitacionales, la dos propuestas arquitectónicas incorporan un **componente de progresividad y flexibilidad** en el diseño arquitectónico para así brindar la posibilidad de ampliar la vivienda en el tiempo por sus habitantes según sus necesidades, y capacidad económica. La arquitectura propuesta en la presente investigación nace del pensamiento de que todo proyecto físico espacial debe de adaptarse a las condiciones climáticas de su entorno y se suma a las ideas del arquitecto Mexicano Enrique Ortiz en entender la vivienda social como un proceso de desarrollo en el tiempo y no como un producto terminado.



Figura 84. Lote medianero para la construcción futura de VIP en lote propio. Foto: Luis Hernández



*Figura 85. Construcción de VIP Murillo en lote aislado. Foto: Luis Hernández*



*Figura 86. Vista general del municipio de Murillo-Tolima, Foto: Luis Hernández*

A continuación se describirán los dos prototipos de **VIP** en lotes propios diseñados para Murillo Tolima, Colombia, mediante criterios bioclimáticos y un componente de progresividad y flexibilidad en el tiempo. :

## 10.2 VIP EN LOTE PROPIO MEDIANERO

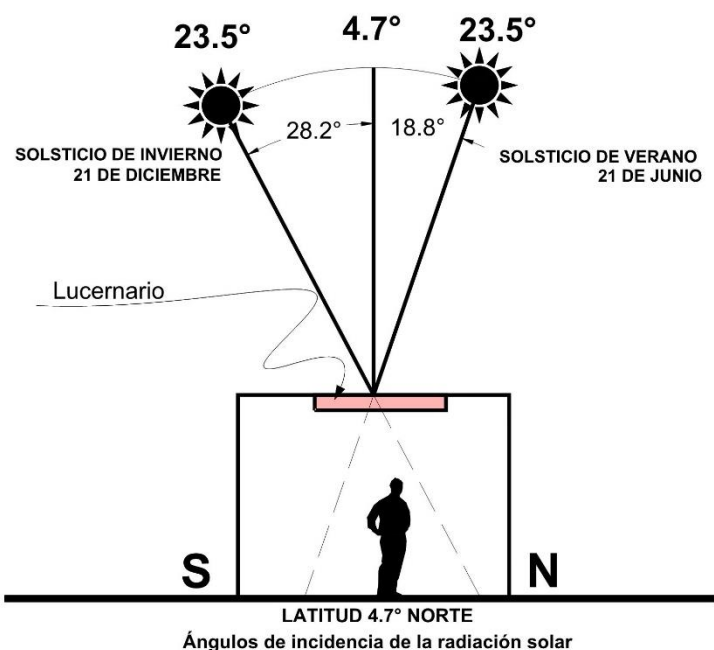
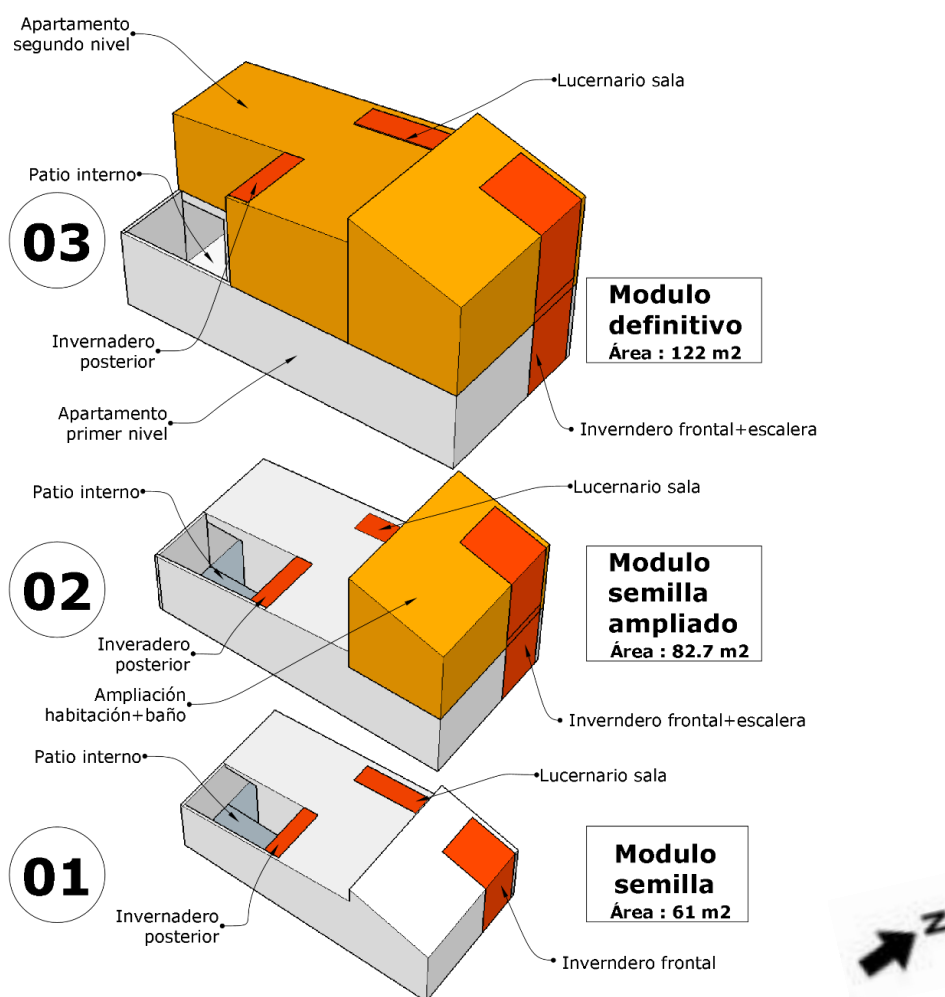


Figura 88. Ángulos de incidencia de radiación solar. Mediante geometría solar se determina que la forma más eficiente de captar la radiación solar es por cubierta. Fuente Luis Hernández

La propuesta arquitectónica de **VIP en lote propio medianero** (fig. 89) está pensada para un contexto urbano de baja densidad como lo es el municipio de Murillo Tolima, en un lote medianero tipo de 6mx12m, con un área 72 m<sup>2</sup>. La orientación del lote está definida por la retícula urbana del municipio de Murillo Tolima, Colombia.

La propuesta arquitectónica inicia con un **módulo semilla de 61 m<sup>2</sup>** que se compone de dos habitaciones, sala comedor, 1 baño, 1 cuarto de ropas, 2 invernaderos, uno en el acceso y otro en la parte posterior, el **modulo semilla se puede ampliar hasta los 82,7m<sup>2</sup>** sumando 1 habitación y un baño en un segundo nivel.

El diseño arquitectónico está planificado para realizar una **ampliación a futuro hasta obtener dos niveles con un área total de 122 m<sup>2</sup>**, incorporando la **posibilidad de albergar 2 apartamentos de dos habitaciones**, sala comedor, cuarto de pilas y 1 baño. En la vivienda se aplican las modalidades de crecimiento progresivo tipo **semilla y mejorable**, partiendo de un **módulo semilla sin acabados de ningún tipo** se propone disminuir costos en la construcción y la posibilidad de crecimiento en el tiempo, dejando los acabados y la pintura de la vivienda a cargo de sus habitantes. El diseño arquitectónico posibilita una tipología arquitectónica que puede generar a futuro un ingreso económico para el hogar a través del arriendo de uno de los apartamentos o el alquiler para visitantes en las temporadas turísticas de la región.

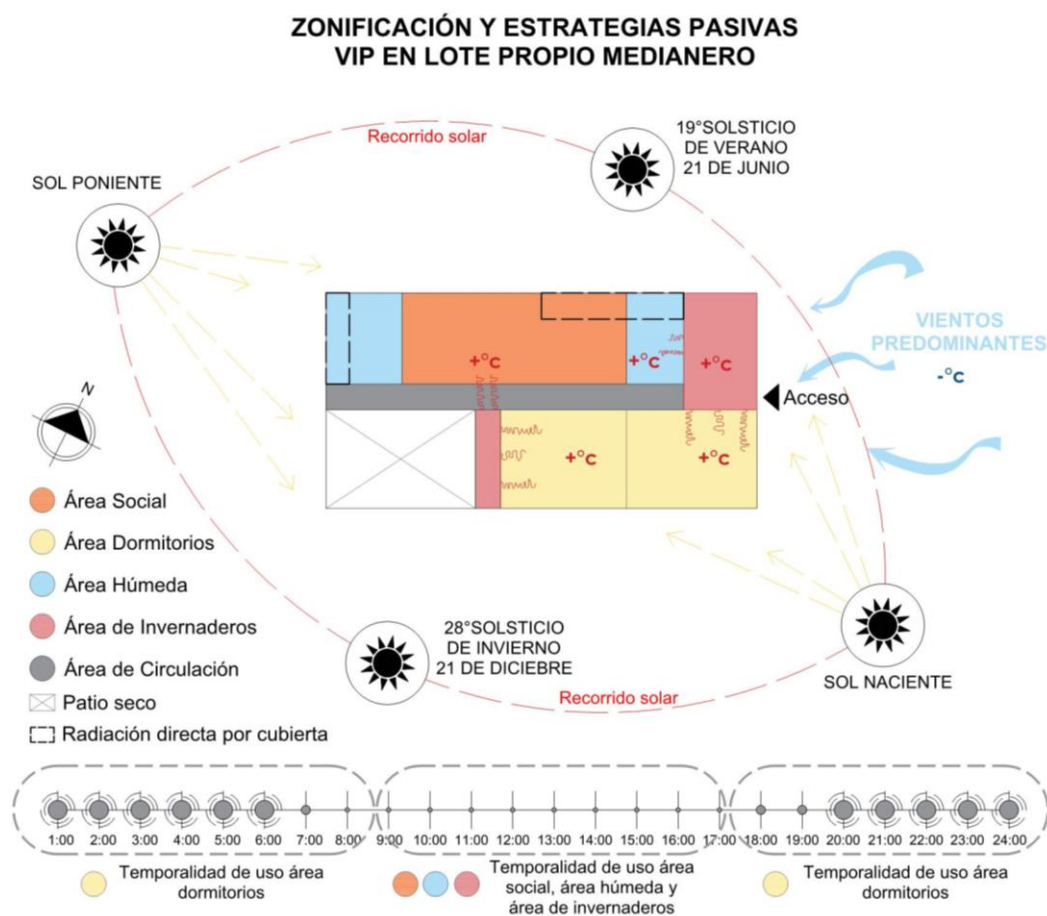


Figura 89. Zonificación espacial y estrategias pasivas VIP en lote propio medianero. Fuente: Luis Hernández




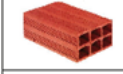
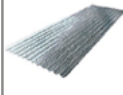

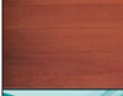


VIP EN LOTE MEDIANERO				Espesor m	Conductividad T K= $\text{w/m}^2\text{°C}$	Resistencia T R= $\text{m}^2\text{°C/w}$	
ELEMENTO	ESTRATEGIA BIOCLIMATICA	DETALLES	OBSERVACIONES				
	PISO	Aislamiento térmico	Con piedras, aire y madera	Evita el ascenso de humedad y descenso de calor	0,04	0,05	0,08
	MUROS	Alta masa térmica	Muros de arcilla 12cmx20cmx40cm.	Acumula, conserva y transfiere calor.	0,24	0,76	0,32
	TECHO		Aislamiento térmico con fibra de vidrio.	Lucernarios ubicados en baño, cuarto de lavado y sala captan la energía solar, durante la noche se evitan pérdidas de calor mediante aislamiento térmico.	0,03	113	0,00027
	CIELO RASO	Aislamiento térmico	Cielo raso móvil.	Capta radiación solar en el día y evita pérdidas de calor en la noche.	0,02	0,05	0,4
	PUERTAS	Aislamiento térmico	Madera maciza	Espacios en general.	0,04	0,05	0,08
	VENTANAS	Vidrio traslucido	Ventana en vidrio y contra ventana en madera	Agrega calor a los dormitorios. Aísla térmicamente durante la noche.	0,04	1	0,04
	INVERNADERO	Captar radiación solar y generar efecto invernadero para incrementar la temperatura de la vivienda	Superficies horizontales y verticales en policarbonato	Capta radiación solar en el día, se evita pérdidas de calor en la noche mediante persianas móviles.	0,006	0,218	0,027

Tabla 7. Materiales constructivos y estrategias bioclimáticas - VIP en lote propio medianero. - Tabla basada en la ficha técnica de estrategias bioclimáticas del Ministerio de Control y Saneamiento del Perú. Fuente: propiedades de los materiales ASHRAE, Salas, A., 2013. Editado por Luis Hernández.

Los muros internos se proponen en ladrillos de arcilla huecos de 12cm de espesor los cerramientos se proponen en doble ladrillo de arcilla hueco de 12 cm de espesor para un total de 24cm, el piso en madera se aísla mediante una cámara de aire, se establece la madera como material aislante para las puertas y cielo raso de la vivienda, se propone una capa de aislante térmico de fibra de vidrio de 2" para los tapicheles, el policarbonato es el material utilizado para los invernaderos y lucernarios que tienen como función captar y calentar pasivamente la vivienda mediante la energía solar (tabla 7). Las ventanas utilizan un vidrio exterior y una contraventana interior de madera, este detalle constructivo permite iluminar naturalmente las habitaciones durante el día y aislarlas en las noches de las bajas temperaturas del lugar (fig. 90).

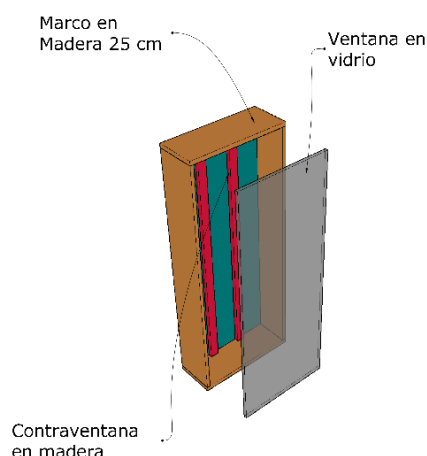


Figura 90. Detalle ventanas vivienda. Ventana en vidrio y contraventana en madera. Fuente: Luis Hernández

### 10.2.1 VIP EN LOTE PROPIO MEDIANERO- MODULO SEMILLA

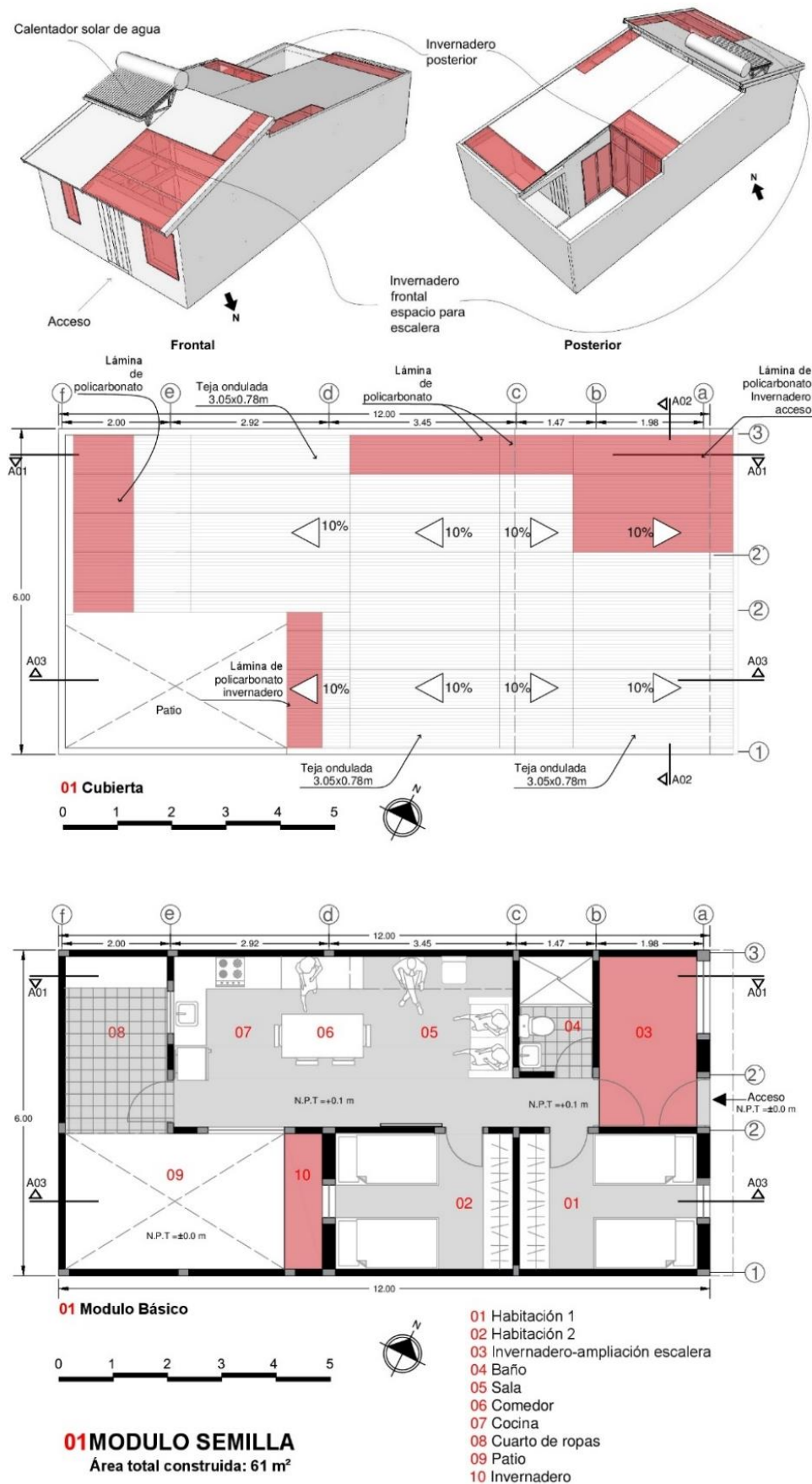


Figura 91. Isométricos y plantas arquitectónicas del Módulo Semilla. Elaborado por: Luis Hernández

El modulo semilla es una vivienda de 61 m<sup>2</sup> construidos en un lote de 6mx12m (fig. 91), el sistema constructivo propuesto es el de mampostería confinada según la Norma Sismo Resistente 2010 (NSR10) (fig. 92 – 93). La vivienda incorpora un invernadero frontal que cumple la doble función de generar la calefacción pasiva para la habitación 1, y a la vez se piensa esté como el espacio destinado a la circulación vertical en caso de requerirse una ampliación en un segundo nivel, en el baño se renueva el aire mediante ventilación cruzada desde el invernadero y se ilumina cenitalmente desde la cubierta. La sala-comedor se ilumina y ventila naturalmente mediante el patio interno y la cubierta, se ubica un segundo invernadero de menor área en el patio y cumple la función de calentar pasivamente la habitación 2.

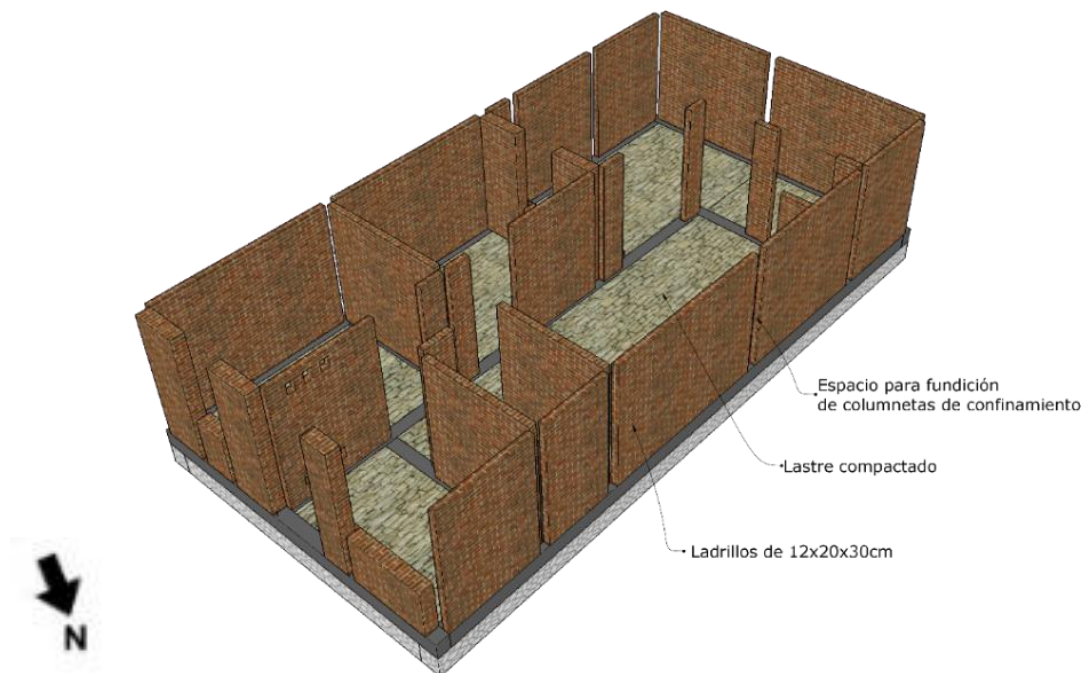


Figura 92 Primeramente se realizan las vigas de cimentación y contra pisos, posteriormente se erigen los muros divisorios. Fuente: Luis Hernández.

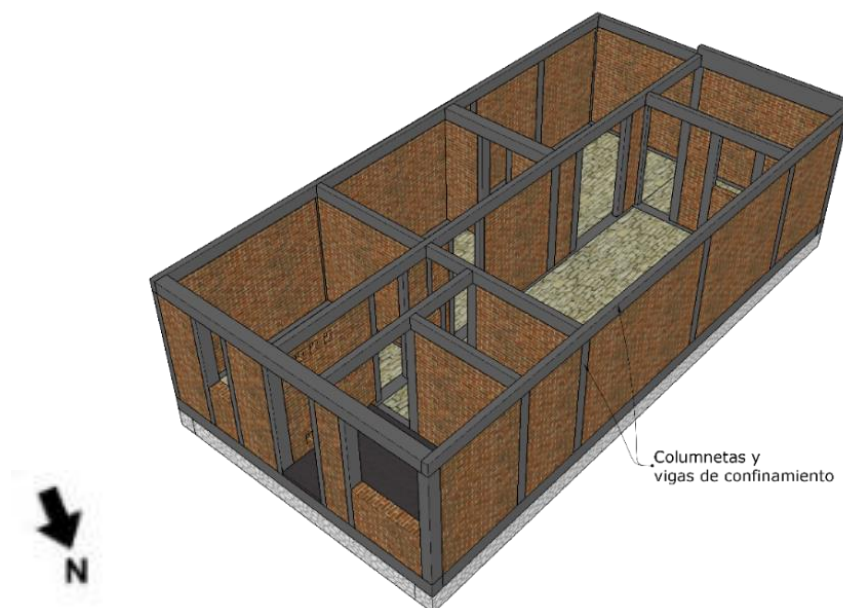


Figura 93. Sistema constructivo mampostería confinada - columnas y vigas de confinamiento en concreto reforzado. Fuente: Luis Hernández





Figura 94. Sistema constructivo mampostería confinada + trapicheles de madera pernados a la viga superior de concreto reforzado. Fuente: Luis Hernández.

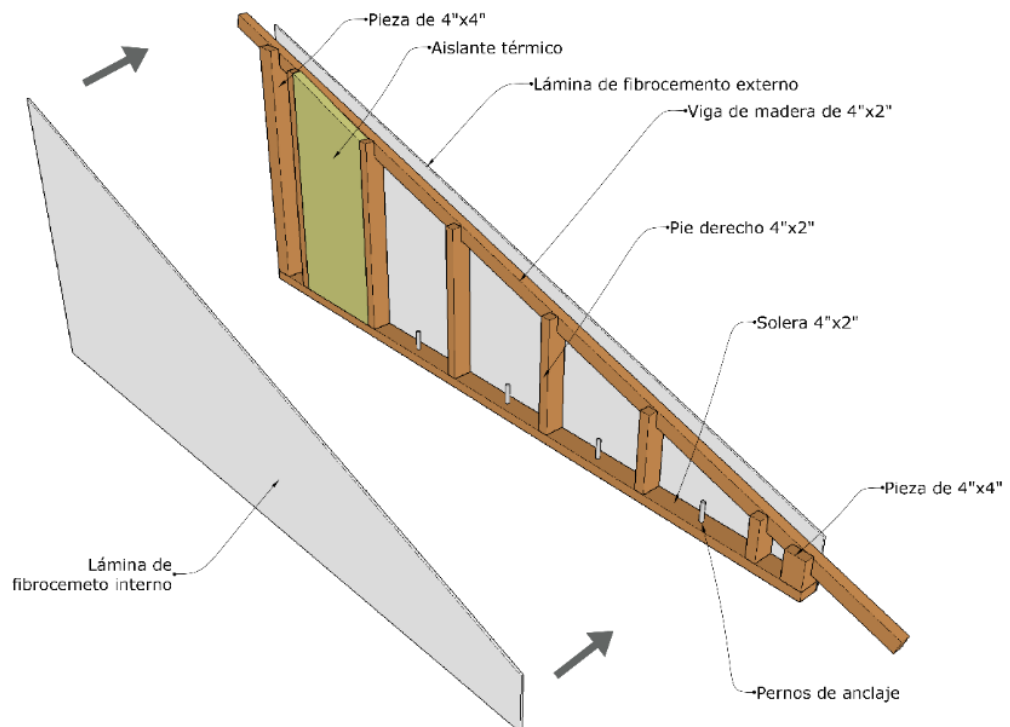


Figura 95. Detalle tapichel. Fuente: Luis Hernández.

Se propone una estructura en mampostería confinada incorporando una viga superior con pernos de anclaje para atornillar y fijar los trapicheles de estructura de madera de 4"x2" más

aislante térmico (fig. 94 – 95), el objetivo de incluir los pernos de anclaje es el de poder montar y desmontar los trapicheles con el fin de que la vivienda crezca de forma vertical mediante la construcción de un segundo nivel. Con este detalle se facilita la ampliación de la vivienda en el tiempo.

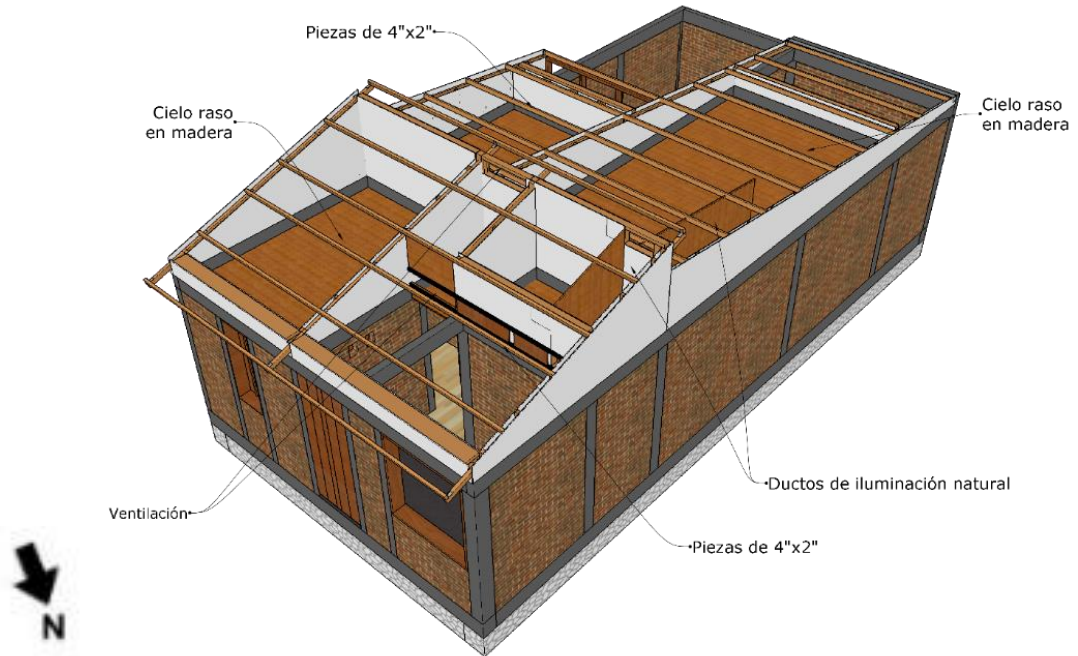


Figura 96. Vista general cielo raso y ductos de iluminación - VIP en lote medianero. Fuente: Luis Hernández

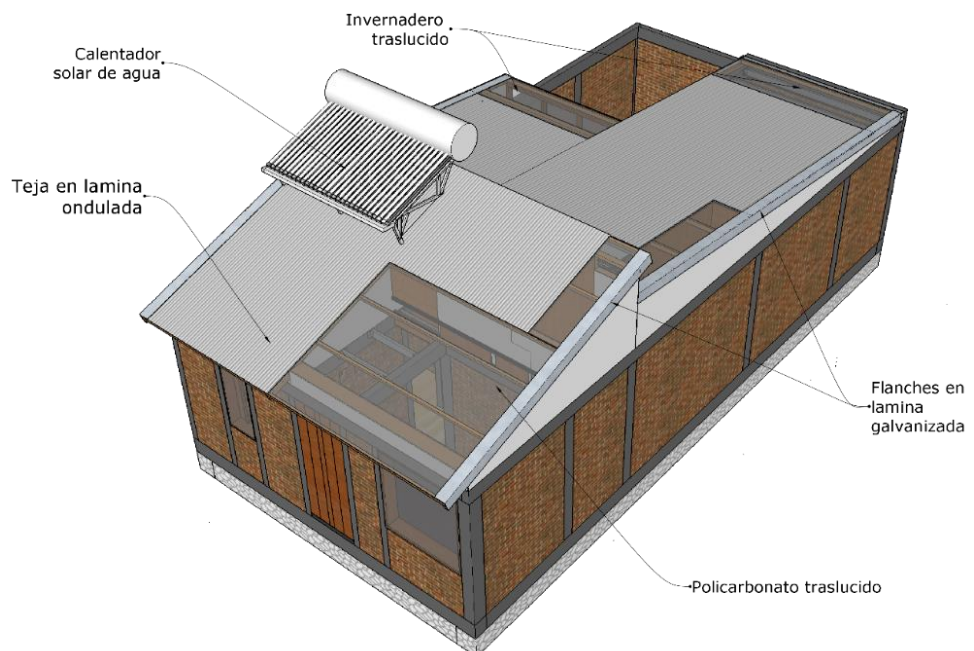


Figura 97. Volumetría final VIP en lote medianero. Fuente: Luis Hernández

La vivienda diseñada se propone para lotes existentes medianeros de 6mx12m con una rotación de 27° con respecto al norte. La vivienda medianera se propone en el sistema

constructivo de mampostería confinada en ladrillos de arcilla de 12cmx20cmx40cm, los ladrillos de arcilla son un material predominante y de fácil adquisición en el municipio.

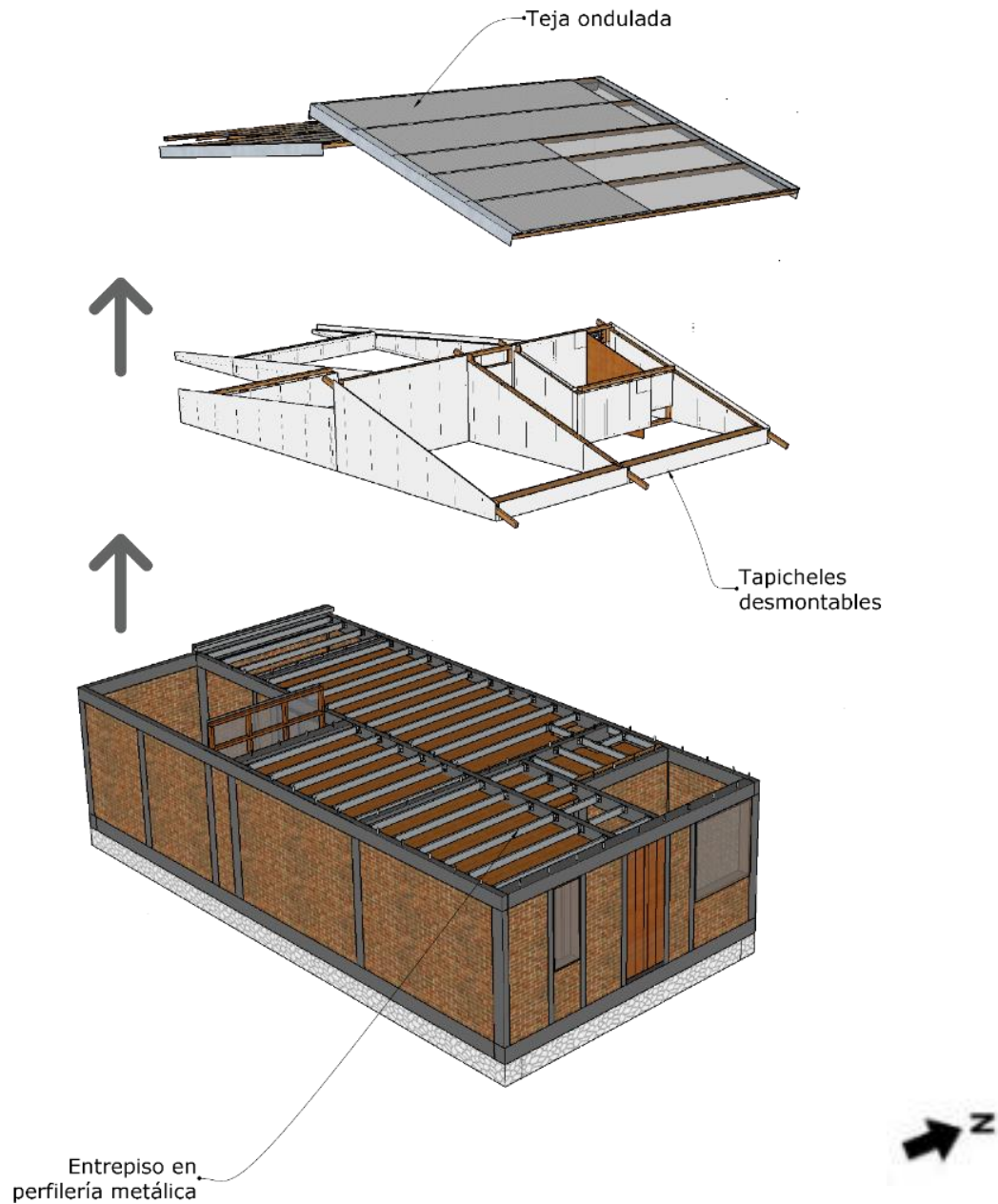


Figura 98. Estructura de cubierta móvil - crecimiento en altura. Fuente: Luis Hernández

La cubierta de teja de zinc ondula se ancla a la estructura de cubierta mediante tornillos-auto perforantes de neopreno. La cubierta y los tapicheles se diseñan para que se puedan desmontar y así hacer posible el crecimiento de la vivienda en altura (fig. 98). Se propone para el segundo nivel un entrepiso en concreto reforzado mediante láminas de metaldeck y un acabado en madera que funciona como aislante térmico.





Figura 99. Fachada principal VIP en lote medianero. Fuente: Luis Hernández

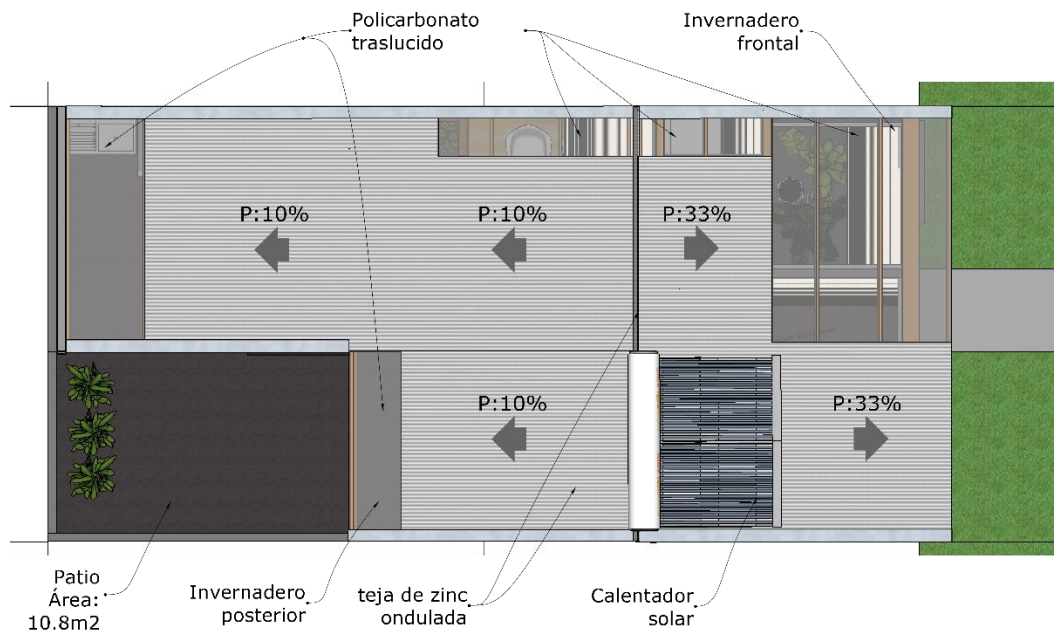
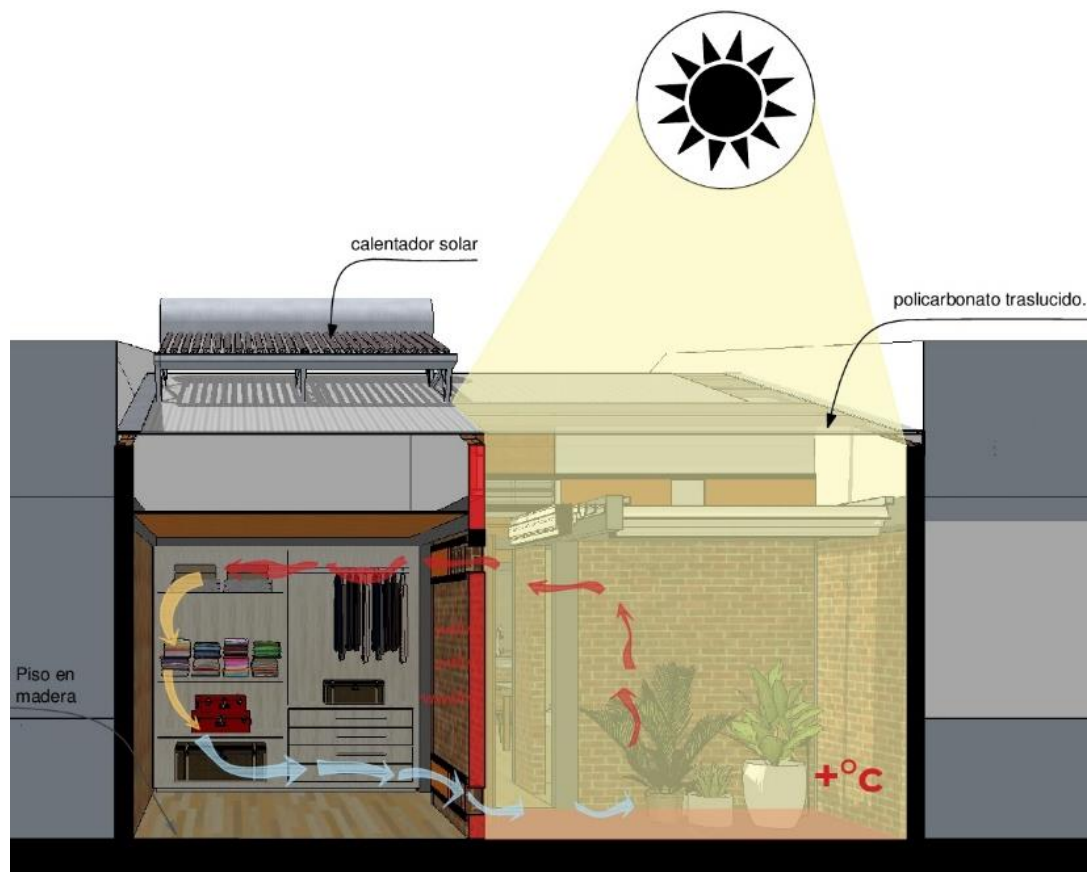
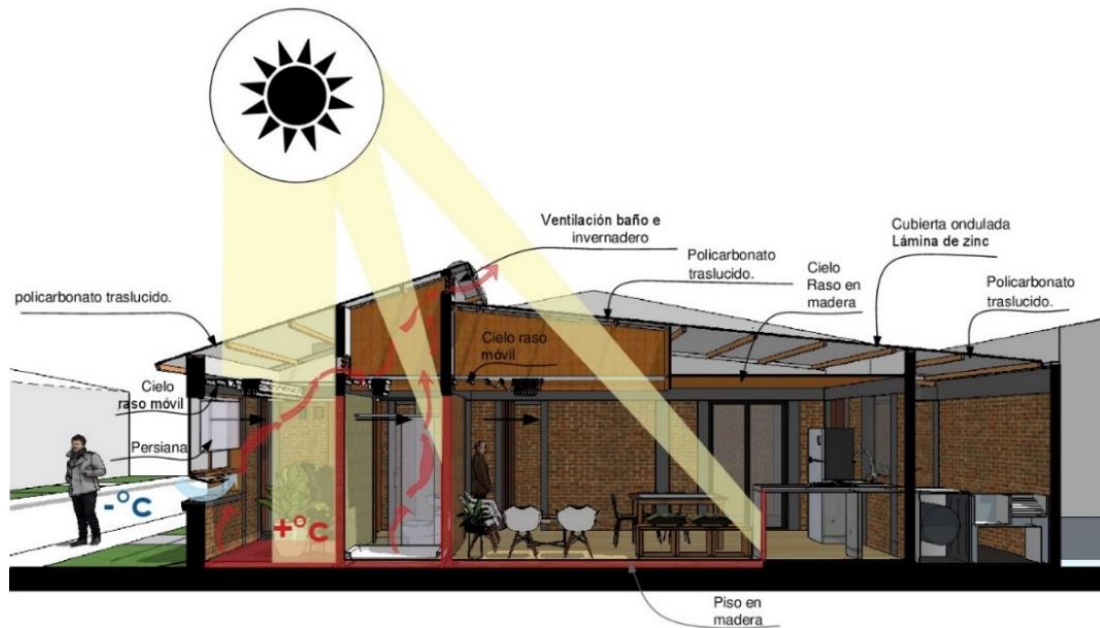


Figura 100. Cubierta ambientada VIP en lote medianero. Fuente: Luis Hernández

El objetivo de ubicar muros dobles de 24 cm en las fachada frontal y posterior es el de generar alta masa térmica y un alto aislamiento ante las inclemencias climáticas del exterior, los muros laterales se proponen sencillos de 12 cm puesto que estos tienen colindancia con las edificaciones existentes y con la suma de estos se genera mayor masa y aislamiento térmico al interior de la vivienda.



Las aberturas inferiores y superiores de la pared que divide la habitación 1 del invernadero frontal, sirven como mecanismo de termo-circulación del aire entre el espacio del invernadero y la habitación 1 (fig. 102), circulando así el aire caliente del invernadero hacia la habitación

mediante los orificios superiores y el aire frío mediante los orificios inferiores, también se genera transmisión térmica de la temperatura a través del muro.

Los invernaderos utilizan una persiana plegable horizontal que se usa manualmente, la cual se extiende en hora de la noche para evitar pérdidas de energía a través del policarbonato, y se abre en el día para captar la radiación solar y permitir generar el efecto invernadero para incrementar la temperatura de la vivienda.



Figura 103. Sección A03. Corte bioclimático. Fuente: Luis Hernández

A través de la termocirculación del aire caliente del invernadero posterior mediante aberturas superiores e inferiores en el muro se genera calefacción solar pasiva para la habitación 2 (fig. 103), adicionalmente se realiza transmisión térmica mediante conducción térmica desde el invernadero hacia la habitación mediante los muros de arcilla.



## 10.2.2 VIP EN LOTE PROPIO MEDIANERO- MODULO SEMILLA + AMPLIACIÓN FRONTAL



Figura 104. Planta arquitectónica e isométricos del Módulo Semilla en lote medianero+ habitación principal con baño privado en segundo nivel. Fuente: Luis Hernández



El modulo semilla se incrementa de forma vertical 21.7m<sup>2</sup>, posibilitando la construcción de una habitación principal más un baño, esto con el fin de incluir en la propuesta arquitectónica la capacidad de la vivienda de adaptarse a una familia con cuatro o más integrantes (fig. 104).

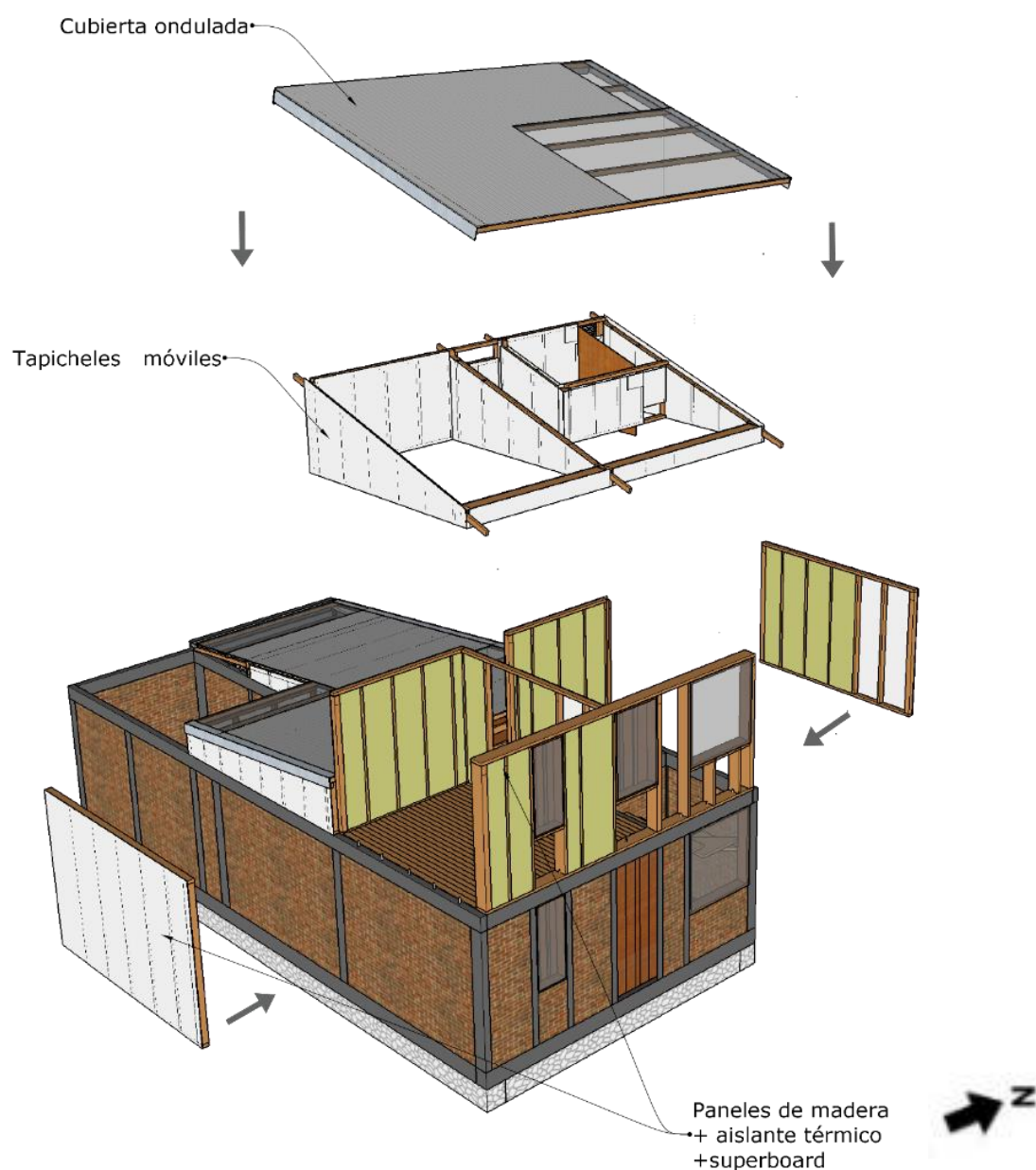


Figura 105. Se propone para el segundo nivel paredes laterales y divisiones interiores en módulos de madera más aislante térmico y cerramientos en fibrocemento y madera. Fuente: Luis Hernández

Se proponen para el segundo piso paredes en módulos de madera más aislante térmico y láminas de fibrocemento, las paredes externas que se ubican hacia la calle y el patio lateral tienen un espesor de 23 cm con el fin de generar mayor aislamiento de la intemperie y las inclemencias del clima (fig. 105). Se propone una arquitectura de base rígida y segundo nivel liviano, forma y estructura que es más eficiente frente a las amenazas sísmicas del territorio, que según el mapa sísmico de Colombia se encuentra en una región que es transición de medio a alto riesgo sísmico.



Figura 106. Fachada frontal modulo semilla ampliado. Fuente: Luis Hernández



Figura 107. Sección A01. Fuente: Luis Hernández

Se incluye un ducto de ventilación e iluminación natural para el baño del piso 1, se ilumina naturalmente el baño del piso dos mediante un lucernario, se ventila el núcleo de los baños

mediante una persiana superior que sirve como estrategia bioclimática de ventilación natural cruzada (fig. 107).

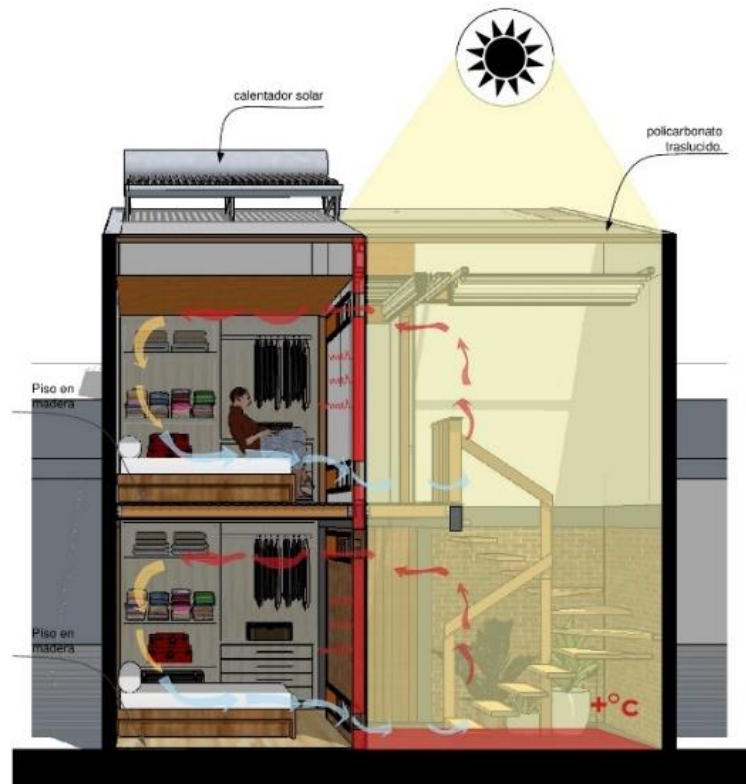


Figura 108. Sección A02. Fuente: Luis Hernández



Figura 109. Sección A03. Fuente: Luis Hernández

El espacio de la escalera se aprovecha como invernadero para la calefacción de las habitaciones frontales del piso 1 y 2, a su vez la calidad espacial del acceso de la vivienda se mejora con la doble altura sobre la escalera y el piso de vidrio del pasillo del piso 2 (fig. 108).

### 10.2.3 VIP EN LOTE MEDIANERO- MODULO SEMILLA + APARTAMENTO



Figura 110. Isométricos y plantas arquitectónicas de la VIP en lote medianero + apartamento en el segundo nivel. Fuente: Luis Hernández



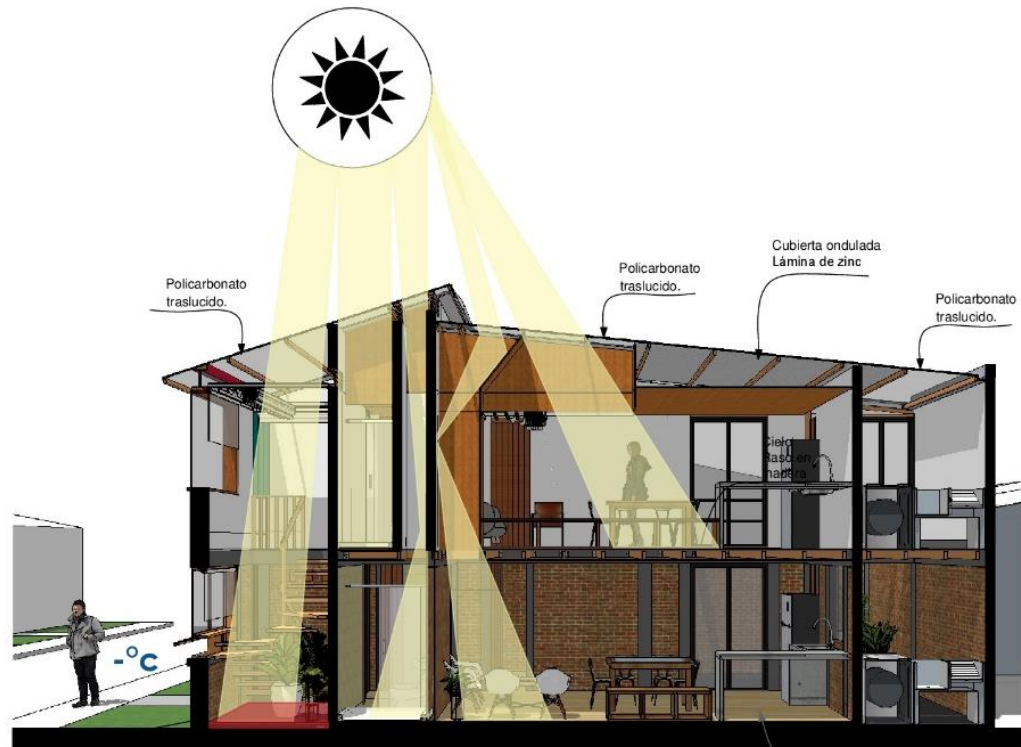


Figura 111. Sección A01. Fuente: Autor

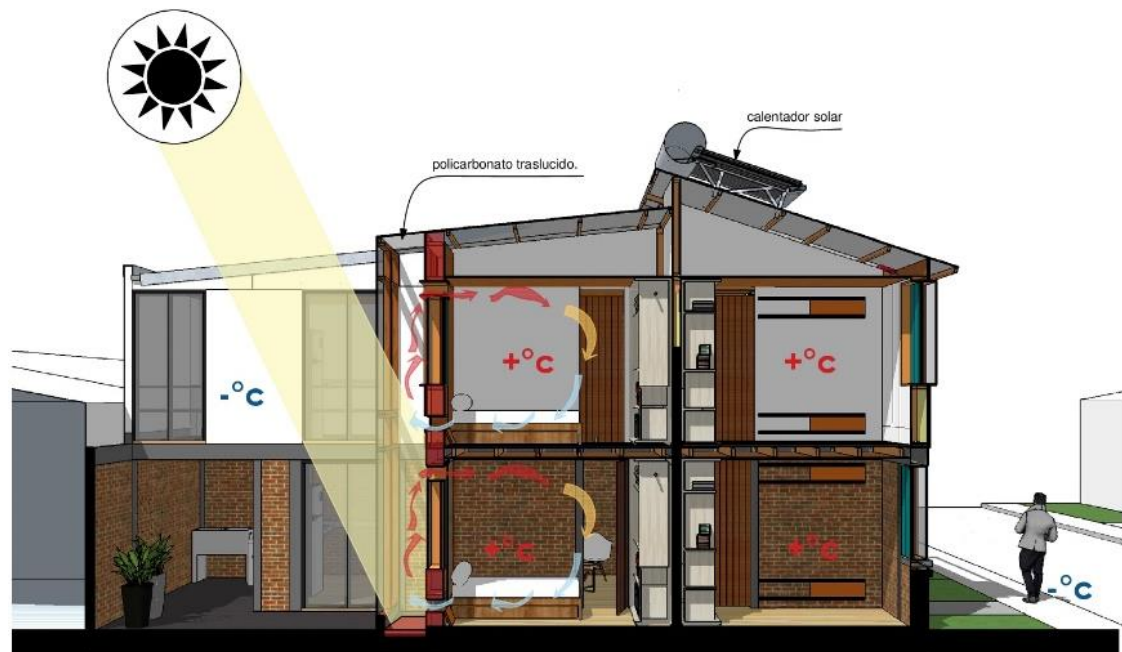


Figura 112. Sección A01. Fuente: Luis Hernández.

Se proyecta un apartamento de dos habitaciones réplica del apartamento del piso 1 con unas mínimas modificaciones referidas a dos ductos de ventilación e iluminación ubicados en el baño y la sala. Los espacios que tienen una relación directa con la cubierta se proponen con cielo raso en madera más aislante térmico para así proteger los recintos de las bajas temperaturas del exterior (fig. 111-112).

## 10.2.4 REPRESENTACIÓN VIRTUAL



Figura 113. Perspectiva frontal 1. VIP en lote medianero - modulo semilla. Fuente: Luis Hernández.



Figura 114. Perspectiva frontal 2. VIP en lote medianero - modulo semilla. Fuente: Luis Hernández.



Figura 115. Perspectiva frontal 2. VIP en lote medianero - modulo semilla. Fuente: Luis Hernández.

Se propone una vivienda compacta a dos aguas con un patio lateral. Las cubiertas se desfasan con el fin de conseguir iluminar y ventilar el baño, se propone un calentador solar en la cubierta frontal con el objetivo de calentar el agua mediante la energía renovable del sol.

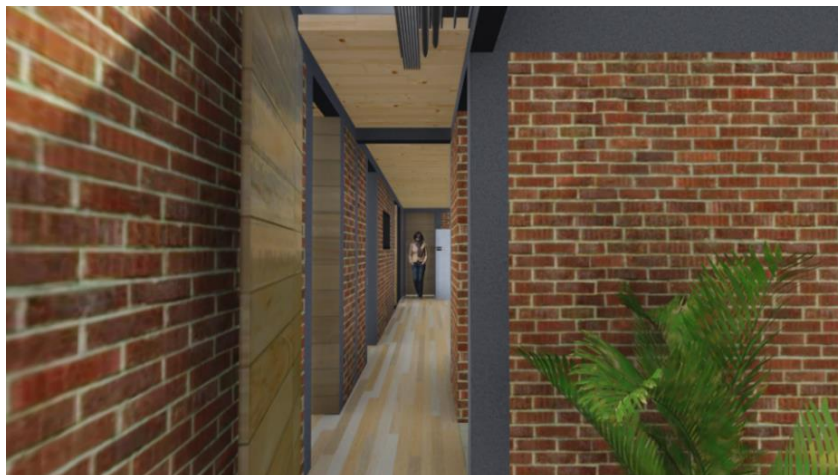


Figura 116. Vista del acceso a la vivienda. Fuente: Luis Hernández



Figura 117. Vista del Baño e Invernadero frontal. Fuente: Luis Hernández

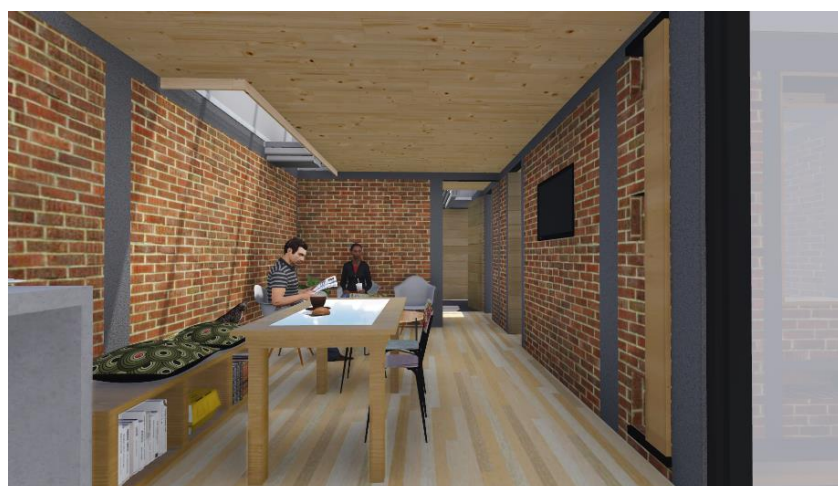


Figura 118. Vista de la zona social. Fuente: Luis Hernández

Al ingresar a la vivienda se pasa primero por el espacio del invernadero frontal, propiciando así una sensación térmica agradable por las diferencias de temperatura entre el exterior más frío y el interior de la vivienda más caliente. Se propone el espacio social con vista al patio interior y se ubica allí un lucernario móvil con el fin de controlar la cantidad de iluminación natural y calefacción solar mediante la captación de la radiación solar por cubierta.





Figura 119. Vista de la Habitación 2. Fuente: Luis Hernández



Figura 120. Vista del patio y del invernadero posterior. Fuente: Luis Hernández



Figura 121. Vista del patio de ropas y la zona social. Fuente: Luis Hernández

La cocina y comedor se integran al patio mediante una puerta batiente de 1.4m. El 50% de la cubierta del cuarto de lavado se propone en policarbonato traslucido y el espacio se integra directamente al patio, de esta forma se captan los rayos solares y se optimiza la calidad en el secado de la ropa.





Figura 122. Vista de la ampliación de la habitación frontal - segundo nivel. Fuente: Luis Hernández

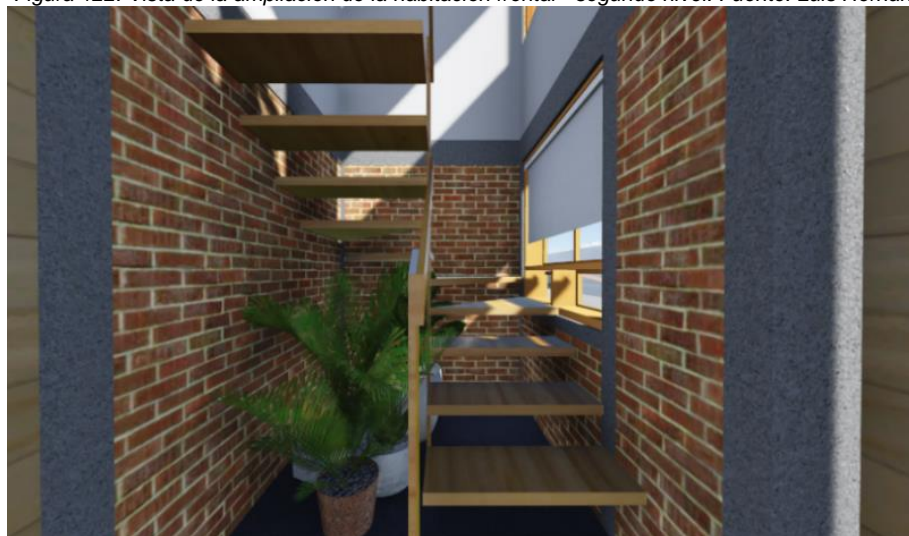


Figura 123. Vista de la escalera invernadero – circulación vertical e invernadero. Fuente: Autor



Figura 124. Espacio de escalera - invernadero, piso en vidrio - segundo nivel. Fuente: Autor



Figura 125. Baño y escalera invernadero segundo nivel .Fuente: Luis Hernández



Figura 126. Escalera invernadero, segundo nivel. Fuente: Luis Hernández

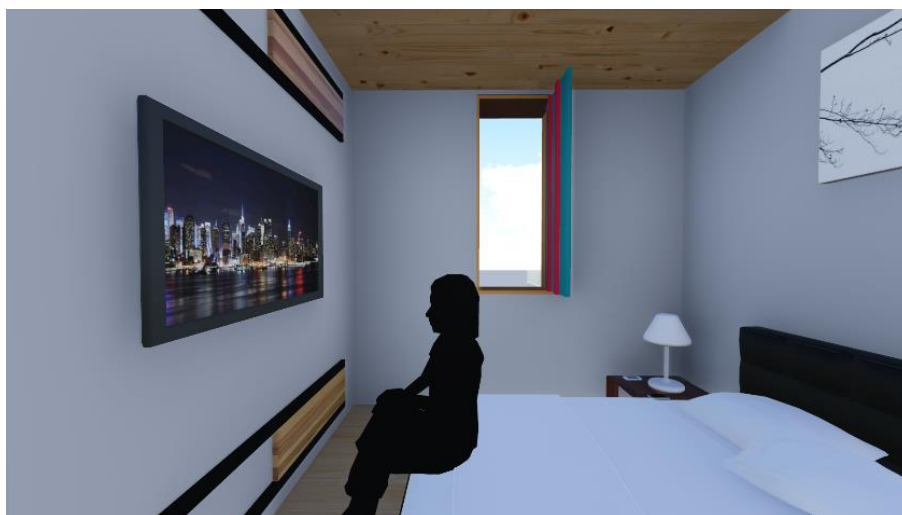


Figura 127. Habitación 1 apartamento segundo nivel. Fuente: Luis Hernández

Dado el caso de requerirse la ampliación en la vivienda, el invernadero frontal al convertirse en circulación vertical se convierte en un espacio de llegada que enriquece la calidad espacial y funcionalidad de la vivienda, se utilizan en las habitaciones ventanas dobles en madera y vidrio para generar así un mayor aislamiento del exterior, en el invernadero se proponen ventanas

con marco en madera y persianas enrollables que regulen el acceso de radiación solar directa y minimice las pérdidas de temperatura por transmisión térmica por aberturas del invernadero.



Figura 128. VIP en lote medianero ampliada a dos apartamentos. Fuente: Luis Hernández



Figura 129. Zona social apartamento segundo nivel. Fuente: Luis Hernández

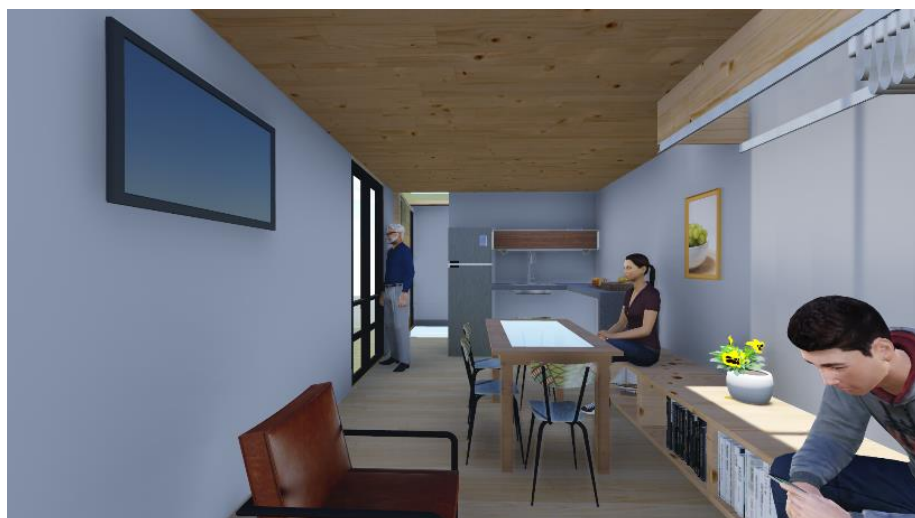


Figura 130. Zona social y cocina apartamento segundo nivel. Fuente: Luis Hernández

### 10.3 VIP EN LOTE PROPIO AISLADO

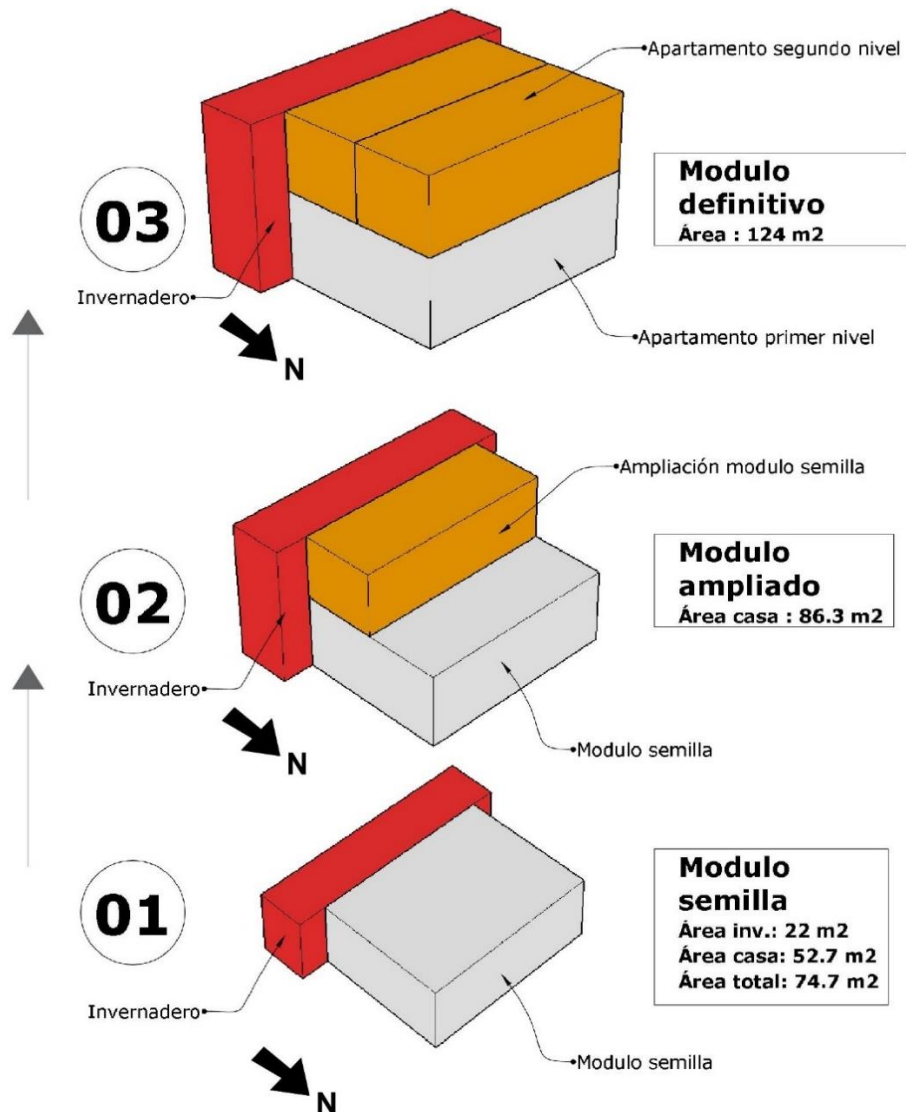


Figura 131. Esquema de crecimiento progresivo en el tiempo de la VIP-LP Aislada. Fuente. Luis Hernández

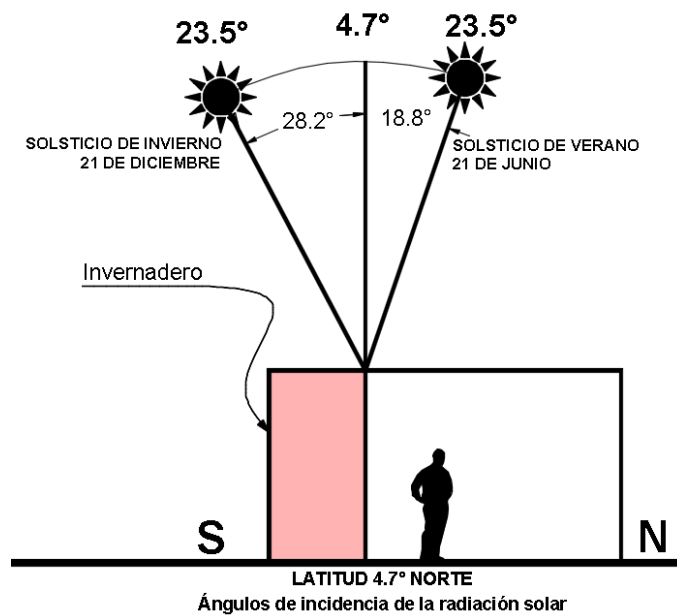


Figura 132. Ángulos solares en la latitud 4.7° norte. Fuente: Luis Hernández



### ZONIFICACIÓN Y ESTRATEGIAS PASIVAS VIP EN LOTE PROPIO AISLADO

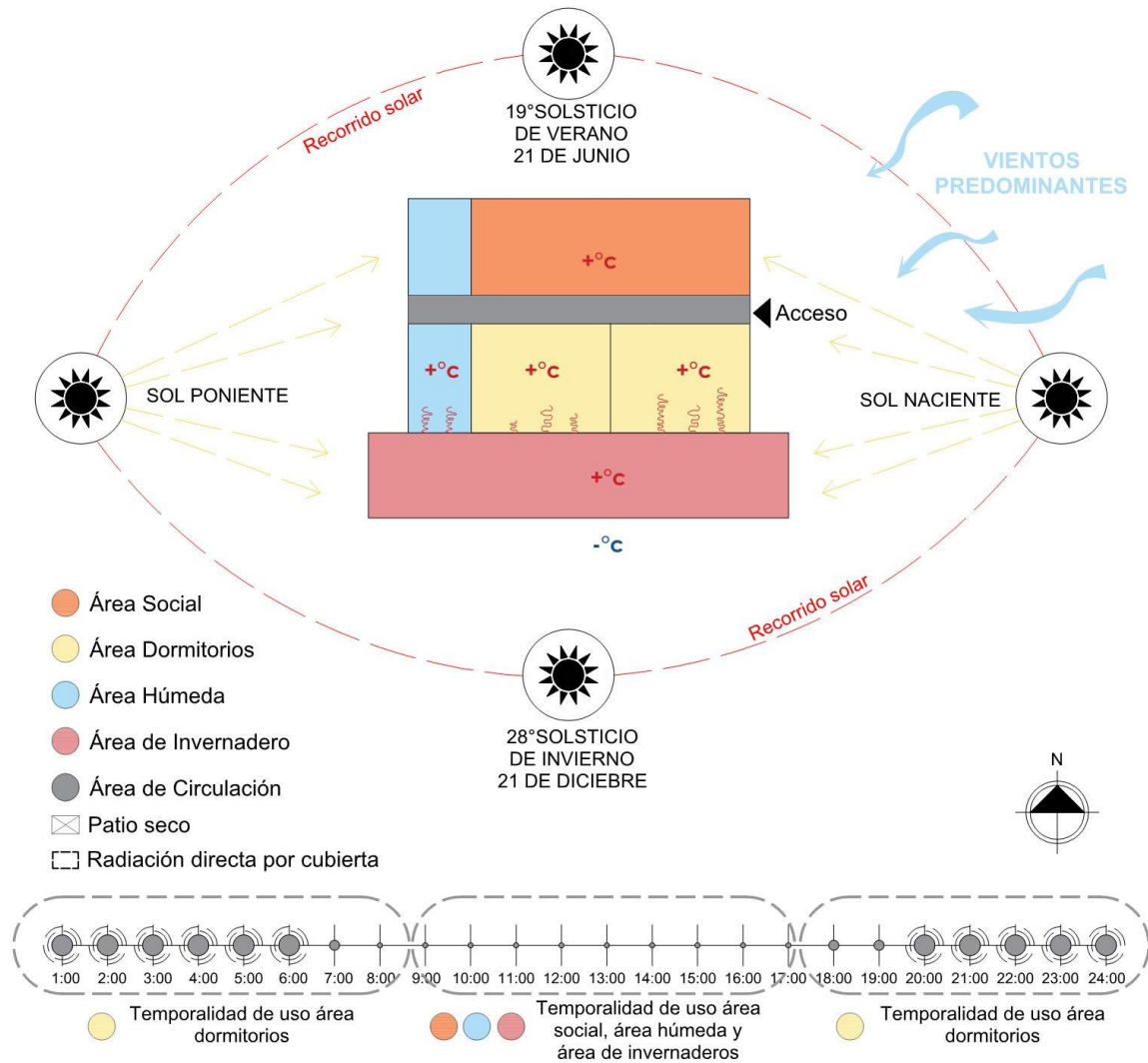


Figura 133. Esquema funcional en planta del módulo semilla de la VIP en lote propio aislado. Fuente: Luis Hernández.

En la VIP en lote propio aislado también se aplican las modalidades de crecimiento progresivo tipo **semilla y mejorable**, a partir de las cuales se propone un **módulo semilla** sin acabados de ningún tipo con el fin de disminuir costos en la construcción y con la posibilidad de crecer en área en el tiempo, dejando los acabados y pintura de la vivienda a cargo de la familia beneficiaria (fig. 131-132-133). Las habitaciones y el cuarto de lavado se localizan hacia el sector del invernadero con el fin de recibir toda la energía solar captada por este durante el día (fig. 133).

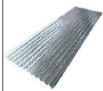

VIP EN LOTE AISALDO							
ELEMENTO	ESTRATEGIA BIOCLIMATICA	DETALLES	OBSERVACIONES	Espesor m	Conductividad T K= W/m <sup>2</sup> °C	Resistencia T R= m <sup>2</sup> °C/W	
	<b>PISO</b>	Aislamiento térmico	Con piedras, aire y madera	Evita el ascenso de humedad y descenso de calor	0,04	0,05	0,08
	<b>MUROS</b>	Alta masa térmica	Muros de bahareque de tierra de 24cmx20cmx40cm.	Acumula, conserva y transfiere calor.	0,2	0,2	1,0
	<b>TECHO</b>		Aislamiento térmico con fibra de vidrio.	Lucernarios ubicados en baño, cuarto de lavado y sala captan la energía solar, durante la noche se evitan pérdidas de calor mediante aislamiento térmico.	0,03	113	0,00027
	<b>CIELO RASO</b>	Aislamiento térmico	Cielo raso móvil.	Capta radiación solar en el día y evita pérdidas de calor en la noche.	0,02	0,05	0,4
	<b>PUERTAS</b>	Aislamiento térmico	Madera maciza	Espacios en general.	0,04	0,05	0,08
	<b>VENTANAS</b>	Vidrio traslucido	Ventana en vidrio y contra ventana en madera	Agrega calor a los dormitorios. Aisla térmicamente durante la noche.	0,04	1	0,04
	<b>INVERNADERO</b>	Captar radiación solar y generar efecto invernadero para incrementar la temperatura de la vivienda	Superficies horizontales y verticales en policarbonato	Capta radiación solar en el día, se evita pérdidas de calor en la noche mediante persianas móviles.	0,006	0,218	0,027

Tabla 8. Estrategias de climatización pasivas, VIP en lote aislado - Tabla basada en la ficha técnica de estrategias bioclimáticas del Ministerio de Control y Saneamiento del Perú. Fuente: propiedades de los materiales ASHRAE, Salas, A., 2013. Editado por Luis Hernández.

La propuesta inicia con un **módulo semilla** de 52.7 m<sup>2</sup> más un invernadero de 22 m<sup>2</sup> adosado al costado sur de la edificación, la vivienda cuenta con dos habitaciones, sala comedor, 1 baño y 1 cuarto de pilas. **El modulo semilla se puede ampliar hasta los 86,3m<sup>2</sup>** sumándole dos habitaciones y un baño en un segundo nivel. **Finalmente la vivienda está planificada para ampliarse hasta obtener dos niveles con un área total de 124 m<sup>2</sup>** y con la posibilidad de albergar 2 apartamentos de dos habitaciones, sala comedor, cuarto de pilas y baño, la intención de proyectar en la vivienda un futuro apartamento es el de brindarle la posibilidad a la familia beneficiaria de obtener un ingreso económico para el hogar mediante el arriendo a mediano y largo plazo, o el alquiler para visitantes en temporada turística.

Los materiales que se proponen en la vivienda son el muro de bahareque de tierra de 24 cm de espesor, pisos en madera, cubierta en lámina de zinc ondulado, cielo raso en madera machihembrada de 2cm de espesor, puertas en madera maciza, ventanas en vidrio traslucido y contraventana en madera maciza, policarbonato para el invernadero. El detalle de las ventanas es el mismo que el de la VIP medianera en lote propio (fig. 90).

### 10.3.1 VIP EN LOTE PROPIO AISLADO - MODULO SEMILLA

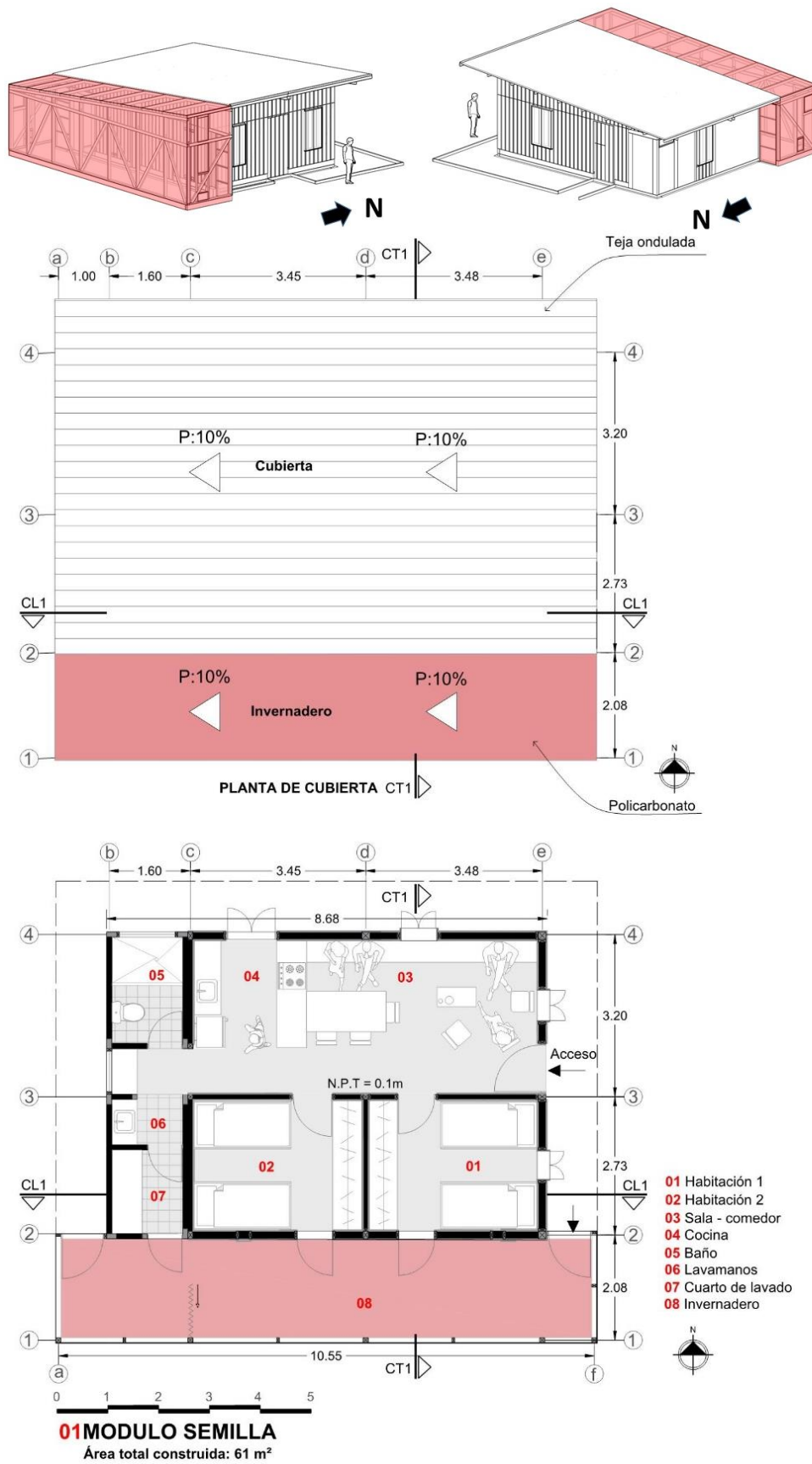


Figura 134. Isométricos y plantas arquitectónicas VIP en lote propio aislado – Modulo semilla. Fuente: Luis Hernández



La propuesta inicia con un **módulo semilla** de 52.7 m<sup>2</sup> más un invernadero de 22 m<sup>2</sup> adosado al costado sur de la edificación, la vivienda cuenta con dos habitaciones, sala comedor, 1 baño y 1 cuarto de pilas (fig. 134).

Esta propuesta está pensada para **lotes aislados** que se pueden ubicar en el perímetro del casco urbano del municipio o en su zona rural, se concibe como una vivienda campesina que tiene un **invernadero adosado** hacia el costado sur del conjunto arquitecto y que cumple la función de calefactor solar pasivo y jardín seco que ayuda a deshumidificar la vivienda.

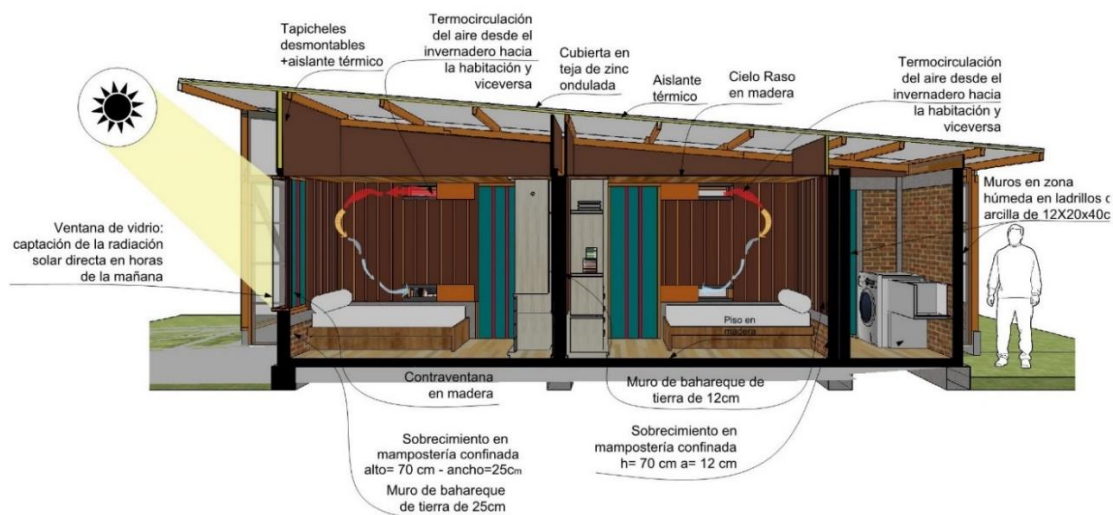


Figura 135. CL1 VIP en lote propio aislado – Modulo semilla. Fuente. Luis Hernández

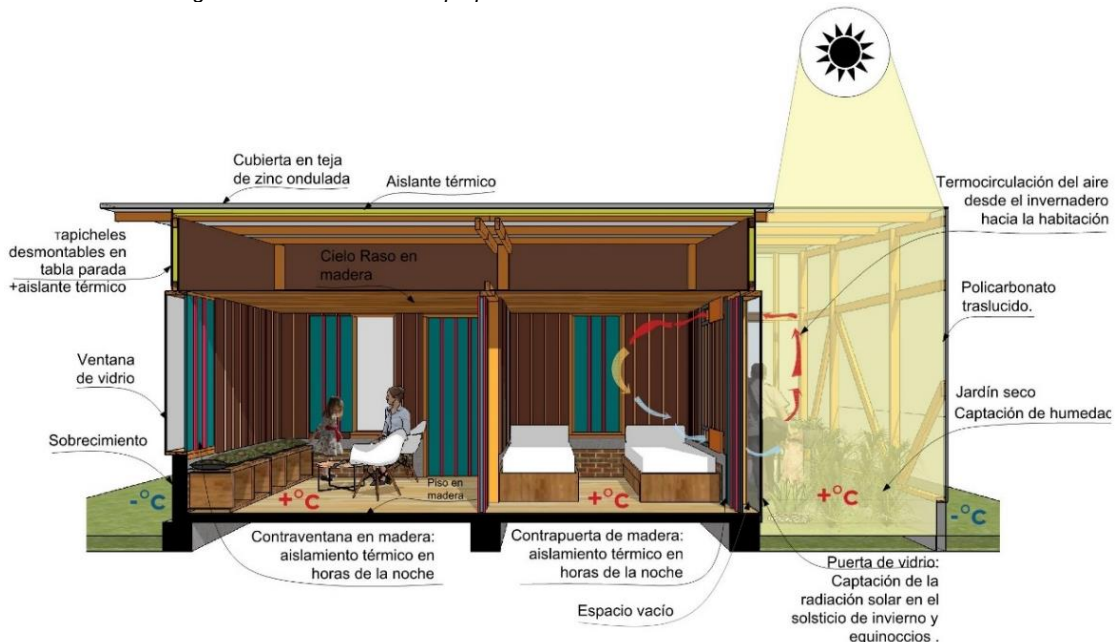


Figura 136. CT1 VIP n lote propio aislado – Modulo semilla. Fuente: Luis Hernández

El invernadero transmite temperatura a las habitaciones mediante convección a través de las aberturas que se ubican en la pared que divide estos dos espacios, y radiación mediante el muro de bahareque (fig. 136).

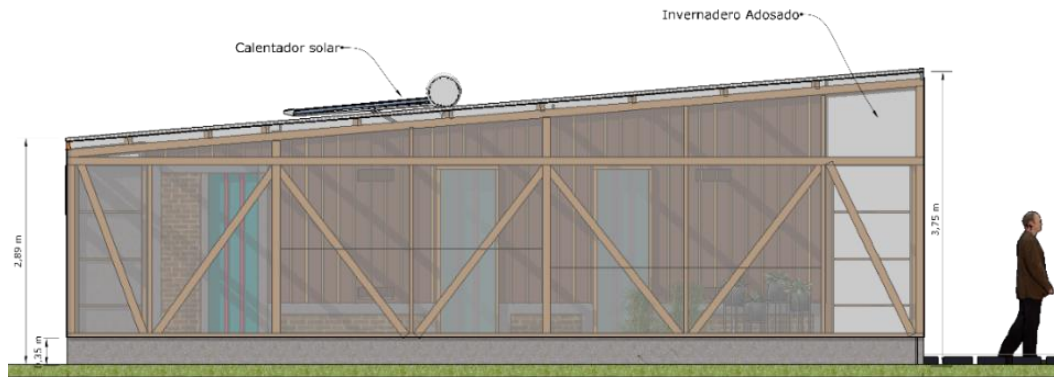


Figura 137. Alzado sur VIP en lote propio aislado - módulo semilla. Fuente: Luis Hernández



Figura 138. Alzado norte VIP en lote propio aislado. Módulo semilla. Fuente: Luis Hernández



Figura 139. Alzado este VIP en lote propio aislado. Módulo semilla. Fuente: Luis Hernández



Figura 140. Alzado oeste VIP en lote propio aislado. Módulo semilla. Fuente: Luis Hernández

La VIP en lote propio aislado se propone mediante el sistema constructivo de bahareque de tierra, esto debido a la disponibilidad de madera por cultivos de eucalipto presentes en la región, y por ubicarse la vivienda en un lote de gran área (por encima de 1 hectárea), donde cabe la posibilidad de extraer la tierra para su construcción. Los únicos espacios que se proponen en mampostería confinada son el baño y el cuarto de pilas por ser estas las zonas húmedas de la vivienda.

### 10.3.2 VIP EN LOTE PROPIO AISLADO - MODULO SEMILLA + AMPLIACIÓN 1



Figura 141. Isométricos y planta arquitectónica del módulo semilla + ampliación de dos habitaciones en segundo nivel - área 77.4 m2. Fuente: Luis Hernández



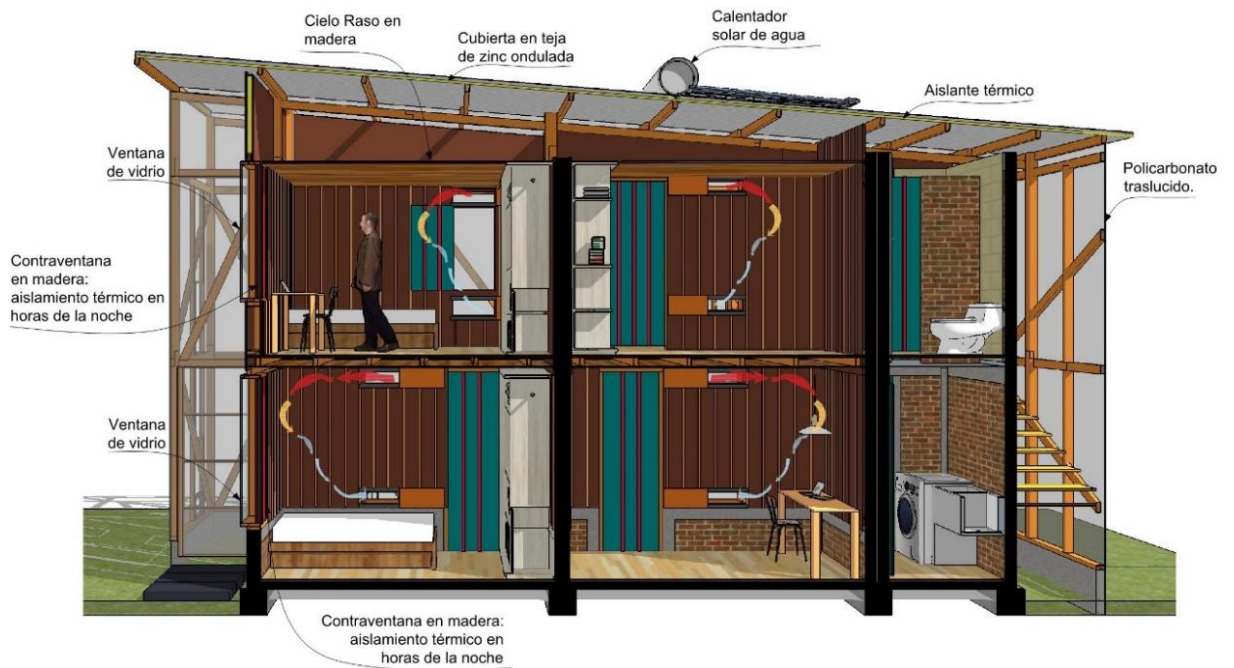


Figura 142. CL1 VIP en lote propio aislado - Módulo semilla + ampliación. Fuente: Luis Hernández

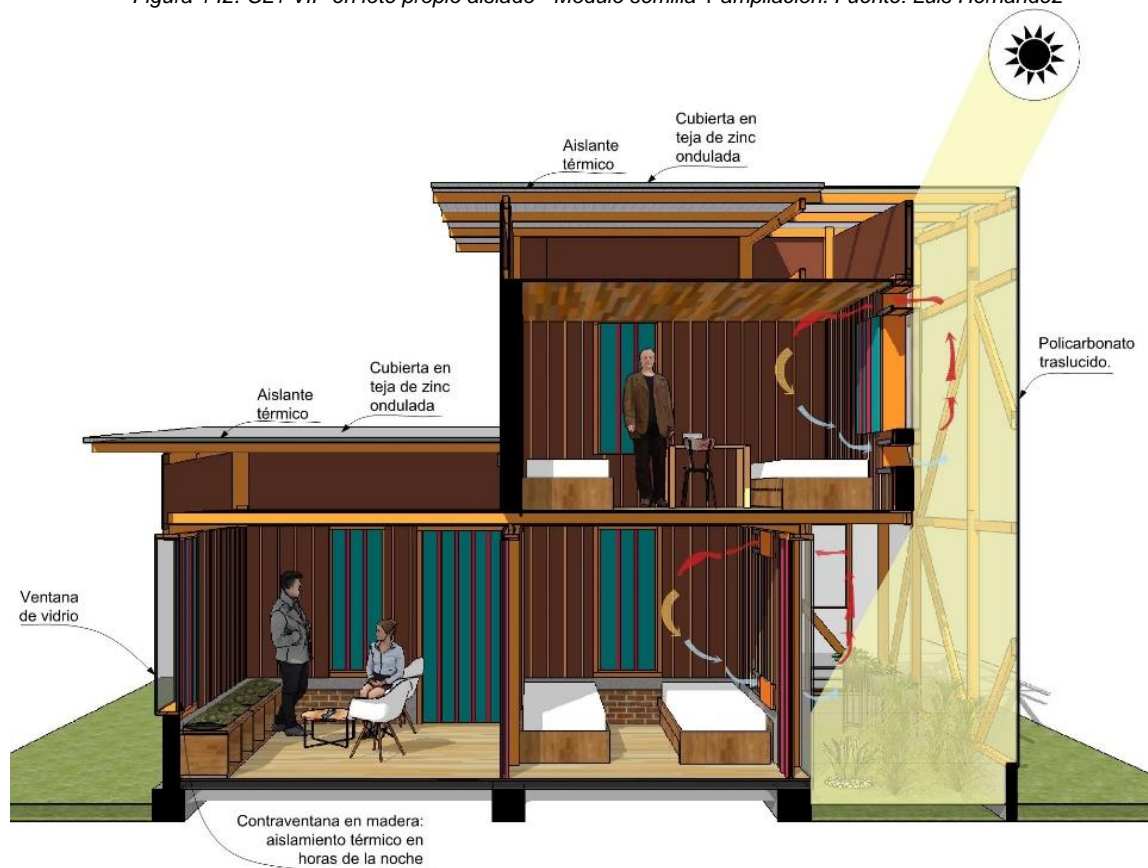


Figura 143. CT1 VIP en lote propio aislado - Módulo semilla + ampliación. Fuente: Luis Hernández

Se propone ampliar hacia un segundo piso media vivienda, esto con el fin de dar solución a la necesidad de crecimiento por parte de una familia numerosa compuestas por 4 o más integrantes y que a futuro los pueda albergar con una mejor calidad habitacional, por la vocación del territorio (turístico, agroecológico) se posibilita en el diseño un espacio para

comercio, taller o bodega en el primer nivel de la vivienda. Estas consideraciones espaciales y funcionales se ven influenciadas por la idea de concebir en la vivienda social de forma adaptativa a las necesidades de familias numerosas y también a la posibilidad de generar ingresos económicos (fig. 141).

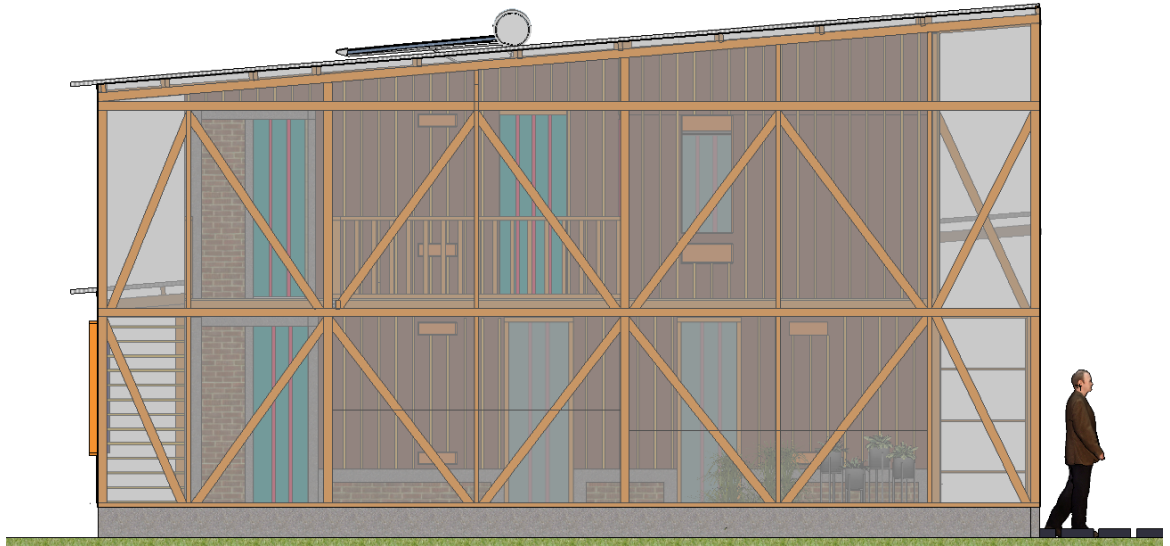


Figura 144. Fachada sur VIP en lote propio aislado - Módulo semilla + ampliación. Fuente: Luis Hernández



Figura 145. Fachada norte – VIP en lote propio aislado - Módulo semilla + ampliación. Fuente: Luis Hernández



Figura 146. Fachada este - VIP en lote propio aislado - Módulo semilla + ampliación. Fuente: Luis Hernández



Figura 147. Fachada oeste - VIP en lote propio aislado - Módulo semilla + ampliación. Fuente: Luis Hernández

La cubierta de la vivienda se diseñó de tal manera que pueda ser ensamblada y desensamblada con pernos de 3/8", con el fin de permitir flexibilidad y adaptación cuando exista la posibilidad de incrementar el área de la vivienda en un segundo nivel.



### 10.3.3 VIP EN LOTE PROPIO AISLADO - MODULO SEMILLA + APARTAMENTO

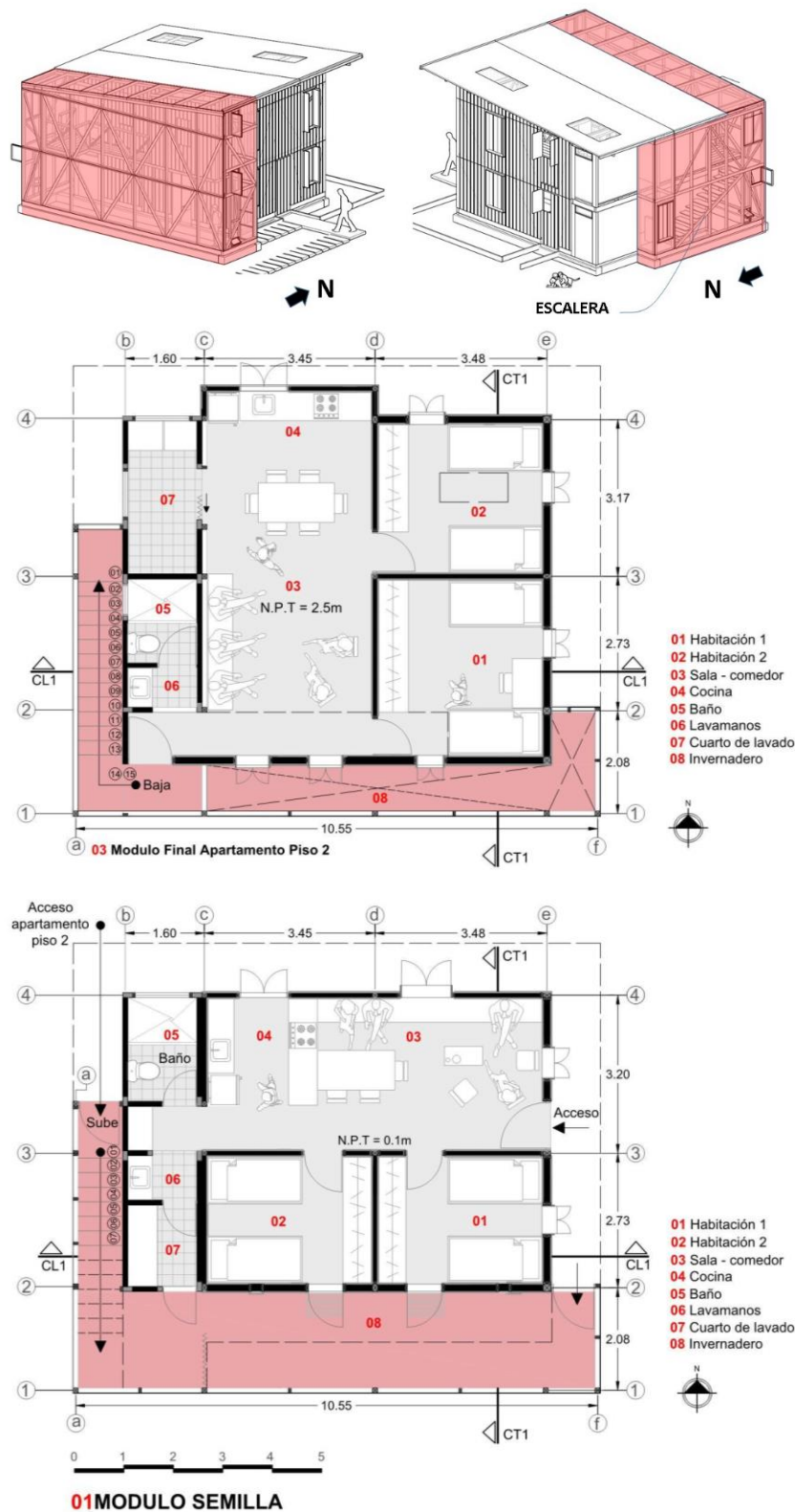


Figura 148. Isométrico y plantas arquitectónicas VIP en lote propio aislado. Modulo semilla + apartamento – área: 122.1 m2. Fuente: Luis Hernández

El diseño arquitectónico de la VIP en lote propio aislado contempla la posibilidad de implementar un apartamento con acceso independiente en el segundo nivel de dos habitaciones, sala, comedor, baño y cuarto de lavado. El objetivo de proyectar este espacio es el de posibilitar la creación un ingreso económico para la familia mediante el arriendo del apartamento para una familia de la región o para turistas.

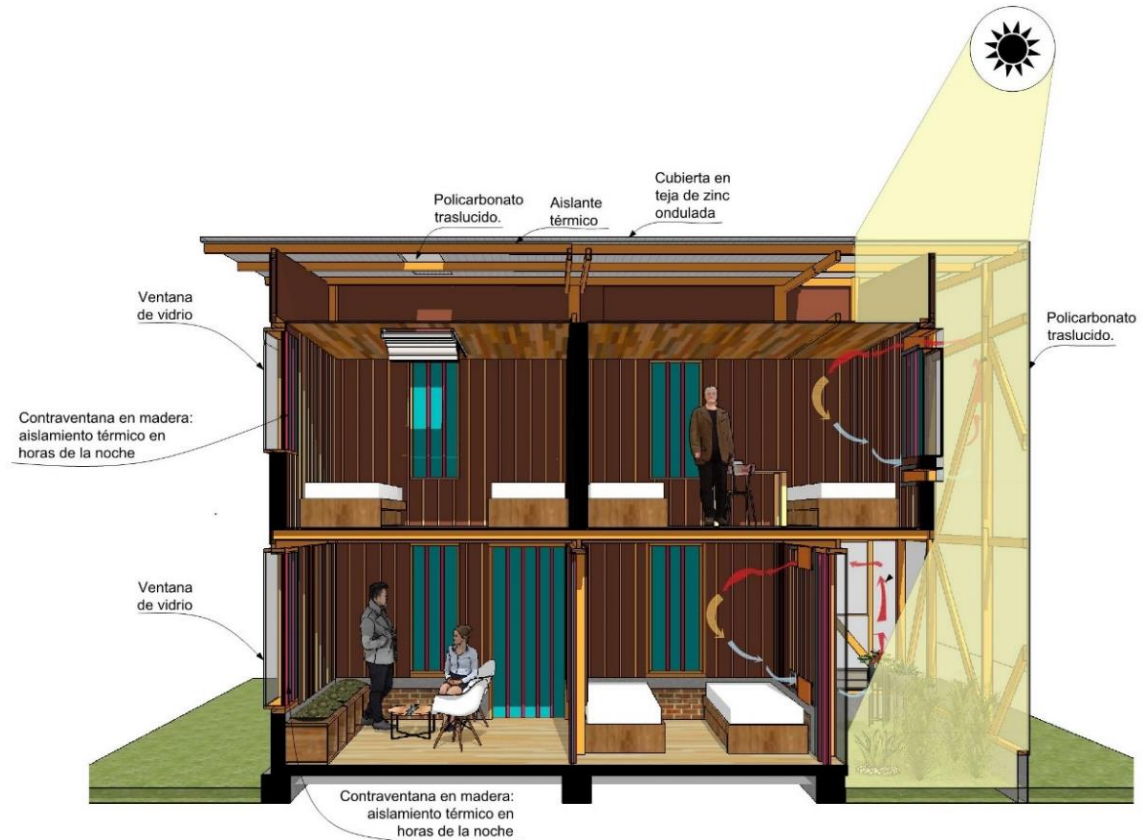


Figura 149. Sección CT1 VIP en lote propio aislado. Modulo semilla + apartamento. Fuente: Luis Hernández G.

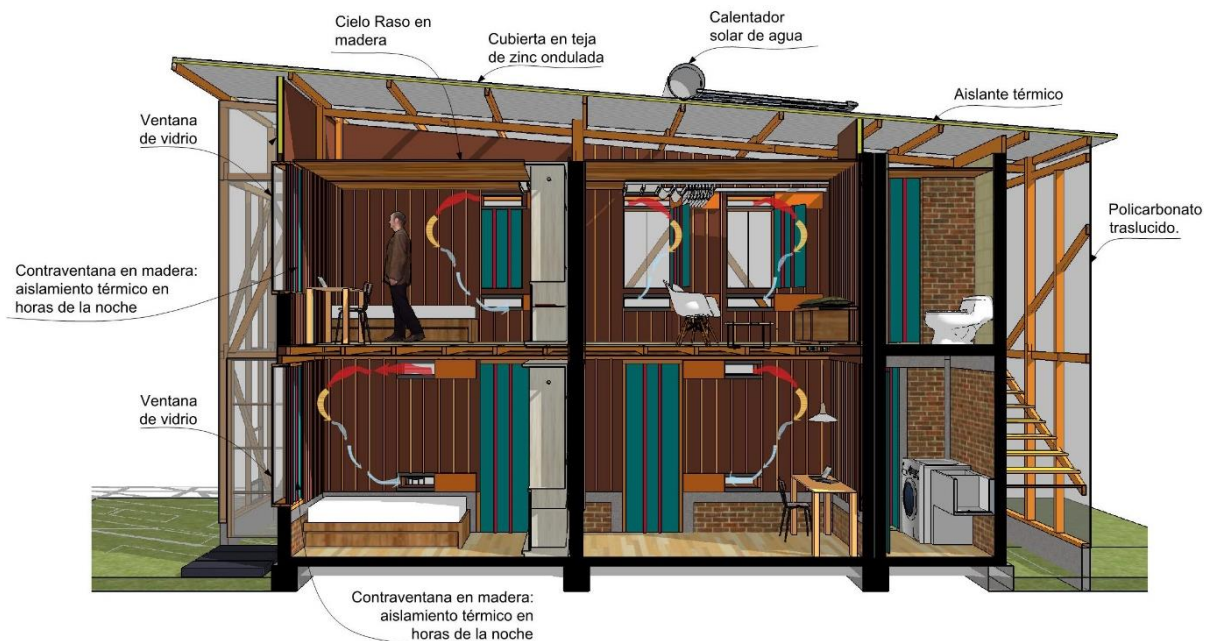


Figura 150. Sección CL1 VIP en lote propio aislado. Modulo semilla + apartamento. Fuente: Luis Hernández.

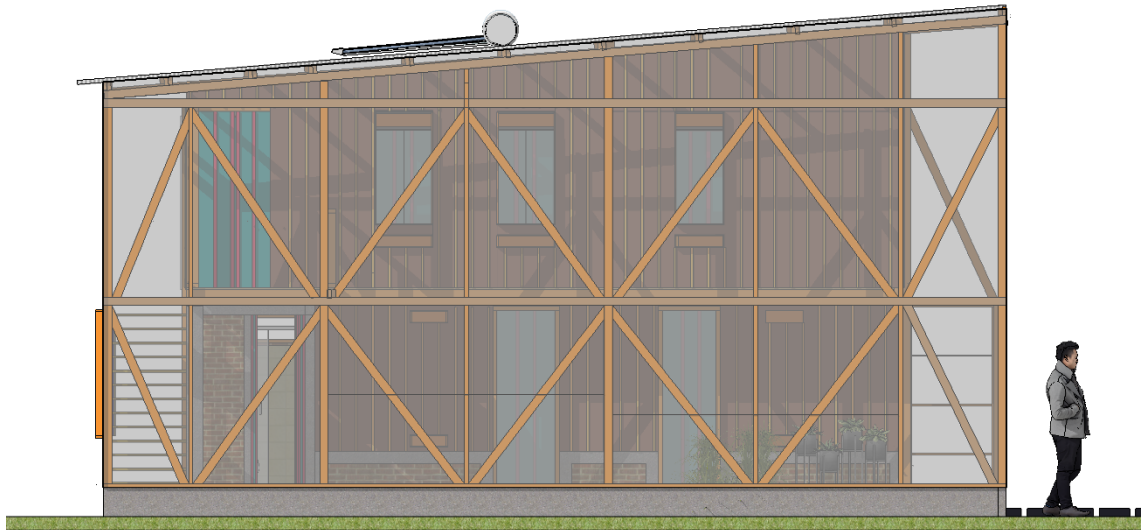


Figura 151. Fachada sur - VIP en lote propio aislado. Modulo semilla + apartamento. Fuente: Luis Hernández

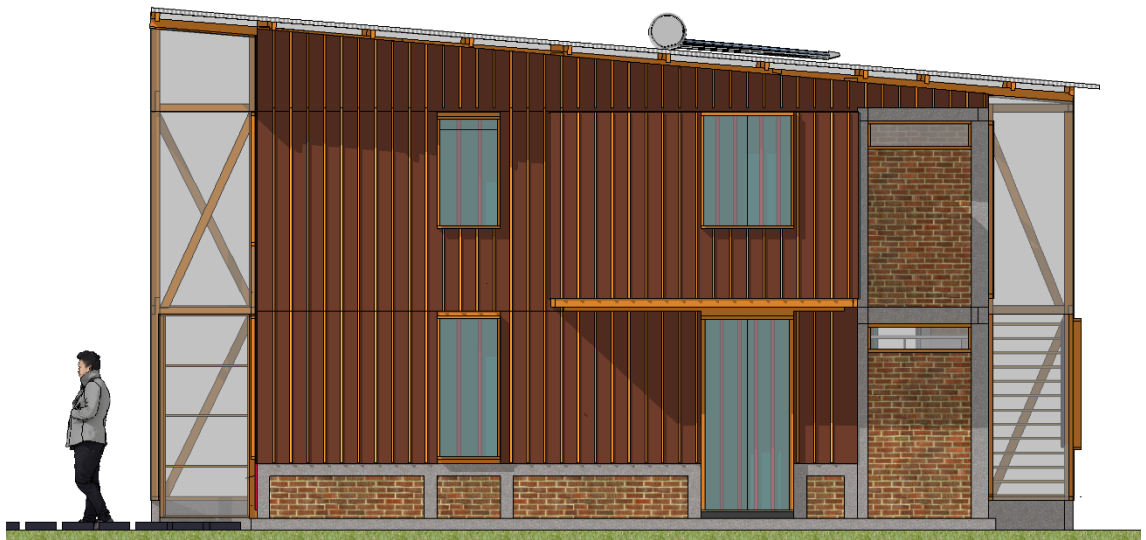


Figura 152. Fachada norte - VIP en lote propio aislado. Modulo semilla + apartamento. Fuente: Luis Hernández

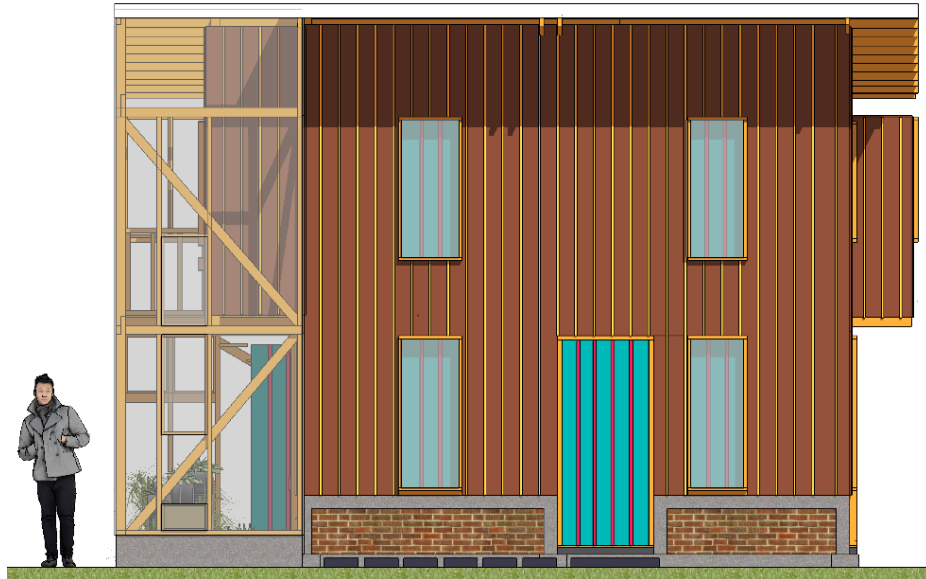


Figura 153. Fachada Este - VIP en lote propio aislado. Modulo semilla + apartamento. Fuente: Luis Hernández



Figura 154. Fachada norte VIP en lote propio aislado. Modulo semilla + apartamento. Fuente: Luis Hernández



### 10.3.4 REPRESENTACIÓN VIRTUAL



Figura 155. Perspectiva frontal VIP en lote aislado. Módulo semilla. Fuente: Luis Hernández



Figura 156. Perspectiva frontal VIP en lote propio aislado. Módulo semilla. Fuente: Luis Hernández



Figura 157. Perspectiva posterior VIP en lote propio aislado. Módulo semilla. Fuente: Luis Hernández



Figura 158. Zona social VIP en lote propio aislado. Modulo semilla. Fuente: Luis Hernández



Figura 159. Habitación 1 VIP en lote propio aislado. Modulo semilla. Fuente: Luis Hernández



Figura 160. Habitación 2 VIP en lote propio aislado. Módulo semilla. Fuente: Luis Hernández





Figura 161. Perspectiva frontal VIP en lote propio aislado. Módulo semilla + ampliación. Fuente: Luis Hernández



Figura 162. Perspectiva lateral VIP en lote propio aislado. Módulo semilla + ampliación. Fuente: Luis Hernández



Figura 163. Perspectiva posterior VIP en lote propio aislado. Módulo semilla + ampliación. Fuente: Luis Hernández



Figura 164. Perspectiva interna invernadero VIP en lote propio aislado. Módulo semilla + ampliación. Fuente: Luis Hernández



Figura 165. Perspectiva interior invernadero VIP en lote propio aislado. Módulo semilla + ampliación. Fuente: Luis Hernández

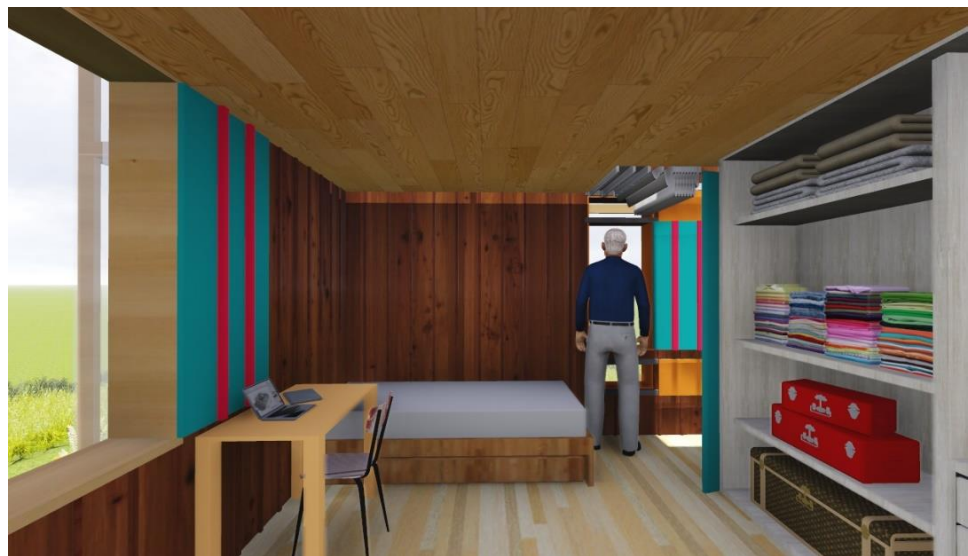


Figura 166. Habitación 3 VIP en lote propio aislado. Módulo semilla + ampliación. Fuente: Luis Hernández



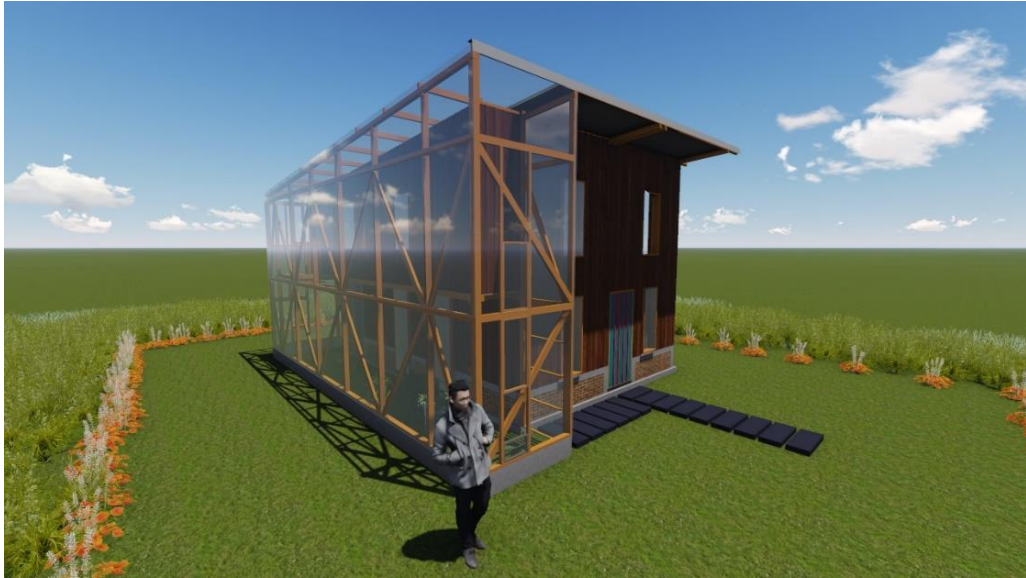


Figura 167. Perspectiva VIP en lote propio aislado. Modulo semilla + apartamento. Fuente: Luis Hernández



Figura 168. Perspectiva la VIP en lote propio aislado. Modulo semilla + apartamento. Fuente: Luis Hernández



Figura 169. Perspectiva VIP en lote propio aislado. Modulo semilla + apartamento. Fuente: Luis Hernández



Figura 170. Sala comedor apartamento segundo nivel. VIP en lote propio aislado. Fuente: Luis Hernández



Figura 171. Zona social apartamento segundo nivel. VIP en lote propio aislado. Fuente: Luis Hernández



Figura 172. Habitación 2 apartamento segundo nivel. VIP en lote aislado. Fuente: Luis Hernández

# **11)SIMULACIONES VIRTUALES**

**VIVIENDAS DE INTERES PRIORITARIO VIP**

## 11.1 INTRODUCCIÓN SIMULACIONES VIRTUALES VIP

Para realizar los análisis ambientales de las VIP en lote propio medianero y las VIP en lote propio aislado, se utilizaron el programa virtual Autodesk Ecotec para las simulaciones del rango de sombras, las de ventilación natural y las de iluminación natural. Se implementó el programa virtual Design Builder para las simulaciones térmicas de las viviendas. El objetivo de realizar las simulaciones virtuales es el de predecir el funcionamiento bioclimático de los diseños arquitectónicos propuestos en la investigación, y verificar así su comportamiento térmico, lumínico y de renovación del aire. Las simulaciones se realizaron para cuatro periodos del año con el fin de observar el comportamiento ambiental de la edificación: el solsticio de invierno 22 de diciembre, el solsticio de verano 22 de junio, el equinoccio de primavera 22 de marzo y el equinoccio de otoño 22 de septiembre, a excepción de las simulaciones térmicas que se realizaron para tres semanas tipos del año: equinoccio de primavera del 14 al 21 de marzo, solsticio de verano 14 a 21 de junio y solsticio de invierno del 14 al 21 de diciembre.

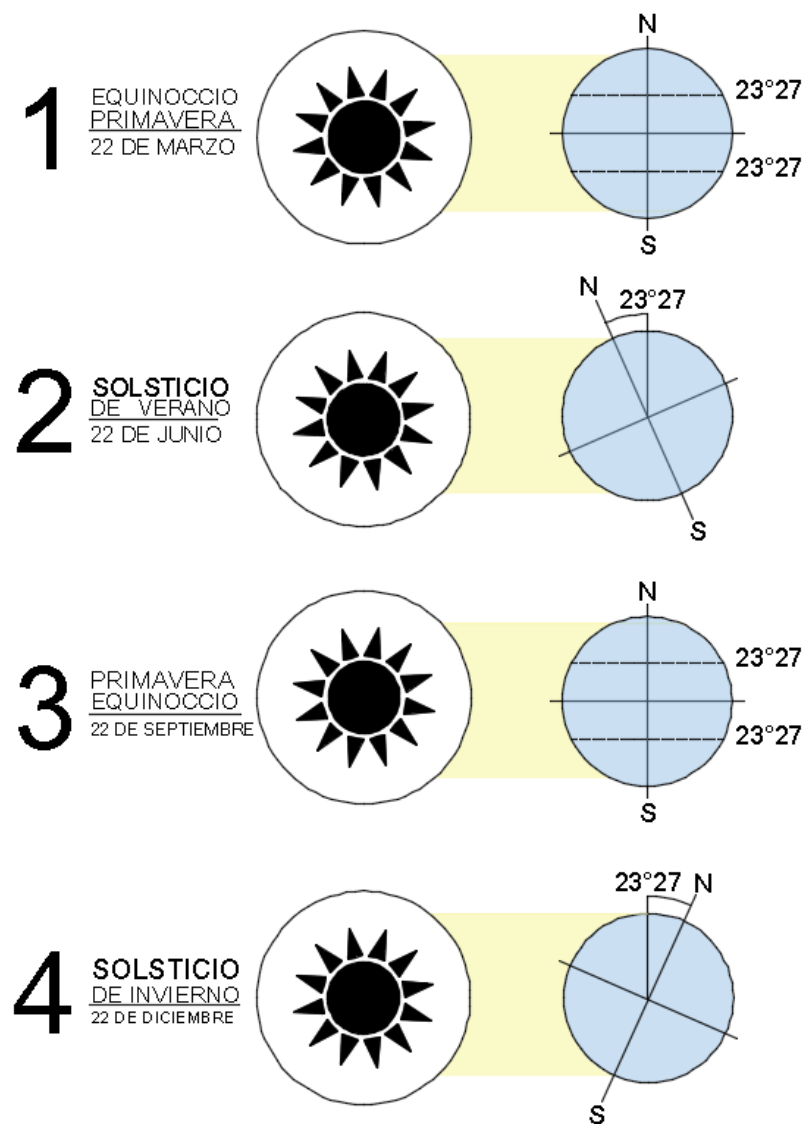


Figura 173. Períodos para las simulaciones virtuales. Fuente: Luis Hernández



## 11.2 SIMULACIONES VIRTUALES VIP LOTE PROPIO MEDIANERO

### 11.2.1 ANALISIS DE SOMBRAS VIP EN LOTE PROPIO MEDIANERO

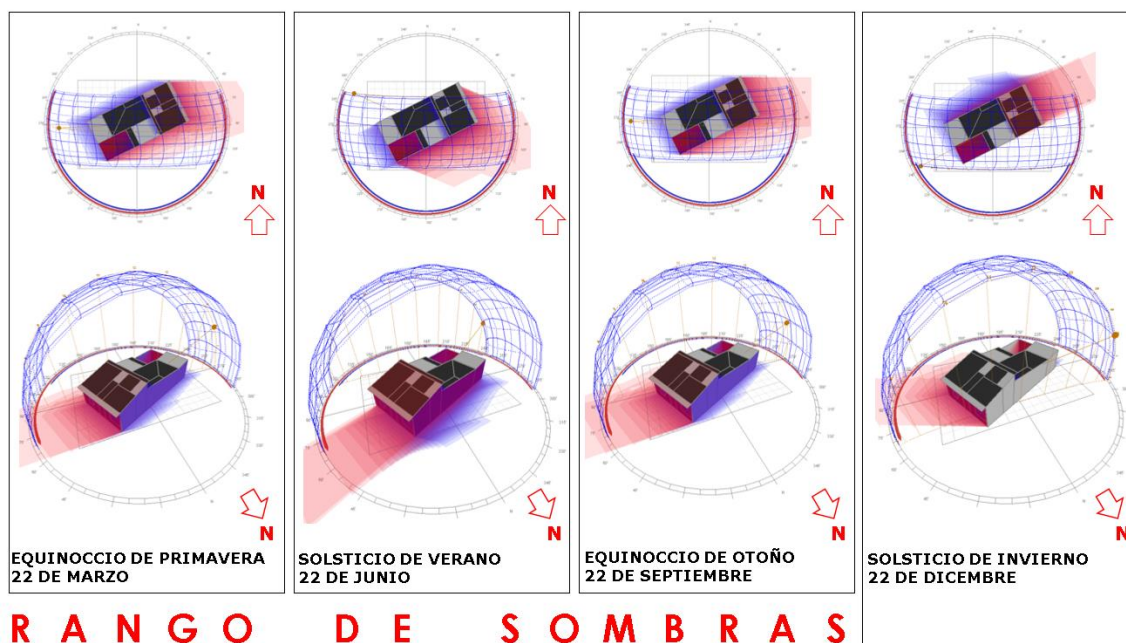


Figura 174. Rango de sombras de un día completo VIP en lote propio medianero. Elaborado en el programa Autodesk Ecotec. Editado por Luis Hernández

Puesto que el lugar de intervención se ubica en la latitud  $4.7^\circ$  norte en donde la radiación solar incide mayoritariamente de forma perpendicular sobre la tierra, el análisis de sombras (fig. 173) demuestra que las fachadas que mayor horas sombra obtienen son la fachadas norte y sur, la cubierta a dos aguas de la VIP en lote propio medianero obtiene nulo sombreado durante el día, demostrándose así que la cubierta es un elemento ideal como sistema pasivo de calefacción solar pasivo dentro de las arquitecturas domesticas del trópico alto andino.

El fin de realizar las simulaciones de sombras es observar el recorrido solar y su incidencia en las viviendas, todo esto con el objetivo de orientar de la mejor forma el edificio. Cabe aclarar que la orientación de la VIP en lote medianero esta regida por la trama urbana existente en el municipio de Murillo, Tolima.

## 11.2.2 ANALISIS DE LA RADIACIÓN SOLAR VIP EN LOTE MEDIANERO

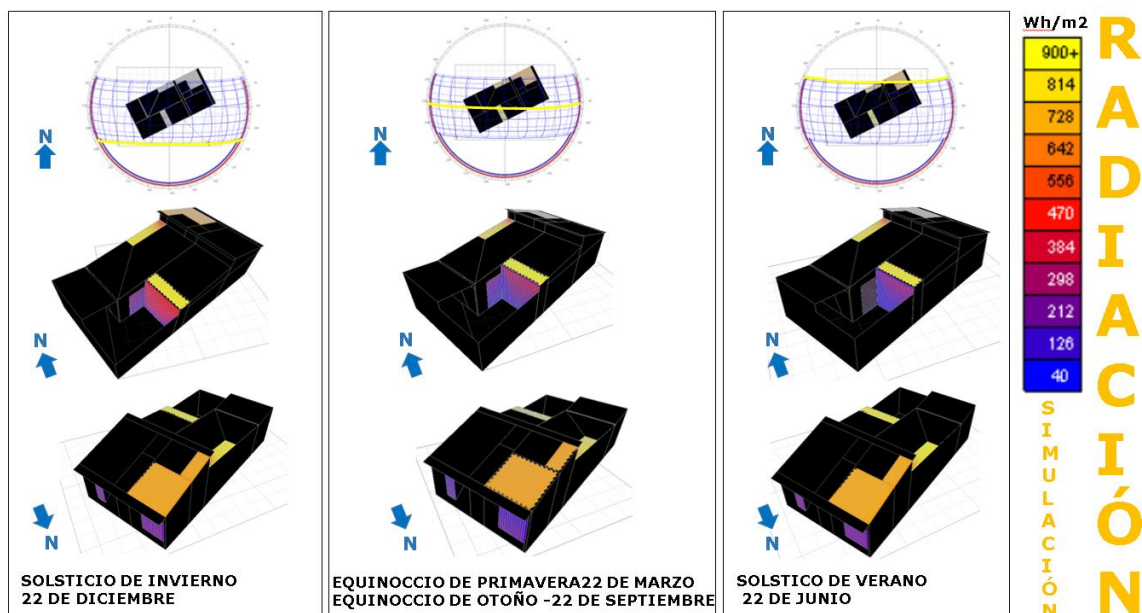
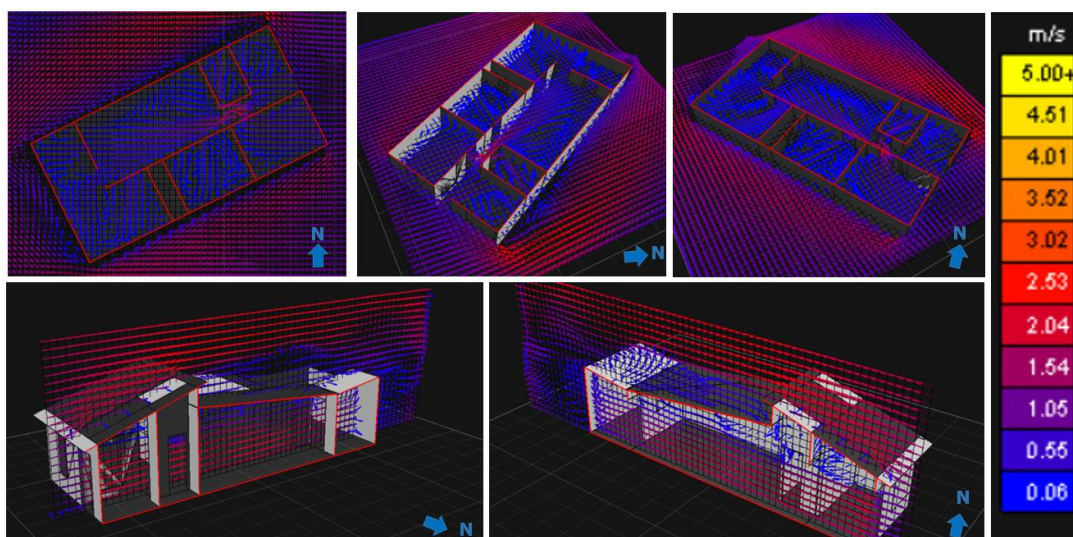


Figura 175. Rango de sombras VIP en lote propio medianero. Elaborado en el programa Autodesk Ecotec. Editado por Luis Hernández.

Se demuestra en la simulación de radiación solar (fig. 174) que energía solar que se recibe para el municipio de Murillo, Tolima es de un promedio máximo de 900 wh/m<sup>2</sup> en la superficie de la cubierta, y un promedio de 212 wh/m<sup>2</sup> en sus fachadas.

Mediante este análisis se constata que la estrategia de calefacción solar pasiva, usando invernaderos y captación de la radiación solar por cubierta es apropiada para acondicionar la arquitectura doméstica de los andes tropicales, puesto que es sobre la superficie horizontal que se obtiene la mayor radiación solar. Mediante este análisis se descarta la utilización de muros trombe para la climatización pasiva de la arquitectura de la alta montaña de los andes tropicales puesto que la menor radiación solar se obtiene sobre las fachadas. En la presente investigación se procura por ubicar los invernaderos y lucernarios de forma estratégica con el fin de distribuir la energía

### 11.2.3 VENTILACIÓN NATURAL VIP EN LOTE PROPIO MEDIANERO



## S I M U L A C I Ó N V I E N T O

Figura 176. Simulación de ventilación natural VIP en lote propio medianero. Elaborado en el programa Autodesk Ecotec. Editado por Luis Hernández

En cuanto a la simulación de vientos, el análisis se realizó con una velocidad de viento de 5m/s dirección este – oeste. Se observa (fig. 176) que el viento al interior de los espacios de la vivienda circula entre los 0,25 m/s a 1,05 m/s y a su vez cruza todos los espacios construidos generando de esta forma circulación natural del aire. Es de aclarar que con la renovación natural del aire se obtienen beneficios en el ambiente interior como los son menor humedad y espacios saludables por el movimiento del aire al interior de todos los espacios construidos.

### 11.2.4 ANALISIS TÉRMICO VIP EN LOTE PROPIO MEDIANERO

Los ladrillos de arcilla huecos de 12cm tienen una baja conductividad térmica ( $\lambda = 0.76 \text{ w/m.k}$ ) (Vega, J. 2016). Los muros internos de la vivienda se proponen en ladrillos de arcilla huecos de 12 cm (tabla 10), las paredes externas de la vivienda se proponen en muro doble de 24 cm de espesor (tabla 10) en aparejo a soga y tizón, esto con el fin de mitigar y aislar las bajas temperaturas externas presentes en el lugar de intervención que pueden descender hasta los  $1.2^{\circ}\text{C}$  en horas de la madrugada (IDEAM).

Mampostería confinada en ladrillos de arcilla huecos - muro sencillo 12cm			
Material	Espesor (m)	" $\lambda$ "(w/m.k)	"R" (m <sup>2</sup> .K/W)
Ladrillo de arcilla	0,12	0,76	0,16
Rsi			0,13
Rse			0,04
"Rt" Resistencia Total (m <sup>2</sup> .K/W)			0,33
"U" Transmitancia térmica (w/m.k)			3,05

Tabla 9. Propiedad de los muros de arcilla espesor 12 centímetros. Fuente: Vega, J. 2016. Editado por Luis Hernández

Mampostería confinada en ladrillos de arcilla huecos - muro doble 24 cm			
Material	Espesor (m)	"λ"(w/m.k)	"R" (m².K/W)
Ladrillo de arcilla	0,24	0,76	0,32
Rsi			0,13
Rse			0,04
"Rt" Resistencia Total (m².K/W)			0,49
"U" Transmitancia térmica (w/m.k)			2,06

Tabla 10 - Propiedad de los muros de arcilla espesor 24cm. Fuente: Vega, J. 2016. Editado por Luis Hernández

El análisis térmico se trabajó con los datos climáticos del lugar de análisis y las propiedades de los materiales mediante una simulación virtual en un modelo tridimensional en el programa Design Builder. Se analizaron tres espacios de la vivienda: **la habitación 1, la habitación 2 y la zona social**, se realizó el análisis térmico durante 3 semanas distintas, en los meses de marzo (equinoccio), junio (solsticio de verano) y diciembre (solsticio de invierno) (fig. 177), esto con el fin de comprobar y cotejar el funcionamiento térmico de la vivienda en tres periodos distintos del año.

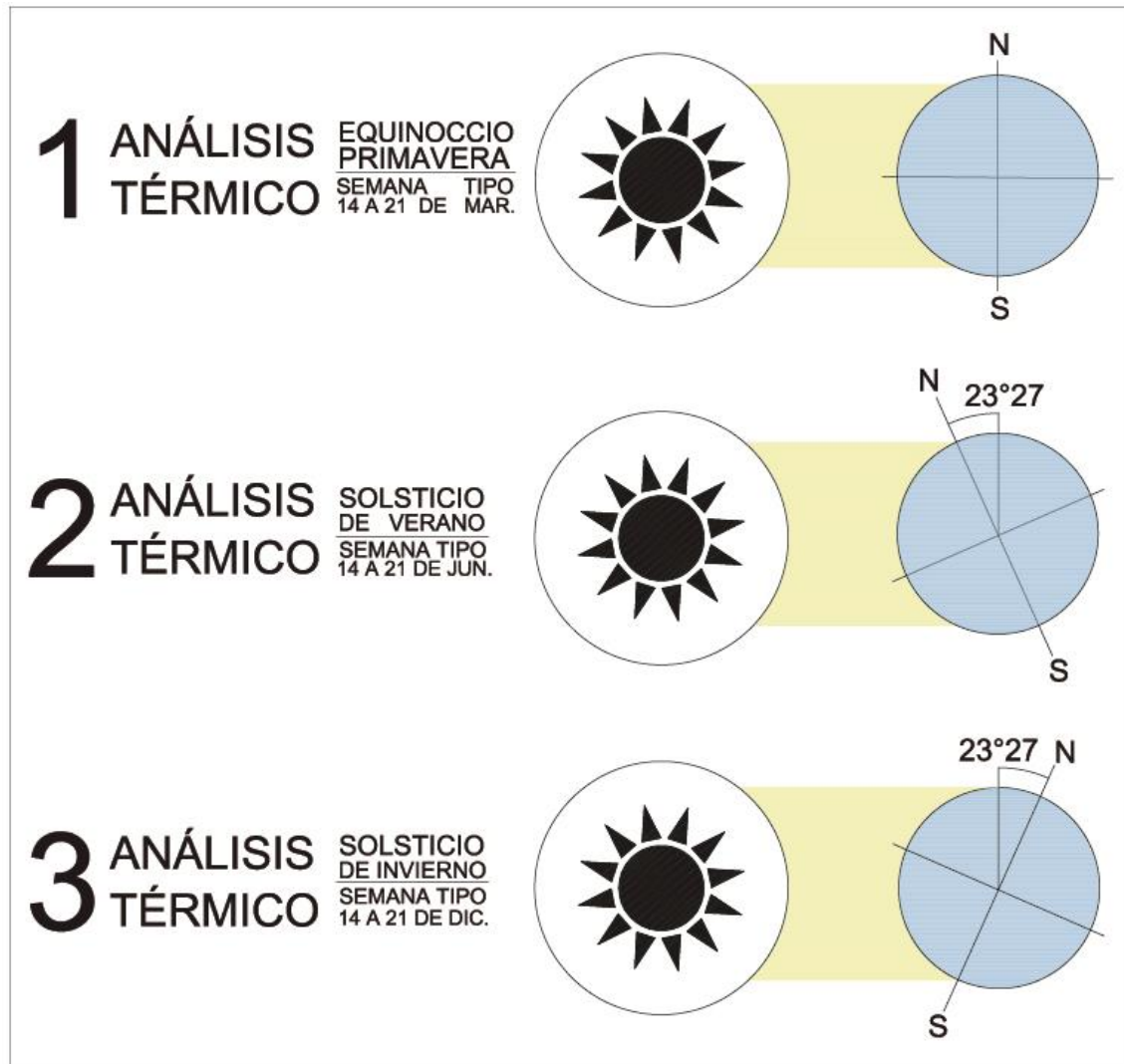


Figura 177. Análisis de confort térmico – semana tipo - habitación 1. Fuente: Luis Hernández



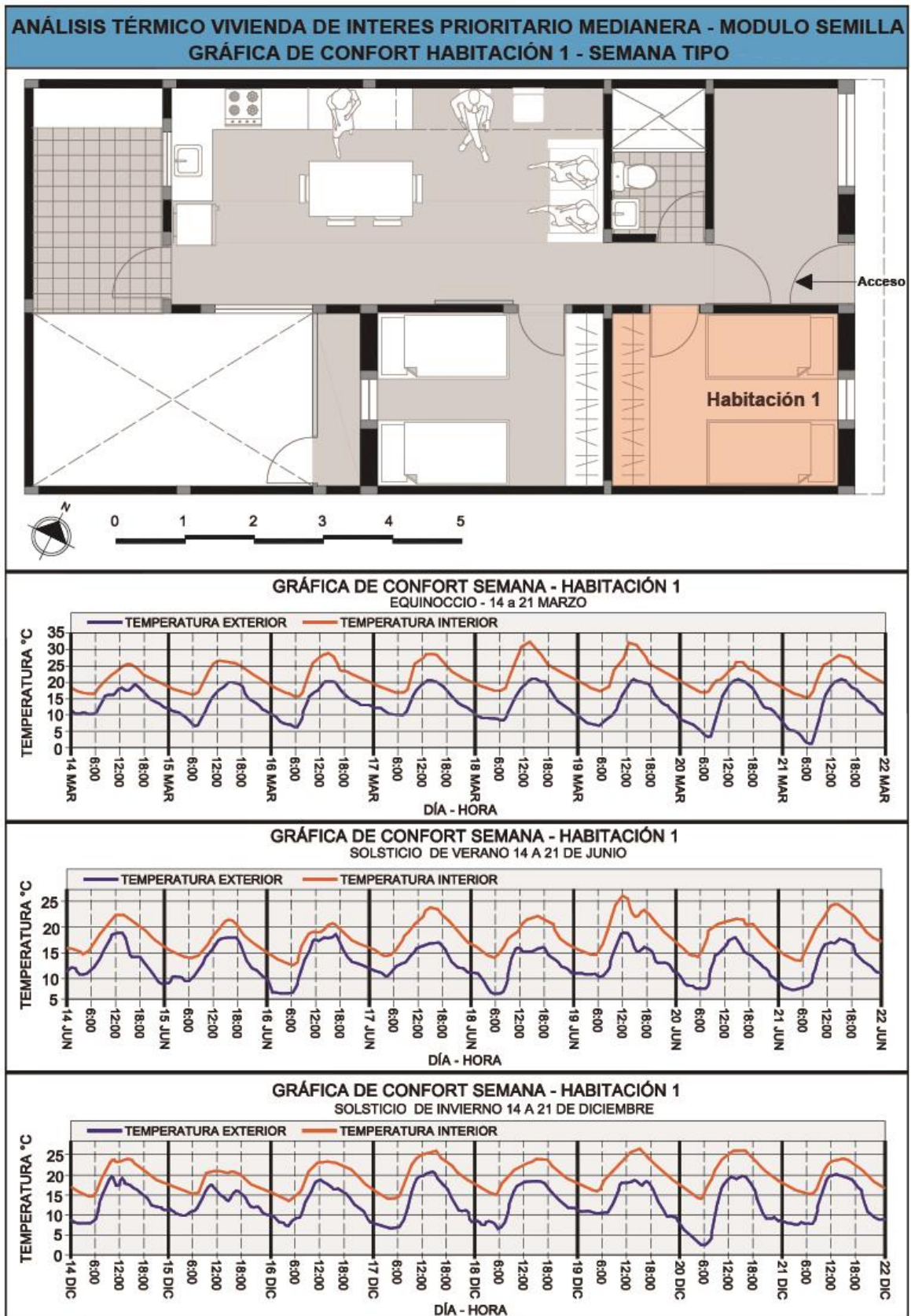


Figura 178. Análisis de confort térmico VIP en lote propio medianero. Elaborado en el programa Design Builder. Editado por Luis Hernández

**En los resultados del análisis de confort térmico de la habitación 1 para la semana tipo de Marzo** (fig. 178), se observa que los días 18 y 19 de marzo a las 12:00 la temperatura interior alcanzo un máximo de 32°C con una temperatura ambiente exterior de 20°C. El día 21 de Marzo a las 6:00 la temperatura interior fue de 14°C con una temperatura ambiente exterior de 3°C, obteniéndose de esta forma 11°C de diferencia de temperatura entre el interior y el exterior de la habitación 1 en el día más frio de la semana tipo de marzo.

**En los resultados del análisis del confort térmico de la habitación 1 para la semana tipo de junio** (fig. 178), se observa que el día 19 de junio a las 12:00 se alcanzó una temperatura interior máxima de 26°C con una temperatura ambiente exterior de 18°C. El día 21 de junio a las 6:00 la temperatura interior fue de 14°C con una temperatura ambiente exterior de 3°C, obteniéndose de esta forma 11°C de diferencia de temperatura entre el interior y el exterior de la habitación 1 en el día más frio de la semana tipo de junio.

**En los resultados del análisis de confort térmico de la habitación 1 para la semana tipo de diciembre** (fig. 178), se observa que el día 19 de diciembre a las 14:00 la temperatura interior obtuvo un máximo de 26°C con una temperatura exterior de 18°C, lográndose así un incremento de 8°C de la temperatura interna con respecto al exterior. El día 20 de diciembre a las 6:00 se obtuvo una temperatura interior de 14°C con una temperatura exterior de 3.5°C, observándose de esta forma 11.5°C de diferencia de temperatura entre el interior y el exterior de la habitación 1 en el día y más frio de la semana tipo de diciembre.

**Mediante los análisis de confort térmico de la habitación 1** (fig. 178) se observa que la temperatura interna siempre estuvo por encima de la temperatura ambiente exterior en un rango de 5°C a 12°C, lo cual demuestra la efectividad de las estrategias pasivas de calefacción solar pasiva y el efecto de la masa térmica en la VIP en lote propio medianero, y se comprueba que mediante este tipo de técnicas de climatización pasiva se pueden obtener espacios dentro de un rango de confort aceptable para los habitantes de las viviendas sociales de los andes tropicales.



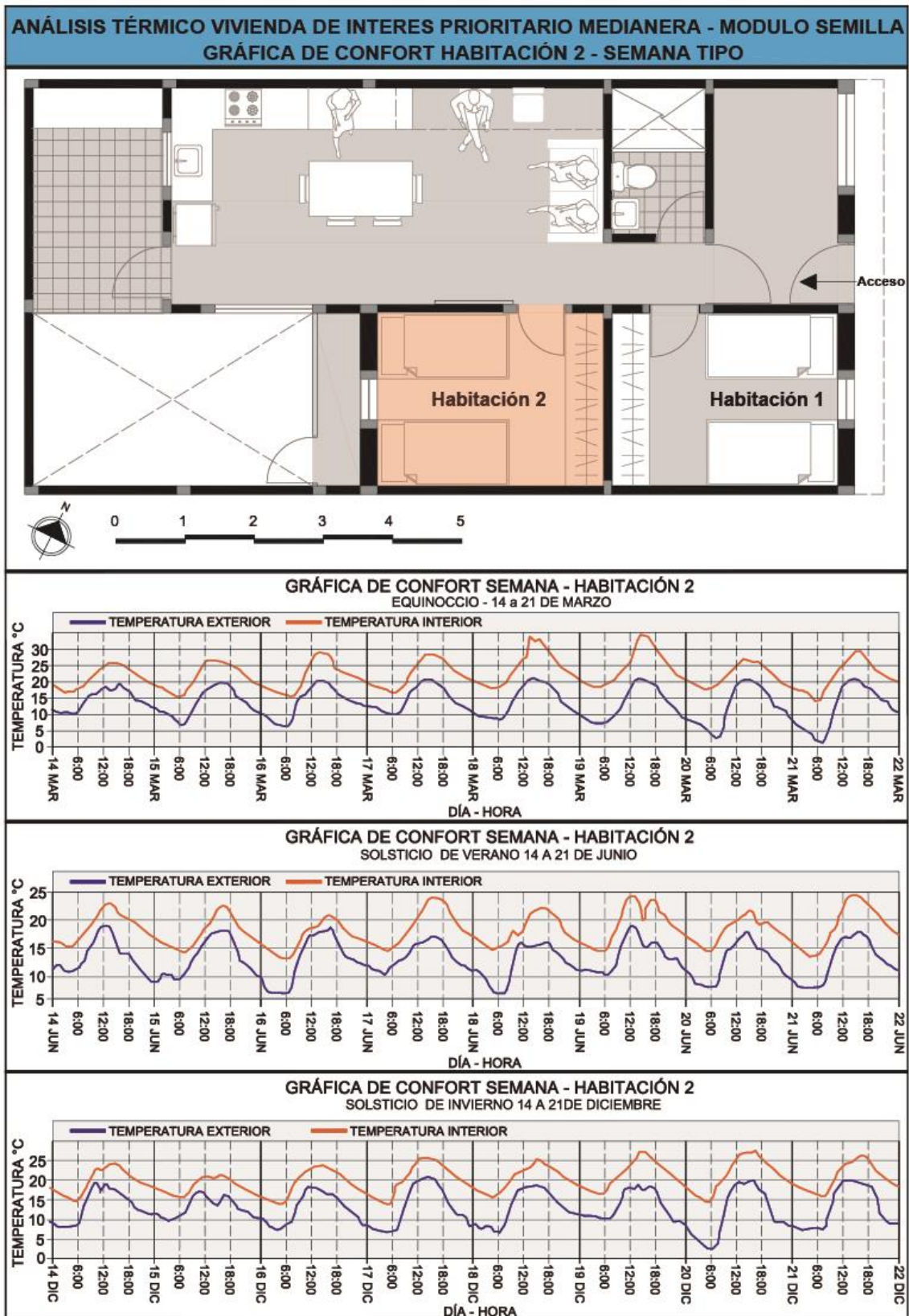


Figura 179. Análisis de confort térmico VIP en lote propio medianero. Elaborado en el programa Design Builder. Editado por Luis Hernández

**En los resultados del análisis de confort térmico de la habitación 2 para la semana tipo de marzo** (fig. 179), se observa que el día el 19 de Marzo a las 14:00 la temperatura interior alcanzo un máximo de 35°C con una temperatura ambiente exterior de 21°C. En la habitación 2 el día 21 de Marzo a las 6:00 se obtuvo una temperatura interior de 14°C con una temperatura ambiente exterior de 3°C, obteniéndose de esta forma 11°C de diferencia de temperatura entre el interior y el exterior de la habitación 2 en el día más frío de la semana de tipo Marzo.

**En los resultados del análisis de confort térmico de la habitación 2 para la semana tipo de junio** (fig. 179), se observa que el día 21 de junio a las 15:00 la temperatura interior alcanzo un máximo de 24.8°C con una temperatura ambiente exterior de 17.5°C. El día 16 de junio a las 6:00 se obtuvo una temperatura interior de 13.5°C con una temperatura ambiente exterior de 6°C, obteniéndose de esta forma 7.5°C de diferencia de temperatura entre el interior y el exterior de la habitación 2 en el día más frío de la semana tipo de junio.

**En los resultados del análisis térmico de la habitación 2 para la semana tipo de diciembre** (fig. 179), se observa que para el día 20 de diciembre a las 15:30 se obtuvo una temperatura interior máxima de 26.5°C con una temperatura ambiente exterior de 20.3 °C. El día 19 de diciembre a las 6:00 se obtuvo una temperatura interior de 15°C con una temperatura exterior ambiente de 3°C, obteniéndose de esta forma 12°C de diferencia de temperatura entre el interior y el exterior de la habitación 2 en el día más frío de la semana tipo de diciembre.

**Mediante los análisis de confort térmico de la habitación 2** (fig. 179) se observa que la temperatura interna siempre estuvo por encima de la temperatura ambiente exterior en un rango de 5°C a 15°C, lo cual demuestra la efectividad de las estrategias pasivas de calefacción solar pasiva y el efecto de la masa térmica en la VIP en lote propio medianero, y se comprueba que mediante este tipo de técnicas de climatización pasiva se pueden obtener espacios dentro de un rango de confort aceptable para los habitantes de las viviendas sociales de los andes tropicales.

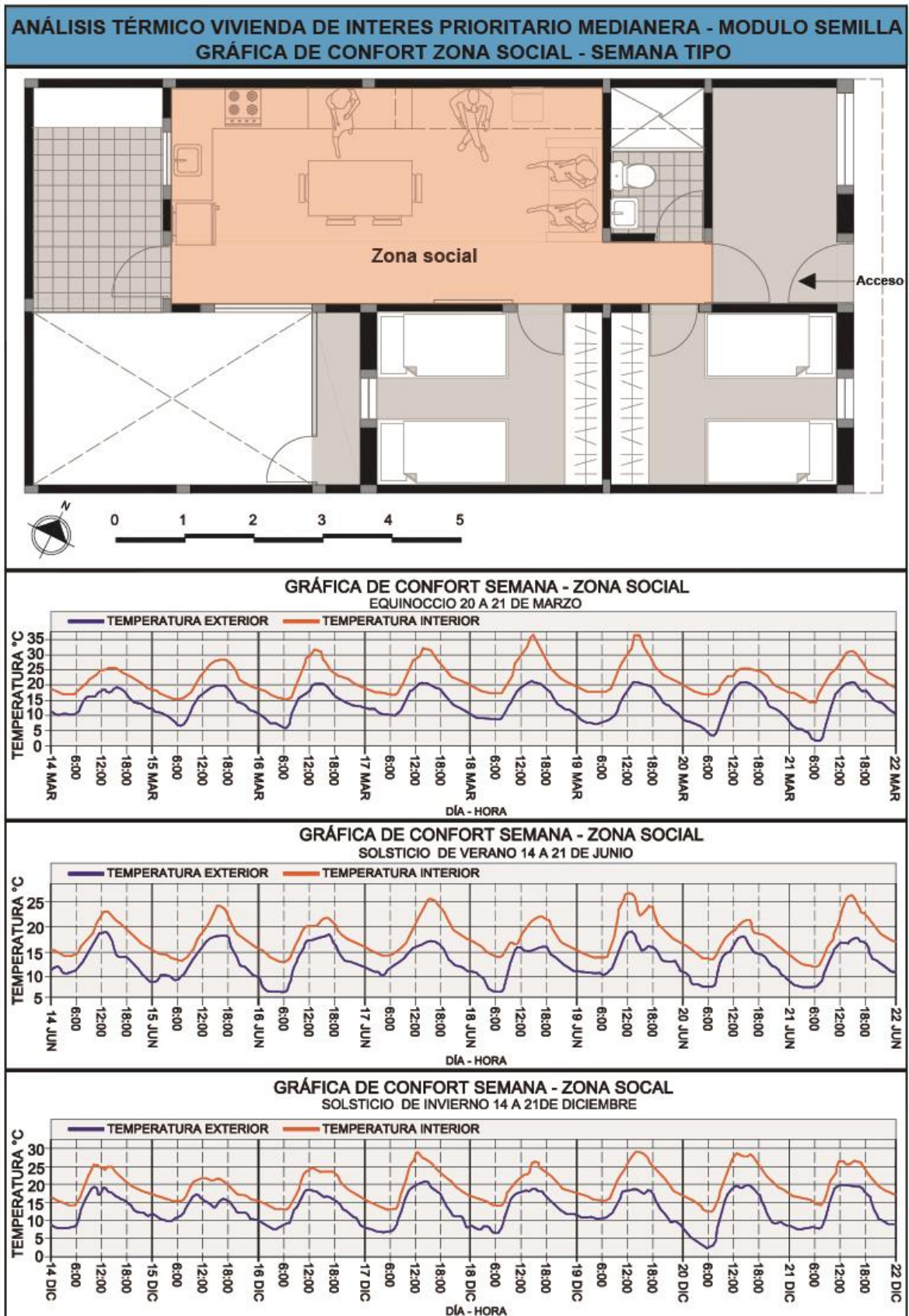


Figura 180. Análisis de confort térmico VIP en lote propio medianero – semana tipo - habitación 1. Elaborado en el programa Design Builder. Editado por Luis Hernández

**En los resultados del análisis de confort térmico de la zona social para la semana tipo de marzo** (fig. 180), se observa que el 19 de Marzo a las 14:00 se obtuvo una temperatura interior máxima de 36°C con una temperatura ambiente exterior de 21°C. El día 21 de Marzo a las 6:00 se obtuvo una temperatura interior de 14°C con una temperatura ambiente exterior de 3°C, obteniéndose de esta forma 11°C de diferencia de temperatura entre el interior y el exterior de la zona social en el día más frío de la semana tipo de Marzo.

**En los resultados del análisis de confort térmico de la zona social para la semana tipo de junio** (fig. 180), se observa que el día 21 de junio a las 15:00 se obtuvo la temperatura interior máxima de la semana con 24.8°C con una temperatura ambiente exterior de 17.5°C. El día 16 de junio a las 6:00 se obtuvo una temperatura interior de 13.5°C con una temperatura ambiente exterior de 6°C, obteniéndose de esta forma 7.5°C de diferencia de temperatura entre el interior y el exterior de la zona social en el día más frío de la semana tipo de junio.

**En los resultados del análisis de confort térmico de la zona social para la semana tipo de diciembre** (fig. 180), se observa que el día 17 de diciembre a las 12:00 una temperatura interna máxima de 28°C con una temperatura exterior de 20°C. El día 20 de diciembre a las 6:00 se obtuvo una temperatura interior de 13°C con una temperatura ambiente exterior de 3°C, obteniéndose de esta forma 10°C de diferencia de temperatura entre el interior y el exterior de la zona social en el día más frío de la semana tipo de diciembre.

**Mediante los análisis de confort térmico de la zona social** (fig. 180) se observa que la temperatura interna siempre estuvo por encima de la temperatura ambiente exterior en un rango de 5°C a 15°C, lo cual demuestra la efectividad de las estrategias pasivas de calefacción solar pasiva y el efecto de la masa térmica en la VIP en lote propio medianero, y se comprueba que mediante este tipo de técnicas de climatización pasiva se pueden obtener espacios dentro de un rango de confort aceptable para los habitantes de las viviendas sociales de los andes tropicales.



## 11.3 SIMULACIONES VIRTUALES VIP EN LOTE PROPIO AISLADO

### 11.3.1 ANALISIS DE SOMBRAS VIP EN LOTE PROPIO AISLADO

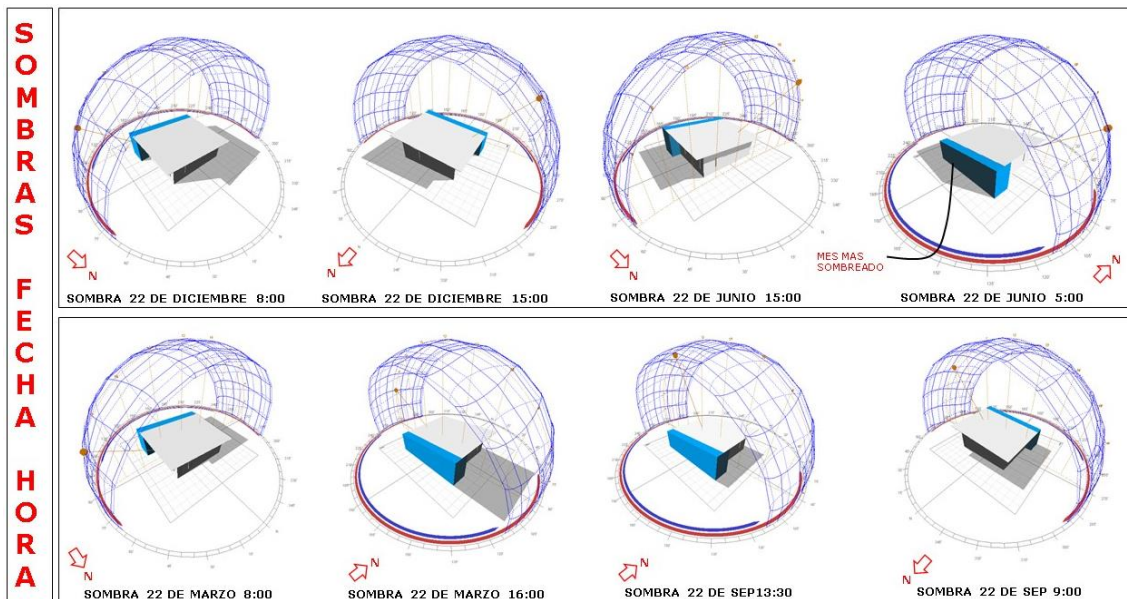
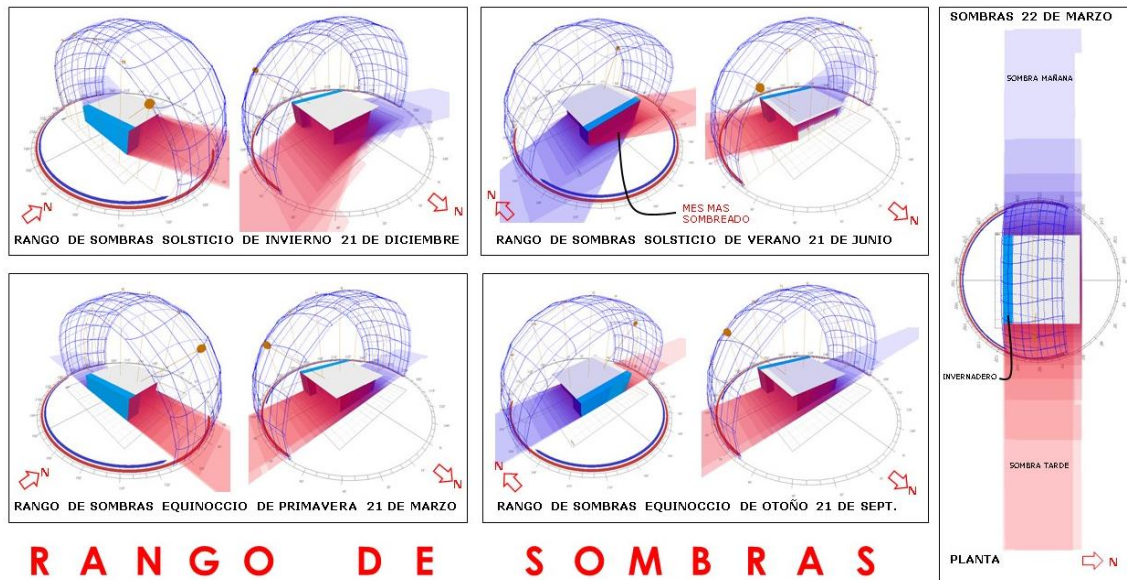


Figura 181. Rango de sombras de la VIP en lote aislado. Elaborado en el programa Autodesk Ecotec. Editado por: Luis Hernández

El invernadero se dispone de forma longitudinal en el **eje Este – Oeste**, con el fin de establecer una relación con el recorrido solar y así obtener una mayor cantidad de radiación solar desde el amanecer hasta el poniente. Las habitaciones y el invernadero se ubican hacia el costado sur de la vivienda en donde la radiación solar incide directamente con un ángulo de  $28^\circ$  en diciembre en el solsticio de invierno. Mediante esta ubicación el invernadero capta la mayor cantidad de radiación solar por año y alcanza solo a tener sombra en su fachada sur en

Junio en el solsticio de verano – mediante este análisis de geometría solar se comprueba que la mejor ubicación para el invernadero es el costado sur de la vivienda (fig. 181).

## 11.3.2 ANALISIS DE RADIACIÓN SOLAR VIP EN LOTE PROPIO AISLADO



Figura 182. Análisis de radiación solar - Unidad de medida wh/m<sup>2</sup> Elaborado en el programa Autodesk Ecotec. - Editado por: Luis Hernández

Para el lugar de estudio la fachada en donde incide la mayor cantidad de radiación solar es la cubierta (fig. 182), y puede alcanzar hasta los 900 wh/m<sup>2</sup> hacia el mediodía, por este hecho la propuesta arquitectónica de la **VIP-LP Aislada** incorpora un invernadero adosado que capte mayoritariamente los rayos solares por cubierta para luego ser transmitidos hacia las habitaciones. Las paredes del invernadero obtienen de 384 wh/m<sup>2</sup> a 556 wh/m<sup>2</sup> durante el transcurso del día.

La energía captada por el invernadero se transmite hacia las habitaciones por convección mediante la termo-circulación a través de perforaciones que se ubican en la parte superior e inferior de los muros de las habitaciones que colindan con el invernadero, también el calor se transmite por conducción desde el área más caliente del muro hacia la más fría.

**El invernadero se adosa directamente sobre el área de las habitaciones** puesto que estos son los **recintos de mayor uso en las noches**, rango de tiempo en donde se presentan las temperaturas más bajas y por ello es donde se requiere en mayor medida el acondicionamiento térmico.



### 11.3.3 ANÁLISIS DE ILUMINACIÓN NATURAL VIP EN LOTE PROPIO AISLADO

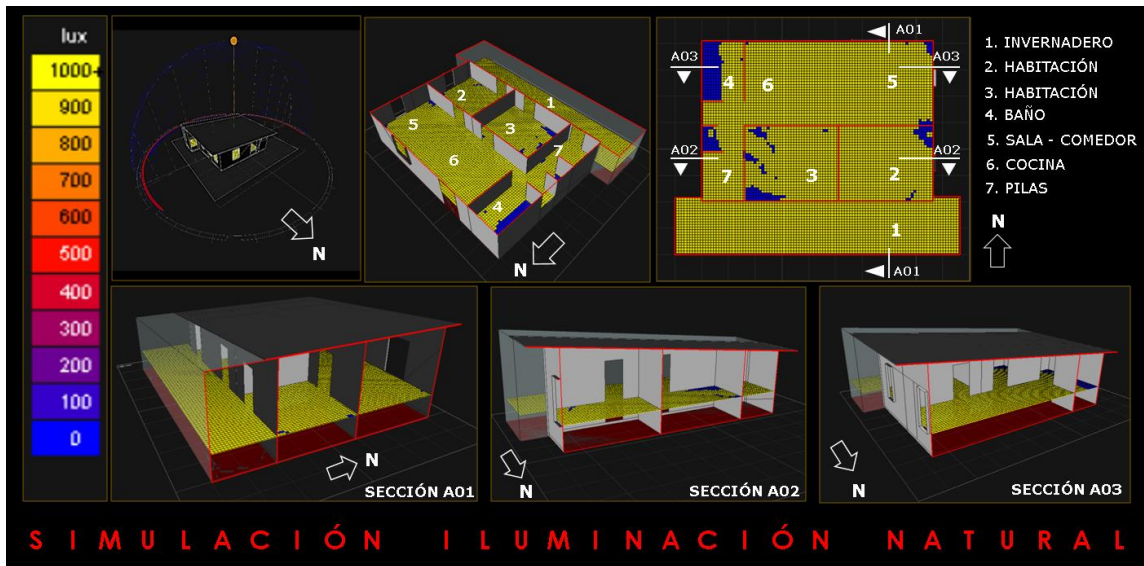


Figura 183. Análisis de iluminación natural - Elaborado en el programa Autodesk Ecotec. - Editado por: Luis Hernández

Las simulaciones de iluminación natural se realizaron sobre un plano de trabajo de 90 cm y una grilla de análisis de 20cm en el programa **Autodesk Ecotec Analysis**. Mediante este análisis (fig. 183) se determinó que la zona social de la vivienda, las habitaciones y el cuarto de lavado obtienen una cantidad de iluminación de 1000 luxes, el baño básicamente obtiene 100 luxes. Los resultados obtenidos demuestran que la calidad de la iluminación natural en la vivienda es óptima para la habitabilidad de sus ocupantes (tabla 9).

### 11.3.4 ANÁLISIS VENTILACIÓN NATURAL VIP EN LOTE PROPIO AISLADO

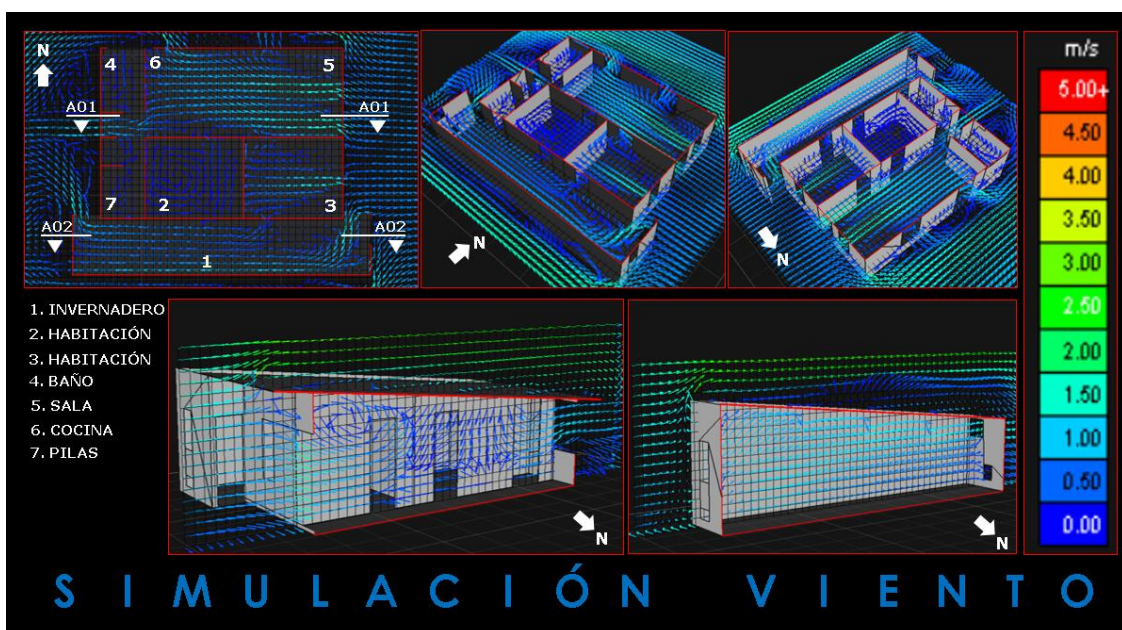


Figura 184. Análisis de viento. Elaborado en el programa Autodesk Ecotec - Editado por: Luis Hernández

La simulación de ventilación natural (fig. 184) se realizó sobre una grilla de análisis de 20cm y una velocidad de viento de 5 m/s con dirección este-oeste en el programa **Autodesk Ecotec Analysis**. Mediante este análisis se observa que en la vivienda existe una constante renovación de aire por la ventilación cruzada que se da a través de la totalidad de los espacios de la vivienda, obteniendo velocidades de 1m/s y 2m/s al interior de la vivienda.

### 11.3.5 ANALISIS TÉRMICO VIP EN LOTE PROPIO AISLADO

La VIP en lote propio asilado se propone en el sistema constructivo de bahareque de tierra con recubrimiento en tabal parada, se proponen muros de tierra con conductividad térmica ( $\lambda = 0.75$  w/m.k) y un espesor de 20 cm (Tabla 12), y recubrimientos de madera de 2cm con conductividad de térmica ( $\lambda = 0.15$  w/m.k) (ASHRAE). El material utilizado tiene una baja resistencia térmica y una moderada transmitancia térmica (tabla 12). La Rsi y Rse: Las resistencias térmicas superficiales corresponden al aire interior (0.13 [m<sup>2</sup>.K/W]) y al aire exterior (0.04 [m<sup>2</sup>.K/W]). (Díaz Regodon & Tenorio Ríos, 2005)

<b>Bahareque de tierra</b>			
<b>Material</b>	<b>Espesor (m)</b>	<b>"<math>\lambda</math>"(w/m.k)</b>	<b>"R" (m<sup>2</sup>.K/W)</b>
Madera maciza	0,02	0,15	0,13
Tierra seca	0,2	0,75	0,27
Madera maciza	0,02	0,15	0,13
Rsi			0,13
Rse			0,04
<b>"Rt" Resistencia Total (m<sup>2</sup>.K/W)</b>			<b>0,7</b>
<b>"U" Transmitancia térmica (w/m<sup>2</sup>.k)</b>			<b>1,43</b>

Tabla 11 - Tabla de propiedad de bahareque de tierra - Espesor 24 centímetros. Fuente: Vega, J. 2016. Editado por Luis Hernández

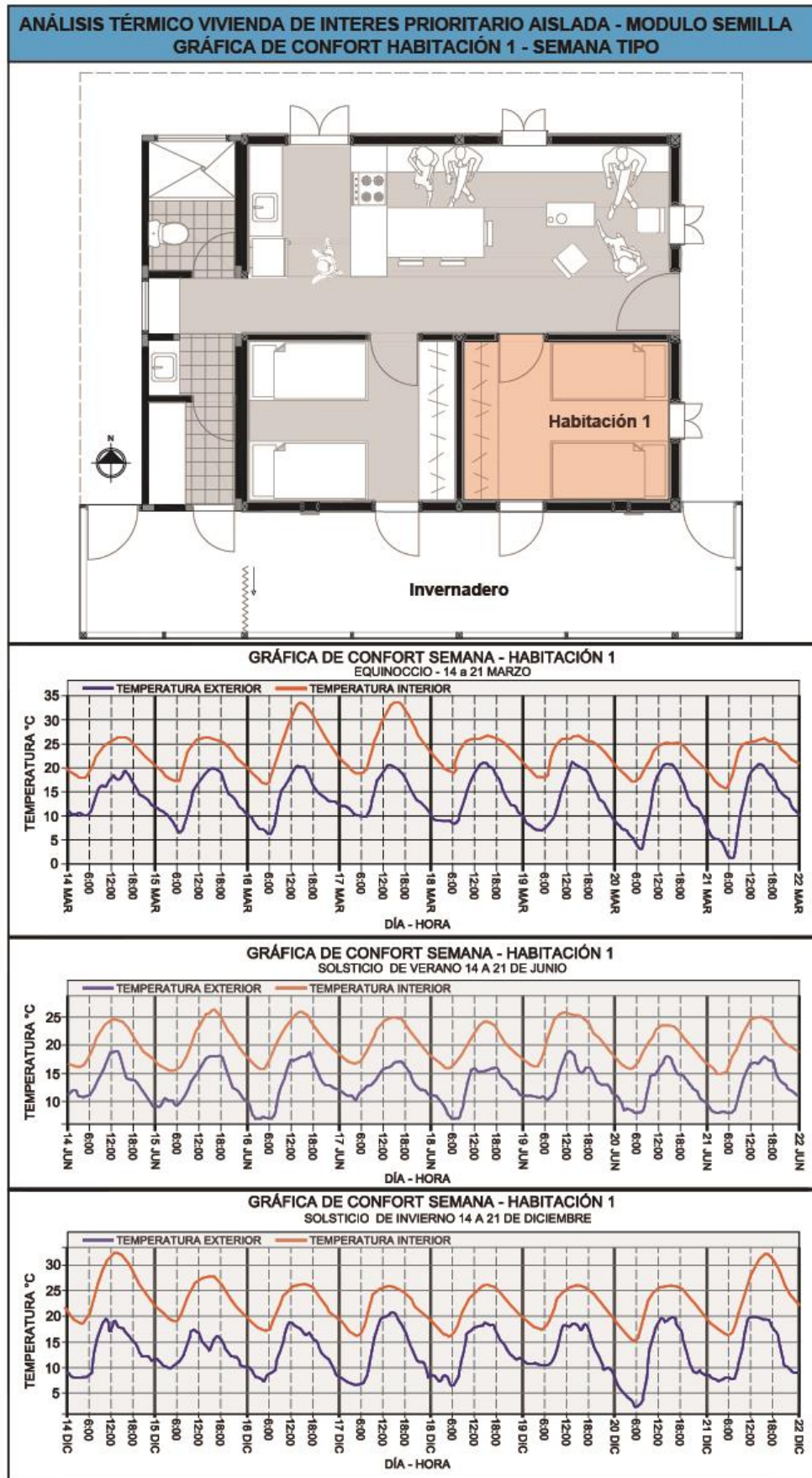


Figura 185. Análisis de confort térmico VIP en lote propio aislado – semana tipo - habitación 1. Elaborado en el programa Design Builder. Editado por Luis Hernández

**En los resultados del análisis de confort térmico de la habitación 1 de la VIP en lote propio aislado para la semana tipo de Marzo** (fig. 185), se observa que los días 16 y 17 de marzo a las 14:00 la temperatura interior alcanzo un máximo de 34°C con una temperatura ambiente exterior de 20°C. El día 21 de Marzo a las 6:00 la temperatura interior fue de 14°C con una temperatura ambiente exterior de 2°C, obteniéndose de esta forma 12°C de diferencia de temperatura entre el interior y el exterior de la habitación 1 en el día más frio de la semana tipo de marzo.

**En los resultados del análisis de confort térmico de la habitación 1 de la VIP en lote propio aislado para la semana tipo de junio** (fig. 185), se observa que el día 15 de junio a las 14:10 la temperatura interior alcanzo un máximo de 26.5°C con una temperatura ambiente exterior de 18°C. El día 21 de junio a las 6:00 la temperatura interior fue de 15°C con una temperatura ambiente exterior de 2°C, obteniéndose de esta forma 13°C de diferencia temperatura entre el interior y el exterior de la habitación 1 en el día más frio de la semana tipo de junio.

**En los resultados del análisis de confort térmico de la habitación 1 de la VIP en lote propio aislado para la semana tipo de diciembre** (fig. 185), se observa que el día 14 de diciembre a las 13:00 la temperatura interior alcanzo un máximo de 33°C con una temperatura ambiente exterior de 20°C. El día 20 de diciembre a las 6:00 la temperatura interior fue de 15°C con una temperatura ambiente exterior de 2°C, obteniéndose de esta forma 13°C de diferencia temperatura entre el interior y el exterior de la habitación 1 en el día más frio de la semana tipo de diciembre.

**Mediante los análisis de confort térmico de la habitación 1** (fig. 185) se observa que la temperatura interna siempre estuvo por encima de la temperatura ambiente exterior en un rango de 4°C a 14°C, lo cual demuestra la efectividad de las estrategias pasivas de calefacción solar pasiva y el efecto de la masa térmica en la VIP en lote propio aislado, y se comprueba que mediante este tipo de técnicas de climatización pasiva se pueden obtener espacios dentro de un rango de confort aceptable para los habitantes de las viviendas sociales de los andes tropicales.



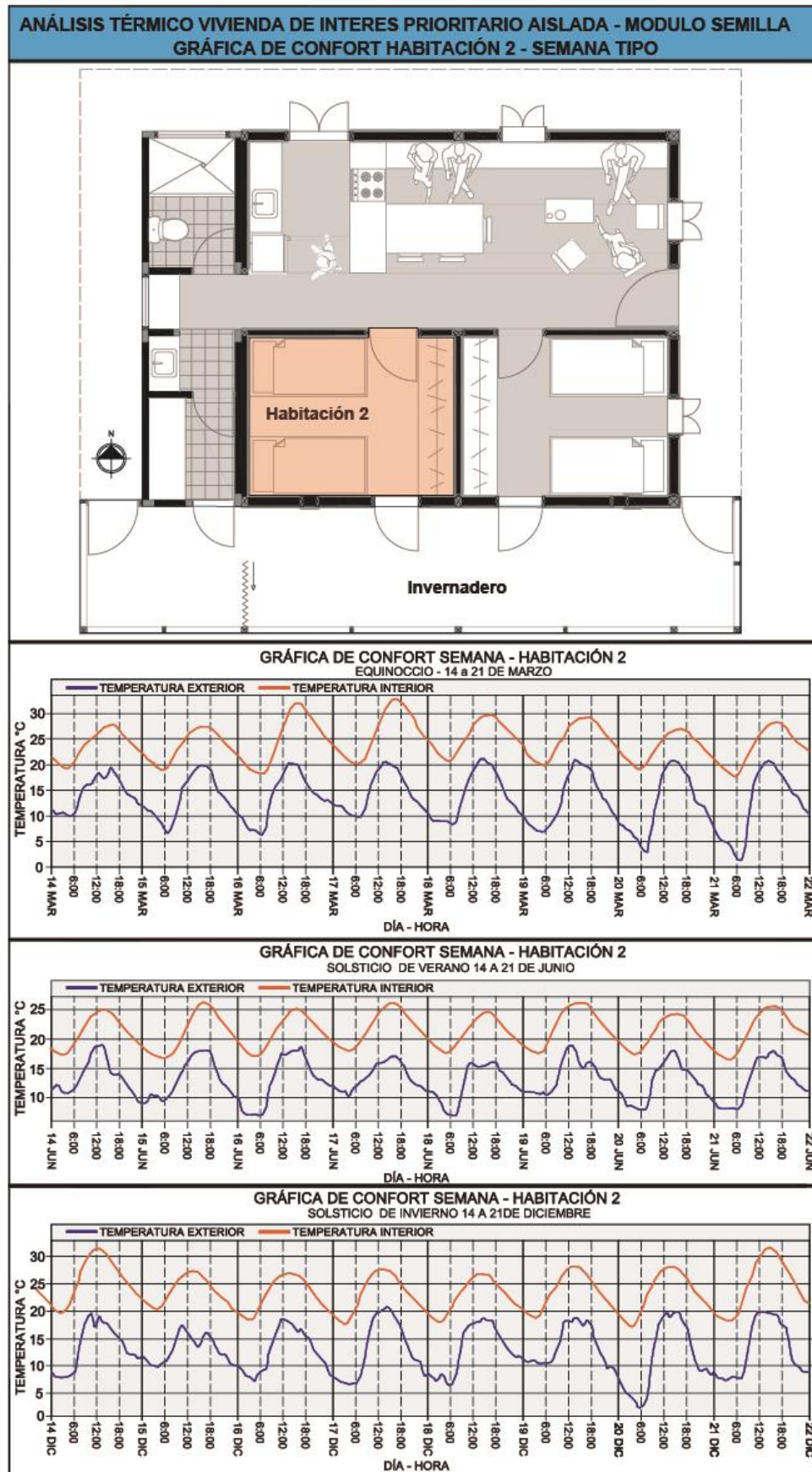


Figura 186. Análisis de confort térmico VIP en lote propio aislada – semana tipo - habitación 1. Elaborado en el programa Design Builder. Editado por Luis Hernández

**En los resultados del análisis de confort térmico de la habitación 2 de la VIP en lote propio aislado para la semana tipo de marzo** (fig. 186), se observa que el día 17 de marzo a las 14:00 la temperatura interior alcanzó un máximo de 34°C con una temperatura ambiente exterior de 20°C. El día 21 de Marzo a las 6:00 la temperatura interior fue de 17.5°C con una temperatura ambiente exterior de 2°C, obteniéndose de esta forma 15.5°C de diferencia temperatura entre el interior y el exterior de la habitación 2 en el día más frío de la semana tipo de marzo.

**En los resultados del análisis de confort térmico de la habitación 2 de la VIP en lote propio aislado para la semana tipo de junio** (fig. 186), se observa que el día 17 de junio a las 14:00 la temperatura interior alcanzó un máximo de 26.5°C con una temperatura ambiente exterior de 18°C. El día 21 de junio a las 6:00 la temperatura interior fue de 15°C con una temperatura ambiente exterior de 8°C, obteniéndose de esta forma 7°C de diferencia temperatura entre el interior y el exterior de la habitación 2 en el día más frío de la semana tipo de junio.

**En los resultados del análisis de confort térmico de la habitación 2 de la VIP en lote propio aislado para la semana tipo de diciembre** (fig. 186), se observa que el día 14 de diciembre a las 12:00 la temperatura interior alcanzó un máximo de 33°C con una temperatura ambiente exterior de 20°C. El día 20 de diciembre a las 6:00 la temperatura interior fue de 15°C con una temperatura ambiente exterior de 2°C, obteniéndose de esta forma 13°C de diferencia temperatura entre el interior y el exterior de la habitación 2 en el día más frío de la semana tipo de diciembre.

**Mediante los análisis de confort térmico de la habitación 2 de la VIP en lote propio aislado** (fig. 186) se observa que la temperatura interna siempre estuvo por encima de la temperatura ambiente exterior en un rango de 4°C a 15.5°C, lo cual demuestra la efectividad de las estrategias pasivas de calefacción solar pasiva y el efecto de la masa térmica en la VIP en lote propio aislado, y se comprueba que mediante este tipo de técnicas de climatización pasiva se pueden obtener espacios dentro de un rango de confort aceptable para los habitantes de las viviendas sociales de los andes tropicales.



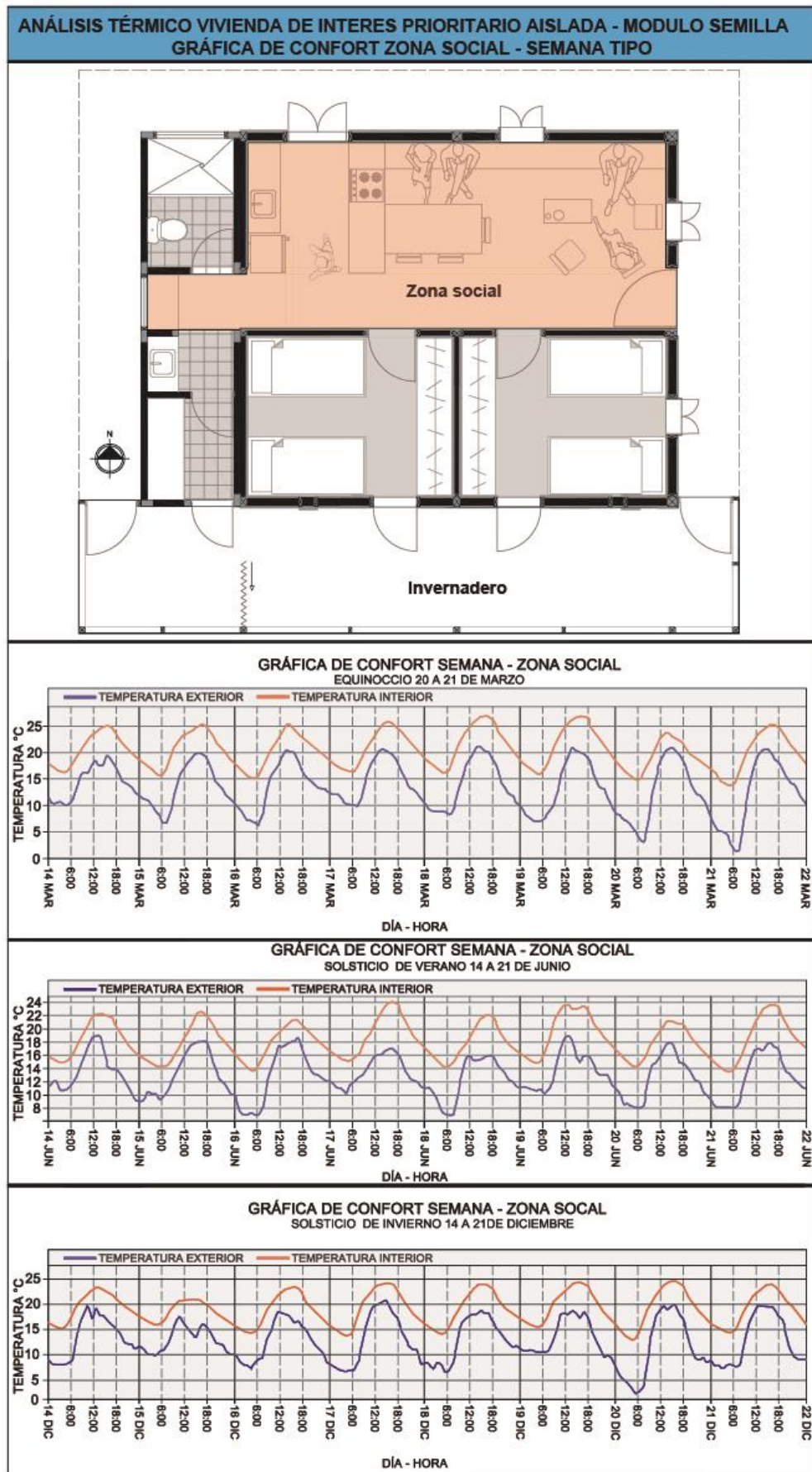


Figura 187. Análisis de confort térmico VIP en lote propio aislada – semana tipo - habitación 1. Elaborado en el programa Design Builder. Editado por Luis Hernández

**En los resultados del análisis de confort térmico de la zona social de la VIP en lote propio aislado para la semana tipo de marzo** (fig. 187), se observa que el día 18 de marzo a las 14:00 la temperatura interior alcanzo un máximo de 27.5°C con una temperatura ambiente exterior de 20°C. El día 21 de Marzo a las 6:00 la temperatura interior fue de 14°C con una temperatura ambiente exterior de 2°C, obteniéndose de esta forma 12°C de diferencia temperatura entre el interior y el exterior de la zona social en el día más frio de la semana tipo de marzo.

**En los resultados del análisis de confort térmico de la zona social de la VIP en lote propio aislado para la semana tipo de junio** (fig. 187), se observa que el día 17 de junio a las 15:30 la temperatura interior alcanzo un máximo de 24°C con una temperatura ambiente exterior de 18°C. El día 16 de junio a las 6:00 la temperatura interior fue de 14°C con una temperatura ambiente exterior de 6°C, obteniéndose de esta forma 7°C de diferencia temperatura entre el interior y el exterior de la zona social en el día más frio de la semana tipo de junio.

**En los resultados del análisis de confort térmico de la habitación 2 de la VIP en lote propio aislado para la semana tipo de diciembre** (fig. 187), se observa que el día 20 de diciembre a las 14:00 la temperatura interior alcanzo un máximo de 25°C con una temperatura ambiente exterior de 20°C. El día 20 de diciembre a las 6:00 la temperatura interior fue de 12.5°C con una temperatura ambiente exterior de 2°C, obteniéndose de esta forma 10.5°C de diferencia de temperatura entre el interior y el exterior de la habitación 2 en el día más frio de la semana tipo de diciembre.

**Mediante los análisis de confort térmico de la habitación 2 de la VIP en lote propio aislado** (fig. 187) se observa que la temperatura interna siempre estuvo por encima de la temperatura ambiente exterior en un rango de 4°C a 10.5°C, lo cual demuestra la efectividad de las estrategias pasivas de calefacción solar pasiva y el efecto de la masa térmica en la VIP en lote propio aislado, y se comprueba que mediante este tipo de técnicas de climatización pasiva se pueden obtener espacios dentro de un rango de confort aceptable para los habitantes de las viviendas sociales de los andes tropicales.

## **12) CONCLUSIONES**

Mediante las simulaciones térmicas se determinó que el interior de las habitaciones alcanza temperaturas de 14°C y hasta 19.2°C en las horas más críticas (horas de la noche y la madrugada), aumentando así mediante las estrategias bioclimáticas planteadas la temperatura interior de las habitaciones hasta 15.5°C con respecto a la temperatura ambiente exterior. Concluyéndose así que las propuesta bioclimática de las viviendas genera espacios térmicamente equilibrados y confortables para sus moradores en las horas de la noche.

Mediante los dos estudios de caso de las viviendas construidas en el municipio se registraron en la temporada lluviosa (abril – mayo) y en horas de la madrugada temperaturas mínimas de 8.5°C para la vivienda en tabla parada y 9.0°C para la vivienda en mampostería confinada, en la temporada seca se registraron una temperatura mínima en horas de la madrugada de 8.9°C para la vivienda en tabla parada y 8.4°C para la vivienda en mampostería confinada. Comparando estos datos con los resultados de los análisis térmicos de las propuestas de viviendas bioclimáticas objeto de la investigación se, obtuvo una temperatura mínima de 15°C a las 6:00 am en el equinoccio de marzo para la habitación 1 y una temperatura mínima de 14°C para la habitación 2 en el equinoccio de marzo, se comprueba que mediante los diseños bioclimáticos de la investigación se obtiene una ganancia de 5.6°C más de temperatura para las horas más frías en las viviendas planteadas en la investigación con respecto a las viviendas evaluadas en los estudios de caso, mejorando de esta forma el rendimiento térmico y la calidad de vida de sus habitantes.

Se concluye que la utilización de la estrategia pasiva de masa térmica en las fachadas y perímetro de las VIP en lote propio con muros de arcilla huecos dobles de 24 cm mejora el confort térmico de las viviendas, puesto que por su espesor contienen un coeficiente de transmisión U de 2,06 w/m<sup>2</sup>.k, lo que brinda una mayor estabilidad térmica al interior de los recintos ante las oscilaciones de temperatura exterior del municipio que pueden alcanzar hasta los 19° entre el día y la noche.

Se concluye que la utilización el bahareque de tierra como material de fachada para las VIP en lote propio aislada funciona exitosamente, puesto que la capacidad térmica de la tierra más la madera produce un coeficiente de transmisión U de 1.42 w/m<sup>2</sup>.k, lo cual brinda estabilidad térmica al interior de la vivienda ante las oscilaciones de temperatura exterior que pueden alcanzar hasta los 19° entre el día y la noche en su época más crítica.

La realización de los estudios de caso en el municipio (vivienda en tabla parada y vivienda en mampostería confinada), fueron un insumo importante para la realización de la presente investigación, puesto que brindaron datos climáticos reales de la condición ambiental de las dos viviendas evaluadas, y demostraron la necesidad de implementar estrategias bioclimáticas para climatizar pasivamente las propuestas arquitectónicas de la presente investigación.

El eficiente funcionamiento de las estrategias pasivas de calefacción solar y el efecto de la masa térmica en las viviendas propuestas en la presente investigación, demuestra que se pueden encarar la crisis ambiental, social y energética actual, con propuestas de arquitectura bioclimática que aspiren a la sostenibilidad.

Se comprueba que el uso de invernaderos adosados y de materiales que contengan una alta masa térmica permite solucionar adecuada y eficientemente la necesidad de confort térmico de las regiones del trópico alto andino. Adicionalmente este tipo de técnicas bioclimáticas se integran funcional, estética y formalmente a las propuestas arquitectónicas desarrolladas en la presente investigación.

El estudio previo del clima es fundamental para emprender cualquier proyecto de arquitectura, puesto que si se entiende el comportamiento de los elementos climáticos que inciden en una región, se puede modificar y adaptar pasivamente edificaciones para que propicien confort en sus moradores, una mejor relación con la naturaleza y un enriquecimiento en el lenguaje formal de la arquitectura.

En la actualidad las herramientas digitales de simulación energética de edificaciones aportan significativamente en las etapas de diseño de los proyectos, mediante la predicción de la calidad ambiental de sus espacios internos se pueden detectar y corregir posibles fallos en las estrategias de climatización pasiva y eficiencia energética de la arquitectura bioclimática.

La aplicación de la metodología bioclimática planteada hace más de medio siglo por Olgyay, actualmente sigue en vigencia, siendo esta enriquecida y adaptada a través del tiempo con nuevos estudios, tecnologías y herramientas digitales que brindan al proyectista pautas de diseño que tienen como objetivo afrontar los nuevos retos, desafíos y problemáticas de la sociedad contemporánea.

La implementación de los parámetros de diseño como el de flexibilidad y crecimiento progresivo en la arquitectura, en combinación con las estrategias bioclimáticas para el clima frío húmedo de Murillo, Tolima, posibilitaron la generación de dos nuevas tipologías de vivienda social para el municipio y para los climas fríos de la alta montaña de los andes tropicales



## **13)RECOMENDACIONES**

La radiación solar incide mayormente de forma perpendicular en el territorio tropical, por este hecho para las zonas frías del trópico andino se recomienda el uso de invernaderos adosados a las viviendas y el uso de lucernarios para captar la energía solar por cubierta, mediante estas técnicas pasivas se aumenta eficientemente y con bajo consumo energético la temperatura interna de la vivienda.

Se recomienda el uso de la captación de la radiación solar directa para aumentar la temperatura interna de los espacios construidos de las viviendas del trópico alto andino, esto si teniendo en consideración el uso de sistemas de persianas móviles para bloquear la radiación solar cuando esta se torne inconfortable por su dirección u aumento excesivo de temperatura, como también para usarlas en las noches para evitar pérdidas de temperatura.

Durante los equinoccios y hacia las horas del mediodía al interior de las viviendas diseñadas en la presente investigación existen picos de temperatura interna que pueden estar entre los 30 y 34°C, para disminuir los excedentes de temperatura durante estos lapsos de tiempo es necesario abrir puertas y ventanas de los invernaderos, usar las persianas móviles para obstruir el ingreso de la radiación solar y con esto evitar el aumento de la temperatura interna y obtener así una vivienda climáticamente equilibrada para esas horas críticas.

Se recomienda para el municipio de Murillo, Tolima, que el uso de las estrategias de calefacción solar pasiva y el efecto de la masa térmica trabajen en conjunto. Puesto que la radiación solar captada durante el día por invernaderos y lucernarios debe ser acumulada por el efecto de la masa térmica de los materiales constructivos para estabilizar así la térmicamente la vivienda durante las noches.

Para el caso de la estrategia de calefacción solar pasiva de invernadero adosado, se deben de distribuir los espacios internos de la vivienda de tal forma que las habitaciones estén relacionadas directamente con el invernadero, esto con el fin de que la energía solar captada mediante el invernadero se distribuya eficientemente a las habitaciones durante el día y la noche.

Se recomienda el uso de ladrillos de arcilla hueco de espesor de 24cm para la construcción de viviendas en el municipio de Murillo Tolima, puesto que este tipo de cerramiento contiene una transmitancia térmica de 2.06 w/m<sup>2</sup>.k, lo cual mejora la capacidad aislante de la fachada y estabiliza la temperatura interior de las viviendas ante las oscilaciones de temperatura del clima de Murillo que puede en su fecha más crítica ser de 19°C entre el día y la noche (IDEAM) .

Se recomienda el uso de muros de bahareque de tierra en tabla parada de espesor de 24cm para la construcción de viviendas en el municipio de Murillo Tolima, puesto que la tierra en trabajo en conjunto con dos capas de madera de 2cm de espesor generan una transmitancia

térmica por el valor de  $1.43 \text{ w/m}^2\cdot\text{k}$ ., lo cual produce un gran aislamiento y estabilidad térmica al interior de la vivienda, funcionando así como amortiguador de los habituales desfases de temperatura del municipio que puede en su fecha más crítica ser de  $19^\circ\text{C}$  entre el día y la noche (IDEAM).

## **14) BIBLIOGRAFIA**

- Koenigsberger, O., Ingersoll, T. Maynew, A. & Szokolay, S. (1997). *Viviendas y edificios en zonas cálidas y tropicales*. Madrid: PARANINFO.
- Neila, J. (2004). *Arquitectura Bioclimática en un Entorno Sostenible*. España: Munilla-Leria.
- García, J. (2005): *Viento y Arquitectura, el viento como factor de diseño arquitectónico*. México: Trillas
- Yañez, G. (2008). *Arquitectura Solar e Iluminación Natural*. España: Munilla-Leria.
- Olgay, V. (1996). *Arquitectura y Clima - Manual de Diseño Bioclimático Para Arquitectos y Urbanistas*. Barcelona: Gustavo Gili, SA.
- Gonzalo, G. (2003): *Manual de Arquitectura Bioclimática*. Argentina: nobuko.
- Higuera, E. (2006). *Urbanismo Bioclimático*. Barcelona: Gustavo Gili, SA.
- Rodríguez, V., (2001). *Introducción a la Arquitectura bioclimática*. México D.F: Limusa, S.A de C.V Noriega Editores.
- Moreno, G., (1991). *Colombia Arquitectura Hombre y Clima. SENA -Universidad Nacional*.
- Santa, E. (1997). *Arrieros y Fundadores, Aspectos de la Colonización Antioqueña, tercera edición*. Colombia: Alcaldía Popular del Líbano
- Guzmán, G., Fals, O., & Umaña, E. (2010) *La Violencia En Colombia Tomo I*. Colombia: Distribuidora y Editora Aguilar, Altea, Taurus, Alfagura, Bogotá.
- Stadtmüller, T. (1987), c (2009). *Los bosques andinos y el agua. Serie investigación y sistematización #4*. Programa Regional ECOBONA-INTERCOOPERATION, CONDESAN. Quito, mayo 2009.
- Viquez A., Mora, F., Frederik, J., González, M., Obando, M., & Rodríguez, V. (2011). *Diseño de la envolvente y sus implicaciones en el confort higrotérmico*. Seminario de graduación para optar por el grado de Licenciatura en Arquitectura. Universidad de Costa Rica, Costa Rica.
- Alfaro, A., Aymerich, N., Blanco, G., Bolaños, L., Campos, A., & Matarrita, R. (2013): *Guía de Diseño Bioclimático Según Clasificación de Zonas de Vida de Holdridge*. Seminario de graduación para optar por el grado de Licenciatura en Arquitectura. Universidad de Costa Rica, Costa Rica.
- Arce, E., Fernández, D., Herrera, M., Rodríguez, S., Vásquez, A., & Vega, C. (2012). *Memoria, Estrategias pasivas de diseño Bioclimático*. Seminario de graduación para optar por el grado de Licenciatura en Arquitectura. Universidad de Costa Rica, Costa Rica.
- Sancho, A. (2013). *Uso de la simulación digital para reacondicionar bioclimáticamente edificios existentes*. Tesis para optar por el grado de licenciatura en arquitectura. Universidad de Costa Rica, Costa Rica.
- Vega, J. (2016): *Investigación prenORMATIVA de control térmico en fachadas de edificios multifamiliares tipo VIS en la ciudad de Bogotá D.C*. Tesis para optar por el título de Magister en construcción. Universidad Nacional de Colombia, Colombia.
- Díaz M., Tenorio, J. (2005). *Pérdidas de calor y formación de condensaciones en los puentes térmicos de los edificios*.
- Alarcón, J., (2016). *Indicadores Básicos de Salud Tolima*. Secretaria de Salud – Gobernación del Tolima.
- Concejo Municipal de Murillo. (2002): *Esquema de Ordenamiento Territorial Municipio de Murillo*. Alcaldía de Murillo departamento del Tolima.
- Acuerdo número 011 de 2016 – “Por el cual se adopta el plan de desarrollo del Municipio de Murillo Tolima, para el periodo 2016-2019 y se dictan otras disposiciones”- República de Colombia Departamento del Tolima Concejo Municipal de Murillo.
- Bouillon, C. (2012). *Un Espacio Para el Desarrollo. LOS MERCADOS DE VIVIENDA EN AMÉRICA LATINA Y EL CARIBE*. (2017). Banco Interamericano de Desarrollo. BID. Disponible en: <https://publications.iadb.org/en/un-espacio-para-el-desarrollo-los-mercados-de-vivienda-en-america-latina-y-el-caribe>
- Celis, F. (2000). *Arquitectura bioclimática, conceptos básicos y panorama actual [en línea]*. POLI-RED Revistas digitales de la Universidad Politécnica de Madrid, Boletín CF+S. Disponible en: <http://habitat.aq.upm.es/boletin/n14/afcel.html>

- Cortes, S. (2008). Condiciones de Aplicación de la Arquitectura Bioclimática. POLI-RED Revistas digitales de la Universidad Politécnica de Madrid, Boletín CF+S. [Citado el 18/10/2017]. Disponible en: <http://polired.upm.es/index.php/boletincfs/article/view/2833/2895>
- Natividad, A., Ocupa, D., & Manfred, H. 2010. ¿Los Muros Trombe Sirven en el Perú?. Facultad de Ciencias, Universidad Nacional de Ingeniería. Lima Perú. Disponible en: <http://fc.uni.edu.pe/mhorn/Cusco%202010.pdf>
- Ramos, E. Ocupa, D., Molina, J., Natividad, J., Espinoza, R., & Prieto, R. (2013): ACONDICIONAMIENTO TÉRMICO PARA EDIFICACIONES RURALES ALTOANDINAS. Dirección Nacional de Construcción del Viceministerio de construcción. Disponible en: <http://www.perusolar.org/wp-content/uploads/2013/12/Ramos-Martinez-Eduardo.pdf>
- Arango, C., Dorado, J., Guzmán, D., Ruiz, J. (2012): CLIMATOLOGÍA TRIMESTRAL DE COLOMBIA. Grupo de modelamiento de tiempo, clima y escenarios de cambio climático, subdirección de meteorología IDEAM. Disponible en: <http://www.ideam.gov.co/documents/21021/21789/Climatolog%C3%ADa+Trimestral+para+Colombia+%28Ruiz%2C+Guzman%2C+Arango+y+Dorado%29.pdf/c2825963-c373-449a-a7cb-8480874478d9>
- Reyes, D., Ramírez, C., & Aurora, J. (2011). Serie de Guías – Calidad de la Vivienda de Interés Social. 2018. Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial – Republica de Colombia. *Disponible en:* : [http://www.minvivienda.gov.co/Documents/guia\\_asis\\_tec\\_vis\\_1.pdf](http://www.minvivienda.gov.co/Documents/guia_asis_tec_vis_1.pdf)
- Prieto, R., Quispe, J., & Orezza, G. (2013). SOLUCIONES CONSTRUCTIVAS PARA ELEVAR LA TEMPERATURA INTERIOR EN VIVIENDAS RURALES UBICADAS EN ZONAS ALTO ANDINAS. 2017. Ministerio de Construcción y Saneamiento del Perú. Disponible en: [http://www3.vivienda.gob.pe/dnc/archivos/Estudios\\_Normalizacion/Estudios\\_tecnicos/Investigacion\\_Estudios/ficha-tecnica-soluciones-constructivas.pdf](http://www3.vivienda.gob.pe/dnc/archivos/Estudios_Normalizacion/Estudios_tecnicos/Investigacion_Estudios/ficha-tecnica-soluciones-constructivas.pdf)
- Comisión Nacional de Energía. Gobierno de Chile. (2009). Guía de diseño para la eficiencia energética en la vivienda social.. Disponible en : <http://comteccachile.blogspot.com/2010/08/guia-de-diseno-para-la-eficiencia.html7>
- Manual de Diseño Pasivo y Eficiencia Energética en Edificios Públicos. Instituto de la Construcción de Chile. Ministerio de Educación. Código Innova Chile – 090CN14-5706
- Ortiz, E. (2012). Producción social de la vivienda y el habitat. Bases conceptuales y correlación con los procesos habitacionales. Mexico: Habitat International Coalition-HIC. Disponible en:
- Salas, J. (2000). COLECCIÓN TECNOLOGIAS PARA VIVIENDA DE INTERES SOCIAL. TOMO V. LA INDUSTRIALIZACIÓN POSIBLE DE LA VIVENDA LATINOAMERICANA. Colombia: Escala Ltda.
- Gelabert, D y González, D. (2013). Progresividad en la Vivienda. Enfoques Teóricos. Departamento de Diseño. Facultad de Arquitectura. Instituto de Superior Politécnico Jose Antonio Echerría, La Habana Cuba. Disponible en: [http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1815-58982013000100003](http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1815-58982013000100003)
- Gelabert, D y González, D. (2013). Vivienda progresiva y flexible. Aprendiendo del repertorio. (2013). Facultad de Arquitectura. Instituto de Superior Politécnico Jose Antonio Echerría, La Habana Cuba. Disponible en: [http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1815-58982013000200005](http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1815-58982013000200005)
- Echeverri, J., Gómez, J., Jácome, F. & Preciado, N. (2014). Cien años de políticas habitacionales. Ministerio de vivienda, Ciudad y Territorio para el Séptimo Foro Urbano Mundial. Colombia. 2018. Disponible en: <http://minvivienda.gov.co/Documents/100anosdepoliticashabitacionales.pdf>
- Mignucci, A. y Habraken, J. (2010). Soportes Vivienda y Ciudad. INSTITUTO DE ARQUITECTURA TROPICAL. Disponible en: <http://www.arquitecturatropical.org/EDITORIAL/documents/Soportes%20vivienda%20y%20ciudad%20IATMignucci.pdf>
- Gómez, A. (2011). Las Viviendas de la sierra y el Frio. Disponible en: [arquitectoalejandrogomezrios.com/costosjun2011.pdf](http://arquitectoalejandrogomezrios.com/costosjun2011.pdf)



- Conversación mediante correo electrónico con CARMEN KUROIWA HORIUCHI DE DEL RIO, INGENIERA CIVIL, Universidad Nacional de Ingeniería, Lima- Perú. Tema: Estrategias solares de climatización pasiva en los andes tropicales. Correo electrónico [carmenkuroiwa@gmail.com](mailto:carmenkuroiwa@gmail.com).2018.
- Parra, O. El color y la arquitectura colonial antioqueña. Disponible en: <https://arquitecturaycolor.wordpress.com/>
- Concepto de Desarrollo Sostenible. Asamblea General de las Naciones Unidas. Disponible en: <http://www.un.org/es/ga/president/65/issues/sustdev.shtml>.
- Saumeth, Erich. Historia de la Guerrilla en Colombia. 2018. Disponible en: <http://ecsbdefesa.com.br/defesa/fts/HGC.pdf>
- Barcelona centre for International Affairs. Conflicto en Colombia: antecedentes históricos y actores. 2018. Disponible en: [https://www.cidob.org/publicaciones/documentacion/dossiers/dossier\\_proceso\\_de\\_paz\\_en\\_colombia/dossier\\_proceso\\_de\\_paz\\_en\\_colombia/conflicto\\_en\\_colombia\\_antecedentes\\_historicos\\_y\\_actores](https://www.cidob.org/publicaciones/documentacion/dossiers/dossier_proceso_de_paz_en_colombia/dossier_proceso_de_paz_en_colombia/conflicto_en_colombia_antecedentes_historicos_y_actores)
- Fundación Verdad Abierta. (11 de febrero de 2008). La desmovilización: el proceso de Paz (2003-2006). 2018. Disponible en: <https://verdadabierta.com/periodo4/>
- ASHRAE (2009). “ASHRAE Handbook Fundamentals”.
- Zona de convergencia intertropical. Disponible en: <https://lmmeteoven.webcindario.com/zcit.html>.
- Descripción programa virtual design builder. Disponible en: [www.designbuilder-lat.com](http://www.designbuilder-lat.com)
- Descripción programa virtual meteonorm. Disponible en: <https://aiguasol.coop/es/software-energia/meteonorm-7-2-datos-climaticos-globales/>
- Glosario. Disponible en: <http://www.arquinstal.com.ar/glosario09.html>