

UNIVERSIDAD NACIONAL JORGE BASADRE GROHMANN

Escuela de Posgrado

**MAESTRÍA EN CIENCIAS CON MENCIÓN EN GESTIÓN
AMBIENTAL Y DESARROLLO SOSTENIBLE**

**DESARROLLO DE UN MODELO DE EVALUACIÓN DE
PARÁMETROS AMBIENTALES PARA LOGRAR EL
CONFORT TÉRMICO AL INTERIOR DE LAS
VIVIENDAS EN EL CENTRO POBLADO
MENOR DE KALLAPUMA, PROVINCIA
DE TARATA, REGIÓN TACNA**

TESIS

PRESENTADA POR:

MARIA LOURDES GIRON PIZARRO

Para optar el Grado Académico de:

**MAESTRO EN CIENCIAS (*MAGISTER SCIENTIAE*) CON MENCIÓN
EN GESTIÓN AMBIENTAL Y DESARROLLO SOSTENIBLE**

TACNA – PERÚ

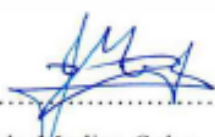
2023


UNIVERSIDAD NACIONAL JORGE BASADRE GROHMANN – TACNA
ESCUELA DE POSGRADO

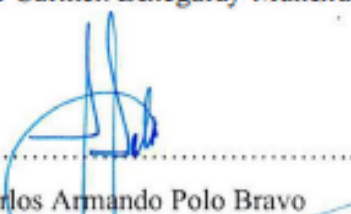
**MAESTRÍA EN CIENCIAS CON MENCIÓN EN GESTIÓN
AMBIENTAL Y DESARROLLO SOSTENIBLE**


**DESARROLLO DE UN MODELO DE EVALUACIÓN DE
PARÁMETROS AMBIENTALES PARA LOGRAR EL CONFORT TÉRMICO
AL INTERIOR DE LAS VIVIENDAS EN EL CENTRO POBLADO MENOR DE
KALLAPUMA, PROVINCIA DE TARATA, REGIÓN TACNA**

Tesis sustentada y aprobada el 05 de mayo del 2023; estando el jurado calificador
integrado por:

PRESIDENTE : 
Dr. Jesús Plácido Medina Salas

SECRETARIO : 
Dr. Victor Carmen Echegaray Munenaka

MIEMBRO : 
M.Sc. Carlos Armando Polo Bravo

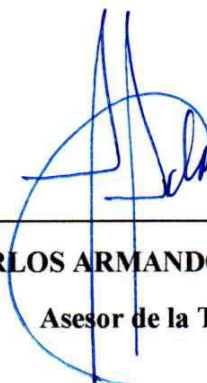
ASESOR : 
M.Sc. : Carlos Armando Polo Bravo

CO ASESOR : 
Dr. Mónica Marcela Gómez León

CONSTANCIA DE SIMILITUD TURNITIN

YO, CARLOS ARMANDO POLO BRAVO, docente adscrito al Departamento Académico de Física de la Facultad de Ciencias, en mi condición de asesor de la tesis titulada: “**DESARROLLO DE UN MODELO DE EVALUACIÓN DE PARÁMETROS AMBIENTALES PARA LOGRAR EL CONFORT TÉRMICO AL INTERIOR DE LAS VIVIENDAS EN EL CENTRO POBLADO MENOR DE KALLAPUMA, PROVINCIA DE TARATA, REGIÓN TACNA**”, realizada por la Arquitecto María Lourdes Girón Pizarro, la cual se ha revisado bajo el software **TURNITIN** con un resultado final de **SIMILITUD DEL 5%**, por lo que dejo constancia que la tesis cumple con el reglamento correspondiente, según el nivel exigido.

Tacna, 27 de junio de 2023



MsC. CARLOS ARMANDO POLO BRAVO

Asesor de la Tesis

Dedicatoria

A Dios por la vida recibida, por ser mi fortaleza en todo momento.

A mi madre y hermana porque siempre me inspira con su ejemplo y consejos.

A mi esposo y mis hijos Thiago y Piero que me alientan a seguir adelante.

A mi asesor y coasesora por su dedicación y experiencia.

Agradecimientos

Mi gratitud a la Escuela de Posgrado de la Universidad Nacional Jorge Basadre Grohmann, porque a través de sus docentes me inculcaron conocimientos y me motivaron a materializar este trabajo de investigación.

Este trabajo ha contado con el financiamiento del Consejo Nacional de Ciencia, Tecnología e Innovación (CONCYTEC), por medio del contrato 04-2018-FONDECYT-BM-IADT-MU: “Desarrollo de sistemas de calefacción solar para zonas altoandinas como una opción energética sostenible para mejorar la calidad de vida de los pobladores”.

Índice de contenido

Carátula

Hoja de jurados

Constancia de similitud

Dedicatoria

Agradecimientos

Resumen

Abstract

Introducción

CAPÍTULO I	2
1.1 DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA	2
1.1.1 Antecedentes del problema.....	2
1.1.2 Problemática de la investigación	5
1.2 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA	7
1.2.1 Problema general	7
1.2.2 Problemas específicos	7
1.3 JUSTIFICACIÓN E IMPORTANCIA.....	7
1.4 ALCANCES Y LIMITACIONES.....	8
1.5 OBJETIVO DE LA INVESTIGACIÓN	8
1.5.1 Objetivo general	8
1.5.2 Objetivos específicos.....	9
1.6 HIPÓTESIS	9
CAPÍTULO II	10
2.1 ANTECEDENTES DEL ESTUDIO	10
2.2 BASES TEÓRICAS	16
2.2.1 Parámetros ambientales	16
2.2.1.1 Parámetros ambientales	17
2.2.1.2 Parámetros personales	20

2.2.2	Confort térmico	23
2.2.2.1	Definición	23
2.2.2.2	Factores intervinientes en el confort térmico	24
2.2.2.3	Enfoques de confort térmico	24
2.2.3	La temperatura de confort	25
2.2.4	Rangos de confort.....	25
2.2.5	Cartas y diagramas de confort	26
2.2.6	Índices de confort	28
2.2.6.1	Ecuaciones de confort térmico	31
2.2.7	Las zonas altoandinas en el Perú	32
2.2.8	Las heladas	33
2.2.9	La vivienda altoandina	34
2.2.10	Definición de términos básicos	35
2.2.10.1	Parámetros ambientales	35
2.2.10.2	Helada meteorológica y agrometeorológica	36
2.2.10.3	Altitud	36
2.2.10.4	Clima	36
2.2.10.5	El metabolismo.....	36
2.2.10.6	Vivienda bioclimática.....	36
2.2.10.7	Arquitectura bioclimática	37
2.2.10.8	Balance térmico	37
2.2.10.9	Temperatura de confort	37
2.2.10.10	Confort ambiental.....	37
2.2.10.11	Confort térmico	37
2.2.10.12	Conducción	38
2.2.10.13	Convección	38
2.2.10.14	Radiación	38

2.2.10.15	Conductividad térmica (k).....	38
2.2.10.16	Densidad (ρ)	38
2.2.10.17	Calor específico (c).....	39
2.2.10.18	Difusividad térmica (a).....	39
2.2.10.19	Efusividad térmica (b).....	39
2.2.10.20	Inercia térmica.....	39
CAPÍTULO III.....		40
3.1	ENFOQUE ADAPTATIVO.....	40
3.1.1	Teoría del confort térmico adaptativo De Dear. (1998).....	41
3.2	ENFOQUE PREDICTIVO.....	41
3.2.1	Teoría del balance térmico Fanger P. O. (1973)	42
CAPÍTULO IV		43
4.1	TIPO Y DISEÑO DE INVESTIGACIÓN	43
4.1.1	Tipo de estudio	43
4.1.2	Nivel de investigación.....	43
4.1.3	Caracterización o tipo del diseño de investigación	43
4.2	POBLACIÓN Y MUESTRA	43
4.2.1	Población.....	43
4.2.2	Muestra.....	44
4.3	OPERACIONALIZACIÓN DE LAS VARIABLES.....	44
4.3.1	Identificación de las variables	44
4.3.1.1	Variable Independiente: Parámetros ambientales	44
4.3.1.2	Variable dependiente: Confort Térmico.....	44
4.3.2	Caracterización de las variables	44
4.3.3	Procesamiento y análisis de datos	46
CAPÍTULO V.....		47
5.1	DESCRIPCIÓN GENERAL	47

5.2	EL CLIMA EN KALLAPUMA	52
5.2.1	Análisis climático	52
CAPÍTULO VI		59
6.1	DISPOSITIVO DE REGISTRO DE DATOS	59
6.1.1	Calibración de los dispositivos	62
6.1.2	Dispositivos entregados	66
6.2	ENCUESTAS REALIZADAS Y PROCESO DE EVALUACIÓN	69
6.3	ANÁLISIS DE DATOS OBTENIDOS	70
6.3.1	Análisis del voto de sensación térmica	73
6.3.2	Análisis de la temperatura	75
6.3.2.1	Temperatura interior	75
6.3.2.2	Temperatura interior y exterior	85
6.3.3	Análisis de humedad	88
6.3.3.1	Humedad relativa interior	88
6.3.4	Relación de mezcla interior	92
6.3.4.1	Relación de mezcla interior y exterior	94
6.3.5	Análisis de actividad	95
6.3.6	Análisis de vestimenta	97
CAPÍTULO VII		102
7.1	ÁREAS PROPUESTAS DE CONFORT TÉRMICO	102
7.1.1	Por tipo de actividad	106
7.1.1.1	Actividad pasiva	107
7.1.1.2	Actividad moderada	111
7.2	COMPARACIÓN CON MODELOS EXISTENTES	115
CAPÍTULO VIII		117
8.1	CONCLUSIONES	117
8.2	RECOMENDACIONES	121

REFERENCIAS.....	122
ANEXOS	130

Índice de tablas

Tabla 1	<i>Límites de confort térmico, Mascaró (1983)</i>	17
Tabla 2	<i>Efectos del viento sobre el hombre</i>	18
Tabla 3	<i>Humedad Relativa Según UNE-EN 15251</i>	19
Tabla 4	<i>Producción de energía metabólica</i>	22
Tabla 5	<i>Escala de confort del voto medio estimado</i>	29
Tabla 6	<i>Ecuaciones de confort térmico</i>	31
Tabla 7	<i>Modelos de temperatura adaptativa. (Gómez-Azpeitia et al., 2007)</i>	40
Tabla 8	<i>Definición operacional de las variables</i>	45
Tabla 9	<i>Temperaturas características para Kallapuma año 2021</i>	52
Tabla 10	<i>Humedades Relativas mensuales para Kallapuma año 2021</i>	53
Tabla 11	<i>Precipitaciones mensuales para Kallapuma año 2021</i>	54
Tabla 12	<i>Velocidad del viento para Kallapuma año 2021, máxima, mínima y promedio</i>	55
Tabla 13	<i>Especificación de los componentes del dispositivo</i>	60
Tabla 14	<i>Resultado de calibración de dispositivos TSVR</i>	65
Tabla 15	<i>Dispositivos entregados</i>	67
Tabla 16	<i>Escalas utilizadas en el estudio</i>	69
Tabla 17	<i>Número de personas encuestadas por ambiente</i>	70
Tabla 18	<i>Número de personas que usaron los dispositivos</i>	71
Tabla 19	<i>Número de personas encuestadas por género y edad</i>	71
Tabla 20	<i>Número de personas que utilizaron los dispositivos por género y edad</i>	72
Tabla 21	<i>Voto de sensación térmica de los pobladores según el ambiente evaluado y registro</i>	73
Tabla 22	<i>Preferencia térmica indicada por los pobladores al momento de las encuestas</i>	75
Tabla 23	<i>Total de datos, para T_i [en °C], para cada VST</i>	77
Tabla 24	<i>Total de datos para T_i [en °C], para cada VST según género femenino</i>	80
Tabla 25	<i>Total de datos para T_i [en °C], para cada VST según género masculino</i>	81
Tabla 26	<i>Rangos de temperatura interior [en °C] con el total de datos disponibles, y clasificación por género</i>	81
Tabla 27	<i>Actividades físicas identificadas según encuestas</i>	82
Tabla 28	<i>Total de datos para T_i [en °C], para cada VST según actividad pasiva</i>	84

Tabla 29	<i>Total de datos para T_i [en °C], para cada VST según actividad moderada..</i>	85
Tabla 30	<i>Rangos de temperatura interior [en °C] con el total de datos de las encuestas y una clasificación según tipo de actividad</i>	85
Tabla 31	<i>Total de datos para HR_i [en %], para cada VST.....</i>	89
Tabla 32	<i>Total de datos, para HR_i [en %], según género femenino</i>	90
Tabla 33	<i>Total de datos, para HR_i [en %], según género masculino.....</i>	91
Tabla 34	<i>Rangos de humedad relativa interior [en %] con el total de datos disponibles, y clasificación por género</i>	91
Tabla 35	<i>Rangos de humedad relativa interior [en %] según el tipo de actividad.....</i>	91
Tabla 36	<i>Rangos de relación de mezcla interior (w_i) [g vapor /kg aire] calculados para los datos registrados en Kallapuma</i>	94
Tabla 37	<i>Actividades físicas identificadas según encuestas</i>	95
Tabla 38	<i>Vestimenta identificada en Kallapuma y valores en clo.....</i>	97
Tabla 39	<i>Límites de confort de los datos de temperatura, humedad relativa y la relación de mezcla del total de datos.</i>	106
Tabla 40	<i>Límites de la actividad pasiva y moderada para $T^{\circ}C$, HR y relación de mezcla</i>	106
Tabla 41	<i>Cantidad de respuestas dentro de las 4 zonas de confort propuestas en Kallapuma según el VST para la actividad pasiva.....</i>	108
Tabla 42	<i>Actividad pasiva. Cantidad de respuestas dentro de las 4 zonas de confort propuestas en Kallapuma según el VST y el valor de I_{cl}</i>	109
Tabla 43	<i>Actividad pasiva. Cantidad de respuestas dentro de las 4 zonas de confort propuestas en Kallapuma según los rangos de I_{cl}</i>	110
Tabla 44	<i>Cantidad de respuestas dentro de las 4 zonas de confort propuestas en Kallapuma según el VST para la actividad moderada</i>	112
Tabla 45	<i>Actividad moderada. Cantidad de respuestas dentro de las 4 zonas de confort propuestas en Kallapuma según el VST y el valor de I_{cl}</i>	113
Tabla 46	<i>Actividad moderada. Cantidad de respuestas dentro de las 4 zonas de confort propuestas en Kallapuma según los rangos de I_{cl}</i>	114
Tabla 47	<i>Especificaciones técnicas sensor de temperatura.</i>	130
Tabla 48	<i>Especificaciones técnicas logger.</i>	130

Índice de figuras

Figura 1 <i>Ejemplos de factor met</i>	21
Figura 2 <i>Ejemplos del grado de arropamiento clo</i>	23
Figura 3 <i>Diagrama psicrométrico Olgyay</i>	27
Figura 4 <i>Diagrama psicrométrico Givoni</i>	27
Figura 5 <i>Principales normativas sobre ergonomía del ambiente térmico</i>	29
Figura 6.....	48
Figura 7 <i>(a) Vista de la plaza principal del centro poblado Kallapuma, (b) vista del paisaje del centro poblado</i>	49
Figura 8 <i>(a) Vivienda típica del centro poblado Kallapuma muros de adobe, techos de planchas de zinc, pisos de tierra, (b) Vivienda típica del centro poblado Kallapuma muros de adobe, techos de planchas de zinc, pisos de tierra, (c) Vivienda alpaquera en anexos</i>	50
Figura 9 <i>(a) Vista del centro de salud de Kallapuma, (b) vista del Tambo Kallapuma, (c) Vista del colegio Horacio Zeballos Gamez, (d) Vista de la vía principal TA 562</i>	51
Figura 10 <i>Temperaturas mensuales máximas, medias y mínimas para Kallapuma año 2021</i>	53
Figura 11 <i>Humedad Relativa mensual máximas, medias y mínimas para Kallapuma año 2021</i>	54
Figura 12 <i>Precipitación mensual para Kallapuma año 2021</i>	55
Figura 13 <i>Velocidad del viento mensual total y promedio para Kallapuma año 2021</i> .	56
Figura 14 <i>Rosa de viento mensual para Kallapuma, año 2021</i>	56
Figura 15 <i>Configuración de las placas del dispositivo TSVR, realizado en KiCad</i>	61
Figura 16 <i>(a) Esquema del dispositivo TSVR cuyas medidas son de 0,10 m de ancho x 0,15 m de altura x 0,07 m de espesor, (b) fotografía del dispositivo TVSR aplicado a la investigación que contiene una tarjeta microSD en formato CSV, con un voltaje de 4,5 V</i>	61
Figura 17 <i>Calibración de dispositivos TSVR ecuaciones lineales datos de temperatura</i>	63
Figura 18 <i>Calibración de dispositivos TSVR ecuaciones lineales datos de humedad relativa</i>	64
Figura 19 <i>Fotografía de los dispositivos TSVR y Data Logger para Termocuplas HOBO al momento de la calibración al interior de una habitación del tambo Kallapuma</i>	65
Figura 20 <i>Cartilla de instrucciones para uso de dispositivos TSVR</i>	66

Figura 21	<i>Entrega de dispositivos TSVR a alumnos de la I.E. Horacio Zeballos Gámez (a,b,c,d) y recepción de dispositivos TSVR en Anexo Mamuta (e,f)</i>	68
Figura 22	<i>Instrumento estación meteorológica Davis vantage pro2 plus para la medición de parámetros como la temperatura, la humedad relativa y la velocidad de viento en Kallapuma</i>	70
Figura 23	<i>N° de varones y mujeres encuestados en Kallapuma</i>	72
Figura 24	<i>N° de varones y mujeres que utilizaron los dispositivos</i>	73
Figura 25	<i>Votos de sensación térmica según el ambiente evaluado</i>	74
Figura 26	<i>Temperatura interior y voto de sensación térmica de los encuestados en Kallapuma. El radio de los círculos está en función a la cantidad de datos obtenidos para cada valor de T_i y VST</i>	76
Figura 27	<i>Valores promedio de la temperatura interior del total de datos</i>	77
Figura 28	<i>Temperatura interior y voto de sensación térmica de los encuestados en Kallapuma, género femenino</i>	78
Figura 29	<i>Valores promedio de la temperatura interior por género femenino</i>	79
Figura 30	<i>Temperatura interior y voto de sensación térmica de los encuestados en Kallapuma, género masculino</i>	79
Figura 31	<i>Valores promedio de la temperatura interior por género masculino</i>	80
Figura 32	<i>Total de datos obtenidos de temperatura interior y VST de los encuestados en Kallapuma según el tipo de actividad pasiva</i>	82
Figura 33	<i>Valores promedio de la temperatura interior según actividad pasiva</i>	83
Figura 34	<i>Total de datos obtenidos de temperatura interior y VST de los encuestados en Kallapuma según el tipo de actividad moderada</i>	83
Figura 35	<i>Valores promedio de la temperatura interior según actividad moderada</i>	84
Figura 36	<i>Información recopilada en Kallapuma, Temperatura exterior y Voto de sensación térmica registradas simultáneamente</i>	86
Figura 37	<i>Información recopilada en Kallapuma, Temperatura exterior mensual y Voto de sensación térmica registradas simultáneamente</i>	86
Figura 38	<i>Relación entre T_e y T_i, para valores del $VST = N$</i>	87
Figura 39	<i>Humedad relativa interior y Voto de sensación térmica registradas en Kallapuma</i>	89
Figura 40	<i>Total de datos estimación de los valores promedio, mínimos extensos y máximos extensos para cada voto de sensación térmica</i>	90

Figura 41	<i>Relación de mezcla interior (w_i) y el voto de sensación térmica (VST) de los encuestados en Kallapuma</i>	92
Figura 42	<i>Total de datos estimación de w_i, valores promedio, mínimos extensos y máximos extensos para cada voto de sensación térmica</i>	93
Figura 43	<i>Humedad relativa exterior (HR_e) y el voto de sensación térmica (VST) de los encuestados en Kallapuma</i>	94
Figura 44	<i>Distribución del nivel de actividad (M) de los encuestados en Kallapuma</i>	96
Figura 45	<i>Nivel de vestimenta (M) y actividad (I_{cl}) de los encuestados en Kallapuma, según el voto de sensación térmica</i>	96
Figura 46	<i>Distribución del nivel de vestimenta (clo) de encuestados en Kallapuma</i>	98
Figura 47	<i>Nivel de vestimenta (I_{cl}) de acuerdo a la temperatura interior y el voto de sensación térmica</i>	99
Figura 48	<i>Nivel de vestimenta (I_{cl}) de acuerdo a la temperatura exterior y el voto de sensación térmica</i>	100
Figura 49	<i>Zonas de confort identificadas Z1 Y Z2</i>	104
Figura 50	<i>Zonas de confort identificadas Z3 Y Z4</i>	105
Figura 51	<i>Para la actividad pasiva. Zonas de confort térmico propuestas</i>	107
Figura 52	<i>Para la actividad pasiva. Análisis de las respuestas del VST obtenidas dentro de las zonas propuestas y según el valor de I_{cl}</i>	109
Figura 53	<i>Para la actividad pasiva. Análisis de las respuestas del VST obtenidas dentro de las zonas propuestas y según el valor de I_{cl}</i>	110
Figura 54	<i>Para la actividad moderada. Análisis de las respuestas del VST obtenidas dentro de las zonas propuestas y según el valor de I_{cl}</i>	111
Figura 55	<i>Para la actividad moderada. Análisis de las respuestas del VST obtenidas dentro de las zonas propuestas y según el valor de I_{cl}</i>	113
Figura 56	<i>Para la actividad moderada. Análisis de las respuestas del VST obtenidas dentro de las zonas propuestas y según el valor de I_{cl}</i>	114

Resumen

La presente tesis denominada Desarrollo de un modelo de evaluación de parámetros ambientales para lograr el confort térmico al interior de las viviendas en el Centro Poblado Menor de Kallapuma, provincia de Tarata, región Tacna, se basó en el estudio del confort térmico de los pobladores de Kallapuma.

Para ello se aplicó un dispositivo de bajo costo que permitió medir parámetros bioclimáticos como temperatura, humedad relativa, hora y fecha; a su vez, registró percepciones de confort como la sensación térmica (muy frío, frío, neutro, calor, mucho calor), información personal e indumentaria que utilizaba el usuario (10 categorías) denominado voto de sensación térmica (VST). Estas mediciones fueron tomadas en los meses de mayo, junio y julio del 2022. Se identificaron 07 viviendas situadas en el centro poblado de Kallapuma ubicado a 4258,0,00 m.s.n.m., donde se distribuyeron los dispositivos y se recopiló la información de cada uno de los integrantes de las familias.

Se analizó la aceptabilidad real que tienen los usuarios de las condiciones térmicas; a su vez se aplicaron encuestas de satisfacción teniendo en cuenta la vestimenta, alimentación, actividad física y la comodidad térmica.

Una vez obtenidos los datos, se identificó la temperatura de neutralidad y el rango de confort térmico para la población del centro poblado de Kallapuma teniendo en cuenta las normas ASHRAE 55 e ISO 7730 y comparándose con modelos desarrollados por autores como Fanger, Humphreys, Givoni, entre otros.

Conocer las condiciones definidas de confort térmico y el tipo de población favorecerá el diseño de inmuebles en zonas altoandinas.

Expresar las condiciones relacionadas a la temperatura, humedad relativa y percepciones de confort térmico facilita la aplicación de estrategias pasivas de acondicionamiento ambiental.

Palabras clave: parámetros ambientales, confort térmico, zona altoandina, temperatura de neutralidad.

Abstract

The present thesis called Development of an evaluation model of environmental parameters to achieve thermal comfort inside the houses in the minor populated center of Kallapuma, Tarata province, Tacna region, was based on the study of the thermal comfort of the Kallapuma residents.

For this, a low-cost device was applied that allowed measuring bioclimatic parameters such as temperature, relative humidity, time and date; In turn, it recorded perceptions of comfort such as thermal sensation (very cold, cold, neutral, hot, very hot), personal information and clothing used by the user (10 categories) called the thermal sensation vote (VST). These measurements were taken in the months of May, June and July 2022. 07 houses located in the town center of Kallapuma located at 4258.000 meters above sea level were identified, where the devices were distributed and the information of each of them was collected. the members of the families.

The real acceptability that users have of the thermal conditions was analyzed; in turn, satisfaction surveys were applied taking into account clothing, food, physical activity and thermal comfort.

Once the data was obtained, the neutrality temperature and the thermal comfort range for the population of the Kallapuma populated center were identified, taking into account the ASHRAE 55 and ISO 7730 standards and comparing them with models developed by authors such as Fanger, Humphreys, Givoni, among others.

Knowing the defined conditions of thermal comfort and the type of population will favor the design of properties in high Andean areas.

Expressing the conditions related to temperature, relative humidity and perceptions of thermal comfort facilitates the application of passive environmental conditioning strategies.

Keywords: environmental parameters, thermal comfort, high Andean zone, neutrality temperature.

Introducción

Los estudios vinculados al confort térmico señalan el objetivo de analizar y determinar condiciones necesarias que se evalúan y permiten diseñar un ambiente térmico propicio para actividades y ocupación humanas.

Para establecer si un ambiente es adecuado térmicamente es pertinente tener en cuenta la variable de “confort térmico” que se comprende como el estado satisfactorio físico y psíquico en relación al ambiente térmico.

Existen dos enfoques de evaluación del confort térmico que han venido evolucionado en las últimas décadas: cuantitativo y adaptativo. El enfoque cuantitativo se fundamenta en la transmisión de calor entre el ambiente y el cuerpo de los individuos, conectando estos fenómenos con la experimentación de sensaciones térmicas. La condición para formular este modelo es que los sujetos de estudio deben situarse en un ambiente con condiciones térmicas casi constantes, subestimando la capacidad de adaptación climática y la de efectuar cambios que mejoren su sensación de bienestar térmico. El enfoque adaptativo de Nicol y Humphreys, se focaliza en las características térmicas del ambiente, la conducción de calor desde y hacia el cuerpo humano, la subjetividad de la conducta de las personas; además de la interacción psicológica y fisiológica, incorporando los efectos de aclimatación y las decisiones de las personas, para acercarse a las condiciones de confort.

El estudio presenta información recogida a través de dispositivos de bajo costo que permitieron medir parámetros ambientales: temperatura, humedad relativa, percepciones de confort térmico como la sensación térmica e información personal e indumentaria; a su vez se aplicaron encuestas referentes al tipo de actividad, vestimenta, voto de sensación térmica y preferencia térmica. Todo ello con la finalidad de estimar la temperatura de confort o de neutralidad T_n para Kallapuma.

CAPÍTULO I

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1 DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA

1.1.1 Antecedentes del problema

En la última década, a nivel nacional, se ha estudiado sobre el confort térmico preferentemente en zonas altoandinas para atenuar el fenómeno climatológico de las bajas temperaturas o “helada”, identificándose diferentes proyectos de investigación (tesis de licenciatura y maestría), proyectos pilotos y programas locales.

En este trabajo de investigación es preciso analizar la vivienda que se constituye en un espacio de refugio y protección para los seres humanos convirtiéndose en un factor fundamental que disminuye las consecuencias de las heladas en los pueblos de las zonas altoandinas. Por otro lado, es una realidad la existencia de construcciones impropias por la utilización de materiales incongruentes y la ausencia de mantenimiento que originan penetraciones de aire helado, además de puentes térmicos en techos, puertas, ventanas o pisos fríos que perjudican el clima al interior de las viviendas cuya consecuencia son temperaturas similares a las del exterior.

Asimismo, las familias de menores recursos que habitan esos lugares utilizan fogones para preparar sus alimentos y beneficiarse así al calentar sus viviendas; a pesar de esto, se genera humo al interior del ambiente causando en sus habitantes enfermedades pulmonares, oculares y que dañan la piel. Es así que, para afrontar esta situación, la Dirección Nacional de Construcción, desarrolló el estudio piloto “Acondicionamiento Térmico para Edificaciones Rurales Altoandinas” con el fin de elevar la temperatura interior de las viviendas rurales ubicadas en zonas de frío extremo y medio, mediante soluciones constructivas adecuadas al ámbito social, económico y cultural de la población de la sierra del Perú.

Sobre este tema de investigación existen políticas nacionales, amplios estudios a nivel internacional y nacional relacionados al diseño bioclimático, en especial, al confort térmico.

El Ministerio de Vivienda Construcción y Saneamiento (MVCS) emite la Norma Técnica Peruana EM.110 “Confort Térmico y Lumínico con Eficiencia Energética” (El Peruano, 27 de julio de 2022) situándose como el ordenamiento nacional pionero, cuya implementación pretende mejorar, a raíz del diseño de arquitectura, las condiciones de confort térmico y lumínico con eficiencia energética de las construcciones. Uno de sus objetivos considera:

“Establecer lineamientos técnicos para el diseño de la envolvente térmica de una edificación, de acuerdo a la zona bioclimática donde se ubique; y, por finalidad, mejorar el bienestar térmico de las personas al interior de las edificaciones, evitar el deterioro de las edificaciones por efectos de la humedad y promover la eficiencia energética” (El Peruano, 27 de julio de 2022, pág. 45).

En México, el Instituto de Energías Renovables (IER) de la Universidad Nacional que lleva el nombre del país antes mencionado, se han realizado investigaciones con el propósito de entender y describir flujos de energía y materia, en específico, la transferencia de calor y ventilación, que afectan el comportamiento térmico de las edificaciones. Se han desarrollado investigaciones aplicadas con el interés de perfeccionar condiciones de bienestar térmico al interior de las edificaciones y de disminuir el uso de energía para su calentamiento o enfriamiento, creando herramientas y metodologías que evalúan el desempeño térmico de componentes de la envolvente de una edificación.

En sus investigaciones, han estudiado la transmisión de calor por muros y techos de la envolvente en edificaciones climatizadas y no climatizadas realizándose experimentos en levantamientos a escala natural o en modelos de laboratorio y con simulaciones numéricas. Por otro lado, una contribución importante ha sido el desarrollo de una herramienta numérica de acceso frecuente por Internet, Ener-Habitat (<http://www.enerhabitat.unam.mx>), mediante la cual es posible comparar el desempeño térmico de sistemas constructivos de techos y muros de la envolvente de edificaciones.

En Ecuador, se ha constituido el Instituto Nacional de Eficiencia Energética y Energías Renovables (INER), Instituto Público de Investigación, adscrito al Ministerio de Electricidad y Energía Renovable (MEER), que se creó con la finalidad de promover la investigación científica y tecnológica en temas vinculados con la promoción de la

eficiencia en la aplicación de los recursos energéticos y una mayor participación de energías renovables sostenibles en la generación local, mediante procesos que integran la innovación y formación científica; la propagación del conocimiento; el avance y ejecución de prácticas tecnológicas favorables al medio ambiente.

Cabe resaltar que una de las líneas de investigación del INER, se concentra en la Eficiencia Energética en Edificaciones, dentro del ámbito del sector residencial, desarrollando una guía de estrategias para optimizar las condiciones de habitabilidad y el agotamiento de energía en viviendas, mediante la ejecución de estrategias pasivas para optimizar el uso de energía y garantizar las condiciones ambientales al interior de los hogares. Esto se ha generado a través de la investigación de los diferentes componentes que se pueden aprovechar para disminuir consumos en las viviendas, utilizando y optimizando las condiciones del entorno. El análisis de comportamiento de la envolvente en las viviendas, a razón de las condiciones climáticas, posibilita un ambiente interno habitable sin necesidad de recurrir a sistemas de climatización para obtener un resultado similar.

En Argentina, se establece el Instituto Regional de Planeamiento y Hábitat, importante Unidad de Investigación científico-tecnológica de la Facultad de Arquitectura, Urbanismo y Diseño de la Universidad Nacional de San Juan que se focaliza en la práctica de actividades de investigación conducentes a la gestación de conocimientos y avance tecnológico en las disciplinas del planeamiento urbano – regional, la arquitectura y el diseño adecuados a las características ambientales de la zona. Allí se desarrolló el proyecto: “Influencia de la calidad ambiental edilicia y térmica del usuario en la eficiencia energética de edificios públicos. caso de estudio: Edificio de Obras Sanitarias Sociedad Del Estado, San Juan – Argentina”, cuyo objetivo fue dar a conocer el comportamiento del beneficiario y su nivel de aprobación, con el fin de establecer potenciales de eficiencia energética, efectuándose un monitoreo in situ al realizar mediciones con sensores y encuestando al interesado. Esta ponderación se realiza en comparación con normas internacionales de referencia (DIN EN 13779, 2007; ISO 7730, 2006) que ayude a identificar el nivel de confort medio aceptable.

1.1.2 Problemática de la investigación

En los últimos años, el impacto ocasionado por las temperaturas bajas, sobre todo por las heladas, se viene acrecentando en el Perú. Este fenómeno ocurre en la sierra peruana cuando la temperatura ambiental disminuye debajo de cero grados.

En el caso del altiplano peruano, las heladas son producidas mayormente por la pérdida de calor por radiación en las madrugadas (...) la topografía plana, cielos despejados y vientos de poca intensidad interactúan para la disminución de la temperatura del aire hasta llegar a valores negativos (Arriaga, 2017, pág. 4).

Así se constata en el “Plan multisectorial ante heladas y friajes” (Presidencia del Consejo de Ministros, 2017), en el cual se informa que la temperatura más baja registrada fue de -28.2°C . Las zonas afectadas se encuentran entre los 3,500 y 5,000 m.s.n.m. en lugares donde predomina la población de pobreza extrema. Por otro lado, en “Escenarios de riesgo por heladas y friaje en el marco del plan multisectorial 2019 – 2021” (CENEPRED, 2018) el total de población y viviendas expuestos a los niveles de muy alta susceptibilidad a heladas a nivel nacional son 811,593 personas y 392,459 viviendas, en Tacna 1,219 personas y 998 viviendas.

Sumado a ello, como problemática se señala la carencia de servicios básicos, dispersión de asentamientos rurales y deficientes vías de comunicación, que provoca una población vulnerable a las heladas, siendo los más afectados los niños y ancianos, produciéndose altos índices de decesos. Algunas de las causas también se deben a la mala alimentación, vestimentas inadecuadas y al inadecuado diseño de viviendas debido al insuficiente conocimiento especializado de la población sobre técnicas constructivas, aprovechamiento de la energía solar, entre otros, además de la adquisición de materiales pertinentes en relación a su economía. Es evidente que el empleo de materiales constructivos como planchas de zinc en coberturas, metal en puertas y ventanas, acompañado del defectuoso sellado de las mismas, permiten el paso del frío al interior, afectando las condiciones de habitabilidad.

En los últimos años, la Presidencia del Consejo de Ministros del Perú, mediante la Secretaría de Gestión del Riesgo de Desastres y otras entidades del Estado, definen el “Plan multisectorial ante las heladas y friaje” (PCM, 2017), preocupados por esta

situación buscan articular esfuerzos multisectoriales para la prevención y reducción del peligro ante la temporada de heladas y friaje. En un trabajo conjunto, esta Institución manifiesta que una de sus líneas principales de acción es la de garantizar un ambiente confortable, seguro y saludable que beneficie a las familias, salvaguardando el bienestar de sus habitantes, de manera especial de los niños y adultos mayores.

En este contexto, el Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento de Perú (MVCS), también promueve el Programa Nacional de Vivienda Rural (PNVR) el cual busca mejorar las viviendas en cuanto a su confort térmico y habitabilidad; pero lamentablemente carece de un análisis bioclimático que permita desarrollar soluciones sostenibles a un futuro inmediato (Programa Nacional de Vivienda Rural, 2020).

Según Sofia Rodríguez Larraín, Líder del Proyecto en el año 2016, indicó que térmicamente no funcionan porque se percibe más frío en los cuartos recién acabados que en la casa antigua. Esto ocurre por haberse colocado un techo con aislamiento de tecnopor que no permite ganancias de calor por radiación solar. Además, es evidente que el uso de materiales no locales implica un gran costo en el transporte para los usuarios. El uso de concreto en los cimientos de esas habitaciones y del tecnopor hace que la solución del PNVR no sea replicable por los pobladores. Otro error es que esas viviendas se han hecho con un tímpano de adobe muy pesado, suelto, sin amarre a la estructura, que en caso de sismo es un peligro para las personas (Agro Noticias, 04 de mayo de 2023).

En general, se concluye que las afectaciones en el diseño arquitectónico de las viviendas, perjudica la integridad de los usuarios en relación al cuidado de la salud. En 1982 la Organización Mundial de la Salud (OMS) expuso que el “síndrome de edificio enfermo” provoca tensión, cefalea, letargo y problemas respiratorios (Rodríguez-Hernández, L. & Alonzo- Salomón, Jorge E. , 2004).

Finalmente, se precisa que existe una relación importante entre las condiciones ambientales de las viviendas y la salud de las personas en relación a uno de los Objetivos de Desarrollo Sostenible: “la mejora de las condiciones de habitabilidad puede salvar vidas, prevenir enfermedades, mejorar la calidad de vida, reducir la pobreza, ayudar a mitigar el cambio climático” (OMS, 2018).

1.2 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

1.2.1 Problema general

¿Cómo implementar un modelo de evaluación de parámetros ambientales para lograr condiciones de confort térmico al interior de las viviendas en el Centro Poblado Menor de Kallapuma, provincia de Tarata, región Tacna?

1.2.2 Problemas específicos

¿Cómo medir los parámetros ambientales cualitativos para lograr condiciones de confort térmico al interior de las viviendas en el Centro Poblado Menor de Kallapuma, provincia de Tarata, región Tacna?

¿Cómo medir los parámetros ambientales cuantitativos para lograr condiciones de confort térmico al interior de las viviendas en el Centro Poblado Menor de Kallapuma, provincia de Tarata, región Tacna?

¿Cómo identificar la temperatura neutral de confort térmico al interior de las viviendas en el Centro Poblado Menor de Kallapuma, provincia de Tarata, región Tacna?

1.3 JUSTIFICACIÓN E IMPORTANCIA

El fundamento de la presente investigación deriva de la necesidad de reducir los efectos de bajas temperaturas que dañan la salud de los habitantes del Centro Poblado de Kallapuma. Se pretende mediante este trabajo encontrar soluciones con la finalidad de mejorar la calidad de condiciones de habitabilidad, ambientales y de eficiencia energética de las viviendas rurales.

Es por ello que la presente investigación es pertinente, pues la problemática es actual, la población rural continúa siendo vulnerable ante las heladas lo cual está directamente relacionado con las condiciones de vida y el acceso a una vivienda segura y saludable.

Las estrategias de diseño bioclimático, técnicas constructivas y uso de tecnología para el aprovechamiento de fuentes de energía renovable, se complementan con el cambio de hábito en las familias, todo ello se constituye en la clave para lograr el confort térmico al interior de las viviendas.

De este modo, el valor de la presente investigación fue definir la temperatura neutral de confort térmico al interior de las viviendas del Centro Poblado de Kallapuma y su validación, proponiendo zonas de confort térmico en función de las variables registradas.

1.4 ALCANCES Y LIMITACIONES

- Limitaciones de métodos o técnicas empleadas

Actualmente se han realizado una serie de estudios para establecer la zona de confort térmico, basados en normas y estándares internacionales donde se establecen zonas universales, sin considerar ubicaciones geográficas, climas, expectativas, tecnologías constructivas y costumbres de las personas.

- Limitaciones por el tipo, cantidad y calidad de los datos y de la información obtenida.

El gobierno central a través de los programas de viviendas bioclimáticas tuvo la iniciativa de proponer mejores soluciones para el confort térmico en viviendas ubicadas encima de los 3800 y hasta los 5000 m.s.n.m., estas acciones se plantearon de manera superficial porque carecen de un análisis bioclimático que favorezca el desarrollo de soluciones sostenibles a futuro.

La Norma Técnica Peruana EM.110 “Confort Térmico y Lumínico con Eficiencia Energética” (El Peruano, 27 de julio de 2022), no considera la capacidad para almacenar calor de los elementos constructivos, esto se convierte en una limitante para determinar el rendimiento térmico y energético de una edificación en condiciones reales.

1.5 OBJETIVO DE LA INVESTIGACIÓN

1.5.1 Objetivo general

Implementar un modelo de evaluación de parámetros ambientales para lograr condiciones de confort térmico al interior de las viviendas en el Centro Poblado Menor de Kallapuma, provincia de Tarata, región Tacna.

1.5.2 Objetivos específicos

Medir los parámetros ambientales cualitativos para lograr condiciones de confort térmico al interior de las viviendas en el Centro Poblado Menor de Kallapuma, provincia de Tarata, región Tacna.

Medir los parámetros ambientales cuantitativos para lograr condiciones de confort térmico al interior de las viviendas en el Centro Poblado Menor de Kallapuma, provincia de Tarata, región Tacna.

Identificar la temperatura neutral de confort térmico al interior de las viviendas en el Centro Poblado Menor de Kallapuma, provincia de Tarata, región Tacna.

1.6 HIPÓTESIS

La medición de parámetros ambientales cualitativos y cuantitativos permitirá definir la temperatura neutral de confort térmico e identificar estrategias bioclimáticas al interior de las viviendas en el Centro Poblado Menor de Kallapuma, provincia de Tarata, región Tacna.

2 CAPÍTULO II MARCO TEÓRICO

2.1 ANTECEDENTES DEL ESTUDIO

Antecedentes de la investigación a nivel internacional

“Methodology to simulate a complex building using EnergyPlus: Detailed case study for building” (Vásquez Dávila, 2019) contiene una metodología y consideraciones que ayudan a realizar una correcta simulación y validación utilizando EnergyPlus en un espacio específico sin el uso de sistemas de aire acondicionado.

El edificio pertenece al Instituto de Energías Renovables (IER-UNAM) específicamente el Laboratorio de Termociencias. Se utilizó SketchUp con el complemento OpenStudio para crear la geometría del edificio. La aplicación OpenStudio sirvió como interfaz para EnergyPlus, además de establecer construcciones, condiciones de contorno y cargas térmicas.

La validación del modelo se realizó mediante la comparación de la temperatura del aire interior simulada con los datos medidos. El período de validación fue durante las vacaciones de verano de 2018, del 14 al 22 de julio, por lo que no se consideraron cargas internas de personas, luces y equipos en ninguna zona térmica. La infiltración se simuló con las ventanas cerradas y con ventilación natural en las paredes de doble ventilación.

La comparación cuantitativa indicó que los resultados obtenidos de las simulaciones tuvieron una buena comparación entre la temperatura del aire medida, dando buenos resultados en todas las métricas evaluadas.

En *“Methodology for the validation of thermal simulations of a real building”* (Calixto Aguirre, 2019), se realiza la simulación de un edificio del Instituto de Energías Renovables (IER) de la Universidad Autónoma de México, empleando variables de control, las ganancias internas de las personas y la infiltración. Se propone una

metodología para simular edificios empleando Energy Plus. La precisión de los casos se compara con estudios similares y con rangos de tolerancia definidos por la literatura.

En la investigación: “Prototipo rural de educación en Santiago del Estero, Argentina: análisis, mejoramiento, simulación, y etiquetado térmico-energético para su adecuación bioclimática” (Raimondi y Garzón, 2019), se propone el análisis y mejoramiento térmico-energético del hábitat educativo de nivel inicial en Santiago del Estero - Argentina y su verificación según normas, con el objeto de alcanzar su adaptación al sitio mediante disposiciones y soluciones arquitectónicas con uso racional de la energía, logrando su adecuación bioclimática y contribuyendo de esta forma a optimizar las condiciones de confort y salubridad de sus usuarios.

Se evidencia la necesidad de proponer alternativas de nuevas soluciones, que permitan mejorar el confort higrotérmico de los usuarios del edificio escolar: niños, docentes y padres pertenecientes a la comunidad educativa. Al definir las estrategias bioclimáticas a considerar para la zona Bioambiental “I a- Muy Cálida”, se pudo seleccionar entre las pautas de diseño recomendadas por la norma (IRAM 11.603,1996), que se consideraron apropiadas para una producción del hábitat escolar con adecuación bioclimática del contexto; que mejor respondan a necesidades térmico-energéticas, de ventilación, tecnológicas, entre otras.

En este trabajo: “Evaluación de las cargas de enfriamiento en una vivienda de interés social utilizando el modelo de confort térmico adaptativo CIBSE Guide A en los tres climas predominantes de México” presentado por Báez-García, Sánchez – Montes y Flores - Prieto, (de 2019), se observa un comparativo de las cargas de enfriamiento en una vivienda de interés social considerando el enfoque adaptativo respecto a ASHRAE-55-2010, en los tres climas predominantes de México. En el comparativo se considera la edificación de referencia de la NOM-020-ENER-2011 y el modelo de confort descrito en CIBSE Guide A. La temperatura de referencia fue la de ASHRAE 55-2010 y las temperaturas de confort del modelo adaptativo se determinó de acuerdo con CIBSE Guide A. Las ciudades que se consideraron representativas del clima cálido, templado y semifrío fueron Mérida, CDMX y Zacatecas. La configuración arquitectónica se elaboró en Google SketchUp y los datos meteorológicos del año típico se obtuvieron de Meteonorm 7.3. Las cargas térmicas se determinaron en periodos anuales utilizando TRNSYS 17. Para Mérida, CDMX y Zacatecas las cargas de enfriamiento, fueron de 15,19 MWh-año,

1,10 MWh-año y 0,91 MWh-año. Utilizando el enfoque adaptativo, en el mismo orden, las cargas térmicas se redujeron a 8,64, 0,25 y 0,51 MWh-año; lo que permite ahorrar el 43,1% en Mérida, 77,2% en CDMX y 43,9% en Zacatecas. Por lo tanto, el modelo de confort térmico adaptativo permite ahorrar en promedio un 54,7% del consumo de energía total.

En “*Continuous monitoring of indoor environmental quality using an Arduino-based data acquisition system*” (Karami et al., 2018), se empleó un dispositivo de bajo costo para el monitoreo de la calidad ambiental en interiores (IEQ) y la evaluación del desempeño. Esta herramienta utilizó varios sensores (temperatura, humedad relativa, iluminación, CO₂, VOC, PM_{2.5} y ocupación) para la medición del rendimiento de IEQ.

Se realizaron experimentos utilizando el dispositivo para evaluar el desempeño de IEQ en un laboratorio de computación abierto dentro de un edificio comercial. El confort térmico, la calidad del aire interior y el rendimiento de la iluminación se analizaron en función de los datos recopilados. El estudio demostró confiabilidad del uso del dispositivo para el monitoreo continuo de la calidad ambiental interior.

En “Análisis de las estrategias bioclimáticas empleadas por Frank Lloyd Wright en la casa Jacobs I” (Beltrán-Fernández et al., 2017), se analizó la casa Jacobs (Wisconsin, EE. UU, 1937), diseñada por Frank Lloyd Wright, uno de los arquitectos más influyentes de la historia de la arquitectura moderna por la calidad espacial y estética de su obra. Una de las principales características de esa casa es la solución constructiva y medioambiental. El valor arquitectónico ha sido resaltado en varias ocasiones, sin que existan análisis que cuantifiquen las ventajas sobre la calidad medioambiental y el confort interior que suponen los principios bioclimáticos de su arquitectura.

Para ello, se construyó un modelo digital y se realizaron diferentes simulaciones energéticas empleando Revit y Design Builder. Se midió la influencia de la arquitectura bioclimática en el confort interior, la orientación elegida y la influencia de la ventilación natural y de los voladizos.

En este artículo “Diseño, implementación y calibración de un medidor digital de confort térmico” (Zini, et al., 2015), se presentó un medidor digital de confort térmico

desarrollado por el Grupo en Energías Renovables (GER) de la Facultad de Ciencias Exactas y Naturales (FaCEN A-UNNE), en el país de Argentina. El medidor digital se realizó con el objetivo de determinar el estrés térmico al que están sometidos los operarios que trabajan en industrias de diferentes rubros en la región nordeste del país de Argentina. Proyectándose y construyéndose un instrumento simple con dispositivos accesibles en el mercado nacional cuya topología permite ampliar sus capacidades de cálculo y medición, de bajo costo, autónomo y que cumple con las normas nacionales.

El objetivo de la investigación “Influencia de la calidad ambiental edilicia y térmica del usuario en la eficiencia energética de edificios públicos. Caso de estudio: Edificio de obras sanitarias sociedad del estado, San Juan – Argentina” (Alonso-Frank, et al., 2015), fue dar a conocer el comportamiento del usuario y su nivel de conformidad, con el fin de establecer potenciales de eficiencia energética, realizándose un monitoreo in situ. Las mediciones fueron tomadas con sensores y se realizaron encuestas al usuario en tres períodos críticos del año. La evaluación se realizó en comparación con normas internacionales (DIN EN 13779, 2007; ISO 7730, 2006). En base a las exigencias propuestas, se obtuvo el 95% de los casos, media y alta calidad del aire, y una aceptación térmica anual de -0,30, de la escala de 7 puntos de ASHRAE, lo que significó un nivel de confort medio aceptable.

En la investigación: “Evaluación del confort térmico en recintos de 10 edificios públicos de Chile en invierno” (Molina y Veas, 2012) se midieron variables ambientales y se realizaron encuestas de satisfacción en 10 edificios públicos en uso en Chile, obteniéndose el Porcentaje de Personas Insatisfechas (PPI), Voto Medio Previsto (PMV), Porcentaje de Insatisfechos (PI) y Voto Medio (MV). Se compararon las condiciones neutrales recogidas en las normas ISO7730 y ASHRAE55, y los índices calculados. De la misma manera, se analizaron las encuestas de satisfacción y posibles factores de adaptación. Los resultados indicaron bajo porcentaje de aceptabilidad ambiental principalmente en las 4 escuelas debido a la mala calidad de aire y bajas temperaturas, correlacionándose positivamente con las encuestas realizadas y entre la diferencia de temperaturas efectiva y operativa, que llega hasta -10,05. En el 80% de los edificios prefieren ambientes más cálidos en invierno, desplazándose el neutro en +0,52 puntos en la escala de sensación térmica.

En el trabajo: “Confort térmico adaptativo dependiente de la temperatura y la humedad” (Marincic et al., 2012), se analizan datos de encuestas y mediciones para obtener el grado de habitabilidad de viviendas económicas en clima cálido seco en México. Para su evaluación se calcula la temperatura de neutralidad, y el rango de confort para la población que está adaptada al clima local. Proponiéndose un modelo para predecir las sensaciones térmicas de personas aclimatadas a condiciones similares a las del estudio, en función de la temperatura y la humedad relativa. El modelo tiene una buena concordancia estadística con las encuestas de habitabilidad presentadas.

Antecedentes de la investigación a nivel nacional

El objetivo general de este trabajo: “Evaluación sistemática del desempeño térmico de un módulo experimental de vivienda altoandina para lograr el confort térmico con energía solar” (Molina et al., 2017), fue comparar el desempeño térmico de un Módulo Experimental de Vivienda (MEV) mediante una evaluación sistemática que comprendió una serie de doce configuraciones de medida del MEV, sin operatividad, hasta su operatividad que incluye pernoctación, actividad humana, uso de cocinas a gas, uso de dos sistemas de calefacción solar activos, y la operatividad de contraventanas.

El estudio se complementó con simulaciones térmicas utilizando el software EnergyPlus, 3D SketchUp y OpenStudio para determinar la temperatura interior y validarlo con la temperatura interior real medida.

En el artículo: “*A low-cost measurement device for recording perceptions of thermal comfort*” (Molina et al., 2020), se observa la implementación de un dispositivo de bajo costo para el registro de las percepciones de confort térmico de pobladores, así como de parámetros del ambiente como temperatura y humedad relativa en Imata (zona altoandina), a 4700 m.s.n.m. en el sur del Perú.

En este estudio: “Diseño de un módulo experimental bioclimático obtenido a partir del análisis de simulaciones térmicas para el centro poblado de Imata (4519 m s.n.m.) ubicado en Arequipa, Perú” (Molina, J.O. et al., 2020), se dieron simulaciones térmicas dinámicas con el software Energy Plus, proponiéndose un módulo experimental en el poblado de Imata, Perú donde existen bajas temperaturas.

Se realizaron 5 configuraciones añadiendo componentes bioclimáticos como las mejoras en la envolvente, incorporación de tragaluz e invernadero adosado. Dándose como resultado el incremento de temperaturas interiores mínimas y un ahorro de energía diario del 92%.

Este trabajo: *“Bioclimatic approach for rural dwellings in the cold, high Andean region: A case study of a Peruvian house. Energy and Buildings”* (Molina J. R. 2020) presenta una casa rural construida en San Francisco de Raymina (zona altoandina 3700 m.s.n.m.) en el sur de Perú que integra técnicas de calentamiento solar pasivo y sustentable. Se realizó un análisis climático utilizando medidas de parámetros meteorológicos durante todo un año.

El comportamiento térmico de la casa se modeló con la herramienta m2m y se realizó una validación experimental. Con el uso de m2m, fue posible crear un balance energético durante el mes de junio de 2014 para determinar las contribuciones de pérdida / ganancia de energía de cada muro y evaluar cómo se dan los intercambios de aire.

El objetivo de este trabajo: “Confort térmico en una habitación de adobe con sistema de almacenamiento de calor en los andes del Perú” (Holguino et al., 2018), fue la evaluación del confort térmico al interior de la habitación de prueba (HP) de adobe y materiales de la zona altoandina del Perú, como la piedra andesita que es un acumulador de calor. Se determinaron valores de la conductividad térmica 0,176 0,149 y 0,118 W/mK para el adobe, yeso y paja. Efectuándose una comparación entre los valores de la conductividad térmica y calor específico, obtenido experimentalmente para los materiales y sistemas utilizados en la construcción de HP con los valores conocidos de materiales específicos como el agua y el aire.

El diseño y uso de los materiales en la construcción de la pared, puerta y ventana, permitieron determinar los valores de las conductividades térmicas similares a la conductividad térmica de un aislante térmico natural. La transferencia de energía calorífica hacia el exterior de la HP, durante 11 horas nocturnas es 0,815 MJ. El acumulador de energía construido con piedra, guano y madera, comparada con la del agua que es un buen almacenador de energía, representan 29,55; 57,81 y 52,94 % respectivamente. El sistema

acumulador de HP almacena energía calorífica equivalente a 8,305 MJ, el excedente de energía calorífica permite que la temperatura al interior de HP durante las épocas de invierno tenga valores medio mayores en 63,83 y 68,83 % a las temperaturas medias de HC y MAC respectivamente.

En la investigación: “El confort adaptativo infantil según las estrategias bioclimáticas en escuelas de la selva baja peruana: colegios “12 de abril” y “Rumococha”, San Juan Bautista, Loreto” (García-Sobrevilla, 2017) se destaca la percepción para medir el grado de confort en dos aulas durante el dictado de clase en dos escuelas de la selva baja peruana que aplican estrategias bioclimáticas distintas. A través de los datos climáticos y de la observación del comportamiento de los usuarios, se analizan las estrategias bioclimáticas, que se comparan con las temperaturas ideales. Estos resultados se comparan con la percepción que manifiestan los alumnos sobre el confort; y se identifican las estrategias bioclimáticas con mejor respuesta en un contexto complejo como el de la Amazonía peruana. Ha sido relevante abordar el confort térmico desde el propio concepto en los niños de la selva baja del Perú.

2.2 BASES TEÓRICAS

2.2.1 Parámetros ambientales

Se consideran parámetros ambientales y personales.

Al ponderar el clima interior térmico, se observa que el ser humano no siente la temperatura del espacio, pero sí, la pérdida de energía del cuerpo.

Los parámetros que se miden son los que afectan la pérdida de energía. McPherson, (como se citó en Godoy Muñoz, 2012) definió seis factores que afectan la sensación térmica utilizados en la mayoría de los estándares divididos en variables físicas y personales.

Son variables físicas o parámetros ambientales la Temperatura del aire (°C), Velocidad del aire (m/s), Humedad relativa (%) y Temperatura media radiante °C.

Son variables o parámetros personales el nivel de arropamiento (clo) y nivel de actividad (met) (ANSI/ASHRAE Standard 55-2004, 2013).

2.2.1.1 Parámetros ambientales

Temperatura del aire (en °C).

Señala cuánto calor el cuerpo pierde hacia el aire, fundamentalmente por convección. Afecta los intercambios de calor con y sin transferencia de masa (secos y húmedos), así como el coeficiente de transferencia de calor.

Se mide frecuentemente usando un termómetro de bulbo seco; recibe el nombre de “temperatura del bulbo seco” (DBT).

Varios especialistas definen los valores de la temperatura del aire que se consideran aceptables al interior de la vivienda, variando de acuerdo al tipo de actividades que realizan.

Según Mascaró, (1983) en “Luz, clima y arquitectura” reconoce los siguientes límites de confort.

Tabla 1

Límites de confort térmico, Mascaró (1983)

Media de % de HR	T media mensual superior a 20°C		T media mensual de 15°C a 20°C		T media mensual inferior a 15°C	
	Día	Noche	Día	Noche	Día	Noche
0-30	26-34	17-25	23-32	14-23	21-30	12-21
30-50	25-31	17-24	22-30	14-22	20-27	12-20
50-70	23-29	17-23	21-28	14-21	19-26	12-19
70-100	22-27	17-21	20-25	14-20	18-24	12-18

Fuente: Mascaró, Lucía R. (1983) Luz, clima y arquitectura.

Velocidad del aire (en m/s).

Es el movimiento del aire que afecta tanto a la disipación de calor por convección como a la evaporación del sudor de la piel (VA).

Afecta en gran medida las pérdidas por convección y evaporación.

El acondicionamiento pasivo de las viviendas requiere la velocidad del aire que se constituye en un parámetro importante debido a que las corrientes son aprovechadas para refrescar como para calentar espacios.

La velocidad del aire posibilita la disminución de la humedad y redonda provechosamente en la ventilación de los espacios de la construcción, modificando, con su frecuencia y con su fuerza, la sensación térmica de las personas. Estas sensaciones o percepciones son positivas o negativas, dependiendo de la relación de este parámetro con la temperatura y la humedad del lugar, así como de las condiciones de los pobladores. Asimismo, las diferentes velocidades del movimiento del aire pueden ser apreciadas de modos muy distintos por las personas.

Los límites adecuados de la velocidad del aire se definen por los efectos generados en el ser humano. Estos límites se observan en la siguiente gráfica que indica las percepciones de la persona en determinadas velocidades del viento (Olgay, como se citó en el confort en el diseño bioclimático, s.f.):

Tabla 2

Efectos del viento sobre el hombre

Velocidad del aire	Impacto probable
Hasta 15m/minuto	Inadvertido
15 a 30 m/minuto	Agradable
30.5 a 61 m/minuto	Generalmente agradable, pero se distingue su presencia.
61 a 91 m/minuto	De poco a muy molesto.
Por encima de 91m/minuto	Requiere medidas correctivas.

Fuente: Olgay (1998).

Humedad relativa (en %).

La humedad del ambiente influye en la tasa de evaporación, se expresa en función de la humedad relativa, en % (HR).

Presenta un mínimo impacto cuando no hay transpiración, entonces, el intercambio de calor latente respiratorio y la sudoración de la piel son las dos únicas transferencias asociadas a la humedad. De lo contrario, la humedad del aire, provoca fuertemente la evaporación del sudor, y, por lo tanto, la humedad de la piel.

Los rangos de humedad relativa apropiados, suelen ser muy discutidos. En algunos casos, se observa un rango a lo largo de todo el año y en todo prototipo de edificaciones; mientras que otros, señalan que estos varían debido a los cambios estacionales, reacciones psicológicas y fisiológicas del hombre, además, señalan diferentes valores según el tipo edificatorio, según sus espacios y las actividades que se estén ejecutando.

En la siguiente tabla, de acuerdo a la norma UNE-EN 15251, se precisan criterios de diseño, recomendados para la humedad relativa en espacios ocupados con sistemas de humidificación o deshumidificación, según la categoría:

Tabla 3

Humedad Relativa Según UNE-EN 15251

Norma	UNE-EN 15251	HR con deshumectación	HR con humidificación
Categoría	I	50%	30%
	II	60%	25%
	III	70%	20%
	IV	> 70%	> 20%

Fuente: UNE-EN 15251.

Los valores que se muestran son válidos en espacios donde la humedad relativa está condicionada por la ocupación humana. Por razones de bienestar, salud e higiene son inadmisibles los valores por debajo del 35% y por encima del 65%. Según la norma UNE-EN 15251, el valor de la humedad específica en el interior de los edificios nunca debe superar 12 g/kg.

Temperatura media radiante (en °C).

El intercambio térmico por radiación se vincula tanto de la temperatura media de las superficies circundantes como de la posible existencia de potentes fuentes unidireccionales de radiación (como el sol); esta se caracteriza mediante la temperatura media radiante TMR. “Para los espacios exteriores, la temperatura media radiante representa la temperatura superficial uniforme de un recinto ficticio, en el que todas las superficies del recinto se encuentran en la misma temperatura” (Matzarakis, 2007)

Según la norma UNE-EN 12792, se define como la temperatura superficial teórica uniforme de una vivienda en el que un ocupante intercambiaría la misma cantidad de calor radiante que en el espacio real no uniforme.

Definida también como la temperatura media transmitida por las superficies envolventes desde un recinto a su interior. El calor por radiación se intercambia cuando existen contrastes en las temperaturas, en su mayoría se da desde un cuerpo caliente a un cuerpo frío, la temperatura radiante del suelo, paredes y cubierta de un recinto puede generar una sensación de frío o calor a los ocupantes aparte de la temperatura del aire que contiene en su interior.

En el programa Life ITEC, OCT-COAC I Departament de Construccions Arquitectòniques I ETSAB (como se citó en el confort en el diseño bioclimático, s.f.) fundamenta que la temperatura media radiante debe equivaler a un valor cercano al de la temperatura del aire, es así que la diferencia entre la temperatura ambiente y las paredes no debe ser superior a 3°C y con el techo no debe ser mayor a 2°C, teniendo como excepción las claraboya, superficies vidriadas o puertas.

2.2.1.2 Parámetros personales

Están relacionadas con las características biológicas, fisiológicas, psicológicas o sociológicas de los individuos.

Metabolismo o tasa metabólica (met):

El metabolismo establece la tasa en la cual las reacciones químicas del cuerpo transforman energía de reacción química en energía térmica dentro del cuerpo.

Varía dependiendo el tipo de actividad y se expresa como la cantidad de energía que es producida por la unidad de la superficie en un tiempo definido.

La unidad estándar es el met, que corresponde a la tasa de energía que produce una persona sentada o quieta $1 \text{ met} = 18,4 \text{ Btu/hr-ft}^2 = 58,2 \text{ W/m}^2$ (ANSI/ASHRAE Standard 55-2004, 2013)

Según la UNE-EN ISO 8996:2005, la tasa metabólica se puede medir de tres formas diferentes: Nivel 1: Según la actividad física o profesión (riesgo de error muy importante). Nivel 2: Estimación según los componentes de la actividad o por estimación según tabla de actividad (error de $\pm 15\%$). Nivel 3: Medida directa (error de $\pm 5\%$).

Figura 1

Ejemplos de factor met



Fuente: Manuel Martín Monroy "Thermal Comfort".

La norma UNE-EN ISO 7730, del reglamento de instalaciones térmicas de edificios, muestra una relación de los valores para la producción de energía metabólica en relación a la actividad desarrollada por el sujeto.

Tabla 4*Producción de energía metabólica*

Actividad	Valor		
	met	W/m ²	Kcal/h-m ²
Tendido y en reposo	0,8	46,5	40
Sentado y en reposo	1,0	58,2	50
Actividad ligera, sentado	1,2	69,8	60
Actividad ligera, de pie	1,6	93,0	80
Actividad media, de pie	2,0	116,3	100
Marcha en llano a 2 km/h	1,9	110,5	95
Marcha en llano a 3 km/h	2,4	139,6	120
Marcha en llano a 4 km/h	2,8	162,8	140
Marcha en llano a 5 km/h	3,4	197,7	170

Fuente: norma UNE-EN ISO 7730.

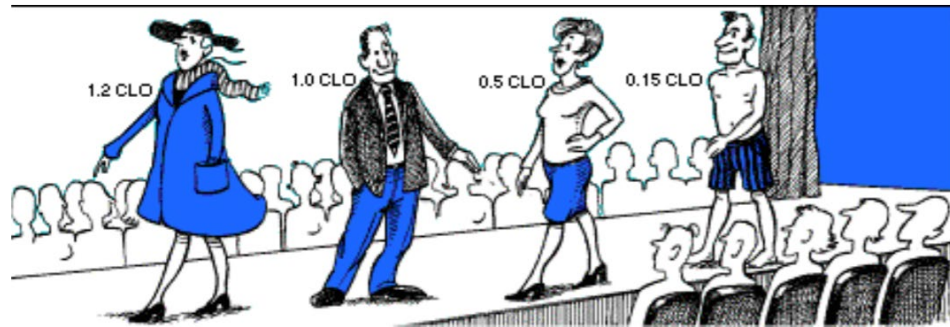
Nivel de arropamiento (clo)

Clo es una unidad de medida que se asigna al índice de indumentaria, que procede del inglés clothing. La unidad se comprende como el aislamiento térmico indispensable para mantener a una temperatura estable y cómoda a la piel por 8 horas, cuando una persona está en quietud a una temperatura de 20 °C, con una humedad relativa del 50 % y sin dominio de la radiación solar. Un clo equivale a 0,155 m²K/W. (Beltrán-Fernández et al., 2017)

Según la norma UNE-EN 12792, el grado de arropamiento se define como la resistencia a la pérdida de calor sensible del cuerpo proporcionada por el conjunto de vestimenta. Las prendas de vestir se clasifican según su valor de aislamiento. La escala del clo va desde clo = 0,0 que corresponde a una persona desnuda a alguien que viste un traje de oficina que equivale a un clo = 1,0. Según la norma UNE-EN ISO 10551, el clo total es la sumatoria, una vez reconocida la vestimenta de las personas y los valores de las prendas individuales.

Figura 2

Ejemplos del grado de arropamiento clo



Fuente: Manuel Martín Monroy “Thermal Comfort”.

2.2.2 Confort térmico

2.2.2.1 Definición

El confort térmico brinda información sobre el estado térmico de un ser humano dentro de un entorno térmico dado. Se le describe mediante tres enfoques principales: fisiológicos, psicológicos y racionales (también llamado balance de calor).

El confort térmico es la ausencia de malestar térmico (sensación térmica neutra), o el estado en el cual no han de intervenir los mecanismos termorreguladores del cuerpo para una actividad dada y un nivel ligero de arropamiento (equilibrio térmico). Según la norma UNE-EN ISO 7730, el confort térmico se comprende como la condición mental en la que se expresa el agrado o satisfacción con el ambiente térmico.

El confort térmico es denominado por la ASHRAE (*American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers*) como la condición de la mente en la que se demuestra la satisfacción con el ambiente térmico y se pondera mediante una evaluación subjetiva, es decir, se constituye en el punto de equilibrio entre las sensaciones psíquicas y fisiológicas del ser humano y su entorno inmediato; por otro lado también se conjugan variables objetivas y subjetivas entre el cuerpo humano y el contexto.

2.2.2.2 Factores intervinientes en el confort térmico

Las variables que afectan a la disipación térmica del cuerpo y al confort térmico se agrupan en las siguientes categorías (Auliciems, 1997 & Matias, 2010, como se citó en Martínez-Torres, K.E., Alcántara-Lomeli, A., Bojórquez-Morales, G. & Gómez-Azpeitia, L.G., 2017).

Ambientales: La temperatura del aire, la velocidad del aire, la humedad del ambiente que se puede expresar en función de la humedad relativa y la radiación.

Personales: La vestimenta y la tasa metabólica.

Adicionales: Los procesos digestivos, aclimatación al ambiente, el nivel de hidratación, la forma del cuerpo, grasa subcutánea, estado de salud, edad y género.

Factores subjetivos: Naturalidad, experiencia y expectativas, percepción de control y periodo de exposición.

2.2.2.3 Enfoques de confort térmico

De acuerdo con Humphreys y Nicol, 1998, como se citó en Rincón-Martínez, et al. 2020, puede ser estudiado a partir de los dos enfoques, el adaptativo y el predictivo. Según los autores (2002), el confort térmico desde el punto de vista del enfoque adaptativo está en función de la temperatura media exterior, el nivel de actividad, las acciones desarrolladas y el tiempo de permanencia en el espacio. El comportamiento humano es determinante en la búsqueda del confort térmico; si se dan cambios en el ambiente provocando incomodidad, las personas por instinto reaccionan con la finalidad de restaurar las condiciones de comodidad.

Enfoque predictivo

En este enfoque, se estudia a la persona aislada de su hábitat, en condiciones que son controladas en laboratorio, se puede decir que es pasiva porque espera a que el organismo alcance el confort térmico por sí mismo, es de tipo fisiológico porque considera a todas las personas universales y no atiende condiciones específicas como el historial, la tecnología, el nivel socioeconómico o las características físicas del sujeto a estudiar. En este sentido, con el enfoque predictivo, se advierte una subestimación en la capacidad de adaptación de las personas y, por tanto, el rango de confort resulta estar por debajo del

que se podría alcanzar con el enfoque del tipo adaptativo, el cual, ha sido aceptado preferentemente por los estudiosos del tema, ofreciendo indicadores térmicos que se adecuan con las condiciones reales de los individuos de estudio y considera características locales del sitio y personas (Rincón-Martínez et al., 2020).

Enfoque adaptativo

En el enfoque adaptativo, el usuario al interactuar con el ambiente, se adapta y lo modifica según sus preferencias y comodidad.

Para el análisis o percepción subjetiva del ambiente térmico se opta comúnmente por una encuesta de preferencia, que se relaciona con la escala de sensación térmica, donde el resultado indica el porcentaje voto medio (MV) y el porcentaje de insatisfechos (PI) permitiendo correlacionar los resultados con los que corresponden a la percepción objetiva de neutralidad.(Molina y Veas, 2012)

2.2.3 La temperatura de confort

Conocida también como Temperatura Neutral (T_n), el obtenida de un análisis de regresión lineal correlacionando las respuestas subjetivas dadas por las personas y las mediciones objetivas de los parámetros ambientales en los trabajos de campo, esta correlación permite visualizar la dependencia de la temperatura neutra con la temperatura media exterior en edificios ventilados naturalmente (Humphreys, como se citó en Rincón-Martínez, et al., 2020).

2.2.4 Rangos de confort

La denominada zona de confort, es donde la mayoría de usuarios se sienten satisfechos en el ambiente térmico. La definición operativa del confort térmico se reduce a un estado de equilibrio obtenido del balance de cargas térmicas que se intercambian entre el cuerpo del ser humano y su ambiente inmediato, dado del proceso químico del metabolismo y el proceso fisiológico de termorregulación como respuesta a la radiación, humedad, temperatura, y movimiento del aire, como elementos principales (Critchfield, como se citó en Gómez-Azpeitia et al., 2007). Cuando el balance térmico tiene el valor cero, las personas experimentan objetivamente la sensación térmica de confort. Según, Arballo et al., siendo validada la hipótesis de que los usuarios necesitan ser activos en función al ambiente térmico, y ser proveídos de alternativas para tener control personal.

Esta posibilidad permite mayor tolerancia y aceptabilidad sobre un rango mayor de amplitud térmica (Arrieta y Maristany, s.f.).

2.2.5 Cartas y diagramas de confort

Varias herramientas gráficas fueron desarrolladas con el fin de evaluar las condiciones de confort aplicadas al diseño bioclimático de los edificios. Así tenemos:

2.1.1.1 Diagrama psicrométrico Olgyay

Los hermanos Olgyay fueron los primeros en delimitar la zona de confort en términos arquitectónicos, desarrollaron en una de sus obras “The Bioclimatic Chart”, una carta bioclimática donde se integran dos variables para el bienestar, la temperatura y la humedad. Además, añadiéndose la velocidad del viento, la radiación y la evaporación como medidas correctoras.

El procedimiento deseable es trabajar con y no contra las fuerzas naturales y hacer uso de sus potencialidades para crear mejores condiciones de vida...El procedimiento para construir una casa climáticamente balanceada se divide en cuatro pasos, de los cuales el último es la expresión arquitectónica. La expresión debe estar precedida por el estudio de las variables climáticas, biológicas y tecnológicas... (Olgyay, 1963).

En el diagrama se tiene:

La zona de bienestar o confort para una persona en reposo y ubicado en sombra, con una temperatura entre los 22°C y 27°C y con valores de humedad relativa entre 20% y 80%, correspondiendo estos límites a una sensación térmica aceptable.

En el eje de ordenadas se representa la temperatura seca del aire y en el eje de las abscisas la humedad relativa.

La serie de líneas, representan las medidas correctoras en caso de que las condiciones de humedad y temperatura se ubiquen fuera de la zona de confort.

2.1.1.3 Tablas de Mahoney

Las Tablas de Mahoney fueron desarrolladas en 1969. Proponen un análisis de datos meteorológicos típicos de cada mes.

Comparación de los datos meteorológicos con datos de las zonas de confort, identificación de indicadores y la definición de pautas de diseño, dependiendo de los meses.

2.1.1.4 Triángulos Verdes de Evans

Este diseño bioclimático presenta mayor énfasis en la amplitud térmica, Evans y de Schiller (1986). Permite la presentación y comparación de datos climáticos, definición de zonas de confort según el nivel de actividad física, selección de estrategias de diseño bioclimático y evaluación de la variación diaria de las temperaturas interiores.

2.2.6 Índices de confort

Un índice es una medida que define la información de diversas variables sobre un determinado fenómeno en el tiempo y espacio.

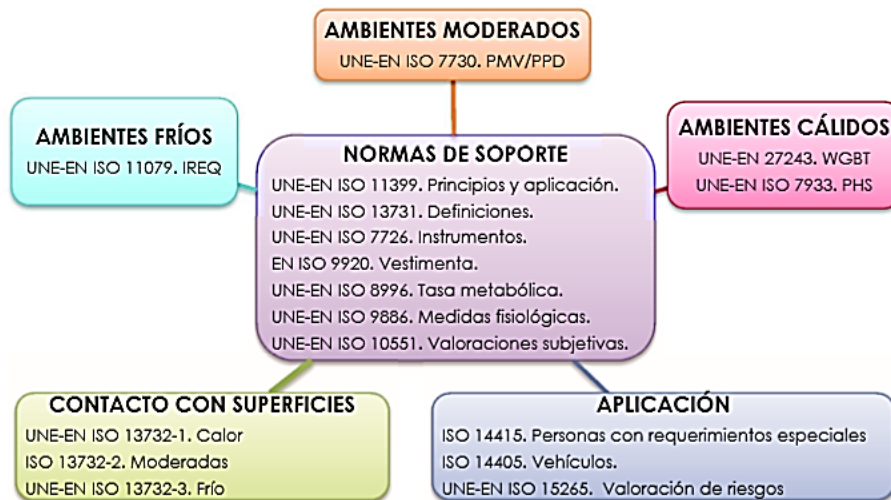
Representa el grado o intensidad de una determinada cualidad, integrando el efecto de dos o más variables, para describir cómo actúa el medio ambiente atmosférico sobre el organismo del ser humano, partiendo de observaciones experimentales. (Santana Ramírez et al.,2004)

Los índices empíricos se obtienen de fórmulas estadísticas basadas en la aplicación de encuestas sobre la sensación térmica en individuos en un ambiente libre.

Los índices racionales se obtienen de ecuaciones enfocadas en el comportamiento fisiológico y el estrés térmico de sujetos evaluados en laboratorios. Con estos indicadores se han elaborado normativas de aplicación en el campo de la ergonomía del ambiente térmico (Campano-Laborda, 2015)

Figura 5

Principales normativas sobre ergonomía del ambiente térmico



Fuente: UNE EN ISO.

2.1.1.5 Indicador voto medio estimado (PMV)

Este indicador de confort, desarrollado a partir del modelo de balance térmico de Fanger (1970) y revisado posteriormente por él mismo (Fanger, 1982), expresa con una escala de confort de 7 valores, de -3 (mucho frío) a +3 (mucho calor) la sensación térmica de un individuo en un ambiente térmico dado. El PMV establece la tensión térmica que se basa en la transferencia de calor entre el cuerpo y el ambiente, en estado estacionario, asignando un voto de confort.

Tabla 5

Escala de confort del voto medio estimado

PMV	Sensación
+3	<i>Muy Caluroso</i>
+2	<i>Caluroso</i>
+1	<i>Ligeramente caluroso</i>
0	<i>Neutralidad térmica</i>
-1	<i>Fresco</i>
-2	<i>Frío</i>
-3	<i>Muy Frío</i>

Fuente: Voto estimado medio (UNE-EN ISO 7730:2006, ASHRAE Standard 55:2013)

$$PMV = t_s \cdot (M - W - E_{diff} - E_{rsw} - E_{resp} - C_{resp} - R - C_v)$$

Donde:

PMV voto medio estimado

t_s coeficiente de transmisión de la sensación térmica, en m^2/W

M tasa metabólica, en W/m^2

W potencia mecánica efectiva (considerada 0 para actividades sedentarias) en W/m^2

E_{diff} pérdida latente por la piel cubierta por ropa, debido a la evaporación por difusión, en W/m^2

E_{rsw} pérdida latente por la piel expuesta, debido a la evaporación, en W/m^2

E_{resp} pérdida de calor latente por respiración, en W/m^2

C_{resp} pérdida de calor sensible por la respiración, en W/m

R e cantidad de calor sensible intercambiada por la piel por radiación, en W/m^2

C_v cantidad de calor sensible intercambiada por convección, en W/m^2

2.1.1.6 Indicador porcentaje estimado de insatisfechos (PPD)

Este indicador, desarrollado por Fanger (como se citó en Godoy Muñoz, 2012), en paralelo al PMV, predice el porcentaje de personas insatisfechas que habrá en un grupo de usuarios de un recinto con respecto al ambiente térmico.

Las personas insatisfechas térmicamente votarán “muy caluroso” (+3), “caluroso” (+2), “fresco” (-2) o “frío (-3) sobre la escala que establece el indicador PMV y tiene como límites superior e inferior el 100% de usuarios insatisfechos y el 5% respectivamente, dado que asume que siempre existirá un porcentaje mínimo de individuos que no estarán de acuerdo con el ambiente térmico en el que se encuentran. Al estar el PPD estrechamente vinculado al PMV, se formula exclusivamente a partir de él.

$$PPD = 100 - 95 \cdot \exp(-0,03353 \cdot PMV^4 - 0,2179 \cdot PMV^2)$$

Donde:

PMV voto medio estimado;

PPD porcentaje estimado de insatisfechos, en %.

2.2.6.1 Ecuaciones de confort térmico

Los modelos matemáticos de confort buscan establecer estándares de condiciones climáticas confortables para el ser humano así se tiene:

Tabla 6

Ecuaciones de confort térmico

Nombre del modelo	Autor	Modelo formal	VARIABLES consideradas dentro del modelo
Ecuación para obtener sensaciones térmicas	Fanger (1970)	Matemático	Se obtiene el voto promedio de la población estudiada para diferentes grupos de sujetos a partir de las regresiones lineales, considerándose como variables la temperatura ambiente, humedad relativa, la ropa, la producción interna de calor del cuerpo, el peso, el área del cuerpo y la altura del sujeto.
Ecuación del Voto Promedio PMV-PPD	Fanger (1970)	Matemático	Acumulación térmica, conocido por medio del balance térmico en el cuerpo humano y vinculado a la sudoración, vasodilatación, vasoconstricción y el voto de confort térmico.
Ecuación de la Neutralidad térmica	Humphreys (1975)	Matemático	Temperatura neutra que está dada por la temperatura media anual y los coeficientes que se obtienen a partir de la información de campo tratada estadísticamente, de sujetos en edificios acondicionados.

Ecuación de la Neutralidad térmica	Auliciems Andris (1993)	Matemático	Considera la temperatura media mensual y un factor que incluye variables climáticas.
Ecuación de Neutralidad térmica	Nicol y Roaf (1996)	Matemático	La temperatura neutral es determinada a partir de la temperatura media anual y los coeficientes obtenidos por métodos de regresión lineal que se transforman en exponenciales.
Developing and Adaptive Model of Thermal Comfort and Preference, ASHRAE	Richard de Dear, Gail Brager y Donna Cooper (1997)	Matemático	Incluye los parámetros del clima, mide respuestas del individuo que habita los espacios, como son la ropa, ventanas, ventiladores (ajustes de comportamiento), ajustes fisiológicos como la aclimatación y ajustes psicológicos como las expectativas.
Zona variable de confort térmico del	F. J. Chávez del Valle (2002)	Matemático	Retoma el modelo de Nicol, ajustando a la expresión matemática, factores del fenómeno térmico.

Fuente: Elaboración propia.

2.2.7 Las zonas altoandinas en el Perú

En el Perú, las zonas altoandinas se caracterizan por presentar la más alta tasa de mortalidad por enfermedades que se asocian al frío, en contraposición, se caracterizan por recibir una intensa radiación solar.

El territorio peruano posee veintisiete climas, según el método de Clasificación Climática de Warren Thornthwaite, 1931 como se citó en Ministerio del Ambiente, 2017, esto debido a su posición geográfica y los diferentes factores climáticos.

La sierra presenta una topografía accidentada lo cual condiciona la variedad de climas. En la sierra norte, la cordillera presenta menor altitud llegando hasta 4800 m.s.n.m aproximadamente, esta región no presenta glaciares en los cerros. El periodo lluvioso de abarca desde el mes de setiembre hasta abril del año siguiente siendo su régimen térmico más uniforme (Ministerio del Ambiente, 2017)

Estos factores genera días con una intensa radiación solar en invierno y las noches son extremadamente frías, las temperaturas se dan por debajo de los 0 °C, este tipo de invierno presenta noches gélidas y los días traen intensa radiación solar, que puede ser aprovechado en el diseño de sistemas pasivos para la climatización de las viviendas, captando energía en forma de calor y que la puedan conservar para que las madrugadas de invierno sean más confortables (Guardia, 2017).

2.2.8 Las heladas

En los últimos diez años, se ha venido incrementando en el país, el impacto generado por las heladas. Según el sistema nacional de gestión del riesgo de desastres (SINAGERD), los fenómenos asociados a las heladas causan severos daños a la población, a los cultivos y los animales. (SENHAMI, 2010)

En el plan nacional de gestión del riesgo de desastres – PLANAGERD 2014-2021 (CENEPRED, 2014), se señala que, en nuestro país, alrededor de 3'862 572 habitantes se encuentran expuestos a las heladas, registrándose temperaturas mínimas promedio que son menores a 4°C por un periodo de 30 a más días. Los departamentos expuestos a este fenómeno son Arequipa, Ayacucho, Huancavelica, Junín y Puno; representando el 50,9% de posibles afectados.

Las heladas meteorológicas ocurren en la sierra peruana con influencia en la selva durante el invierno. Definido como el fenómeno que se genera cuando la temperatura ambiental está por debajo de cero grados. Son generadas por la invasión de masas de aire

de origen antártico y también por el exceso de enfriamiento del suelo durante los cielos claros y secos.

Según el Plan Multisectorial ante heladas y friaje (CENEPRED, 2017), la temperatura más baja registrada fue de $-28,2$ °C. Donde las zonas afectadas están comprendidas entre los 3500 y 5000 metros sobre el nivel del mar, en estas zonas, la población residente se encuentra en extrema pobreza. La actividad económica que desarrollan son la agricultura y crianza de camélidos sudamericanos, agrupándose en comunidades pequeñas y dispersas donde las heladas afectan la salud, principalmente a los niños y adultos mayores y el desarrollo económico debido a la pérdida de cultivos locales y la muerte de sus animales.

2.2.9 La vivienda altoandina

El Perú es uno de los países más vulnerables al cambio climático debido a la situación geográfica, donde las comunidades altoandinas están expuestas a las bajas temperaturas sumándose a ello la pobreza, la carencia de saneamiento básico y la falta asesoría técnica.

El poblador altoandino busca diversas soluciones para proveerse de un espacio controlado donde se basan en la autoconstrucción, obteniendo este aprendizaje a través de la familia y del conocimiento obtenido de su comunidad.

El proceso de evolución de la vivienda altoandina muestra la capacidad que posee el usuario para transformar materiales de su entorno inmediato (tierra y piedras) como el material predominante en sus edificaciones.

El patrón de población dispersa se debe a la actividad económica como el pastoreo por lo que necesitan grandes áreas para sus pastizales. El emplazamiento de la vivienda hace que el espacio del usuario no presente límites físicos.

La vivienda, por lo general, se conforma de ambientes principales para las actividades de descanso, cocina y comedor y espacios para almacenar, además el patio es un espacio organizador de la vivienda y de interacción; también ambientes de servicios, letrinas y corrales y cobertizos para los animales.

El Estado ha desarrollado campañas para la mejora de las viviendas y la salud de la población, siendo algunas intervenciones una repetición de tecnologías que no son compatibles con el contexto social, ambiental y/o cultural.

2.2.10 Definición de términos básicos

2.2.10.1 Parámetros ambientales

Temperatura por radiación

La temperatura de radiación es definida como el área ponderada que envuelve los cuerpos y puede influir sobre los intercambios de radiación. (LEÓN, 2018)

Temperatura y temperatura del aire

La temperatura es la magnitud física que define el movimiento aleatorio medio de las moléculas en un determinado cuerpo físico. La temperatura del aire es la que se lee en un termómetro expuesto al aire y que está protegido de la radiación solar directa. (OMM, 1992). (SENHAMI, 2010)

Temperatura media radiante

Es la temperatura superficial teórica uniforme de un espacio en el que un individuo intercambiaría la misma cantidad de calor radiante que en un recinto real no uniforme. Según la norma UNE-EN 12792.

Velocidad del viento

Es el vínculo entre el espacio que recorre por el flujo del viento y el tiempo en el que se realiza el recorrido. En el sistema internacional se miden en km/h o en m/s. (Toledo, 2011).

Humedad relativa

Se entiende por la cantidad de agua que contiene el aire, si su valor es elevado durante un día de calor afectaría negativamente la sensación térmica de un recinto, impidiendo que las personas pierdan calor por evaporación de agua generando

incomodidad por el sudor. En cambio, si el porcentaje de humedad relativa es bajo, el organismo podría responder negativamente debido a que se deshidrata.

2.2.10.2 Helada meteorológica y agrometeorológica

Cuando la temperatura ambiente desciende a 0°C o menos, observación que se hace con el termómetro de mínimas instalado en la caseta meteorológica, se produce una helada. El enfoque agrometeorológico define a la helada como un descenso de la temperatura ambiente a niveles críticos de los cultivos matando los tejidos vegetales. Esta definición implica las condiciones meteorológicas y biológicas, como la tolerancia propia del cultivo, la etapa de desarrollo, las condiciones sanitarias y fisiológicas (Campos, 2005), las condiciones de suelo y periodo de duración de la helada (Lasso, 1987) (SENHAMI, 2010).

2.2.10.3 Altitud

Es la distancia vertical entre el nivel medio del mar y un punto situado sobre la superficie terrestre (SENHAMI, 2010).

2.2.10.4 Clima

Conjunto de condiciones atmosféricas caracterizadas por los estados y desarrollo del tiempo en un área determinada (OMM) (SENHAMI, 2010).

2.2.10.5 El metabolismo

Es un factor térmico relacionado con la capacidad del cuerpo humano de producir calor. Según el diccionario Larousse (1999), el metabolismo es el “conjunto de transformaciones que experimentan las sustancias absorbidas por un organismo vivo: reacciones de síntesis, llamadas anabólicas, y reacciones de degradación que liberan energía, catabólicas”.

2.2.10.6 Vivienda bioclimática

Se define como el tipo de vivienda que asegura el confort para los ocupantes de un edificio, apoyándose en las características climáticas del lugar y minimizando el uso de energía auxiliar. Una vivienda bioclimática se caracteriza por las condiciones

confortables de temperatura y humedad en su interior con bajos consumos de los sistemas de calefacción, refrigeración y de agua caliente. (CONDOR AQUINO, 2017)

2.2.10.7 Arquitectura bioclimática

Según Morillón (2003), la arquitectura bioclimática es el mecanismo para lograr acondicionar edificios en términos de confortabilidad, que se puedan convertir en sistemas termodinámicos eficientes enfocado a la comodidad de sus ocupantes con el mínimo consumo de energía eléctrica. (Sampedro, 2006)

2.2.10.8 Balance térmico

El balance térmico es la relación entre entradas y salidas (ganancias y pérdidas) de energía térmica para conservar en el ambiente interior, condiciones de temperatura y humedad que generen comodidad. (FUERTES, 2017)

2.2.10.9 Temperatura de confort

La temperatura de confort o neutral (T_n), se obtiene de un análisis de regresión lineal que correlaciona las respuestas subjetivas y las mediciones objetivas de los parámetros ambientales en los estudios de campo, esta correlación permite visualizar en edificios la dependencia de la temperatura neutra con la temperatura media exterior. (Rincón-Martínez et al., 2020)

2.2.10.10 Confort ambiental

El confort ambiental de un ser humano bajo un enfoque arquitectónico se relaciona a las variables producidas por el contexto que lo circunda, sombra, luz, viento, diseño de espacio, etc. Entre muchas otras funciones de la arquitectura sobresale el mejoramiento de la calidad del confort ambiental exterior (León, C.A. 2018).

2.2.10.11 Confort térmico

El Confort térmico es una sensación de percepción neutral por el sujeto en relación a un ambiente térmico, comprendido como la condición perceptual en la que se observa la satisfacción o equilibrio del usuario con el ambiente térmico, de acuerdo a la norma ISO 7730. El confort es un estado de la persona en el cual experimenta salud, comodidad y bienestar. (León, C.A. 2018).

2.2.10.12 Conducción

Consiste en el flujo de calor que se produce entre dos cuerpos en contacto a distinta temperatura. A pesar de que su participación en el equilibrio térmico es baja (en torno al 10-15%), sí adquiere relevancia cuando los elementos circundantes alcanzan la temperatura superficial de la piel, porque actúan como aislante. Este fenómeno es aprovechado por las prendas térmicas. (Campano-Laborda, 2015)

2.2.10.13 Convección

Se produce cuando un cuerpo está rodeado de un fluido a temperatura inferior; al calentarse el fluido circundante, este tiende a ascender por diferencia de densidad y pasa a ser reemplazado por fluido a menor temperatura (estratificación térmica). Este fenómeno es reforzado en caso de existir una velocidad inicial en el fluido, por lo que, si la piel queda expuesta al viento, se eleva la tasa de renovación en la capa de aire inmediata a la piel, y, por tanto, se produce una mayor pérdida térmica (Campano-Laborda, 2015).

2.2.10.14 Radiación

Este fenómeno depende de la superficie de piel y se regula por el flujo sanguíneo que llega hasta ella. El cuerpo humano transmite radiación en forma de emisión infrarroja en todas direcciones, así como los objetos del entorno la arrojan sobre él. A mayor temperatura corporal, más alta será esta transferencia y viceversa con respecto a la del medio circundante (Campano-Laborda, M. Á., 2015).

2.2.10.15 Conductividad térmica (k)

Es la capacidad de un material para transferir calor, es el cociente de la densidad del flujo térmico y el gradiente de la temperatura ($W/m^{\circ}C$).

2.2.10.16 Densidad (ρ)

Es el cociente entre la cantidad de masa (kg) que caracteriza al material y el volumen (m^3). Midiéndose su valor en (kg/m^3).

2.2.10.17 Calor específico (c)

Es una característica del material que expresa la cantidad de calor suficiente para aumentar un grado Celsius la temperatura de una unidad de masa, se mide en (J/kg°C).

2.2.10.18 Difusividad térmica (a)

Es la noción de velocidad de difusión de una temperatura en un material determinado que se somete a un aumento de calor o viceversa. Se mide en (m²/s).

2.2.10.19 Efusividad térmica (b)

Consiste en la efusión de una potencia térmica dentro de un material, es el flujo de calor que el material absorbe dependiendo de su estado térmico.

2.2.10.20 Inercia térmica

Se estima con base en la capacidad térmica (C), partiendo de la energía que puede retener un elemento por unidad de masa cuando se incrementa la temperatura a un grado Celsius.

3 CAPÍTULO III

MARCO FILOSÓFICO

Los modelos de evaluación del confort térmico adoptan principalmente los enfoques adaptativo y predictivo.

3.1 ENFOQUE ADAPTATIVO

Según Humphreys y Nicol (como se citó en Gómez-Azpeitia et al., 2007), el confort térmico estudiado desde las bases teóricas del enfoque adaptativo está en función de la temperatura media exterior, el tiempo de permanencia en el espacio, el nivel de actividad y las acciones emprendidas para conseguirlo. En este contexto, el comportamiento humano es un aspecto determinante en la búsqueda y la adquisición del confort térmico; si se produce un cambio en el ambiente que provoca incomodidad, las personas reaccionan por instinto con el fin de restaurar las condiciones de comodidad.

Gracias a estudios realizados en edificios reales ventilados naturalmente, se obtienen ecuaciones para determinar la temperatura neutral, T_n , para posteriormente determinar el rango de confort. A continuación, se nombran las ecuaciones más relevantes según Gómez-Azpeitia et al., (2007):

Tabla 7

Modelos de temperatura adaptativa. (Gómez-Azpeitia et al., 2007)

Autor	Modelo
Humphreys (1976)	$T_n = 0,534T_m + 11,9$
Auliciems (1981)	$T_n = 0,31T_m + 17,6$
Griffiths (1990)	$T_n = 0,534T_m + 12,1$
Nicol et al. (1993)	$T_n = 0,38T_m + 17,0$
Brager /de Dear (1998)	$T_n = 0,38T_m + 17,0$
Humphreys / Nicol (2000)	$T_n = 0,54T_m + 13,5$

T_m : promedio mensual de la temperatura exterior del lugar.

Fuente: Gómez-Azpeitia et al., 2007.

3.1.1 Teoría del confort térmico adaptativo De Dear. (1998)

En el criterio adaptativo las personas crean sus propias preferencias térmicas a través del modo en el que interactúan con el ambiente, modificando su propio comportamiento o adaptando sus expectativas gradualmente, en función del ambiente térmico en el que se sitúan (Godoy Muñoz, 2012).

Esta teoría es el resultado de estudios de campo cuyo objetivo era analizar la real aceptabilidad de ambientes térmicos, que guarda relación con el contexto, el comportamiento y expectativas de los ocupantes.

El término adaptación podría significar una disminución gradual de la respuesta del organismo a una estimulación del ambiente que se vuelve un patrón repetitivo.

3.2 ENFOQUE PREDICTIVO

En este enfoque, la persona se estudia aislada de su hábitat, en escenarios controlados en laboratorios, es pasiva porque se espera que el organismo por sí mismo alcance el confort térmico, es de tipo fisiológico ya que considera a todas las personas en general y no toma en cuenta las condiciones específicas como las características físicas del sujeto estudiado, su historial, la tecnología, el nivel socioeconómico, etc.

En la actualidad existen principalmente dos modelos de intercambio térmico para el cuerpo humano, en los que algunas de sus constantes y variables han sido determinadas experimentalmente mediante mediciones. Estos son:

- Modelo de dos nodos de Pierce (Gagge, 1986), se denomina así porque estudia dos procesos paralelos interrelacionados: La transferencia de calor de los órganos internos (núcleo) a la piel y de la piel al ambiente exterior.
- Modelo del balance térmico de Fanger (1970), denominado “ecuación de confort”, es el más ampliamente utilizado en la actualidad, del que deriva el indicador del voto medio estimado (PMV).

Ambos modelos parten del modelo general del balance térmico de Gagge (1936), por lo que son de carácter estático y utilizan al individuo como sensor pasivo (de Dear, 1997).

3.2.1 Teoría del balance térmico Fanger P. O. (1973)

Fanger (1983), fue el creador del modelo del balance térmico, implementando los indicadores PMV/PPD.

En el año 1973 publica los primeros trabajos sobre la influencia de las condiciones climáticas en interiores de edificios en el ser humano, definiendo los parámetros que influyen en el confort y dos métodos para cuantificarlo: el voto medio previsto y el porcentaje previsto de insatisfechos.

Los modelos de balance térmico, también son denominados estáticos o constantes, sirviendo de base para los trabajos pioneros de Gagge y Fanger (como se citó en Godoy Muñoz, 2012) y es utilizada en la mayoría de los estándares de confort térmico actuales.

Los experimentos desarrollados de estados estáticos mostraron que el desconfort por frío tiene una relación estrecha con la temperatura media de la piel y el desconfort por calor se relaciona con la humedad de la piel ocasionada por la secreción de la transpiración.

CAPÍTULO IV

MARCO METODOLÓGICO

4.1 TIPO Y DISEÑO DE INVESTIGACIÓN

4.1.1 Tipo de estudio

El tipo de estudio corresponde a una investigación aplicada porque ha permitido buscar soluciones al problema del desarrollo de un modelo de evaluación idóneo para el Centro Poblado Menor de Kallapuma.

Esta investigación pertenece al enfoque cuantitativo debido a que se observó, midió una realidad de acuerdo a las variables de estudio y al instrumento utilizado. Se trabajó con un grupo experimental de la población del Centro Poblado Menor de Kallapuma, quienes han brindado información de acuerdo a parámetros ambientales establecidos, gracias a esto se comprendió la idoneidad del modelo propuesto.

4.1.2 Nivel de investigación

El nivel de investigación fue aplicativo y se caracterizó por la utilización de los conocimientos previos. El uso del conocimiento y los resultados de investigación permitieron conocer la realidad empleando la innovación tecnológica (registrándose medidas en tiempo real de parámetros cuantitativos y cualitativos utilizados en estudios de campo) y se analizaron teorías científicas (índices bioclimáticos) validadas para la solución y control de situaciones cotidianas.

4.1.3 Caracterización o tipo del diseño de investigación

El diseño y la metodología de la investigación fue experimental que se contrastó con fundamentos teóricos e interpretación matemática.

4.2 POBLACIÓN Y MUESTRA

4.2.1 Población

En la presente investigación, la población estuvo conformado por el total de viviendas del Centro Poblado de Kallapuma, provincia de Tarata, región Tacna, según MIDIS, 90 hogares.

4.2.2 Muestra

La muestra calculada para el presente estudio fueron las personas encuestadas que hicieron uso de los dispositivos TSVR. Haciendo un total de 84 pobladores.

4.3 OPERACIONALIZACIÓN DE LAS VARIABLES

4.3.1 Identificación de las variables

4.3.1.1 Variable Independiente: Parámetros ambientales

Temperatura del aire ($T^{\circ}\text{C}$)

Humedad relativa (HR)

Relación de mezcla (w)

Nivel de ropa (I_{cl})

Nivel de actividad, Tasa metabólica (met)

4.3.1.2 Variable dependiente: Confort Térmico

T_n (temperatura de neutralidad)

Rango de confort

4.3.2 Caracterización de las variables

X: Parámetros ambientales:

Indicadores

X_1 = Temperatura del aire ($T^{\circ}\text{C}$) La temperatura del aire determina cuánto calor pierde el cuerpo hacia el aire, principalmente por convección. La temperatura del aire basta para calificar el confort térmico siempre y cuando la humedad y la velocidad del aire y el calor radiante no influyen mucho en el clima interior. (ENERGIA, 2015)

X_2 = Humedad relativa (HR): Es la relación entre cantidad de vapor de agua contenida en el aire (humedad absoluta) y la máxima cantidad que el aire sería capaz de contener a esa temperatura (humedad absoluta de saturación). (S&P, 2018)

X_3 = Relación de mezcla (w): Se considera la relación de mezcla (w_i) a la cantidad de vapor de agua presente por cada kilogramo de aire seco (g de agua/kg de aire).

X_4 = Nivel de ropa (*clo*): El valor clo es una representación numérica de la resistencia térmica de un conjunto de prendas de vestir. $1 \text{ clo} = 0,155 \text{ m}^2 \cdot ^\circ \text{C} / \text{W}$. (Campano-Laborda, M. Á., 2015)

X_5 = Nivel de actividad, Tasa metabólica (*met*): La tasa metabólica mide el gasto energético muscular que experimenta el trabajador cuando desarrolla una tarea. (Campano-Laborda, M. Á., 2015)

Y: Confort Térmico:

Indicadores

$$Y_1 = T_n$$

Y_2 = Rango de confort

Tabla 8

Definición operacional de las variables

Variable	Dimensión	Indicador	Unidad /categoría	Escala
Variable 1	Implica los	Temperatura	$^\circ\text{C}$	Intervalo
Parámetros	parámetros	del aire (TA)		
ambientales	relacionados con	Humedad	%	Intervalo
	las condiciones	Relativa (HR)		
	físicas del	Relación de	g de agua/kg de	Intervalo
	ambiente	mezcla	aire	
	(temperatura del			Intervalo
	aire, velocidad	Nivel de ropa	$1 \text{ clo} = 0,155$	Razón
	del aire,	(<i>clo</i>)	$\text{m}^2 \times \text{K} / \text{W}$	
	humedad relativa	Nivel de	$1 \text{ met} = 0,0175$	Razón
	y temperatura	actividad, Tasa	$\text{kcal} \times \text{kg}^{-1} \times$	
	media radiante),	metabólica	min^{-1}	
	y relacionados a	(<i>met</i>)		
	la persona			
	(aislamiento de			
	la ropa y nivel de			
	actividad, es			

Variable	Dimensión	Indicador	Unidad /categoría	Escala
	decir, tasa metabólica).			
Variable 2	El grado de	T_n	°C	Intervalo
Confort	confort térmico		HR	
Térmico	se describe		w	
	mediante el uso	Rango de	°C	Intervalo
	de indicadores	confort	HR	
	existentes,		w	
	planteados a			
	partir de los			
	modelos de			
	intercambio			
	térmico del			
	cuerpo humano.			

Fuente: Elaboración propia.

4.3.3 Procesamiento y análisis de datos

El procesamiento de datos se llevó a cabo simultáneamente con los métodos estadísticos de Regresión Lineal Simple (RLS) (Cardona et al., 2013)

Medias por Intervalos de Sensación Térmica (MIST) (Gómez-Azpeitia et al., 2007).

CAPÍTULO V

CENTRO POBLADO DE KALLAPUMA

5.1 DESCRIPCIÓN GENERAL

Kallapuma se ubica al sur del Perú en la latitud sur 17° 19' 1,3" S y a una longitud oeste 69° 43' 51,6" W, a una altura de 4258 m.s.n.m. en la Comunidad Campesina Maure, en el distrito de Tarata, provincia de Tarata y región Tacna.

Cuenta con doce anexos: Challapalca, Mamuta, Coracorani, Kallapuma, Conchachiri, Aychuta, Chiluyo Norte, Chiluyo Grande, Chiluyo Chico, Chachacoma, Pampahuyuni y Caparaja. Su código de ubigeo es 2304010023, siendo su alcalde el señor Policarpio Urure Sanga.

La comunidad campesina de Maure se encuentra reconocida desde 1940, titulada en la ficha 8567, partida electrónica 5120435, con fecha de titulación 19/12/1994. Comprende 38331,7009134 hectáreas.

Según la Resolución de Reconocimiento esta localidad se encuentra ubicada en el distrito de Tarata. Sin embargo, según los datos del INEI 2007, esta localidad se encuentra en el distrito de Ticaco, y en el distrito de Capazo, provincia de El Collao, departamento de Puno. Tiene una población masculina de 280 y población femenina de 108, haciendo un total de 388 pobladores.

En la actualidad, Kallapuma carece de servicios básicos de agua, desagüe, electrificación e internet. Cuenta con una estación de radiodifusión FM –TV con un sistema fotovoltaico, conformado por 12 paneles solares de 450 vatios y 12 V, captando las dos señales del estado peruano (Radio Nacional del Perú y TV Perú).

El acceso al centro poblado es por vía terrestre cuya ruta de acceso es la TA-107, desde la ciudad de Tacna dista de 169 km, equivalente a 3 horas de viaje.

La temperatura es extrema, con fríos intensos. Por estas condiciones no se puede realizar agricultura. Ante este contexto, desarrollan la ganadería con la cría de camélidos sudamericanos como la llama y alpaca para el sustento de la comunidad.

Figura 6

(a) ubicación en el mapa del Perú (b) ubicación en el mapa de Tacna latitud sur $17^{\circ} 19' 1,3'' S$, longitud oeste $69^{\circ} 43' 51,6'' W$, y altitud de 4258 ms.n.m. (c) vista por satélite del centro poblado Kallapuma.



(a)



(b)



(c)

Fuente: Google Maps.

Entre la infraestructura existente se tiene una plaza principal, 1 institución educativa Escuela 43010 Horacio Zeballos Gamez, 1 plataforma de servicios tambo y un puesto de salud.

Figura 7

(a) Vista de la plaza principal del centro poblado Kallapuma, (b) vista del paisaje del centro poblado.



(a)



(b)

Fuente: Elaboración propia.

Las viviendas de Kallapuma son de construcciones rústicas en su mayoría, predominando el uso de adoben en paredes, planchas de zinc en coberturas de dos aguas, puertas y ventanas metálicas y pisos de tierra. Interiormente consisten en un solo ambiente, donde se distribuye en “espacio para dormir”, un “espacio para cocinar y comer”.

El tipo de vivienda que se desarrollan en los anexos responde a la actividad alpaquera, la vivienda está conformada por la agrupación de tres volúmenes como

máximo. Tienen planta ortogonal y simétrica, y cuentan con un espacio al que se accede desde el exterior. La organización es por proximidad, así mismo no se presentan volúmenes contiguos. El programa arquitectónico incluye un “espacio para dormir”, un “espacio para cocinar y comer” y un “espacio para almacenar”. El material empleado en los muros es siempre tradicional de adobe o piedra, mientras que los techos son mayoritariamente de planchas de zinc y pisos de tierra.

Figura 8

(a) Vivienda típica del centro poblado Kallapuma muros de adobe, techos de planchas de zinc, pisos de tierra, (b) Vivienda típica del centro poblado Kallapuma muros de adobe, techos de planchas de zinc, pisos de tierra, (c) Vivienda alpaquera en anexos.



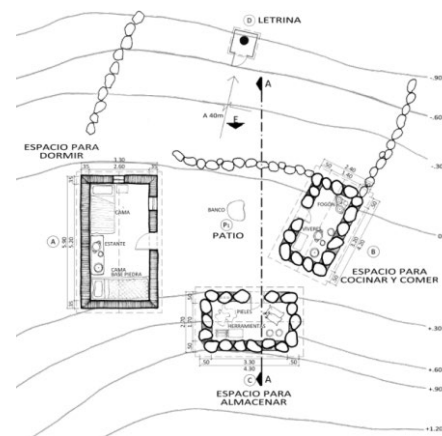
(a)



(b)



(c)



(d)

Fuente: Elaboración propia.

En Kallapuma se vienen desarrollando programas del Estado como el Programa Nacional País del Ministerio de Desarrollo e Inclusión Social (MIDIS), donde se tiene plataformas fijas (Tambos) las cuales cuentan con personal capacitado y equipamiento de

forma gratuita, a todas las entidades públicas y privadas, con el objetivo de brindar servicios en materia social y productiva a la población del ámbito del Tambo.

Dichas plataformas acercan los beneficios del Estado a la población vulnerable de zonas rurales dispersas y contribuyen a la reducción de brechas o carencia de servicios públicos en el ámbito rural y rural disperso.

Otro proyecto que se desarrolló en Kallapuma es el denominado “Mi Abrigo” el cual es una intervención del Fondo de Cooperación para el Desarrollo Social (FONCODES) que es un programa nacional del Ministerio de Desarrollo e Inclusión Social (MIDIS) donde se realizó el acondicionamiento de algunas viviendas aplicando tres tecnologías como el muro trombe, aislamiento interno y reforzamiento de muros.

Figura 9

(a) Vista del centro de salud de Kallapuma, (b) vista del Tambo Kallapuma, (c) Vista del colegio Horacio Zeballos Gamez, (d) Vista de la vía principal TA 562.



(a)



(b)



(c)



(d)

Fuente: Elaboración propia.

5.2 EL CLIMA EN KALLAPUMA

Según el método de Clasificación Climática de Warren Thornthwaite - SENAMHI (2020), Kallapuma está clasificado como semiseco con invierno seco. Semifrío. C (i) D' donde la Temperatura máxima se encuentra entre 11°C a 15°C temperatura mínima está entre -11°C a -7°C. Precipitación anual entre 500 mm a 700 mm aproximadamente. A continuación, se analizará la temperatura, humedad relativa, la velocidad del viento, precipitaciones y radiación solar para el año 2021.

5.2.1 Análisis climático

Como fuentes de datos se tiene una estación meteorológica marca DAVIS en el Tambo Kallapuma que funciona con sistema fotovoltaico, los datos de la estación Chuapalca, del Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología (SENHAMI, 2010).

Tabla 9

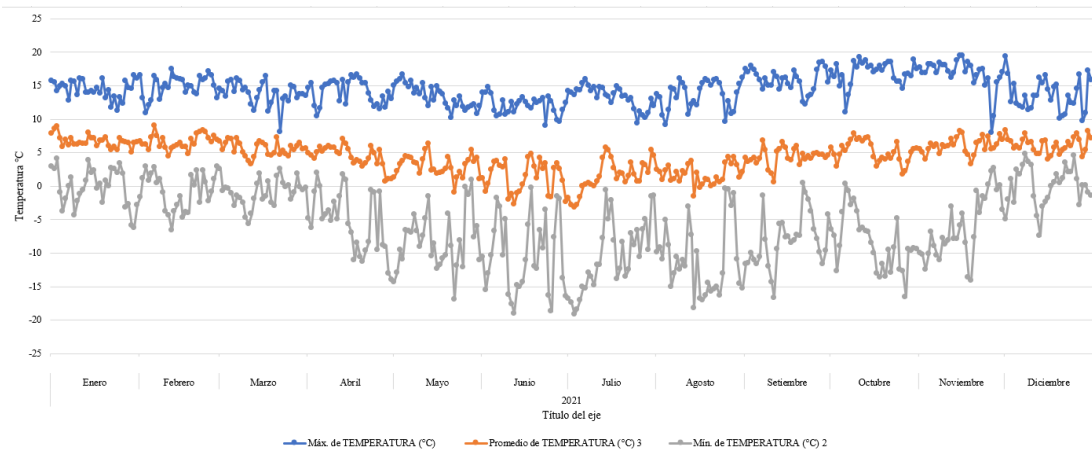
Temperaturas características para Kallapuma año 2021

Mes	\bar{T} C°	\bar{T}_{ma} C°	\bar{T}_{min} C°	Oscilación Térmica C°
Enero	6,64 ^x	16,50	-6,20	22,70
Febrero	6,62	17,50	-6,60	24,10
Marzo	5,57	16,40	-5,70	22,10
Abril	4,40	16,60	-14,00	30,60
Mayo	2,99	16,70	-16,90	33,60
Junio	1,37	14,80	-19,00	33,80
Julio	1,41	15,90	-19,20	35,10
Agosto	1,72	16,20	-18,20	34,40
Setiembre	4,35	18,50	-16,70	35,20
Octubre	5,10	19,20	-16,60	35,80
Noviembre	6,02	19,50	-14,10	33,60
Diciembre	6,16	19,40	-7,40	26,80
Media	4,36	17,27	-13,38	30,65

Fuente: SENHAMI, elaboración propia.

Figura 10

Temperaturas mensuales máximas, medias y mínimas para Kallapuma año 2021



Fuente: SENHAMI, elaboración propia.

Se analiza la temperatura, registros mensuales de la temperatura media (\bar{T}), temperatura media máxima ($\bar{T}_{m\acute{a}x}$), temperatura media mínima ($\bar{T}_{m\acute{i}n}$) y la oscilación térmica diaria durante el año 2021. La media anual \bar{T} es 4,36 °C, el mes menos frío es febrero con 6,64 °C y temperaturas entre -6,6 °C y 17,50 °C en promedio y el mes más frío es junio con 1,37 °C con temperaturas entre -19,0 °C y 14,80 °C en promedio. La oscilación térmica media diaria es 30,65 °C, por lo que hay noches muy frías y mañanas soleadas. Por lo general, la $\bar{T}_{m\acute{a}x}$ se presenta entre 12:00 y 14:00, mientras la $\bar{T}_{m\acute{i}n}$ es entre 5:00 y 6:00.

Tabla 10

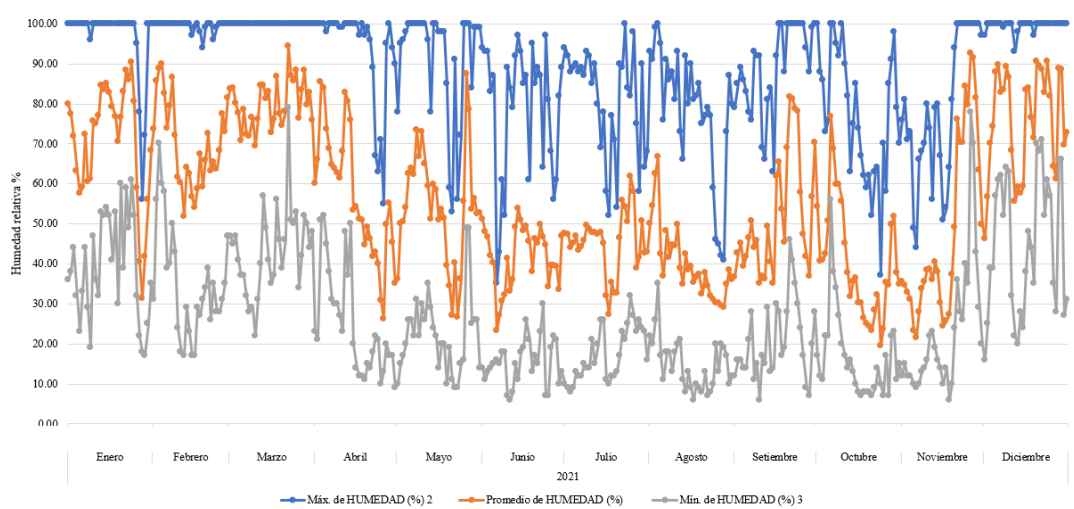
Humedades Relativas mensuales para Kallapuma año 2021

Mes	HR %	\overline{HR}_{max} %	\overline{HR}_{min} %
Enero	70,78	100,00	17,00
Febrero	70,04	100,00	17,00
Marzo	80,06	100,00	22,00
Abril	57,28	100,00	9,00
Mayo	54,26	100,00	9,00
Junio	41,69	97,00	6,00
Julio	45,32	100,00	8,00
Agosto	40,07	100,00	6,00
Setiembre	51,89	100,00	6,00
Octubre	40,20	100,00	7,00
Noviembre	47,73	100,00	6,00
Diciembre	75,85	100,00	16,00
Media	56,26	99,75	10,75

Fuente: SENHAMI, elaboración propia.

Figura 11

Humedad Relativa mensual máximas, medias y mínimas para Kallapuma año 2021



Fuente: SENHAMI, elaboración propia.

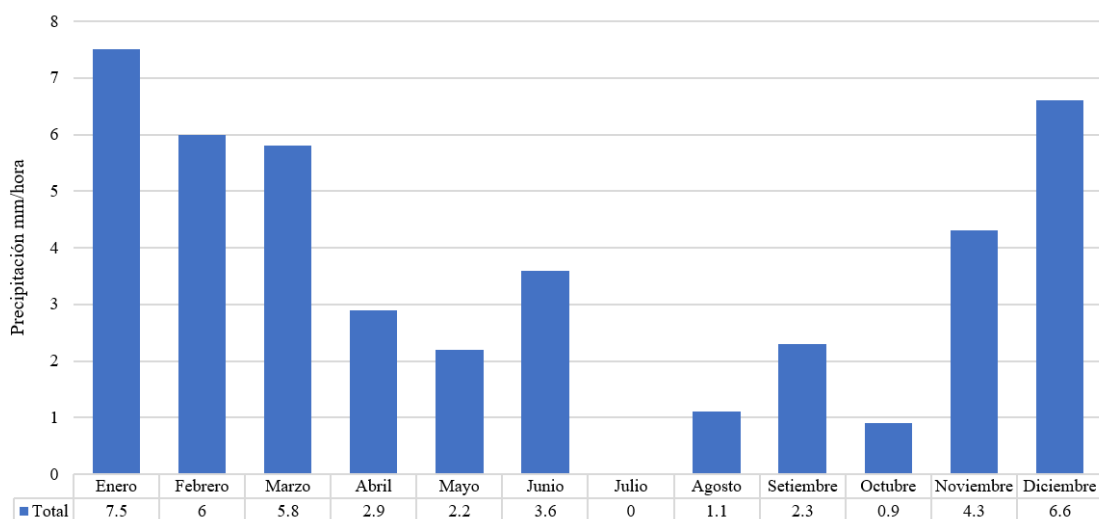
El segundo parámetro es *HR*. El mes con menor humedad relativa corresponde a agosto (40,07 %), el mes con mayor humedad relativa es marzo (80,06 %, temporadas de lluvias) y la media anual es 56,26 %. El valor máximo ocurre por lo general entre las 5:00 y 7:00, mientras la mínima se presenta entre las 13:00 y 14:00 horas.

Tabla 11

Precipitaciones mensuales para Kallapuma año 2021

Mes	Precipitación (mm/hora)
Enero	7,5
Febrero	6
Marzo	5,8
Abril	2,9
Mayo	2,2
Junio	3,6
Julio	0
Agosto	1,1
Setiembre	2,3
Octubre	0,9
Noviembre	4,3
Diciembre	6,6

Fuente: SENHAMI, elaboración propia.

Figura 12*Precipitación mensual para Kallapuma año 2021**Fuente: SENHAMI, elaboración propia.*

El tercer parámetro es la precipitación, es frecuente y más intensa durante los meses de enero y marzo; en el año 2021, enero tiene el mayor registro (7,5 mm/hora). Las precipitaciones no son comunes durante los meses de heladas (de mayo a agosto).

Tabla 12*Velocidad del viento para Kallapuma año 2021, máxima, mínima y promedio*

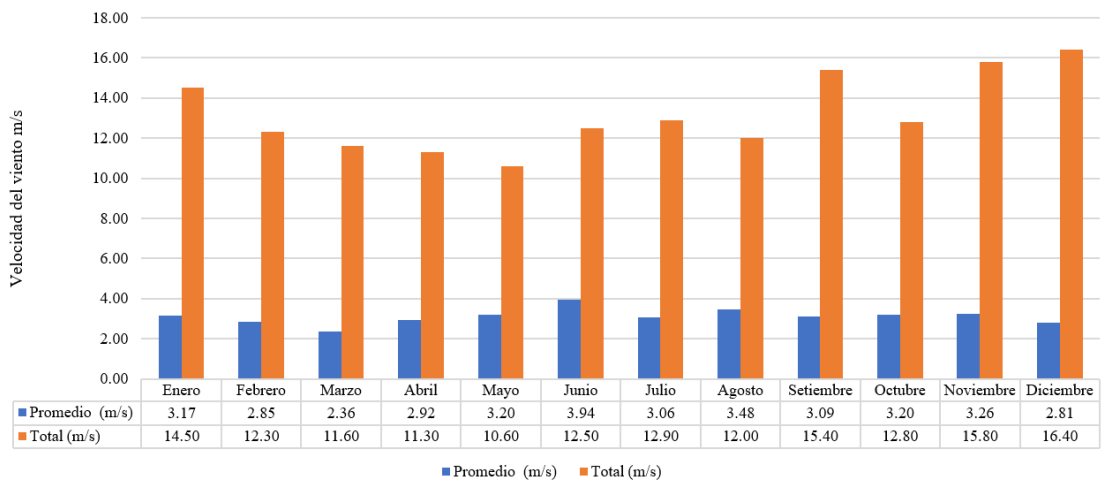
Mes	Máxima(m/s)	Mínima (m/s)	Promedio (m/s)
Enero	14,50	0,20	3,17
Febrero	12,30	0,10	2,85
Marzo	11,60	0,10	2,36
Abril	11,30	0,10	2,92
Mayo	10,60	0,00	3,20
Junio	12,50	0,10	3,94
Julio	12,90	0,10	3,06
Agosto	12,00	0,00	3,48
Setiembre	15,40	0,10	3,09
Octubre	12,80	0,00	3,20
Noviembre	15,80	0,20	3,26
Diciembre	16,40	0,30	2,81
Total, general	16,40	0,00	3,11

Fuente: SENHAMI, elaboración propia.

La velocidad del viento promedio es de 3,11 m/seg, siendo más intensos en junio y agosto y menos intensos en febrero y diciembre.

Figura 13

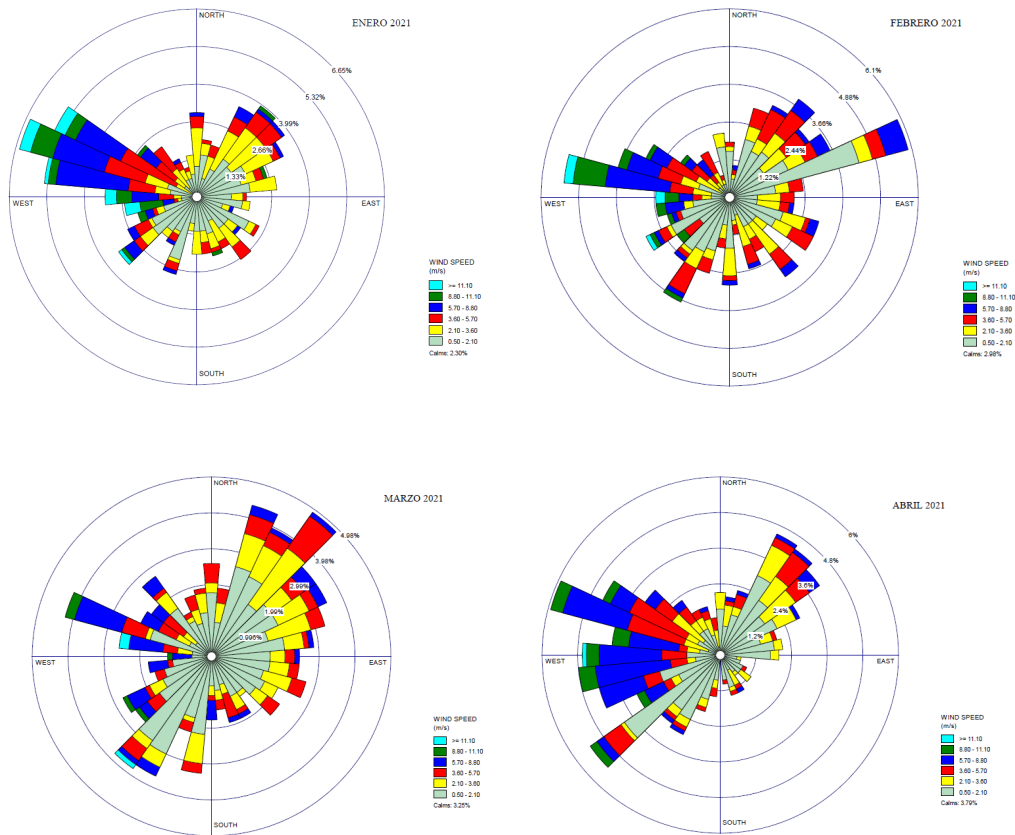
Velocidad del viento mensual total y promedio para Kallapuma año 202

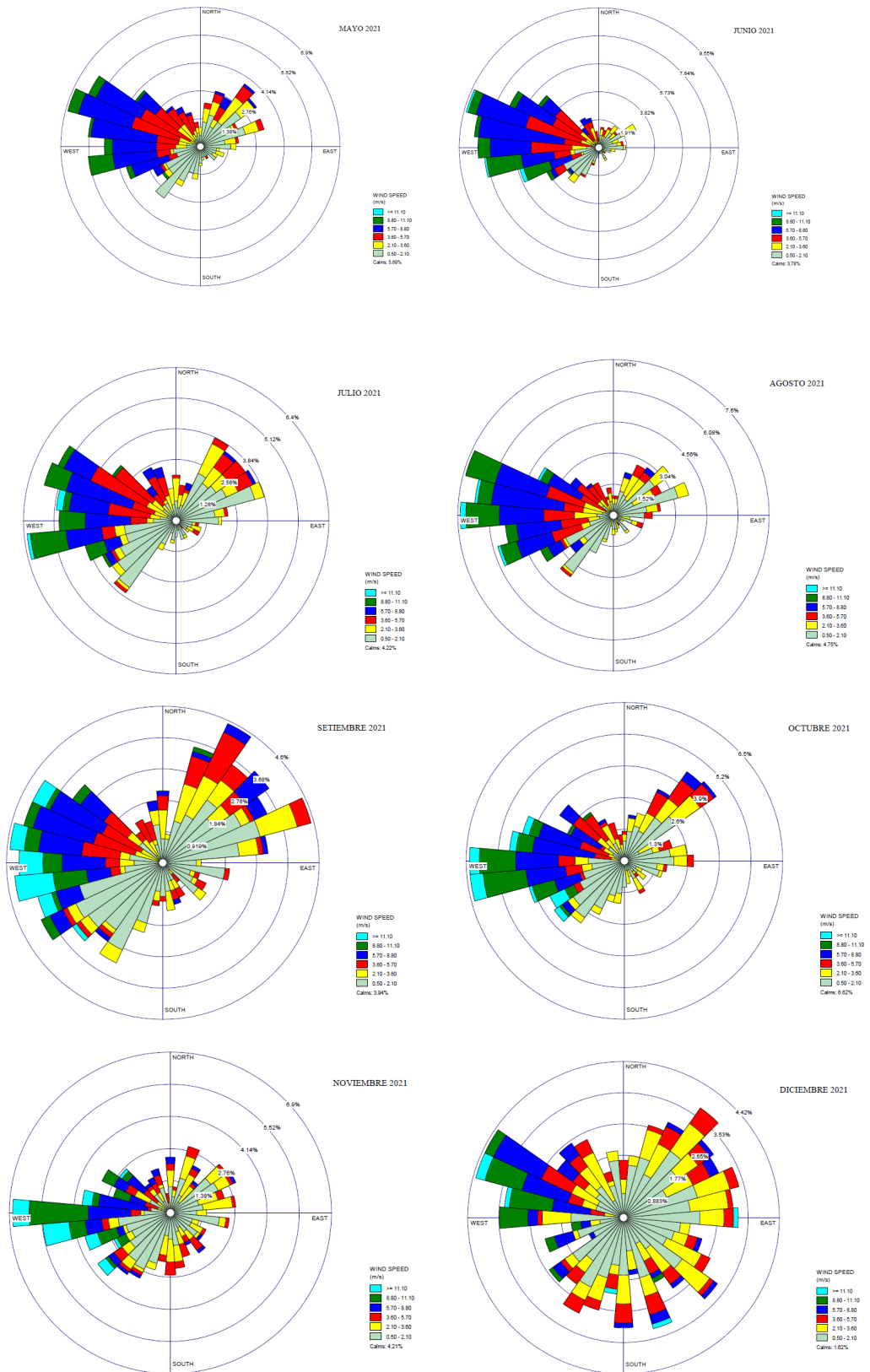


Fuente: SENHAMI, elaboración propia.

Figura 14

Rosa de viento mensual para Kallapuma, año 2021





Fuente: SENHAMI, elaboración propia.

En la figura 14 se presenta la rosa de viento para cada mes del año 2021. La velocidad del viento promedio es de 3,11 m/s, siendo más intensos en noviembre y diciembre; y menos intensos en mayo (ver tabla 4).

Kallapuma es un centro poblado altoandino situado al Sur del Perú a 4250 m.s.n.m. Le corresponde un clima ET: tundra alpina según la clasificación climática del Perú basada en Köppen-Geiger.

Se analizó el clima de Kallapuma para el año 2021, obteniéndose los valores promedios de temperatura y humedad relativa iguales a 4,36 °C y 56,26 %, respectivamente. En el registro histórico se alcanzó temperaturas de hasta -20 °C, principalmente en época de heladas (entre junio y agosto). Aunque se registró temperaturas bajas en Kallapuma, principalmente durante las noches, la oscilación térmica diaria fue igual a 30,65 °C en promedio anual.

Asimismo, se confirmó que en Kallapuma no puede hablarse de meses cálidos, simplemente hay meses menos fríos como noviembre o diciembre y meses fríos como junio o julio.

Las precipitaciones son frecuentes principalmente entre diciembre, enero, febrero y marzo, mientras en la época de heladas es escasa. La velocidad promedio fue de 3,11 m/s.

CAPÍTULO VI

RESULTADOS DE LA INVESTIGACIÓN

Este capítulo presenta el proceso de recolección y análisis de datos. En la primera parte, se detallan las especificaciones del dispositivo y la calibración de los equipos.

La segunda desarrolla el proceso de recolección e interpretación de datos realizados con los dispositivos.

La tercera parte consiste en el análisis de los parámetros bioclimáticos registrados.

6.1 DISPOSITIVO DE REGISTRO DE DATOS

Para el trabajo de campo se implementó un dispositivo de medición de parámetros meteorológicos y la sensación de confort térmico del poblador de Kallapuma.

El dispositivo contiene sensores de temperatura, humedad relativa, 4 botones para seleccionar el usuario, 5 botones para elegir las sensaciones térmicas de los pobladores (muy frío, frío, neutro, caluroso, muy caluroso) y 10 botones para el registro de la vestimenta del poblador. Permitiendo recabar información acerca de la temperatura, humedad relativa, sensación térmica, cantidad de usuarios por dispositivo, registro de vestimenta, fecha y hora de registro y voltaje de batería.

La ventaja del dispositivo es que permite registrar información sin la presencia del investigador.

Se le denominará “Dispositivo TSVR” por sus siglas en inglés (Thermal Sensation Vote Recorder), el cual utiliza el sensor digital DHT22, cuya precisión de la temperatura es de ± 0.5 °C y el sensor de humedad relativa tiene una precisión de 2-5%.

Se implementaron 07 dispositivos para el registro de información necesaria que posteriormente fueron entregados a pobladores de Kallapuma.

Tabla 13*Especificación de los componentes del dispositivo*

Componente	Características
Sensor Temperatura/HR DHT22 ¹	3 a 5 V de potencia y E/S
	Máximo 2,5 mA durante la conversión
	0 -100% de lecturas de humedad con 2 – 5 % de precisión
	Lecturas de temperatura de -40 a 80 °C ± 0,5 °C de precisión
Microcontrolador ATMEGA 3228PU ²	8-bit
	Voltaje de funcionamiento 1,8 V - 5 V
	20 entrada/salidas programables
	Memoria Flash de 32 KB
	SRAM 2 KB and EEPROM 1 KB
Reloj serial en tiempo real DS1307	56 bytes, con respaldo de batería
	Interfaz serial I ² C
	Señal de salida de onda cuadrada programable
Otros	Consume menos de 500 nA en batería de respaldo con oscilador en marcha
	Rango de temperatura: -40 °C a + 85 °C
	Tarjeta microSD, lectora de tarjeta microSD, pulsadores de 6x6, zumbador (5V) resistencias, condensadores, oscilador, diodos, caja de paso, porta pilas redondo, porta pilas 3xAA, interruptor, cables, conectores, puerto USB.

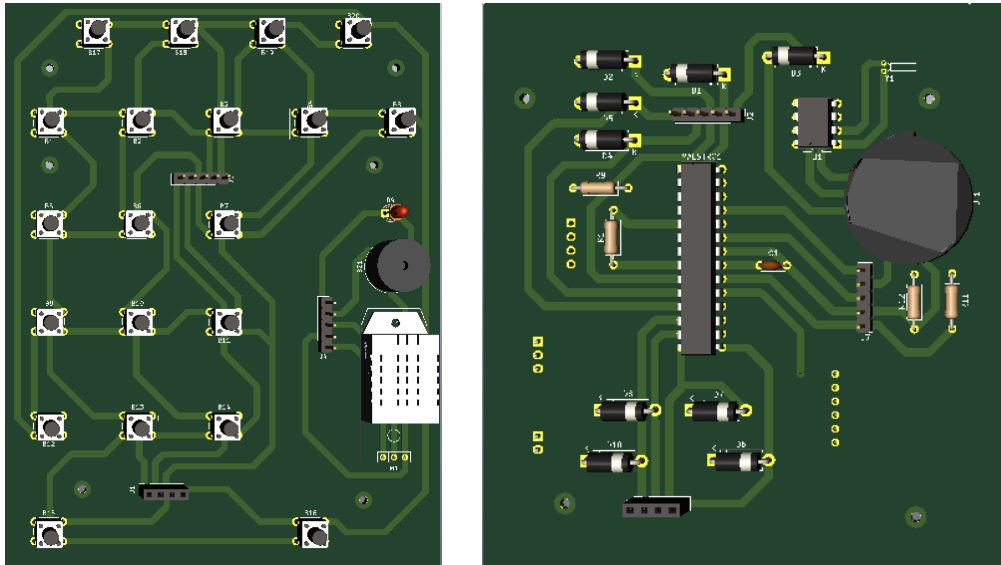
Fuente: J R Molina et al 2020 J.

¹ Aosong Electronics Co., Ltd. Digital-output relative humidity & temperature sensor/module DHT22

² ATMEL Corporation, ATMEGA328P Datasheet

Figura 15

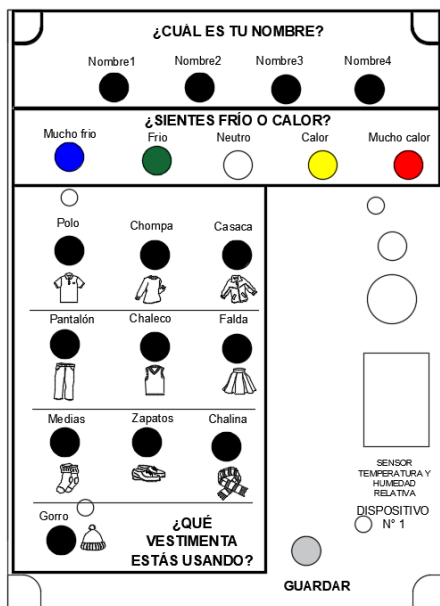
Configuración de las placas del dispositivo TSVR, realizado en KiCad



Fuente: J R Molina et al 2020 J.

Figura 16

(a) Esquema del dispositivo TSVR cuyas medidas son de 0,10 m de ancho x 0,15 m de altura x 0,07 m de espesor, (b) fotografía del dispositivo TVSR aplicado a la investigación que contiene una tarjeta microSD en formato CSV, con un voltaje de 4,5 V.



(a)



(b)

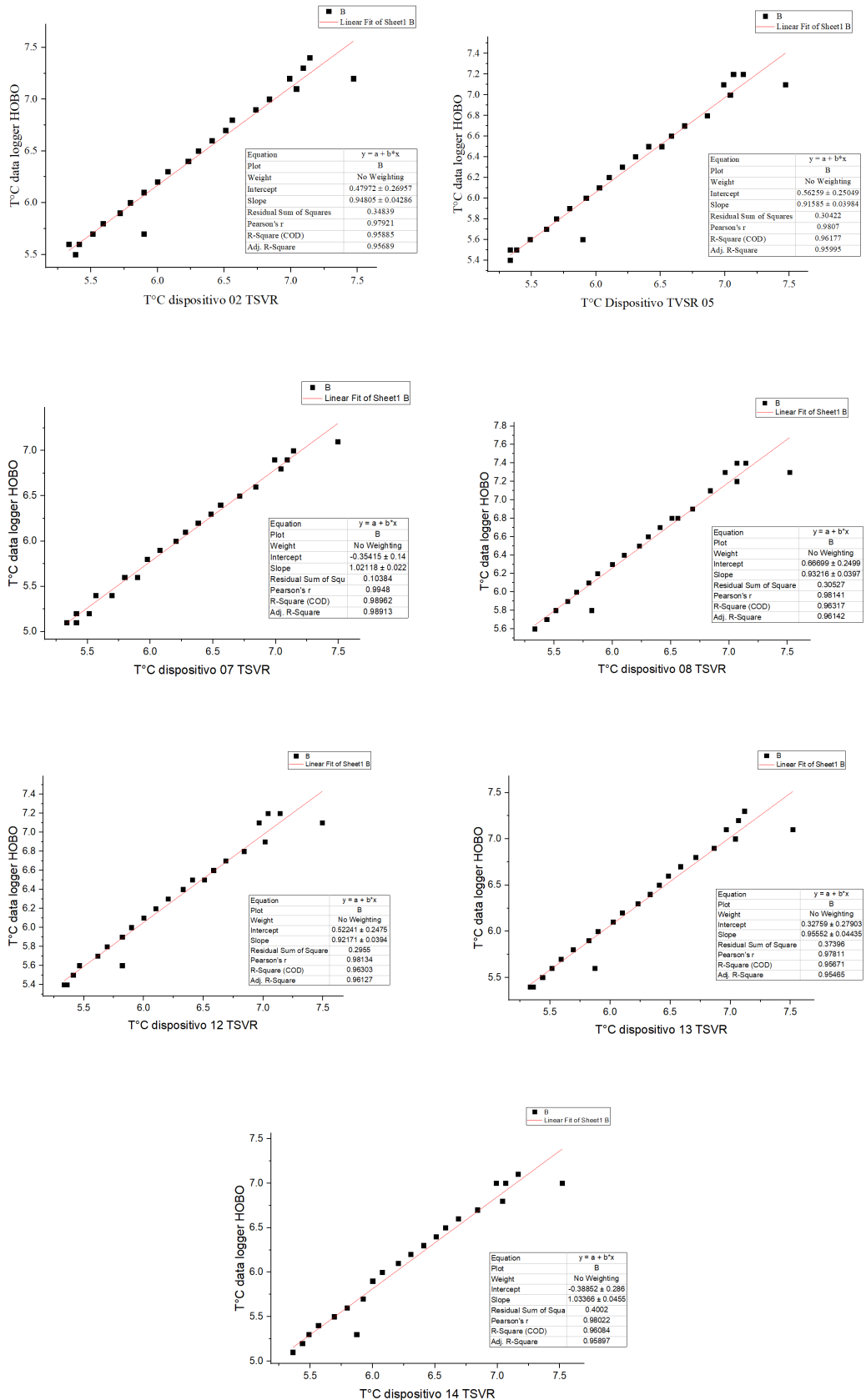
Fuente: Elaboración propia.

6.1.1 Calibración de los dispositivos

La calibración de los dispositivos TSVR (datos de temperatura) se realizó con el dispositivo de registro Data Logger para Termocuplas HOBO® UX120 Cuatro-Canales (en el ANEXO I se presentan sus especificaciones técnicas), el proceso se llevó a cabo al interior de la habitación del tambero en el tambo del centro poblado de Kallapuma, antes de entregarlos a pobladores de Kallapuma. Las siguientes figuras presentan la curva de calibración de los 07 dispositivos TSVR y la correlación encontrada para cada dispositivo se muestra en la tabla 14. Para los datos de humedad relativa se calibraron con la estación DAVIS, ubicada en el tambo Kallapuma.

Figura 17

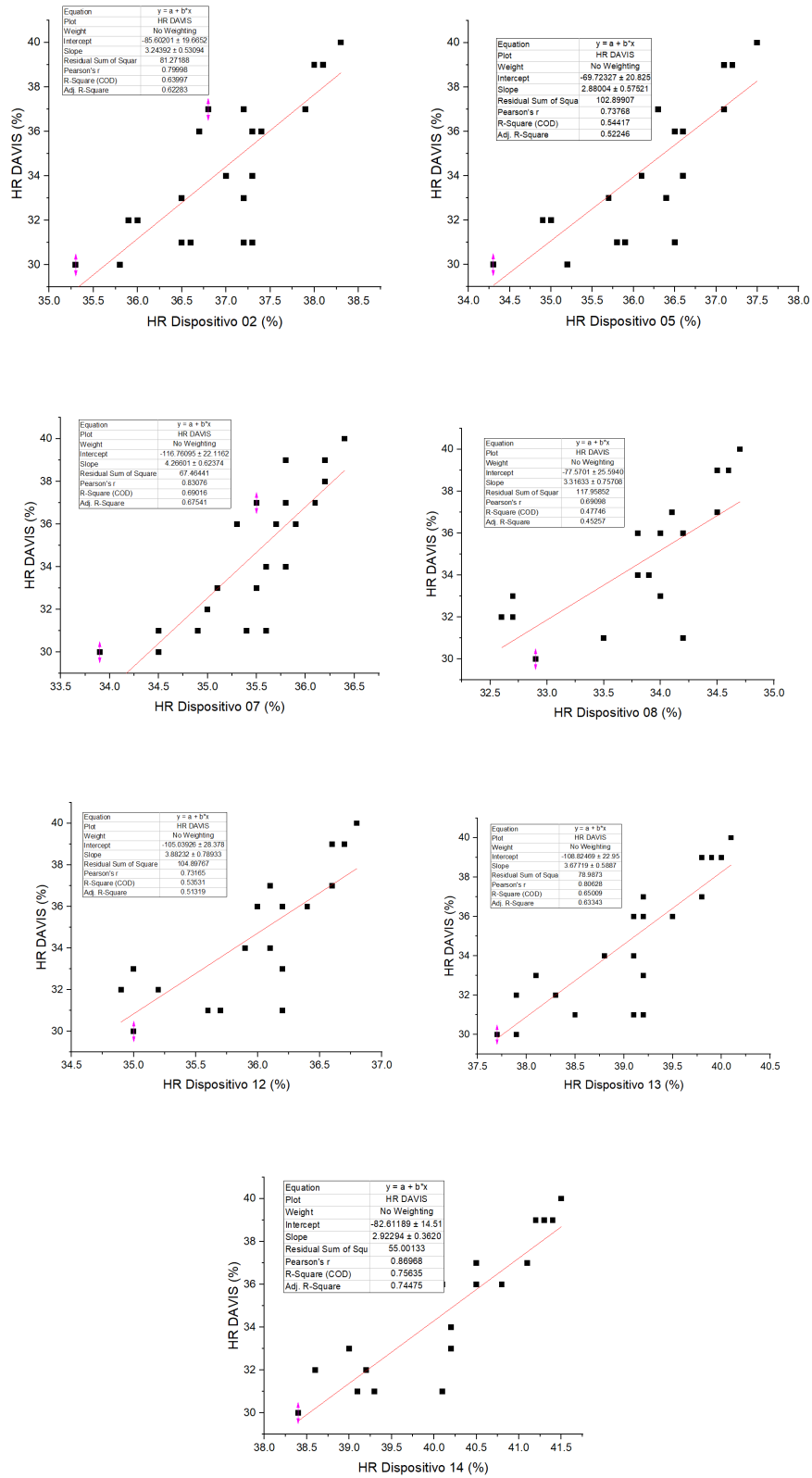
Calibración de dispositivos TSVR ecuaciones lineales datos de temperatura



Fuente: Elaboración propia.

Figura 18

Calibración de dispositivos TSVR ecuaciones lineales datos de humedad relativa



Fuente: Elaboración propia.

Tabla 14

Resultado de calibración de dispositivos TSVR

Dispositivos	Temperatura °C	Humedad Relativa (%)
D02	$T_{dIHOB0} = 0,94T_{D02TSVR} + 0,47$	$HR_{DAVIS} = 3,24 HR_{D02TSVR} - 85,60$
D05	$T_{dIHOB0} = 0,91T_{D05TSVR} + 0,56$	$HR_{DAVIS} = 2,88 HR_{D02TSVR} - 69,72$
D07	$T_{dIHOB0} = 1,02T_{D07TSVR} - 0,35$	$HR_{DAVIS} = 4,26 HR_{D02TSVR} - 116,76$
D08	$T_{dIHOB0} = 0,93T_{D08TSVR} + 0,66$	$HR_{DAVIS} = 3,31 HR_{D02TSVR} - 77,57$
D12	$T_{dIHOB0} = 0,92T_{D12TSVR} + 0,52$	$HR_{DAVIS} = 3,88 HR_{D02TSVR} - 105,03$
D13	$T_{dIHOB0} = 0,95T_{D13TSVR} + 0,37$	$HR_{DAVIS} = 3,67 HR_{D02TSVR} - 108,82$
D14	$T_{dIHOB0} = 1,03T_{D14TSVR} - 0,38$	$HR_{DAVIS} = 2,92 HR_{D02TSVR} - 82,61$

Fuente: Elaboración propia.

Figura 19

Fotografía de los dispositivos TSVR y Data Logger para Termocuplas HOBO al momento de la calibración al interior de una habitación del tambo Kallapuma



Fuente: Elaboración propia.

6.1.2 Dispositivos entregados

En esta etapa se identificaron posibles usuarios para la entrega de los dispositivos TSVR. Se distribuyeron 07 dispositivos para ser utilizados al interior de las viviendas.

Antes de entregar los dispositivos se realizó una breve explicación de su funcionamiento y se entregó una cartilla conteniendo las instrucciones para el uso de este.

La manipulación de los dispositivos se realizó del 10 de mayo del 2022 al 16 de junio del 2022.

Figura 20

Cartilla de instrucciones para uso de dispositivos TSVR



Fuente: Elaboración propia.

Tabla 15*Dispositivos entregados*

Dispositivos	Usuarios	Descripción	Edad años	Sector
D0 2	Usuario 1	Anderson Juli Miranda	13	Kallapuma
	Usuario 2	Mamá	43	
	Usuario 3	Papá	51	
	Usuario 4	Hermano	22	
D05	Usuario 1	Delafelia Ordoñez Ticona	16	Conchanchiri
	Usuario 2	Papá	41	
	Usuario 3	Mamá	33	
	Usuario 4	Hermano	14	
D07	Usuario 1	Jimena Zanga Villalobos	15	Chilillo Norte
	Usuario 2	Hermano	10	
	Usuario 3	Mamá	30	
	Usuario 4	Papá	40	
D08	Usuario 1	Víctor Miranda	36	Kallapuma
	Usuario 2	Hermano	33	
	Usuario 3	Mamá	52	
D12	Usuario 1	Cristian Mamani Flores	13	Mamuta
	Usuario 2	Mamá	53	
	Usuario 3	Papá	57	
D13	Usuario 1	Eloy Limache Coaquera	15	Coracorani
	Usuario 2	Mamá	58	
D14	Usuario 1	Johan Condori Miranda	16	Kallapuma
	Usuario 2	Mamá	54	

Fuente: Elaboración propia.

Figura 21

Entrega de dispositivos TSVR a alumnos de la I.E. Horacio Zeballos Gámez (a,b,c,d) y recepción de dispositivos TSVR en Anexo Mamuta (e,f)



(a)



(b)



(c)



(d)



(e)



(f)

Fuente: Elaboración propia.

6.2 ENCUESTAS REALIZADAS Y PROCESO DE EVALUACIÓN

Se elaboró una encuesta para recolectar características relevantes para el estudio. Esta encuesta se dividió en 3 secciones, la primera parte corresponde a información personal, la segunda a información de vestimenta y actividad física y la tercera a información sobre la sensación térmica de los encuestados respecto al ambiente que los rodea. El modelo de la encuesta utilizado en Kallapuma se muestra en el ANEXO II.

Tabla 16

Escalas utilizadas en el estudio

Voto de sensación térmica (VST)	Muy frío (MF) Frío (F) Neutro (N) Calor (C)
Preferencia térmica	Mucho calor (MC) Más frío (+F) Sin cambio (SC) Más caliente (+C)

Fuente: Elaboración propia.

La estación meteorológica DAVIS VANTAGE PRO 2 PLUS, ubicada en el tambo Kallapuma, fue utilizada para registrar los parámetros físicos cuando se realizaron las encuestas *in situ*. Este dispositivo permitió registrar parámetros físicos como la temperatura del aire, la humedad relativa y la velocidad de aire por segundo. Las encuestas se realizaron en las aulas del centro educativo (durante las horas académicas tanto en el nivel secundario como el nivel primario), en el tambo, en una vivienda y en el puesto de vigilancia. Las escalas utilizadas para el voto de sensación térmica (VST) fueron 5 y para la preferencia térmica fueron 3 y son mostradas en la tabla 8. Las encuestas se realizaron el mes de mayo del año 2022.

Figura 22

Instrumento estación meteorológica Davis vantage pro2 plus para la medición de parámetros como la temperatura, la humedad relativa y la velocidad de viento en Kallapuma



Fuente: Elaboración propia.

6.3 ANÁLISIS DE DATOS OBTENIDOS

Las mediciones fueron desarrolladas en ambientes interiores y exteriores (colegio, viviendas, tambo y puesto de vigilancia). Se encuestó a 62 personas.

Tabla 17

Número de personas encuestadas por ambiente

Tipo de registro	Lugar	Nº de personas encuestadas
Encuesta	Colegio (Aula)	47
	Colegio (Patio)	07
	Vivienda	03
	Tambo	02
	Puesto de vigilancia	03
Total		62

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 18*Número de personas que usaron los dispositivos*

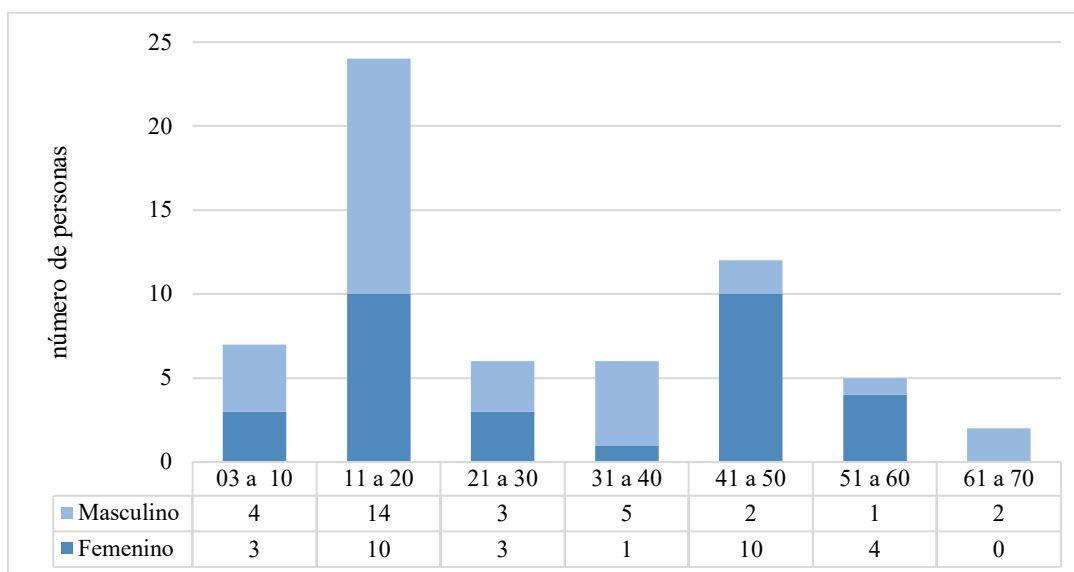
Tipo de registro	Lugar	N° de personas que usaron el dispositivo	N° de datos por dispositivo
Dispositivo 02	Vivienda	4	37
Dispositivo 05	Vivienda	4	58
Dispositivo 07	Vivienda	4	50
Dispositivo 08	Vivienda	3	26
Dispositivo 12	Vivienda	3	32
Dispositivo 13	Vivienda	2	51
Dispositivo 14	Vivienda	2	49
Total		22	303

*Fuente: Elaboración propia.***Tabla 19***Número de personas encuestadas por género y edad*

Edad	N° de personas	Género	
		Femenino	Masculino
03 a 10	7	3	4
11 a 20	24	10	14
21 a 30	6	3	3
31 a 40	6	1	5
41 a 50	12	10	2
51 a 60	5	4	1
61 a 70	2	0	2
Total	62	31	31

Fuente: Elaboración propia.

De la población encuestada, un mayor porcentaje de la población tiene entre 11 a 20 años de edad, del total de datos las mujeres representan el 50 % y similar porcentaje lo representan los varones. La edad promedio de los encuestados es de 27 años.

Figura 23*N° de varones y mujeres encuestados en Kallapuma**Fuente: Elaboración propia.***Tabla 20***Número de personas que utilizaron los dispositivos por género y edad*

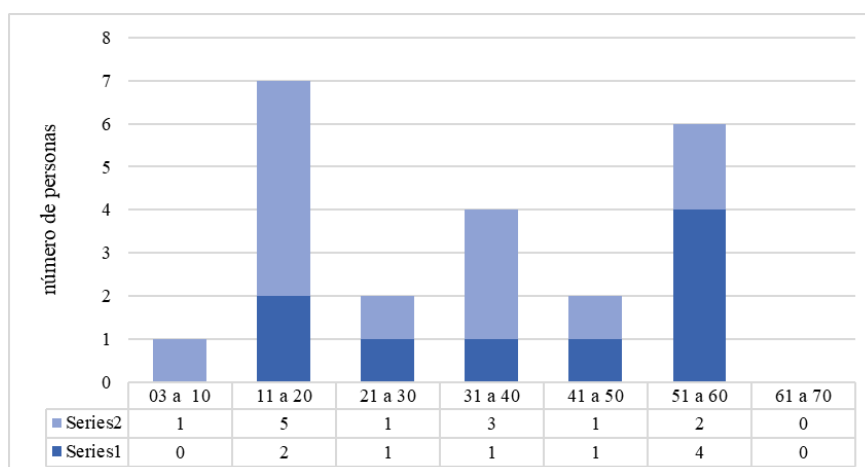
Edad	N° de personas	Género	
		Femenino	Masculino
03 a 10	1	0	1
11 a 20	7	2	5
21 a 30	2	1	1
31 a 40	4	1	3
41 a 50	2	1	1
51 a 60	6	4	2
61 a 70	0	0	0
Total	22	9	13

Fuente: Elaboración propia.

Según la Tabla 20, de la población que utilizó los dispositivos, un mayor porcentaje de la población tiene entre 11 a 20 años de edad; del total de datos, las mujeres representan el 41 % y los hombres el 59 %. La edad promedio de las personas que utilizaron los dispositivos es 33 años.

Figura 24

Nº de varones y mujeres que utilizaron los dispositivos



Fuente: Elaboración propia.

6.3.1 Análisis del voto de sensación térmica

El VST reportado por las personas de Kallapuma se presenta en la tabla 11 y la figura 25. En las encuestas, la mayoría fue realizada a los alumnos de la institución educativa y el VST que predomina es el de N (54%), seguido de F (39%), MF (7%), C y MC (0%) para los ambientes interiores y exteriores. De los datos de los dispositivos se tiene que, para el VST predomina, F (34%), seguido de N (31%), MF (26%), C (4%) y MC (4%).

Tabla 21

Voto de sensación térmica de los pobladores según el ambiente evaluado y registro

Tipo de registro	Lugar	Voto de Sensación térmica VST *					Totales
		MF	F	N	C	MC	
Encuestas	Colegio interior	3	18	26	0	0	47
	%	6%	38%	55%	0%	0%	100%
	Colegio exterior	2	5	0	0	0	7
	%	29%	71%	0%	0%	0%	100%
	Vivienda	0	0	3	0	0	3
	%	0%	0%	100%	0%	0%	100%
Dispositivos	Tambo	0	1	1	0	0	2
	%	0%	50%	50%	0%	0%	100%
	Puesto de vigilancia	0	1	2	0	0	3
	%	0%	33%	67%	0%	0%	100%
	Vivienda	80	104	95	12	12	303
	%	26%	34%	31%	4%	4%	100%
Totales		85	129	127	12	12	365
Porcentajes		23%	35%	35%	3%	3%	100%

Fuente: Elaboración propia.

(*) Muy frío (MF), frío (F), neutro(N), calor (C), mucho calor (MC).

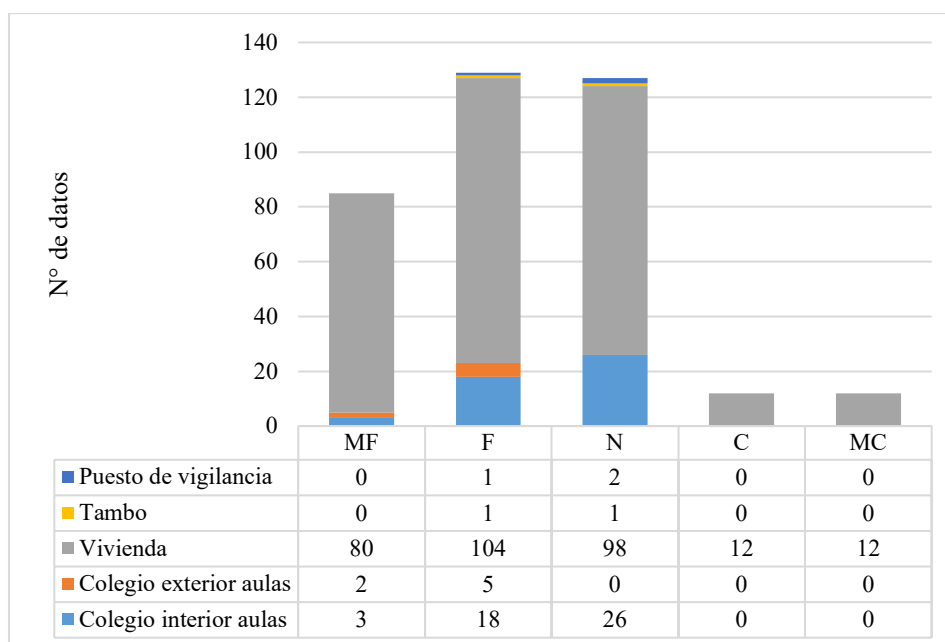
En la Tabla 21 se puede ver que la mayor cantidad de datos fueron registrados al interior de las viviendas que corresponde al 84% del total de datos, seguido de las aulas 15% y los datos consignados en el tambo y puesto de vigilancia que equivalen al 1% del total de datos.

La institución educativa Horacio Zeballos Gámez, el año 2021, tenía 31 alumnos matriculados entre el nivel inicial (4 alumnos), nivel primario (6 alumnos) y el nivel secundario (21 alumnos), de acuerdo al aplicativo Escale del Minedu.

En las encuestas realizadas en la Institución educativa se pudo encuestar a 4 alumnos del nivel inicial, 5 alumnos del nivel primario y 21 alumnos del nivel secundario, haciendo un total de 30 estudiantes, representando el 97 % del total de los alumnos.

Figura 25

Votos de sensación térmica según el ambiente evaluado



Fuente: Elaboración propia.

De la figura 25, el voto de preferencia térmica solo se obtuvo a través de encuestas presenciales. Un mayor porcentaje de encuestados indicaron una preferencia térmica de más caliente (MC+). Respecto al total de encuestas realizadas en diferentes ambientes el

79 % de personas prefieren ambientes más calientes, el 15 % consideraron ambientes sin cambios y el 6 % ambientes más fríos.

Tabla 22

Preferencia térmica indicada por los pobladores al momento de las encuestas

Tipo de registro	Lugar	Preferencia térmica			
		MF (+)	SC	MC (+)	
Encuestas	Colegio interior aulas	4	8	35	47
		9%	17%	74%	100%
	Colegio exterior aulas	0	1	6	7
		0%	14%	86%	100%
	Vivienda	0	0	3	3
		0%	0%	100%	100%
	Tambo	0	0	2	2
		0%	0%	100%	100%
	Puesto de vigilancia	0	0	3	3
		0%	0%	100%	100%
Totales		4	9	49	62
Porcentajes		6%	15%	79%	100%

Fuente: Elaboración propia.

(*) Más frío (MF+), sin cambio (SC), más caliente (MC+).

6.3.2 Análisis de la temperatura

Para el análisis de la temperatura se tendrá en cuenta la temperatura interior (T_i) y temperatura exterior (T_e) clasificando la información según el tipo de actividad identificada.

6.3.2.1 Temperatura interior

Para analizar la T_i , se considera el “total de datos” que utiliza toda la información recolectada y “datos por tipo de actividad” de acuerdo a las personas encuestadas (actividad pasiva, moderada y elevada).

a) Total de datos

En la Figura 26 se muestran los valores de la temperatura interior T_i que se registraron en las encuestas y con los dispositivos TSVR.

Cada burbuja representa como la cantidad de datos por temperatura, según el VST (Voto de sensación térmica). Se tienen rangos de 1 a 7 votos.

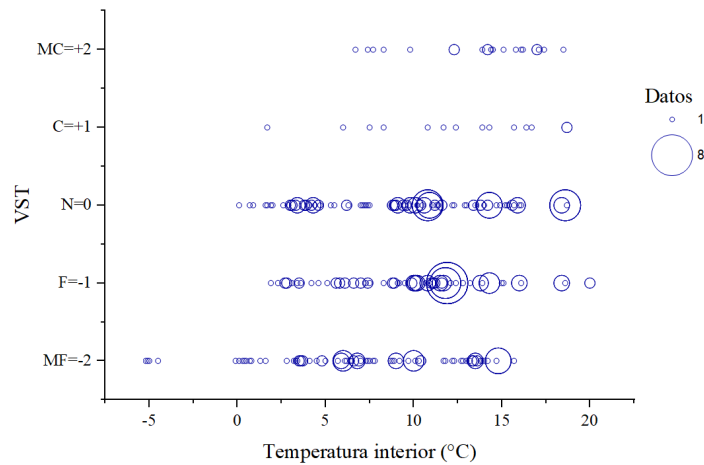
Se realizó un análisis para establecer la temperatura neutral (T_n) y rangos admisibles de bienestar.

Se analizó la base de datos correspondiente a 365 observaciones siendo una observación igual a un conjunto de datos.

Finalmente se calculó la temperatura media \bar{T}_i y la desviación estándar (σ).

Figura 26

Temperatura interior y voto de sensación térmica de los encuestados en Kallapuma. El radio de los círculos está en función a la cantidad de datos obtenidos para cada valor de T_i y VST



Fuente: Elaboración propia.

La desviación estándar servirá como una medida de dispersión de las respuestas del Voto de sensación térmica, para determinar los estratos en que se pueden ordenar estas. En la Tabla 23, para cada grupo de valores de T_i correspondiente a una sensación térmica (VST=MF, F, N, C, MC), se calcularon las temperaturas promedio \bar{T}_i , mínima ($\bar{T}_i - \sigma$), mínima extensa ($\bar{T}_i - 2\sigma$), máxima ($\bar{T}_i + \sigma$) y máxima extensa ($\bar{T}_i + 2\sigma$).

Se determinarán 2 zonas; zona reducida (ZR) y zona extensa (ZE).

Las temperaturas mínima y máxima determinarán la zona reducida (ZR); mientras las temperaturas mínima extensa y máxima extensa determinarán la zona extensa (ZE).

Tabla 23

Total de datos, para T_i [en °C], para cada VST

σ	VST		$\bar{T}_i - 2\sigma$	$\bar{T}_i - \sigma$	\bar{T}_i	$\bar{T}_i + \sigma$	$\bar{T}_i + 2\sigma$
5,03	MF	-2	-2,41	2,62	7,66	12,69	17,72
4,10	F	-1	2,09	6,19	10,29	14,40	18,50
4,88	N	0	0,04	4,92	9,81	14,69	19,57
5,04	C	1	2,27	7,31	12,34	17,38	22,42
3,63	MC	2	6,36	9,99	13,61	17,24	20,87
			1,67	6,21	10,74	15,28	19,83

Fuente: Elaboración propia.

Para VST =

Se calculó $T_n = 10,74$ °C

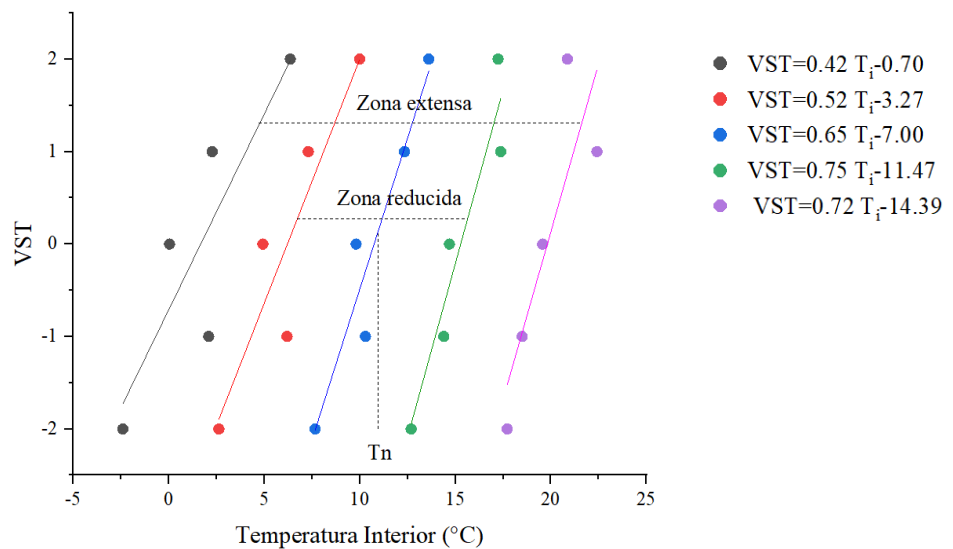
$T_{min, ZE} = 1,67$ °C; $T_{max, ZE} = 19,83$ °C

$T_{min, ZR} = 6,21$ °C y $T_{max, ZR} = 15,28$ °C.

La siguiente figura muestra la regresión lineal entre el Voto de sensación térmica y las temperaturas: mínima extensa (línea gris), mínima reducida (línea roja), promedio (línea azul), máxima reducida (línea verde) y máxima extensa (línea morada). Las líneas no son paralelas. Se muestra también las regresiones lineales.

Figura 27

Valores promedio de la temperatura interior del total de datos



Fuente: Elaboración propia.

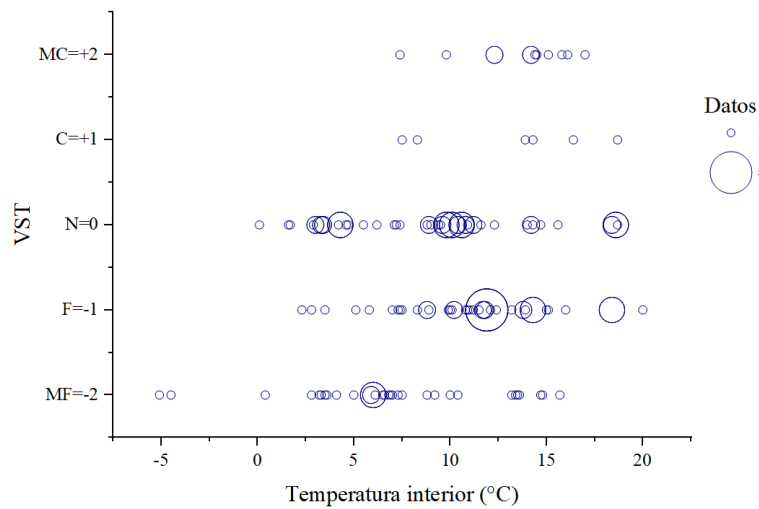
Se tiene la gráfica de la zona reducida, zona extensa y temperatura neutral, para cada Voto de sensación térmica con las correlaciones lineales.

También se analizó la influencia del género de la población, se obtiene $T_n = 10,62$ °C para los hombres resultando menor en comparación con las mujeres cuya $T_n = 10,86$ °C.

El rango de la Zona Extendida ($T_{max, ZE} - T_{min, ZE}$) y la Zona Reducida ($T_{max, ZR} - T_{min, ZR}$) es menor para las mujeres (16,69 °C ZR y 8,35°C ZR) y varones (19,63 °C ZR y 9,81°C ZR). Los hombres son más tolerantes a temperaturas más bajas y las mujeres son levemente más tolerantes a temperaturas altas.

Figura 28

Temperatura interior y voto de sensación térmica de los encuestados en Kallapuma, género femenino

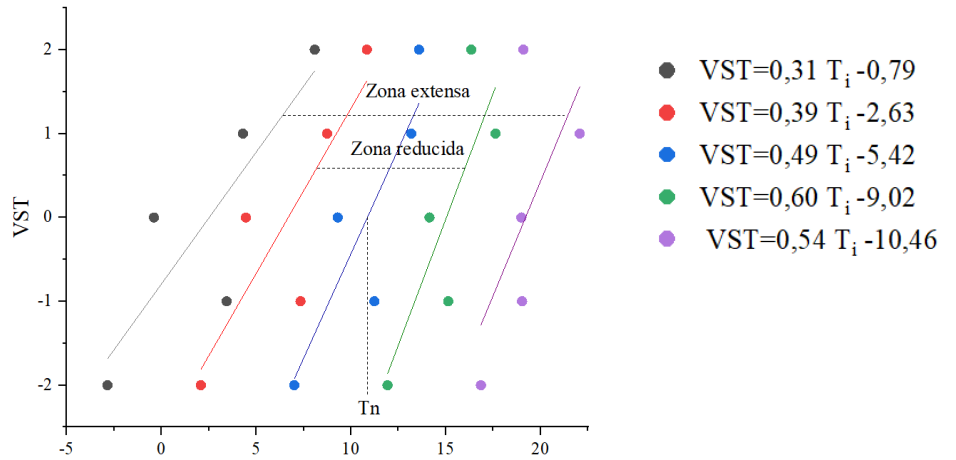


Fuente: Elaboración propia.

El radio de los círculos está en función a la cantidad de datos obtenidos para cada valor de T_i y VST.

Figura 29

Valores promedio de la temperatura interior por género femenino

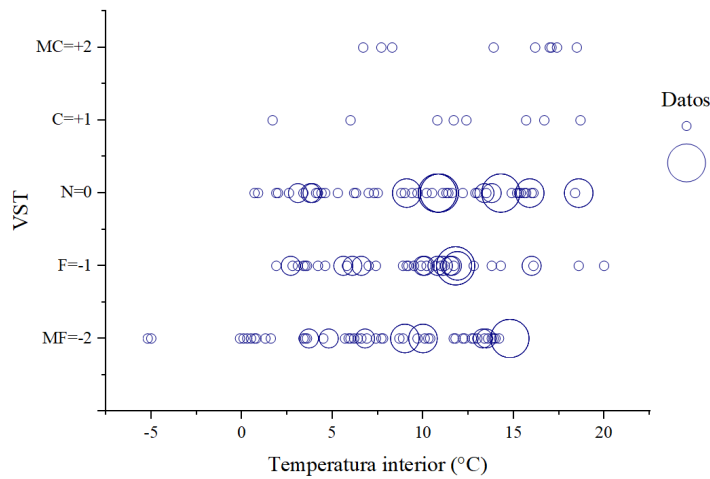


Fuente: Elaboración propia.

Gráfica de la Zona reducida, Zona extensa y Temperatura neutral, para cada voto de sensación térmica con las correlaciones lineales.

Figura 30

Temperatura interior y voto de sensación térmica de los encuestados en Kallapuma, género masculino

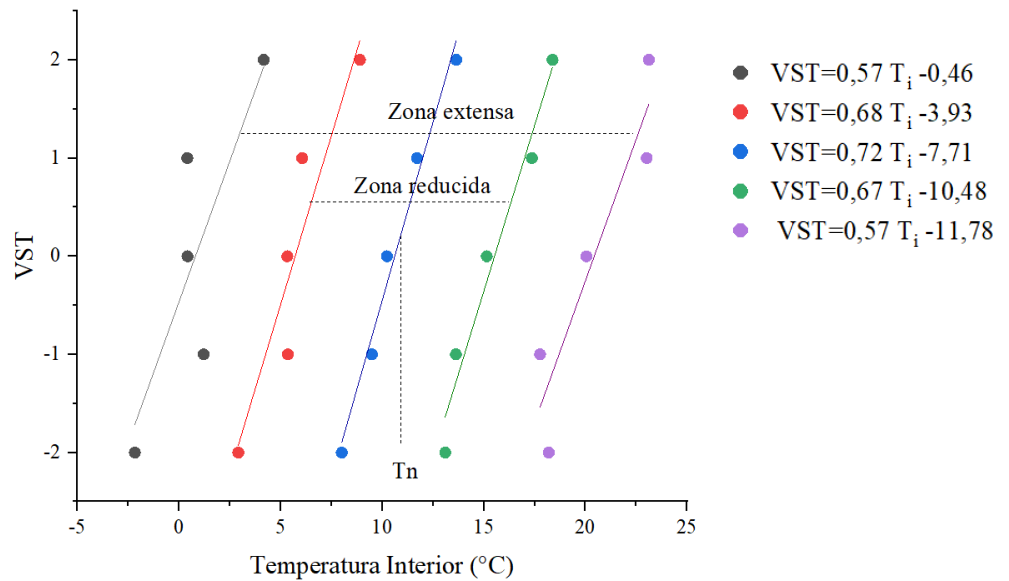


Fuente: Elaboración propia.

El radio de los círculos está en función a la cantidad de datos obtenidos para cada valor de T_i y VST.

Figura 31

Valores promedio de la temperatura interior por género masculino



Fuente: Elaboración propia.

Gráfica de la Zona Reducida, Zona Extensa y Temperatura neutral, para cada Voto de sensación térmica con las correlaciones lineales.

Tabla 24

Total de datos para T_i [en °C], para cada VST según género femenino

σ	VST	$\bar{T}_i - 2\sigma$	$\bar{T}_i - \sigma$	\bar{T}_i	$\bar{T}_i + \sigma$	$\bar{T}_i + 2\sigma$	
4,93	MF	-2	-2,85	2,08	7,00	11,93	16,86
3,90	F	-1	3,44	7,34	11,23	15,13	19,03
4,85	N	0	-0,39	4,45	9,30	14,14	18,99
4,44	C	1	4,30	8,74	13,18	17,63	22,07
2,75	MC	2	8,09	10,84	13,59	16,34	19,10
			2,52	6,69	10,86	15,03	19,21

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 25

Total de datos para T_i [en °C], para cada VST según género masculino

σ	VST		$\bar{T}_i - 2\sigma$	$\bar{T}_i - \sigma$	\bar{T}_i	$\bar{T}_i + \sigma$	$\bar{T}_i + 2\sigma$
5,09	MF	-2	-2,18	2,91	8,01	13,10	18,19
4,14	F	-1	1,21	5,35	9,49	13,63	17,77
4,91	N	0	0,42	5,32	10,23	15,14	20,05
5,65	C	1	0,40	6,06	11,71	17,37	23,02
4,74	MC	2	4,17	8,91	13,64	18,38	23,12
			0,80	5,71	10,62	15,52	20,43

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 26

Rangos de temperatura interior [en °C] con el total de datos disponibles, y clasificación por género

Temperatura			Total	Hombre	Mujer
Mínima	ZE	$T_{min, ZE}$	1,67	0,80	2,52
	ZR	$T_{min, ZR}$	6,21	5,71	6,69
Neutral		T_n	10,74	10,62	10,86
	ZR	$T_{max, ZR}$	15,28	15,52	15,03
Máxima	ZE	$T_{max, ZE}$	19,82	20,43	19,21

Fuente: Elaboración propia.

b) Datos por tipo de actividad

Los datos tomados por tipo de actividad serán los obtenidos de las encuestas presenciales, considerándose el tipo de actividad que realizaba el poblador al momento de realizada la encuesta. Para ello se tendrá presente la norma ISO 7730. Clasificándose el nivel de actividad en dos grupos de acuerdo a la intensidad. Así se tiene:

Actividad pasiva menor a 1,2 met.

Actividad moderada mayor a 1,3 met y menor e igual que 2,6 met.

La unidad de medida met equivale a 58,2 W/m².

En las encuestas se tienen 4 actividades, sentado en el colegio (actividad sedentaria en la escuela), caminando (actividad ligera de pie), cocinando y cargando bebé (actividades medias de pie) y caminando a 4 km por hora.

Tabla 27

Actividades físicas identificadas según encuestas

Actividad	Consumo W/m ²	met ^(*)
Actividad sedentaria (oficina, domicilio, escuela)	70	1,2 met
Actividad ligera, de pie	93	1,6 met
Actividad media, de pie (tareas domésticas)	116	2,0 met
Caminar a 4 km por hora	151	2,6 met

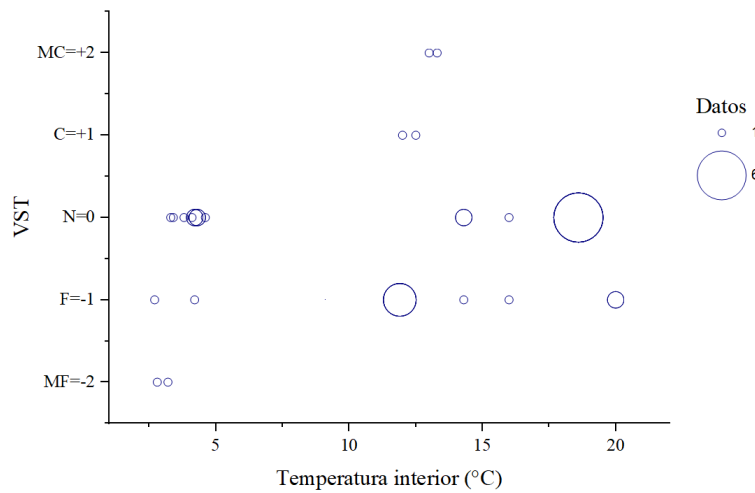
() Actividades con su tasa metabólica equivalente (UNE EN ISO 7730)*

Fuente: UNE EN ISO 7730.

El proceso de cálculo de la temperatura neutral y valores máximos y mínimos de la ZR (Zona reducida) y ZE (Zona Extendida) es similar al calculado para el total de datos.

Figura 32

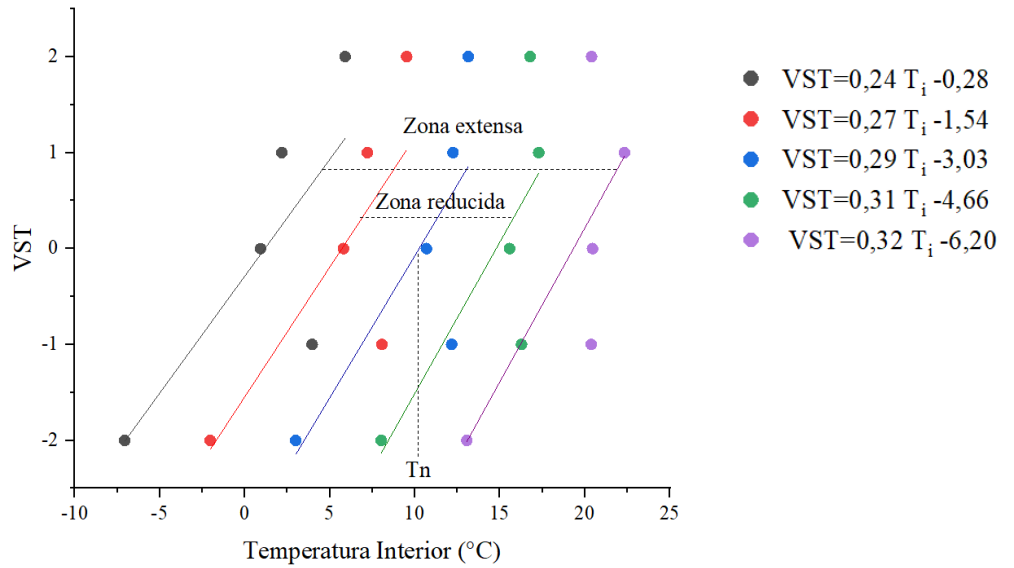
Total de datos obtenidos de temperatura interior y VST de los encuestados en Kallapuma según el tipo de actividad pasiva



Fuente: Elaboración propia.

Figura 33

Valores promedio de la temperatura interior según actividad pasiva

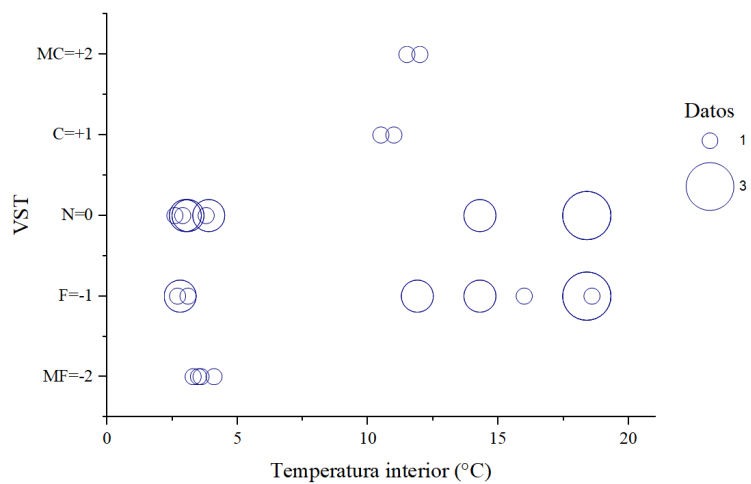


Fuente: Elaboración propia.

Gráfica de la Zona Reducida, Zona Extensa y Temperatura neutral, para cada Voto de sensación térmica con las correlaciones lineales.

Figura 34

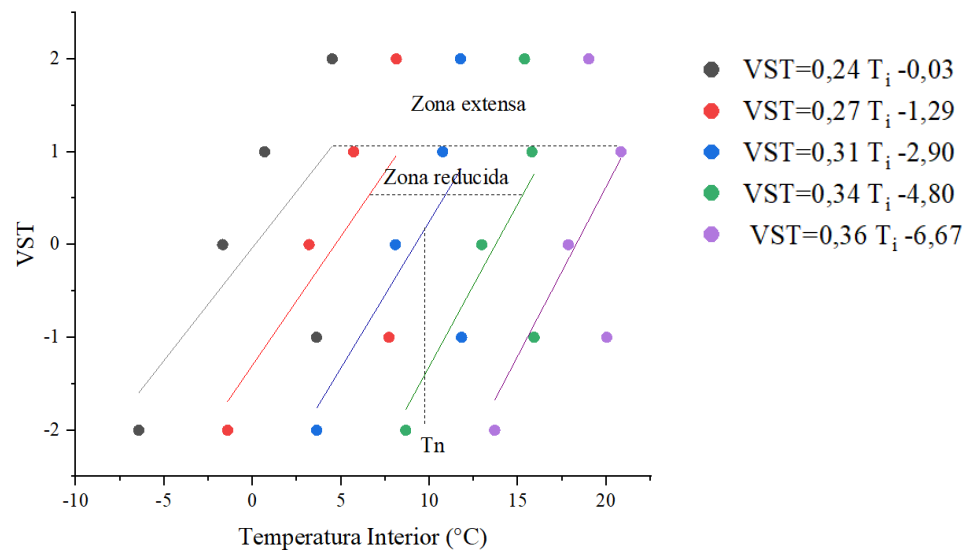
Total de datos obtenidos de temperatura interior y VST de los encuestados en Kallapuma según el tipo de actividad moderada



Fuente: Elaboración propia.

Figura 35

Valores promedio de la temperatura interior según actividad moderada



Fuente: Elaboración propia.

Gráfica de la Zona Reducida, Zona Extensa y Temperatura neutral, para cada Voto de sensación térmica con las correlaciones lineales.

Tabla 28

Total de datos para T_i [en °C], para cada VST según actividad pasiva

σ	VST	$\bar{T}_i - 2\sigma$	$\bar{T}_i - \sigma$	\bar{T}_i	$\bar{T}_i + \sigma$	$\bar{T}_i + 2\sigma$	
5,03	MF	-2	-7,07	-2,03	3,00	8,03	13,07
4,10	F	-1	3,97	8,07	12,17	16,28	20,38
4,88	N	0	0,92	5,81	10,69	15,57	20,46
5,04	C	1	2,17	7,21	12,25	17,29	22,33
3,63	MC	2	5,90	9,52	13,15	16,78	20,40
			1,18	5,72	10,25	14,79	19,33

Fuente: Elaboración propia.

Para VST actividad pasiva=

Se calculó $T_n = 10,25^\circ\text{C}$

$T_{min, ZE} = 1,18^\circ\text{C}$; $T_{max, ZE} = 19,33^\circ\text{C}$

$T_{min, ZR} = 5,72^\circ\text{C}$ y $T_{max, ZR} = 14,79^\circ\text{C}$.

Tabla 29

Total de datos para T_i [en °C], para cada VST según actividad moderada

σ	VST		$\bar{T}_i - 2\sigma$	$\bar{T}_i - \sigma$	\bar{T}_i	$\bar{T}_i + \sigma$	$\bar{T}_i + 2\sigma$
5,03	MF	-2	-6,44	-1,41	3,63	8,66	13,69
4,10	F	-1	3,61	7,71	11,82	15,92	20,02
4,88	N	0	-1,69	3,19	8,08	12,96	17,85
5,04	C	1	0,67	5,71	10,75	15,79	20,83
3,63	MC	2	4,50	8,12	11,75	15,38	19,00
			0,13	4,67	9,20	13,74	18,28

Fuente: Elaboración propia.

Para VST actividad moderada =

Se calculó $T_n = 9,20$ °C

$T_{min, ZE} = 0,13$ °C; $T_{max, ZE} = 18,28$ °C

$T_{min, ZR} = 4,67$ °C y $T_{max, ZR} = 13,74$ °C.

Tabla 30

Rangos de temperatura interior [en °C] con el total de datos de las encuestas y una clasificación según tipo de actividad

Temperatura		Total	Actividad pasiva	Actividad moderada
Mínima	ZE $T_{min, ZE}$	1,67	1,18	0,13
	ZR $T_{min, ZR}$	6,21	5,72	4,67
Neutral	T_n	10,74	10,25	9,20
	ZR $T_{max, ZR}$	15,28	14,79	13,74
Máxima	ZE $T_{max, ZE}$	19,82	19,33	18,28

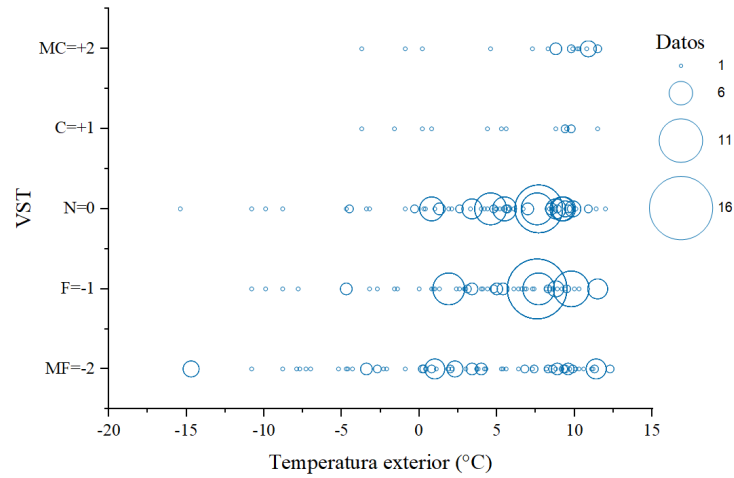
Fuente: Elaboración propia.

6.3.2.2 Temperatura interior y exterior

La temperatura neutral es afectada por la temperatura exterior. En este ítem se analizó la relación entre la temperatura exterior promedio mensual (T_m) y la temperatura interior (T_i) registrada con el dispositivo y durante las encuestas, seguido de la relación entre la temperatura exterior (T_e) y la temperatura interior (T_i).

Figura 36

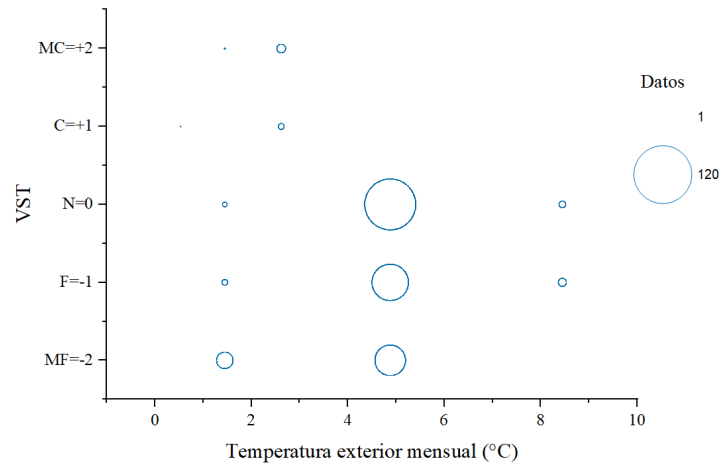
Información recopilada en Kallapuma, Temperatura exterior y Voto de sensación térmica registradas simultáneamente



Fuente: Elaboración propia.

Figura 37

Información recopilada en Kallapuma, Temperatura exterior mensual y Voto de sensación térmica registradas simultáneamente



Fuente: Elaboración propia.

Total de datos

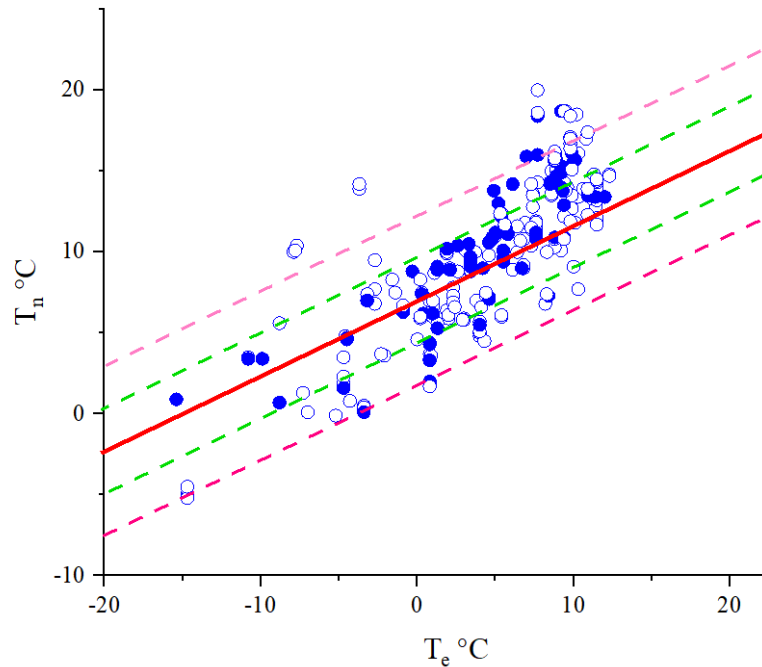
Se analizó la temperatura exterior mensual y la temperatura interior para todos los datos. Se identificó la zona reducida (ZR) y zona extensa (ZE) que fueron calculadas utilizando la desviación estándar $\sigma = 4,88 \text{ }^\circ\text{C}$

La correlación lineal de T_e y T_i se puede ver en la siguiente figura donde los datos del voto de sensación térmica neutral están expresados en la ecuación $T_n = 0,46T_e + 7,00$, representada con la línea roja gruesa. La correlación lineal se realizó para los valores neutrales de la T_i . La desviación estándar es 4,88 igual al conjunto de datos de T_i .

Los rangos de temperatura son 9,76°C para la ZR y 19,52°C para la ZE. Las líneas discontinuas son paralelas a la línea roja. Asimismo, los puntos blancos corresponden a las demás respuestas del VST (MF, F, C y MC).

Figura 38

Relación entre T_e y T_i , para valores del VST = N



Fuente: Elaboración propia.

Ecuación $T_n = 0,46T_e + 7,00$

Zona Reducida ---

Zona Extensa ---

Relación T_e y T_{nH} (VST=N) ---

VST N ●

VST MF, F, C, MC ○

Los rangos de temperatura de la ZE igual a 19,52°C y de la ZR igual a 9,76°C, estimados con la desviación estándar de 4,88°C.

De las gráficas se puede ver que la preferencia de los pobladores son resultado de factores interiores y exteriores, los valores de la temperatura media están vinculados fuertemente a los valores de la T_n . Se puede observar también que los pobladores encuestados tienen preferencia por un rango más amplio de temperaturas.

6.3.3 Análisis de humedad

Para el análisis de la humedad se estudian los parámetros de humedad relativa interior (HR_i) de los ambientes evaluados. Los análisis se realizan de manera similar a los realizados para la temperatura y se determinan los rangos de cada parámetro.

6.3.3.1 Humedad relativa interior

Se analizó el “total de datos” y el “tipo de actividad” utilizando toda la información recolectada de encuestas y dispositivos TSVR.

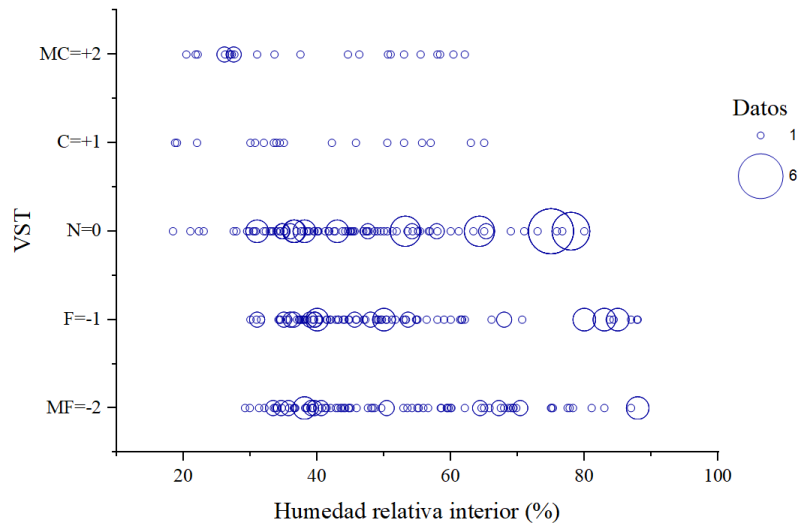
Total de datos

Para el análisis de la humedad relativa se utiliza toda la información recolectada con los dispositivos TSVR y las encuestas.

Para cada grupo de valores de HR_i correspondiente a un VST (MF, F, N, C, MC), se calcula las humedades relativas promedio \overline{HR}_i , mínima ($\overline{HR}_i - \sigma$), mínima extensa ($\overline{HR}_i - 2\sigma$), máxima ($\overline{HR}_i + \sigma$), y máxima extensa ($\overline{HR}_i + 2\sigma$).

Figura 39

Humedad relativa interior y Voto de sensación térmica registradas en Kallapuma



Fuente: Elaboración propia.

El radio del círculo está en relación a la cantidad de datos obtenidos para cada punto de HR_i y el voto de sensación térmica.

Tabla 31

Total de datos para HR_i [en %], para cada VST

σ	VST	$\overline{HR}_i - 2\sigma$	$HR_i - \sigma$	\overline{HR}_i	$\overline{HR}_i + \sigma$	$\overline{HR}_i + 2\sigma$	
16,02	MF	-2	20,16	36,18	52,20	68,22	84,24
16,01	F	-1	18,63	34,64	50,66	66,67	82,69
15,16	N	0	17,40	32,56	47,71	62,87	78,02
14,58	C	1	10,92	25,50	40,08	54,65	69,23
14,25	MC	2	9,43	23,68	37,94	52,19	66,44
			15,31	30,51	45,72	60,92	76,12

Fuente: Elaboración propia.

Para VST =

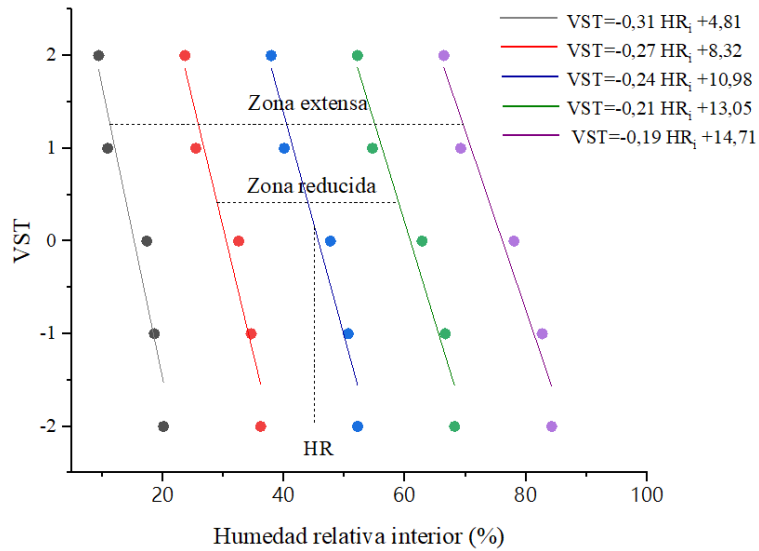
Se calculó $HR_n = 45,72\%$

$HR_{min}, ZE = 15,31\%$; $HR_{max}, ZE = 76,12\%$

$HR_{min}, ZR = 30,51\%$ y $HR_{max}, ZR = 60,92\%$

Figura 40

Total de datos estimación de los valores promedio, mínimos extensos y máximos extensos para cada voto de sensación térmica



Fuente: Elaboración propia.

Se realizó un análisis similar considerando el género; la HR_n para hombres es 45,184%, un valor menor al que le corresponde al caso de las mujeres (46,56 %). Mientras, el rango de la ZE ($HR_{max, ZE} - HR_{min, ZE}$) es mayor en el caso de los varones (61,93 %) respecto al de las mujeres (59,10 %). Las mujeres toleran HR más bajas y los hombres toleran HR ligeramente más altas.

Tabla 32

Total de datos, para HR_i [en %], según género femenino

σ	VST		$\overline{HR}_i - 2\sigma$	$HR_i - \sigma$	\overline{HR}_i	$\overline{HR}_i + \sigma$	$\overline{HR}_i + 2\sigma$
17,55	MF	-2	21,21	38,76	56,31	73,86	91,41
13,91	F	-1	21,26	35,17	49,08	62,99	76,90
14,64	N	0	17,98	32,63	47,27	61,91	76,56
16,77	C	1	8,57	25,34	42,11	58,88	75,65
12,89	MC	2	12,25	25,15	38,04	50,94	63,83
			16,25	31,41	46,56	61,72	76,87

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 33

Total de datos, para HR_i [en %], según género masculino

σ	VST		$\overline{HR}_i - 2\sigma$	$HR_i - \sigma$	\overline{HR}_i	$\overline{HR}_i + \sigma$	$\overline{HR}_i + 2\sigma$
14,80	MF	-2	20,37	35,18	49,98	64,79	79,59
17,20	F	-1	17,00	34,20	51,39	68,59	85,79
15,67	N	0	16,74	32,41	48,08	63,75	79,42
13,26	C	1	11,92	25,19	38,45	51,71	64,98
16,47	MC	2	4,85	21,33	37,80	54,27	70,75
			14,18	29,66	45,14	60,62	76,11

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 34

Rangos de humedad relativa interior [en %] con el total de datos disponibles, y clasificación por género

Humedad Relativa			Total	Hombre	Mujer
Mínima	ZE	HR_{min} , ZE	15,31	14,18	16,25
	ZR	HR_{min} , ZR	30,51	29,66	31,41
Neutral		HR_n	45,72	45,14	46,56
	ZR	HR_{max} , ZR	60,92	60,62	61,72
Máxima	ZE	HR_{max} , ZE	76,12	76,11	76,87

Fuente: Elaboración propia.

Datos por tipo de actividad

Las observaciones con un nivel de actividad pasiva (menor o igual a 1,2 met) y moderada (mayor a 1,3 met y menor e igual que 2,6 met) son consideradas para el análisis. Los resultados son presentados en la tabla siguiente para ambos tipos de actividad.

Tabla 35

Rangos de humedad relativa interior [en %] según el tipo de actividad

Humedad Relativa			Total	Actividad pasiva	Actividad moderada
Mínima	ZE	HR_{min} , ZE	15,31	18,32	19,24
	ZR	HR_{min} , ZR	30,51	33,09	34,51
Neutral		HR_n	45,72	47,87	49,79
	ZR	HR_{max} , ZR	60,92	62,64	65,07
Máxima	ZE	HR_{max} , ZE	76,12	77,41	80,34

Fuente: Elaboración propia.

6.3.4 Relación de mezcla interior

La relación de mezcla (w_i) se refiere a la cantidad de vapor de agua por cada kilogramo de aire seco (g de agua/kg de aire).

La relación de mezcla depende de varios parámetros como la presión atmosférica a la altitud de Kallapuma (4258 msnm), la presión de saturación que depende de T_i , y finalmente HR_i .

El procedimiento de estimación de los datos es análogo a la sección anterior. Para el caso “total de datos” se estima la relación de mezcla neutra (w_n) igual a 5,98 g/kg (g de agua/kg de aire), un rango de la ZE igual a 5,81 g/kg y un rango de la ZR igual 2,91 g/kg.

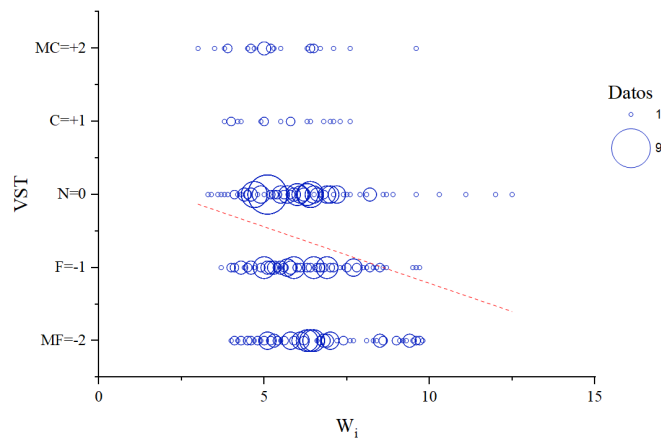
Para VST se calculó $w_i = 5,98$ g/kg

$w_{i \min}, ZE = 3,08$ g/kg; $w_{i \max}, ZE = 8,89$ g/kg

$w_{i \min}, ZR = 4,53$ g/kg y $w_{i \max}, ZR = 7,44$ g/kg

Figura 41

Relación de mezcla interior (w_i) y el voto de sensación térmica (VST) de los encuestados en Kallapuma

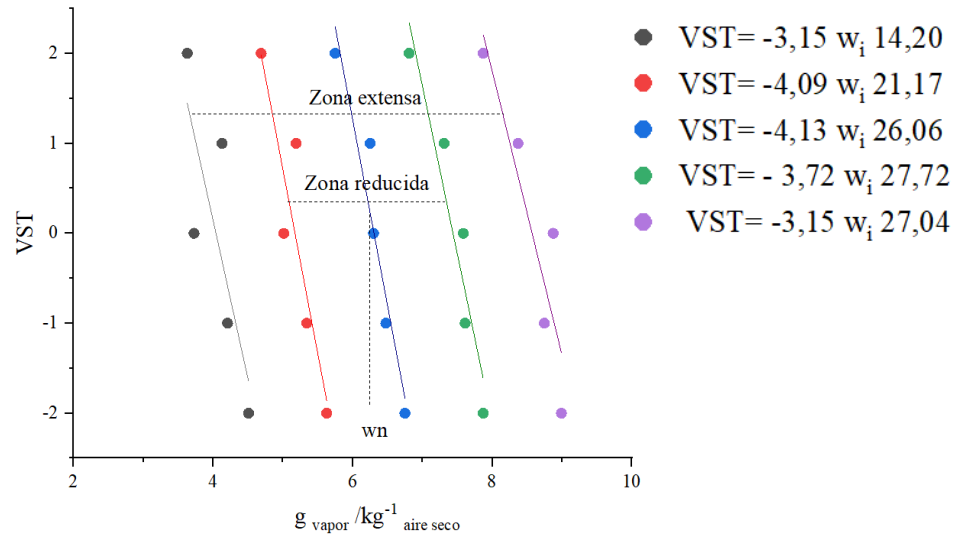


Fuente: Elaboración propia.

El radio de los círculos está en proporción al número de datos obtenidos para cada punto w_i y VST.

Figura 42

Total de datos estimación de w_i , valores promedio, mínimos extensos y máximos extensos para cada voto de sensación térmica



Fuente: Elaboración propia.

También se presenta el análisis considerando el género de los encuestados (hombres y mujeres). Los valores estimados para los varones son ligeramente mayores respecto al de las mujeres.

Considerando los “datos por tipo de actividad”: pasiva o media, los resultados muestran que a medida que aumenta el nivel de actividad de las personas, w_n aumenta ligeramente, también aumentan el máximo de la ZE y la ZR. En el caso de una actividad pasiva, el rango de la ZE es 4,53 g/kg y de la ZR es 2,27 g/kg. Mientras que, en el caso de una actividad moderada, el rango de la ZE es 4,72 g/kg y de la ZR es 2,36 g/kg. Los rangos de ambas zonas aumentan al incrementar el nivel de actividad.

Tabla 36

Rangos de relación de mezcla interior (w_i) [g vapor /kg aire] calculados para los datos registrados en Kallapuma

Relación de mezcla			Total	Hombre	Mujer	Pasiva	Moderada
Mínima	ZE	$w_{imin, ZE}$	3,08	3,10	3,09	4,04	4,07
	ZR	$w_{imin, ZR}$	4,53	4,59	4,49	5,17	5,25
Neutral		w_n	5,98	6,07	5,90	6,31	6,42
	ZR	$w_{imax, ZR}$	7,44	7,55	7,30	7,44	7,60
Máxima	ZE	$w_{imax, ZE}$	8,89	9,03	8,71	8,57	8,78

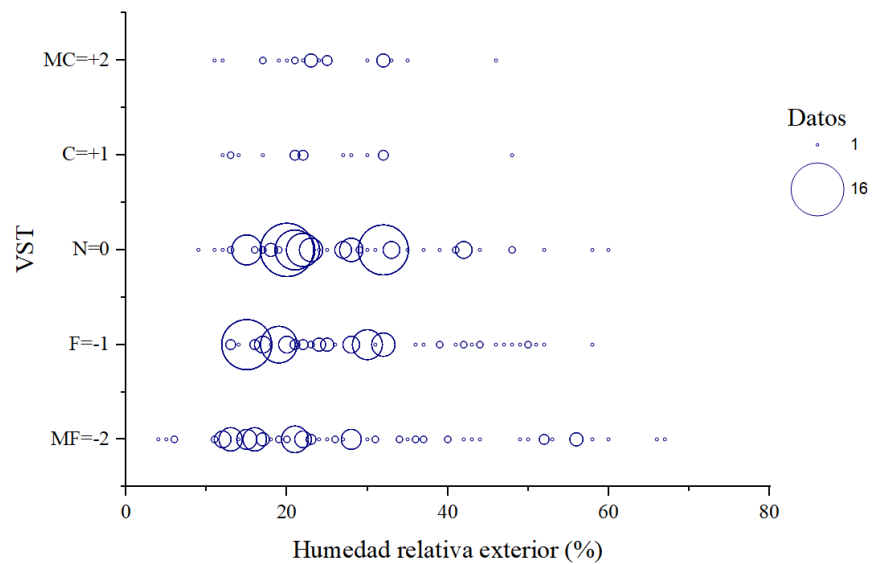
Fuente: Elaboración propia.

6.3.4.1 Relación de mezcla interior y exterior

En la siguiente gráfica, se analiza HR del ambiente exterior (HR_e) y su efecto sobre el VST obtenido en el trabajo de campo.

Figura 43

Humedad relativa exterior (HR_e) y el voto de sensación térmica (VST) de los encuestados en Kallapuma



Fuente: Elaboración propia.

El radio de los círculos está en proporción al número de datos obtenidos para cada punto HR_e y VST.

6.3.5 Análisis de actividad

El nivel de actividad es descrito por la variable de la producción metabólica (M), cuya unidad de medida es el met ($1 \text{ met} = 58,2 \text{ W/m}^2$). Para este estudio se establecieron 2 clases de nivel de actividad, estos son:

Actividad pasiva menor a 1,2 met.

Actividad moderada mayor a 1,2 met y menor e igual que 2,4 met.

Cada uno depende de la actividad realizada por el encuestado. Para estimar M , se utilizan la norma ISO 7730 que se basa en una lista detallada de las tasas metabólicas presentada en la norma ISO 8996.

El encuestado respondió acerca de la actividad realizada 1 hora antes de la encuesta, partir de ello se estimó el valor de M a través de un promedio ponderado de las actividades realizadas, respecto al tiempo.

A continuación, se tiene las actividades indicadas por los encuestados en Kallapuma:

Tabla 37

Actividades físicas identificadas según encuestas

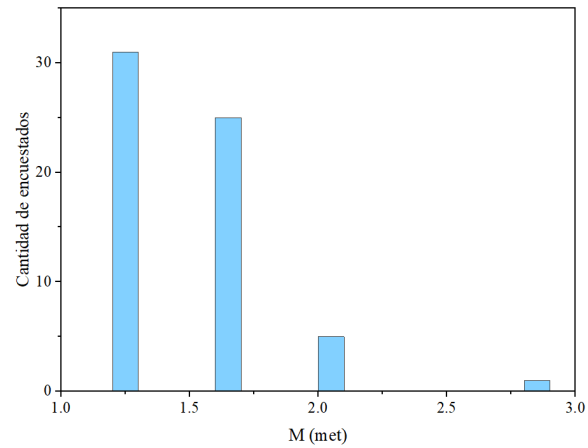
Actividad	met ^(*)
Actividad sedentaria (oficina, domicilio, escuela)	1,2 met
Actividad ligera, de pie	1,6 met
Actividad media, de pie (tareas domésticas)	2,0 met
Caminar a 4 km por hora	2,8 met

^(*) *Actividades con su tasa metabólica equivalente (UNE EN ISO 7730)*

Fuente: UNE EN ISO 7730.

Figura 44

Distribución del nivel de actividad (M) de los encuestados en Kallapuma

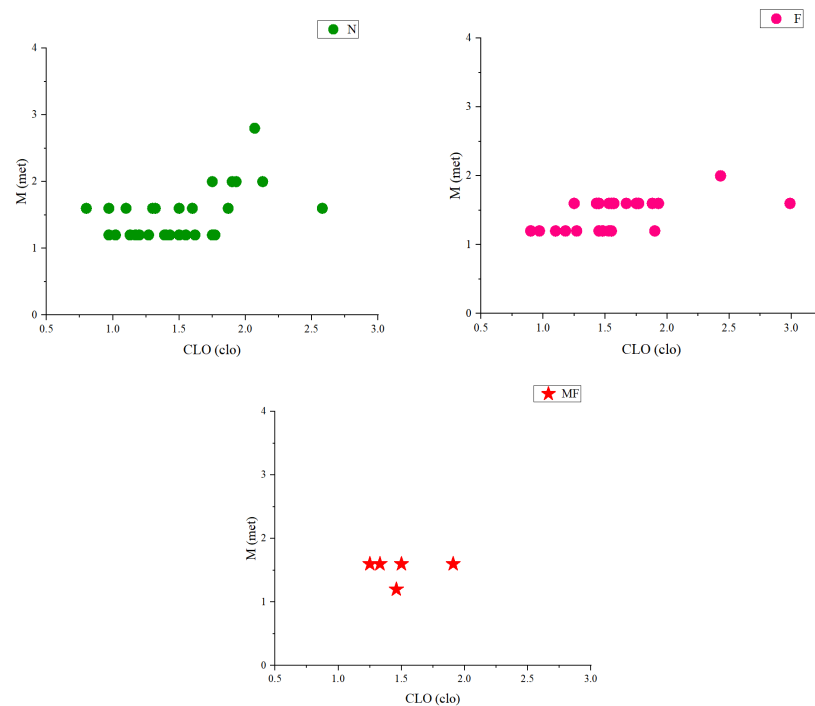


Fuente: Elaboración propia.

De los datos se tiene un mayor número de individuos para una actividad sedentaria (pasiva), seguida de la actividad ligera y muy pocos reportaron actividad media de 2 a 2,8 met.

Figura 45

Nivel de vestimenta (M) y actividad (I_{cl}) de los encuestados en Kallapuma, según el voto de sensación térmica



Fuente: Elaboración propia.

En la figura anterior, se presenta el nivel de actividad realizado (M) y el nivel de vestimenta del encuestado (I_{cl}), clasificada por el VST reportado (MF, F y N). Estos tres parámetros fueron obtenidos con las encuestas presenciales. En las tres gráficas no existe una tendencia predominante, esto está ligado a que los pobladores de Kallapuma no varían su vestimenta cuando realizan un tipo de actividad moderada o elevada.

6.3.6 Análisis de vestimenta

El nivel de vestimenta (I_{cl}) se estima utilizando las tablas de la norma ISO 7730.

Se observó que la vestimenta utilizada por los pobladores de Kallapuma es no tradicional. La unidad de medida del nivel de vestimenta es 1 clo que equivale a un nivel de aislamiento de $0,155 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W}$ y corresponde a una vestimenta compuesta de pantalones, una camisa y una chompa. Para determinar el valor clo total de los encuestados, se suman los valores clo parciales de cada vestimenta. Mientras el poblador utiliza mayor número de prendas de vestir, mayor es el valor del nivel de vestimenta.

Tabla 38

Vestimenta identificada en Kallapuma y valores en clo

Vestimenta identificada en Kallapuma	Denominación norma ISO 7730	Valores clo norma ISO 7730
Polo	Suéter fino	0,20
Chompa	Suéter	0,28
Casaca	Chaqueta normal	0,35
Pantalón	Pantalón normal	0,25
Chaleco	Suéter chaleco	0,12
Falda	Falda gruesa hasta la rodilla	0,25
Medias	Calcetines gruesos largos	0,10
Zapatos	Zapato suela fina	0,02
Chalina	Valores de guantes	0,05
Gorro	Valores de guantes	0,05

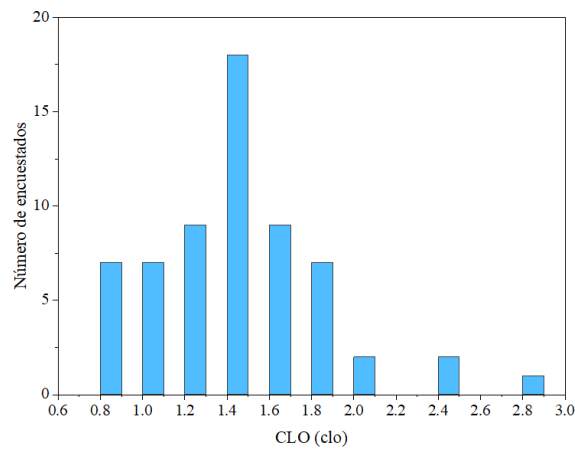
Fuente: ISO 7730.

De las respuestas obtenidas en el trabajo de campo, existe un mayor número de personas con un nivel de vestimenta entre 1,4 clo seguido de 1,20 y 1,6 clo y son muy pocas las que reportaron una vestimenta mayor a 2,00 clo.

De la información recolectada, el promedio del nivel de vestimenta es 1,51 clo, del “total de datos” que incluyen la información obtenida por los dispositivos TSVR y las encuestas presenciales.

Figura 46

Distribución del nivel de vestimenta (clo) de encuestados en Kallapuma

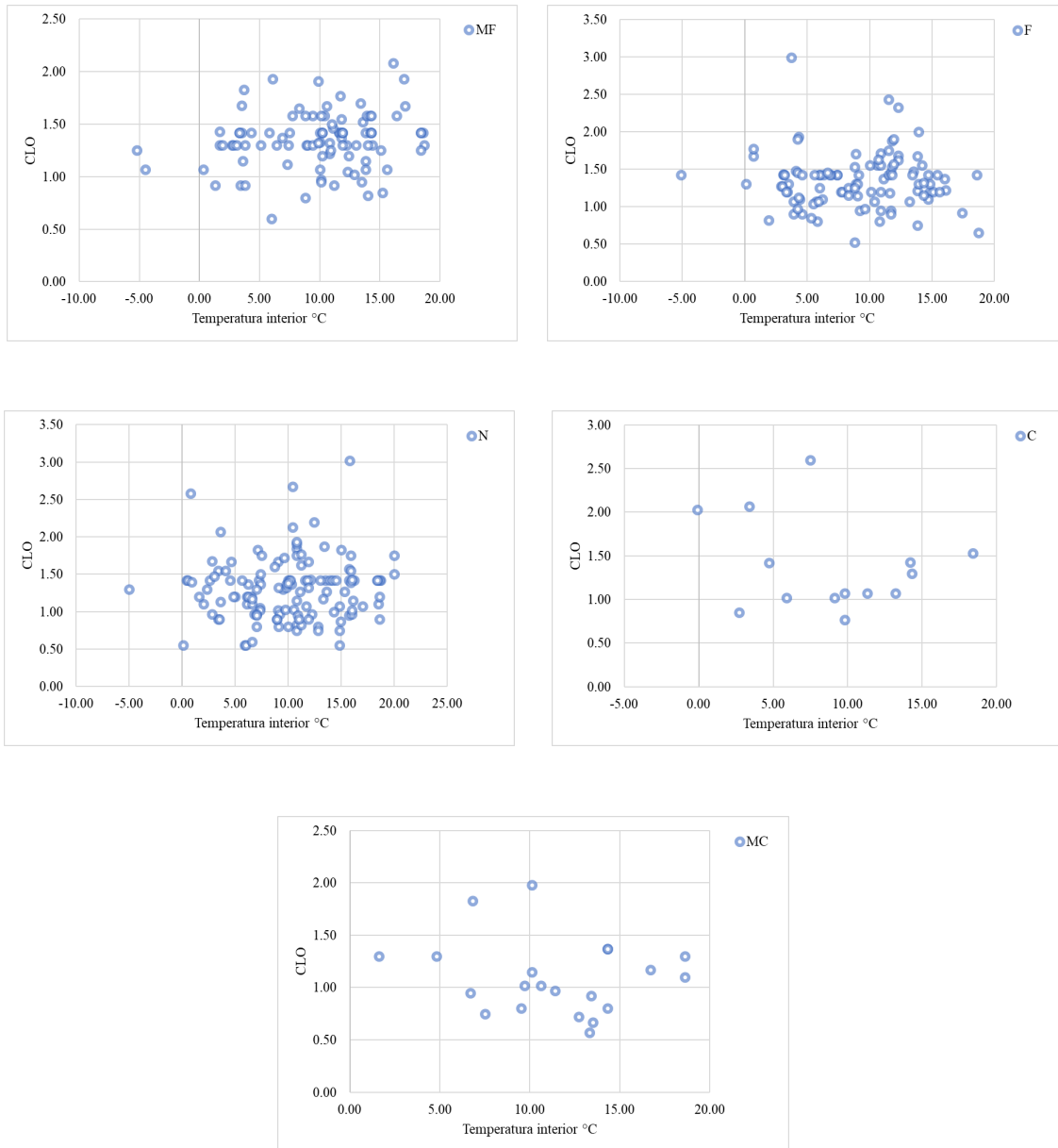


Fuente: Elaboración propia.

A continuación, se analiza el nivel de vestimenta considerando las temperaturas interiores, exteriores y promedios mensuales según el VST reportado por los encuestados en Kallapuma.

Figura 47

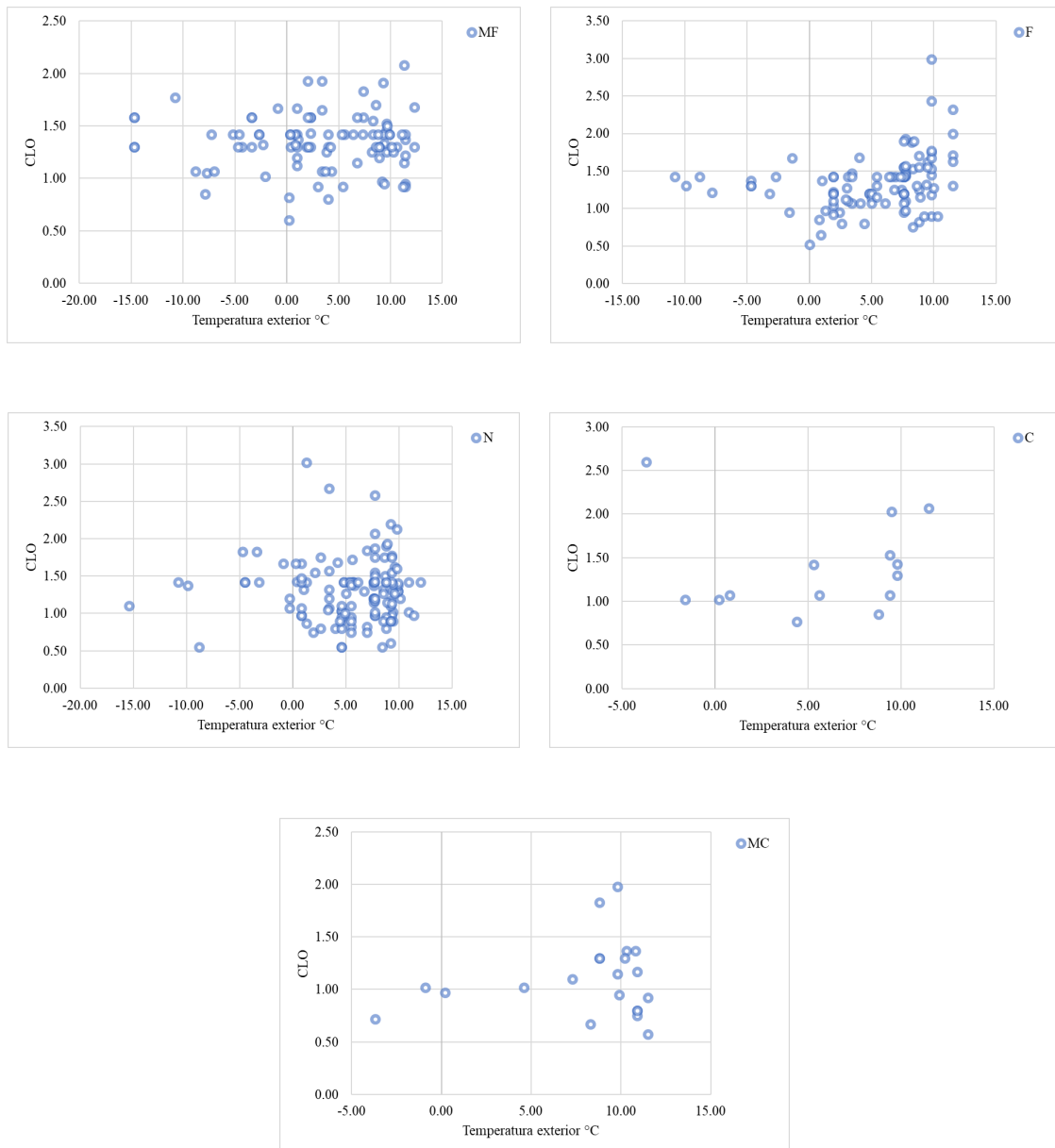
Nivel de vestimenta (I_{cl}) de acuerdo a la temperatura interior y el voto de sensación térmica



Fuente: Elaboración propia.

Figura 48

Nivel de vestimenta (I_{cl}) de acuerdo a la temperatura exterior y el voto de sensación térmica



Fuente: Elaboración propia.

En esta sección se mostró el tratamiento de datos registrados en Kallapuma por los dispositivos TSVR y encuestas presenciales. El uso de los dispositivos TSVR permitieron recolectar información, siendo una herramienta útil para este tipo de trabajo.

Se determinó los valores neutrales (o de confort) de T_i , HR_i , w_i de los pobladores de Kallapuma para todos los datos disponibles y según el tipo de actividad (pasiva o moderada).

Se mostró que cuando el nivel de actividad aumenta, el rango de la temperatura de confort también aumenta, y los valores máximos y mínimos de la ZE y la ZR disminuyen.

CAPÍTULO VII

DISCUSIONES

Este capítulo presenta las propuestas para estimar el confort térmico en Kallapuma y la comparación con datos experimentales de la temperatura y humedad relativa. Donde se propone áreas de comodidad térmica trazados sobre la carta psicrométrica para una altitud de 4258 msnm en base a los rangos de T_i , HR_i y w_i determinados. Se tienen en cuenta los casos estudiados “total de datos” y según el tipo de actividad realizada: “actividad pasiva” y “actividad moderada”.

Finalmente, los resultados obtenidos se compararán con modelos existentes.

7.1 ÁREAS PROPUESTAS DE CONFORT TÉRMICO

Las zonas establecidas en este estudio son cuatro y se delimitan con los valores máximos y mínimos de la ZR y la ZE para los parámetros T_i , HR_i y w_i . Las zonas 1, 2 y 3 toman en cuenta la temperatura y la humedad relativa, la zona 4 no considera la humedad relativa, sino la relación de mezcla. Estas cuatro zonas de confort tienen las siguientes características:

- La zona 1 (Z1) tiene como frontera a los parámetros de temperatura y humedad relativa, considera los valores mínimos y máximos de la ZR de ambos parámetros:

$T_{min, ZR}$, $T_{max, ZR}$, $HR_{min, ZR}$ y $HR_{max, ZR}$.

$T_{min} ZR$ 6,21°C

$T_{max} ZR$ 15,28 °C

$HR_{min} ZR$ 30,51%

$HR_{max} ZR$ 60,92%

Zona 1

$6,21^{\circ}\text{C} \leq T \leq 15,28^{\circ}\text{C}$

$30,51\% \leq HR \leq 60,92\%$

- La zona 2 (Z2) tiene como frontera a los parámetros de temperatura y humedad relativa, considera los valores mínimos y máximos de la ZE de ambos parámetros:

$T_{min, ZE}$, $T_{max, ZE}$, $HR_{min, ZE}$ y $HR_{max, ZE}$.

$T_{min} ZE$ 1,67°C

$T_{max} ZE$ 19,83 °C

$$HR_{min} ZE \quad 15,31\%$$

$$HR_{max} ZE \quad 76,12\%$$

Zona 2

$$1,67^{\circ}\text{C} \leq T \leq 19,83^{\circ}\text{C}$$

$$15,31\% \leq HR \leq 76,12\%$$

- La zona 3 (Z3) tiene como frontera a los parámetros de temperatura y humedad relativa, considera los valores mínimo y máximo de la ZR de la temperatura ($T_{min, ZR}$ y $T_{max, ZR}$) y los valores mínimo y máximo de la ZE de la humedad relativa ($HR_{min, ZE}$ y $HR_{max, ZE}$).

$$T_{min} ZR \quad 6,21^{\circ}\text{C}$$

$$T_{max} ZR \quad 15,28^{\circ}\text{C}$$

$$HR_{min} ZE \quad 15,31\%$$

$$HR_{max} ZE \quad 76,12\%$$

Zona 3

$$6,21^{\circ}\text{C} \leq T \leq 15,28^{\circ}\text{C}$$

$$15,31\% \leq HR \leq 76,12\%$$

- La zona 4 (Z4) tiene como frontera a los parámetros de la temperatura y la relación de mezcla, considera los valores mínimo y máximo de la ZR de la temperatura ($T_{min, ZR}$ y $T_{max, ZR}$) y los valores mínimo y máximo de la ZE de la relación de mezcla ($w_{min, ZE}$ y $w_{max, ZE}$).

$$T_{min} ZR \quad 6,21^{\circ}\text{C}$$

$$T_{max} ZR \quad 15,28^{\circ}\text{C}$$

$$w_{min} ZE \quad 3,08 \text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$$

$$w_{max} ZE \quad 8,89 \text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$$

Zona 4

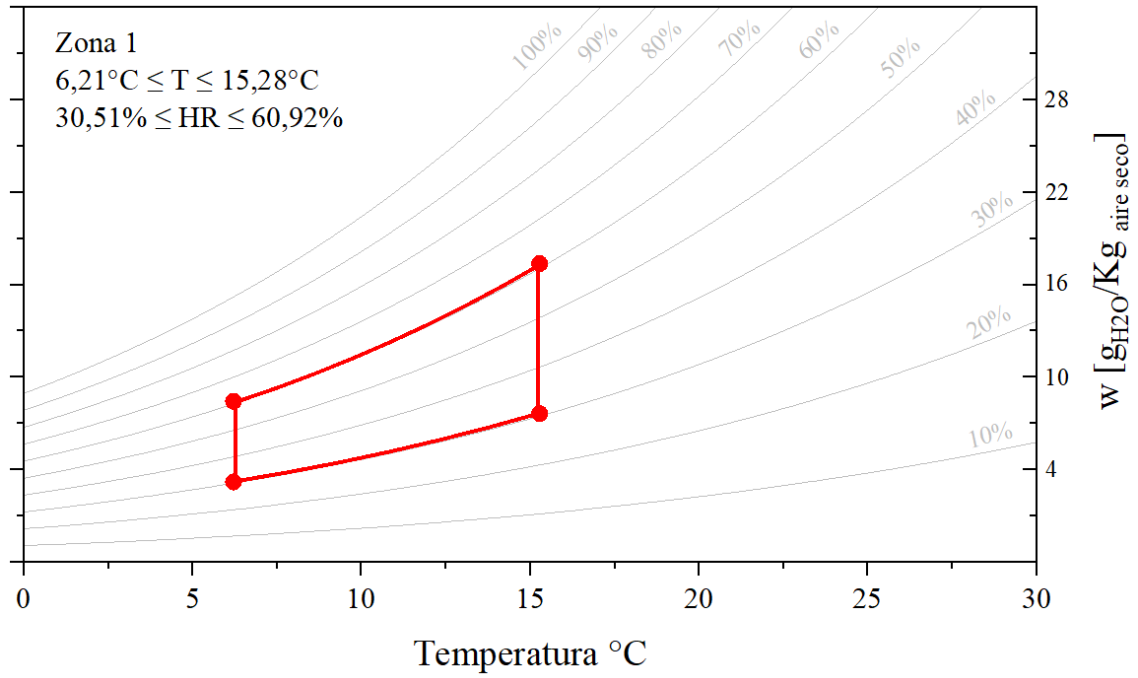
$$6,21^{\circ}\text{C} \leq T \leq 15,28^{\circ}\text{C}$$

$$3,08 \text{ g}\cdot\text{kg}^{-1} \leq w \leq 8,89 \text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$$

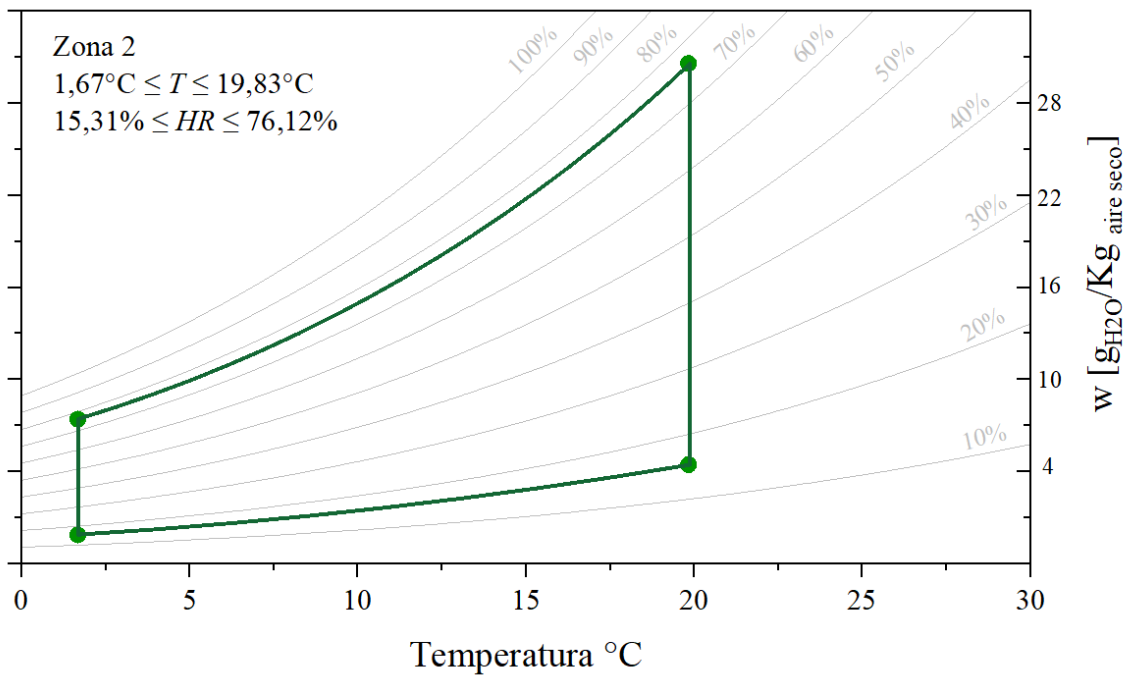
Las líneas de humedad relativa siguen la curva en la carta psicrométrica. Se estudia los casos con toda la información recolectada (“total de datos”) y según el tipo de actividad reportada.

Figura 49

Zonas de confort identificadas Z1 Y Z2



Fuente: Elaboración propia.

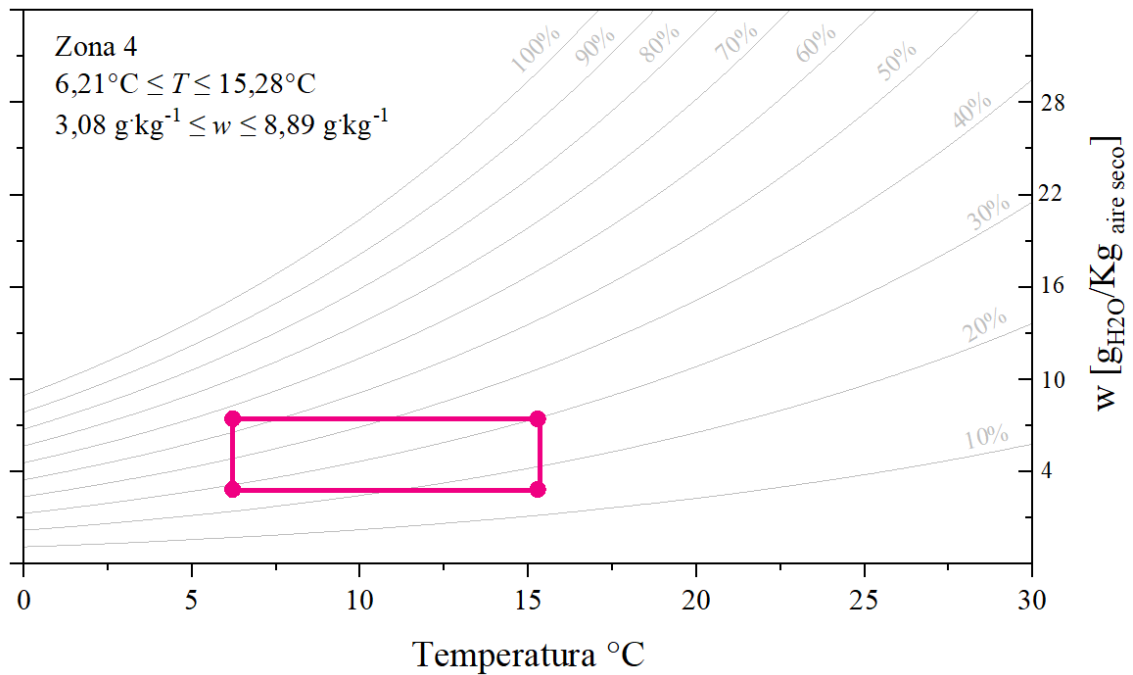
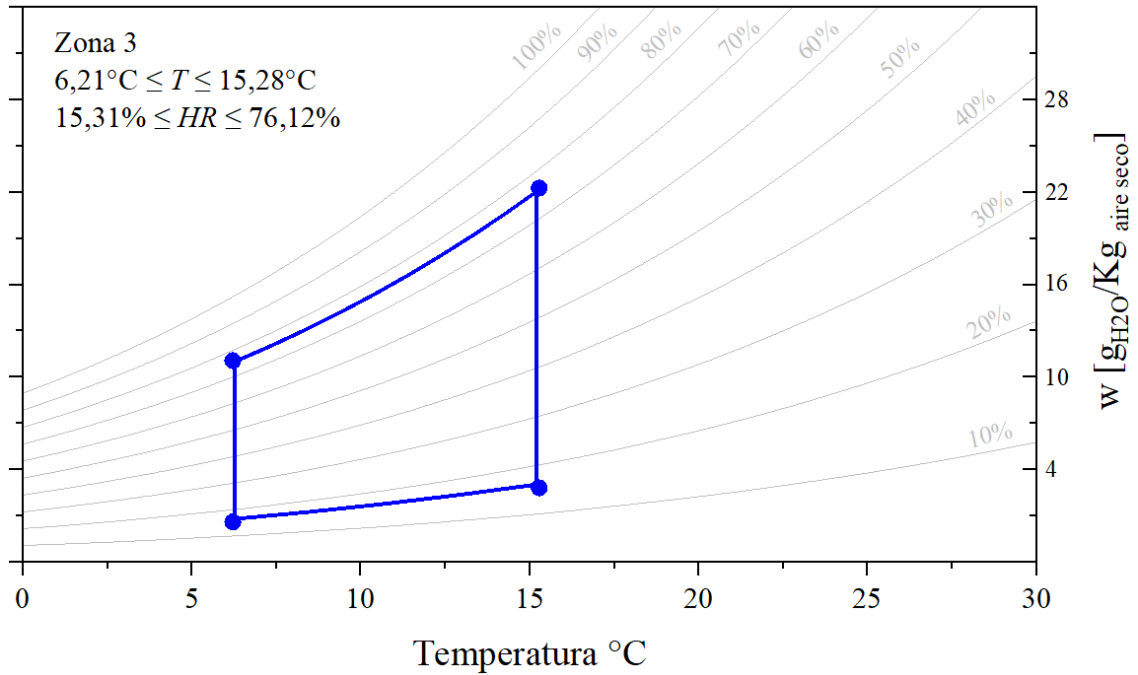


Fuente: Elaboración propia.

Zona 1 con límites de la Zona Reducida (líneas rojas) y Zona 2 con límites de la Zona Extendida (líneas verdes).

Figura 50

Zonas de confort identificadas Z3 Y Z4



Fuente: Elaboración propia.

Zona 3 con límites de la temperatura de la Zona Reducida y la humedad relativa Zona Extendida (líneas azules) y Zona 4 con límites de la temperatura Zona Reducida y la relación de mezcla Zona Extendida (línea magenta).

Tabla 39

Límites de confort de los datos de temperatura, humedad relativa y la relación de mezcla del total de datos.

Límites		<i>T</i> °C	<i>HR</i> %	<i>w</i> g/kg
Mínimo	ZE	1,67	15,31	3,08
	ZR	6,21	30,51	4,53
Neutro		10,74	45,72	5,98
Máximo	ZR	15,28	60,92	7,44
	ZE	19,82	76,12	8,89

Fuente: Elaboración propia.

7.1.1 Por tipo de actividad

En esta sección se trabajará con los datos de la Tabla 40 que abarcan los datos de temperatura, humedad relativa y relación de mezcla para la actividad pasiva y moderada.

Para la actividad pasiva se considera menor e igual a 1,2 met.

Para la actividad media a mayor se consideran los rangos mayores que 1,2 met y menor e igual que 2,4 met.

Los valores del rango para la actividad moderada son mayores en relación a la actividad pasiva.

Tabla 40

Límites de la actividad pasiva y moderada para T°C, HR y relación de mezcla

Límites		Actividad pasiva			Actividad moderada		
		<i>T</i>	<i>HR</i>	<i>w</i>	<i>T</i>	<i>HR</i>	<i>w</i>
		°C	%	g/kg	°C	%	g/kg
Mínimo	ZE	1,18	18,32	4,04	0,13	19,24	4,07
	ZR	5,72	33,09	5,17	4,67	34,51	5,25
Neutro		10,25	47,87	6,31	9,20	49,79	6,42
Máximo	ZR	14,79	62,64	7,44	13,74	65,07	7,60
	ZE	19,33	77,41	8,57	18,28	80,34	8,78

Fuente: Elaboración propia.

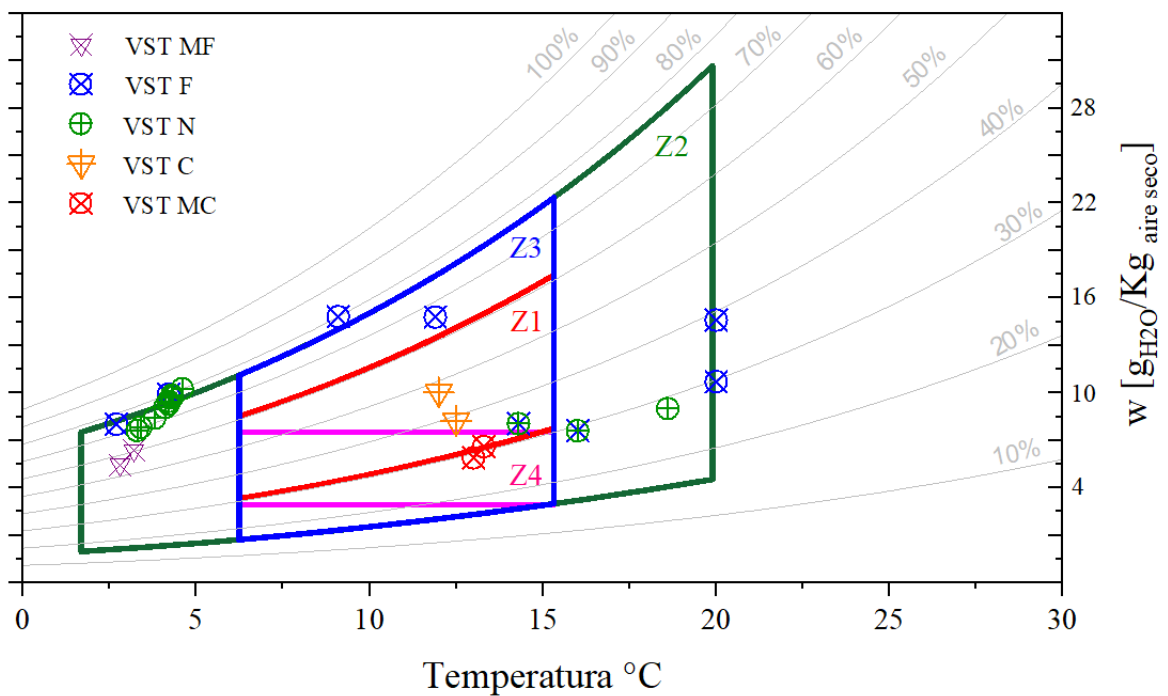
7.1.1.1 Actividad pasiva

Analizando las respuestas para la “actividad pasiva”, en la siguiente figura 52 se presentan las cuatro zonas propuestas.

Las respuestas del VST = N (neutro) obtenidas en el trabajo de campo son 17 datos. Los círculos y triángulos representan los puntos (T y HR). De las zonas de confort $Z1$, $Z2$, $Z3$ y $Z4$, la $Z2$ es la que contiene más datos.

Figura 51

Para la actividad pasiva. Zonas de confort térmico propuestas



Fuente: Elaboración propia.

$Z1$ (línea roja), $Z2$ (línea verde), $Z3$ (línea azul) y $Z4$ (línea magenta) para Kallapuma, con las respuestas del VST: MF (triángulo morado), F (círculos azules), N (círculos verdes), C (triángulos naranjas) y MC (círculos rojos).

Tabla 41

Cantidad de respuestas dentro de las 4 zonas de confort propuestas en Kallapuma según el VST para la actividad pasiva

VST	Respuestas por zonas				Total de respuestas
	Z1	Z2	Z3	Z4	
MF	0	2	0	0	2
F	1	8	2	0	11
N	1	13	3	0	17
C	2	2	2	0	6
MC	1	2	2	2	7
	5	27	9	2	43

Fuente: Elaboración propia.

En la Tabla 41, se observa que hay un mayor número de respuestas para VST = N (17 datos) y la Z2 tiene un mayor número de respuestas en comparación a las otras zonas debido especialmente a que posee un rango más amplio de temperatura. Se presentan las otras respuestas del VST (MF, F, C y MC) junto a las zonas propuestas. Muchas de estas respuestas se ubican dentro de las zonas de confort, sobre todo para el VST =N con más datos dentro de la Z2 y Z3.

Se introduce el parámetro del nivel de vestimenta (I_{cl}) para analizar si las respuestas del VST se vieron afectados por la ropa que vestían las personas durante la evaluación.

Se dividió en 5 grupos dependiendo del valor de I_{cl} :

$$I_{cl} \leq 1 \text{ clo}$$

$$1 \text{ clo} < I_{cl} \leq 1,2 \text{ clo}$$

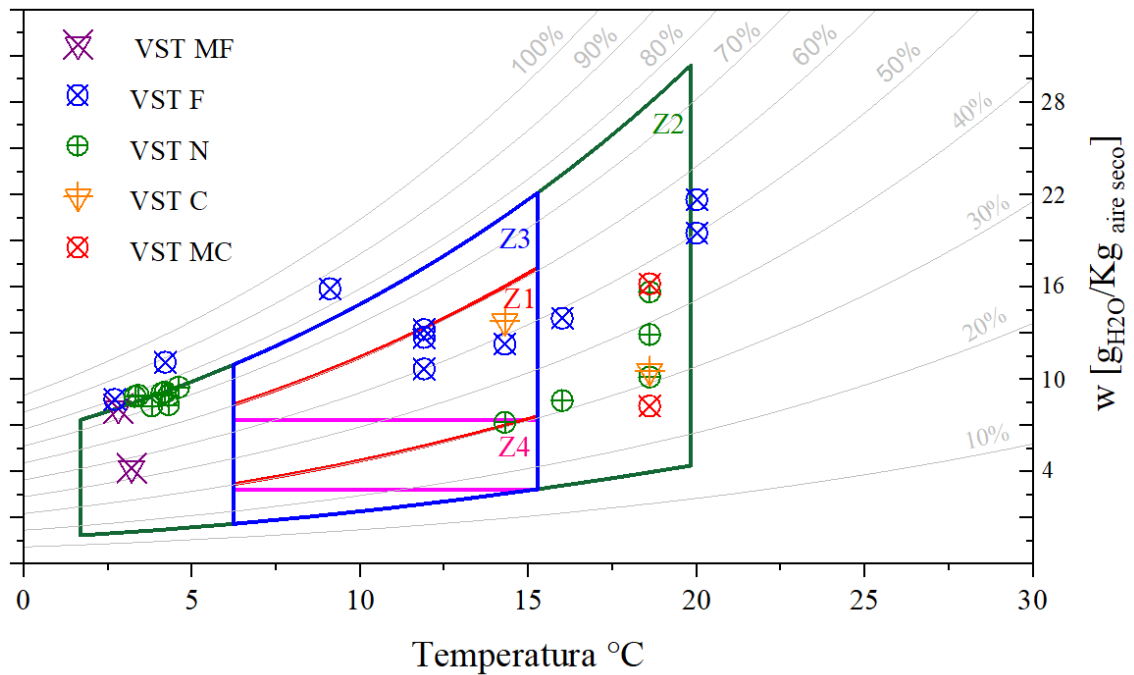
$$1,2 \text{ clo} < I_{cl} \leq 1,5 \text{ clo}$$

$$1,5 \text{ clo} < I_{cl} \leq 2,0 \text{ clo}$$

$$2,0 \text{ clo} < I_{cl} \leq 3,0 \text{ clo}$$

Figura 52

Para la actividad pasiva. Análisis de las respuestas del VST obtenidas dentro de las zonas propuestas y según el valor de I_{cl}



Fuente: Elaboración propia.

Tabla 42

Actividad pasiva. Cantidad de respuestas dentro de las 4 zonas de confort propuestas en Kallapuma según el VST y el valor de I_{cl}

VST	Respuestas por zonas				Total de respuestas
	Z1	Z2	Z3	Z4	
MF	0	2	0	0	2
F	5	6	5	0	16
N	1	12	1	1	15
C	1	2	1	0	4
MC	0	2	0	0	2
	7	24	7	1	39

Fuente: Elaboración propia.

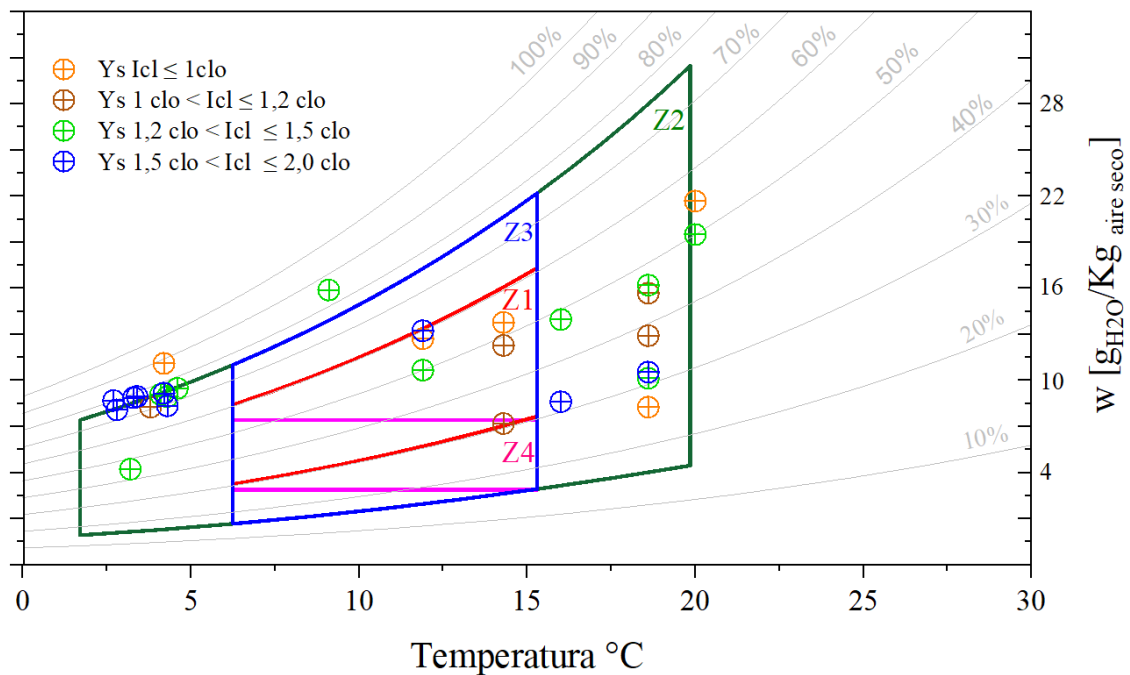
De la Figura 52 y la Tabla 42 se observa:

En la tabla, se observa que hay un mayor número de respuestas para VST = F (16 datos) seguido del VST=N (15 datos) y la Z2 tiene un mayor número de respuestas en comparación a las otras zonas debido especialmente a que posee un rango más amplio

de temperatura. Se presentan las otras respuestas del VST (MF, F, C y MC) junto a las zonas propuestas. Muchas de estas respuestas se ubican dentro de las zonas de confort, sobre todo para el VST =N con más datos dentro de la Z2.

Figura 53

Para la actividad pasiva. Análisis de las respuestas del VST obtenidas dentro de las zonas propuestas y según el valor de I_{cl}



Fuente: Elaboración propia.

Tabla 43

Actividad pasiva. Cantidad de respuestas dentro de las 4 zonas de confort propuestas en Kallapuma según los rangos de I_{cl}

I_{cl}	Respuestas por zonas				Total de respuestas
	Z1	Z2	Z3	Z4	
$I_{cl} \leq 1\text{ clo}$	2	3	2	1	8
$1\text{ clo} < I_{cl} \leq 1,2\text{ clo}$	1	5	2	0	8
$1,2\text{ clo} < I_{cl} \leq 1,5\text{ clo}$	1	8	1	0	10
$1,5\text{ clo} < I_{cl} \leq 2,0\text{ clo}$	1	6	1	0	8
$2,0\text{ clo} < I_{cl} \leq 3,0\text{ clo}$	0	0	0	0	0
	5	22	6	1	34

Fuente: Elaboración propia.

De la Figura 53 y Tabla 43 se observa que la Z2 es la que mayor cantidad de datos posee donde:

- Para $I_{cl} \leq 1$ clo, 3 datos se sitúan dentro de Z2.
- Para $1 \text{ clo} < I_{cl} \leq 1,2$ clo, 5 datos se sitúan en la Z2.
- Para $1,2 \text{ clo} < I_{cl} \leq 1,5$ clo, 8 datos se sitúan en la Z2.
- Para $1,5 \text{ clo} < I_{cl} \leq 2,0$ clo, 6 datos se sitúan en la Z2.

Y la mayor cantidad de respuestas corresponden al rango de $1,2 \text{ clo} < I_{cl} \leq 1,5$ clo.

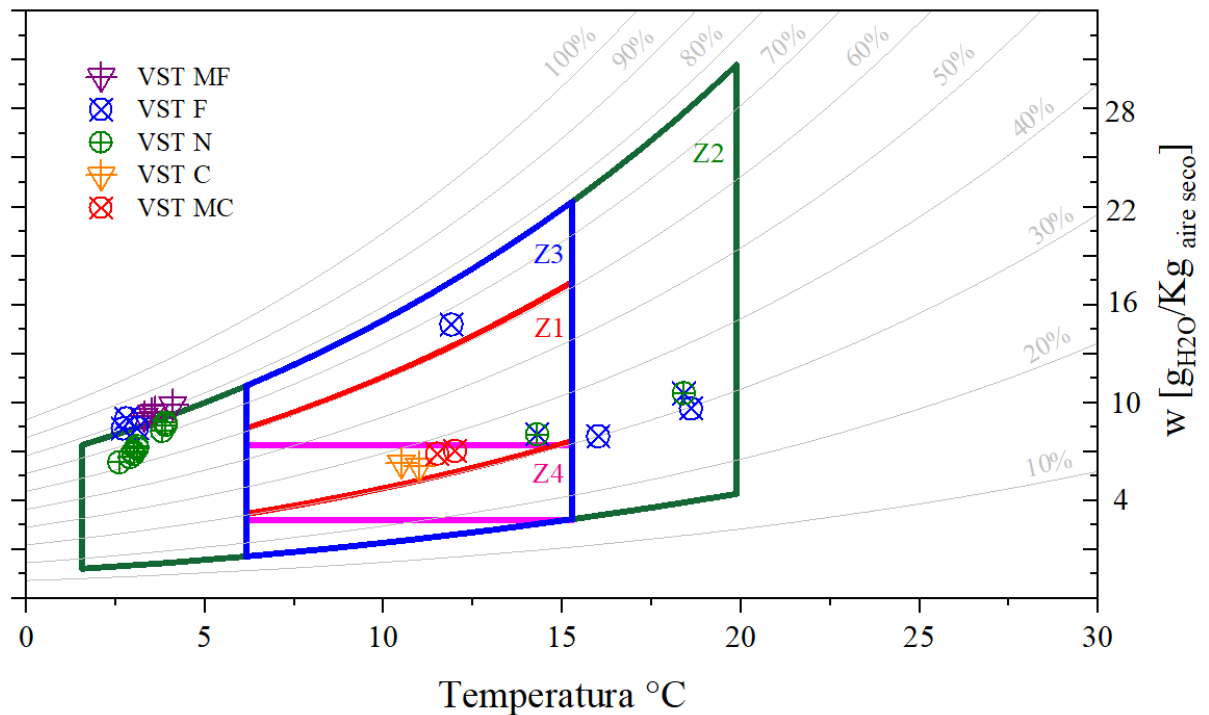
7.1.1.2 Actividad moderada

Analizando las respuestas para la “actividad moderada”, en la siguiente figura 52 se presentan las cuatro zonas propuestas.

Las respuestas del VST = N (neutro) obtenidas en el trabajo de campo son 10 datos. Los círculos y triángulos representan los puntos (T y HR). De las zonas de confort Z1, Z2, Z3 y Z4, la Z2 es la que contiene más datos.

Figura 54

Para la actividad moderada. Análisis de las respuestas del VST obtenidas dentro de las zonas propuestas y según el valor de I_{cl}



Fuente: Elaboración propia.

Tabla 44

Cantidad de respuestas dentro de las 4 zonas de confort propuestas en Kallapuma según el VST para la actividad moderada

VST	Respuestas por zonas				Total de respuestas
	Z1	Z2	Z3	Z4	
MF	0	3	0	0	3
F	3	6	4	0	13
N	1	7	1	1	10
C	1	2	1	0	4
MC	0	2	0	0	2
	5	20	6	1	32

Fuente: Elaboración propia.

En la Tabla 44, se observa que hay un mayor número de respuestas para VST = F (13

datos) y la Z2 tiene un mayor número de respuestas en comparación a las otras zonas debido especialmente a que posee un rango más amplio de temperatura. Se presentan las otras respuestas del VST (MF, F, C y MC) junto a las zonas propuestas. Muchas de estas respuestas se ubican dentro de las zonas de confort, sobre todo para el VST =N con más datos dentro de la Z2.

Se introduce el parámetro del nivel de vestimenta (I_{cl}) para analizar si las respuestas del VST se vieron afectados por la ropa que vestían las personas durante la evaluación.

Se dividió en 5 grupos dependiendo del valor de I_{cl} :

$$I_{cl} \leq 1 \text{ clo}$$

$$1 \text{ clo} < I_{cl} \leq 1,2 \text{ clo}$$

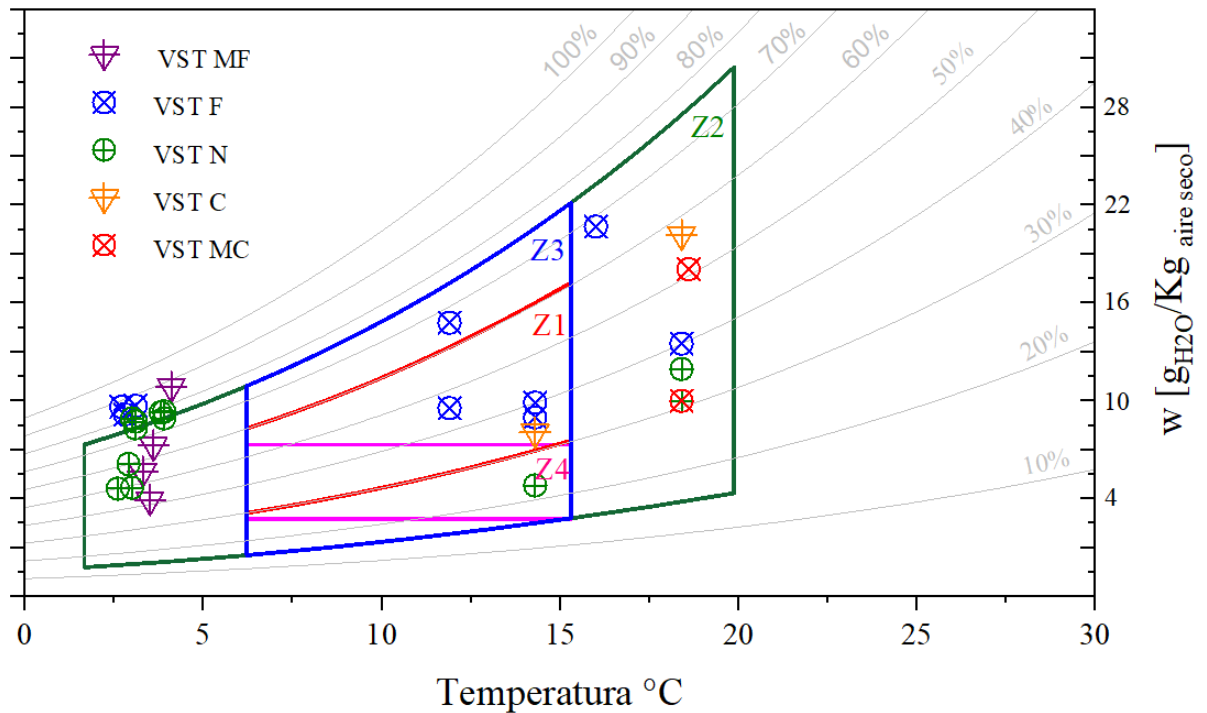
$$1,2 \text{ clo} < I_{cl} \leq 1,5 \text{ clo}$$

$$1,5 \text{ clo} < I_{cl} \leq 2,0 \text{ clo}$$

$$2,0 \text{ clo} < I_{cl} \leq 3,0 \text{ clo}$$

Figura 55

Para la actividad moderada. Análisis de las respuestas del VST obtenidas dentro de las zonas propuestas y según el valor de I_{cl}



Fuente: Elaboración propia.

Tabla 45

Actividad moderada. Cantidad de respuestas dentro de las 4 zonas de confort propuestas en Kallapuma según el VST y el valor de I_{cl}

VST	Respuestas por zonas				Total de respuestas
	Z1	Z2	Z3	Z4	
MF	0	2	0	0	2
F	1	8	2	0	11
N	1	13	3	0	17
C	2	2	2	0	6
MC	1	2	2	2	7
	5	27	9	2	43

Fuente: Elaboración propia.

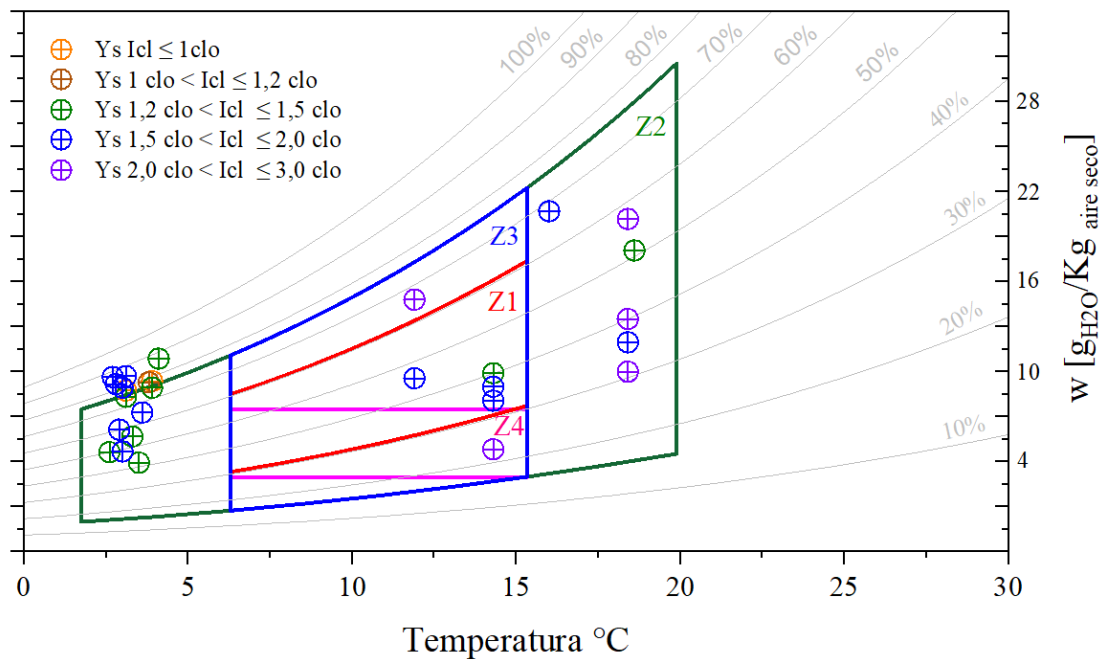
De la Figura 55 y la Tabla 45 se observa:

En la Tabla 45, se observa que hay un mayor número de respuestas para VST = N (17 datos) seguido del VST=F (11 datos) y la Z2 tiene un mayor número de respuestas en

comparación a las otras zonas debido especialmente a que posee un rango más amplio de temperatura. Se presentan las otras respuestas del VST (MF, F, C y MC) junto a las zonas propuestas. Muchas de estas respuestas se ubican dentro de las zonas de confort, sobre todo para el VST =N con más datos dentro de la Z2.

Figura 56

Para la actividad moderada. Análisis de las respuestas del VST obtenidas dentro de las zonas propuestas y según el valor de I_{cl}



Fuente: Elaboración propia.

Tabla 46

Actividad moderada. Cantidad de respuestas dentro de las 4 zonas de confort propuestas en Kallapuma según los rangos de I_{cl}

I_{cl}	Respuestas por zonas				Total de respuestas
	Z1	Z2	Z3	Z4	
$I_{cl} \leq 1 \text{ clo}$	0	0	0	0	0
$1 \text{ clo} < I_{cl} \leq 1,2 \text{ clo}$	0	0	0	0	0
$1,2 \text{ clo} < I_{cl} \leq 1,5 \text{ clo}$	1	7	1	0	9
$1,5 \text{ clo} < I_{cl} \leq 2,0 \text{ clo}$	3	8	3	0	14
$2,0 \text{ clo} < I_{cl} \leq 3,0 \text{ clo}$	0	5	2	1	8
	4	20	6	1	31

Fuente: Elaboración propia.

De la figura 56 y tabla se observa que la Z2 es la que mayor cantidad de datos posee donde:

- Para $1,2 \text{ clo} < I_{cl} \leq 1,5 \text{ clo}$, 7 datos se sitúan en la Z2.
- Para $1,5 \text{ clo} < I_{cl} \leq 2,0 \text{ clo}$, 8 datos se sitúan en la Z2.
- Para $2,0 \text{ clo} < I_{cl} \leq 3,0 \text{ clo}$, 5 datos se sitúan en la Z2.

Y la mayor cantidad de respuestas corresponden al rango de $1,5 \text{ clo} < I_{cl} \leq 2,0 \text{ clo}$.

En ambos casos (actividad pasiva y moderada), la Z2 tiene mayor porcentaje de datos experimentales al tener rangos más amplios para T y HR , le siguen la Z3, la Z1 y en menor porcentaje la Z4.

Se cuenta con mayor información registrada para respuestas de $VST = F$ y N y con menor número de datos para VST igual MC , C y MF .

7.2 COMPARACIÓN CON MODELOS EXISTENTES

Entre los modelos de temperatura adaptativa existentes se encuentran los mencionados en la tabla 7, las cuales son temperaturas neutras (T_n) para personas con trabajo sedentario, en su entorno habitual, usando la ropa de su elección y siendo desarrolladas para temperaturas T_n entre 17°C y 30°C .

Se puede deducir que las propuestas hechas por Humphreys y Griffiths son más cercanas a la propuesta “total de datos” en Kallapuma. Se puede interpretar que la propuesta de Humphreys podría ser utilizada para valores bajos de T_n (menores a 17°C), aunque sin considerar una clasificación según el nivel de actividad.

Las propuestas de ASHRAE (desarrolladas por las investigaciones de Brager y de Dear en 1998), Auliciems y Nicol y Roaf, no representa a la temperatura de neutralidad en Kallapuma, ya que se obtendría valores más altos de T_n en comparación a los determinados en el presente trabajo.

Para los pobladores de Kallapuma la temperatura estaría sobrevalorada si calculamos T_n en base a esos modelos, ya que ellos están adecuados a temperaturas más bajas.

En la tesis denominada “Análisis y evaluación del bienestar térmico en el entorno de un poblado altoandino”, elaborada por Jessica Roxana Molina Castillo, se evalúa y analiza el bienestar térmico de los pobladores de Imata, un centro poblado menor ubicado a 4500 msnm al sur del Perú, donde define rangos de bienestar térmico aceptables. Este estudio es el primero en realizarse en una zona altoandina. Donde define 4 zonas de confort con los parámetros de T , HR y w .

CAPÍTULO VIII

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

8.1 CONCLUSIONES

En la presente investigación, se evidencia el procedimiento de toma de datos que fueron registrados al interior de edificaciones (viviendas, colegio, tambo y puesto policial) de Kallapuma (4258 m.s.n.m.), que presenta una temperatura exterior media anual de 4,36 °C, utilizando los dispositivos denominados TSVR, de gran ayuda para el investigador por su aplicación sin la presencia de éste y que permitieron registrar la humedad relativa, temperatura interior, el voto de sensación térmica y la vestimenta, recolectándose un total de 303 datos. Simultáneamente, se realizaron encuestas para identificar el voto de sensación térmica, preferencia térmica, actividad realizada y análisis de la vestimenta, encuestándose a 62 personas con la finalidad de medir parámetros cualitativos y cuantitativos cuyo resultado fue identificar los valores neutrales o de confort de la T_i , HR_i , w_i de la población de Kallapuma analizando el tipo de actividad.

En la medición de parámetros cuantitativos se analizó de temperatura interior, exterior, humedad relativa y relación de mezcla teniendo en cuenta el total de datos, por género y por tipo de actividad, estableciéndose la temperatura neutral (T_n) y rangos admisibles de confort, aplicándose la desviación estándar como medida de dispersión de las respuestas del Voto de sensación térmica. Así se tiene que la temperatura de confort óptima al interior de los ambientes evaluados para pobladores realizando la actividad pasiva (menor a 1,2 met) es de 10,25 °C.

Para personas realizando actividad moderada (mayor a 1,3 met y menor e igual que 2,6 met) se tiene 9,20°C como temperatura interior óptima de confort.

Sin considerar el tipo de actividad, la temperatura neutral obtenida fue de 10,74 °C, al incluir género, se identificó que los hombres son ligeramente tolerantes al frío que las mujeres; así se obtuvo como temperatura de neutralidad para hombres 10,62 °C y para las mujeres 10,86 °C.

En la medición de los parámetros cualitativos mediante el análisis del VST voto de sensación térmica, el voto predominante de los datos de los dispositivos fue el de F (34 %), seguido de N (31 %), MF (26 %), C (4 %) y MC (4%).

Así mismo el voto predominante en las encuestas fue el de N (54%), seguido de F (39 %), MF (7 %), C y MC (0 %) para los ambientes interiores y exteriores.

Del análisis del VST priman el voto neutro y frío.

En relación del voto de preferencia térmica, realizado mediante encuesta, un mayor porcentaje de encuestados indicaron una preferencia térmica de más caliente (MC+). El 79 % de personas prefieren ambientes más calientes, el 15 % consideraron ambientes sin cambios y el 6 % ambientes más fríos.

De lo que se puede decir que los pobladores de Kallapuma se encuentran satisfechos con las condiciones interiores de los recintos donde se hallaban, pero en cuanto a la preferencia térmica si desean ambientes más cálidos.

La temperatura interior de confort es condicionada por la temperatura exterior, en este caso sólo se pudo obtener la correlación lineal de la T_i y T_e con el total de datos del VST=N, expresada en la ecuación $T_n=0,46T_e+7,00$ aplicándose la desviación estándar neutral para de los datos obtenidos de T_i , este tipo de correlación no permitió evaluar la neutralidad térmica ya que existe amplia dispersión de datos, en la figura 38 se puede ver que los datos obtenidos, no están en su totalidad comprendidos entre los valores en la ZE y ZR.

Debido a la limitante de datos por tipo de actividad no se pudo hallar las ecuaciones para actividad pasiva y moderada.

Referente al nivel de vestimenta I_{cl} , se pudo deducir el promedio de todos los datos sin considerar el tipo de actividad, siendo éste de 1,51 I_{cl} , este promedio evidencia que la ropa empleada por los encuestados es no tradicional y con escasas modificaciones durante todo el año, realizar una actividad pasiva a moderada no es un factor para el cambio de vestimenta. Por lo tanto no se logró establecer una relación entre el I_{cl} , la temperatura y/o nivel de actividad. Además, se indica que la población encuestada mayormente fue

escolares los cuales emplean un uniforme escolar donde a pesar de las bajas temperaturas no utilizaban prendas extras.

Finalmente se logró establecer los parámetros de confort e identificar zonas de confort que permitirán evaluar el confort térmico de los pobladores de Kallapuma. Estos diagramas fueron elaborados sobre las gráficas psicrométricas para una altitud de 4258 m.s.n.m.

Se identificó la temperatura neutral donde las temperaturas mínima y máxima determinaron la zona reducida (ZR); mientras las temperaturas mínima extensa y máxima extensa determinaron la zona extensa (ZE). Para ello se realizó la propuesta de 4 zonas de comodidad térmica trazados sobre la carta psicrométrica en base a los rangos de T_i , HR_i y w_i determinados para el total de datos y el tipo de actividad pasiva y moderada.

- Zona 1
 $6,21^{\circ}\text{C} \leq T \leq 15,28^{\circ}\text{C}$
 $30,51\% \leq HR \leq 60,92\%$
- Zona 2
 $1,67^{\circ}\text{C} \leq T \leq 19,83^{\circ}\text{C}$
 $15,31\% \leq HR \leq 76,12\%$
- Zona 3
 $6,21^{\circ}\text{C} \leq T \leq 15,28^{\circ}\text{C}$
 $15,31\% \leq HR \leq 76,12\%$
- Zona 4
 $6,21^{\circ}\text{C} \leq T \leq 15,28^{\circ}\text{C}$
 $3,08 \text{ g}\cdot\text{kg}^{-1} \leq w \leq 8,89 \text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$

Estos límites identificados servirán para marcar zonas de confort en el diagrama psicrométrico.

Las cuatro zonas varían en relación al tipo de actividad de los pobladores de Kallapuma, la zona 2 es la que abarca mayor cantidad de datos teniendo un mayor rango de temperatura y humedad, muchas de las respuestas para los datos del VST frío y calor,

se ubicaron dentro de las 4 zonas, esto indica que los pobladores de Kallapuma pueden distinguir 3 estados de sensación térmica como mucho frío, neutral y mucho calor, por ello las respuestas de frío y calor forman parte de las respuestas neutras. Seguramente estas respuestas también están relacionadas al valor de I_{cl} , pero por la falta de información no existe un patrón definido.

Con los registros de T_e y HR_e se confirma que no existen meses cálidos, en invierno el clima es frío con temperaturas bajas y coincide con la época de las heladas entre junio y agosto.

Esta investigación, en concordancia a la tesis de Molina, son las primeras en estudiar los rangos de confort en zonas altoandinas, siendo un precedente para futuras investigaciones en zonas altoandinas del Perú.

Identificar la temperatura neutral y rangos de confort en Kallapuma permitirá hacer mediciones experimentales, análisis energético y aplicar soluciones bioclimáticas al interior de las viviendas y demás edificaciones permitiendo acudir a estrategias pasivas, estrategias de calentamiento solar activo o calefacción convencional para lograr condiciones óptimas de confort térmico al interior de las edificaciones en regiones con condiciones climáticas similares.

Cabe indicar que para obtener mayor confiabilidad se requiere un mayor número de viviendas, encuestas y tiempo de experimentación. Asimismo, es necesario que la población tome conciencia acerca de la importancia de la toma de datos, específicamente el tipo de actividad desarrollado y la vestimenta que utiliza al momento de ser encuestado o hacer uso del dispositivo.

8.2 RECOMENDACIONES

El presente trabajo contiene información real de las condiciones climáticas en las que el poblador alto andino vive. Por lo tanto; se recomienda la presente investigación como base para que diversas instituciones e investigadores, que buscan mejorar las condiciones interiores de las viviendas en zonas alto andinas mediante el uso adecuado de materiales constructivos, puedan fortalecer sus resultados.

Se recomienda la interpretación de las bases teóricas para poder caracterizar condiciones de bienestar térmico, parámetros físicos y factores personales en las zonas alto andinas del Perú; así mismo, sea aplicada en modelos experimentales que permitan conocer los rangos de confort térmico al interior de las viviendas y se puedan desarrollar cálculos energéticos necesarios para alcanzar el confort térmico al interior de las viviendas en zonas alto andinas.

Se recomienda realizar mayor capacitación a los encuestados para que puedan describir de manera adecuada las actividades que desarrollaron y el nivel de vestimenta durante el registro de datos.

Se recomienda para futuras investigaciones, considerar un mayor número de viviendas, encuestas y tiempo de experimentación para obtener mayor confiabilidad acerca del comportamiento de los usuarios, evaluar el funcionamiento de sus viviendas, la calidad del ambiente interior y el nivel de confort térmico a interior de sus viviendas.

Se recomienda que la presente investigación sea un precedente para los profesionales que requieran estimar condiciones térmicas adecuadas al momento de diseñar viviendas en zonas con características similares.

REFERENCIAS

Alonso-Frank, A., Ruchen, E., Arballo, B., & Alamino-Naranjo, Y. (2015). Influencia de la calidad ambiental edilicia y térmica del usuario en la eficiencia energética de edificios públicos. Caso de estudio: edificio de obras sanitarias sociedad del estado, San Juan - Argentina. *Avances En Energías Renovables y Medio Ambiente - AVERMA*, 19(0), 13–22.

<http://portalderevistas.unsa.edu.ar/ojs/index.php/averma/article/view/1841>

AgroNoticias (04 de mayo de 2023). Casas calientes para los andes. <https://agronoticias.pe/noticias/tecnologias-para-afrontar-los-efectos-extremos-del-frio/>

ANSI/ASHRAE Standard 55-2004 (2013). *Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy*. (2013). www.ashrae.org

Arballo, B.D., Kuchen, E., Alamino-Naranjo, Y. & Alonso-Frank, A. (del 19 al 21 de octubre) *Evaluación de modelos de confort térmico para interiores*. VIII CRETA, Congreso Regional de Tecnología de la Arquitectura.

https://www.researchgate.net/profile/BrunoArballo/publication/309477141_EVALUACION_DE_MODELOS_DE_CONFORT_TERMICO_PARA_INTERIORES/links/58120dcc08ae1f5510c29e1d/EVALUACION-DE-MODELOS-DE-CONFORT-TERMICO-PARA-INTERIORES.pdf

Arquitectura & Energía (10 de MARZO de 2015). *El confort térmico* <http://www.arquitecturayenergia.cl/home/el-confort-termico/>

Arriaga, C. P. (2017). *Influencia De El Niño Oscilación del Sur (Enos) En la ocurrencia de Heladas en el Sur de Los Andes Peruanos*. Lima: Senhami. <https://repositorio.senamhi.gob.pe/bitstream/handle/20.500.12542/440/Influencia-Ni%c3%b1o-Sur-Enos-ocurrencia-heladas-sur-andes-peruanos.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

- Arrieta, G., & Maristany, A. (s.f.). *Revisión de los rangos de confort invernal de viviendas en Córdoba como condición para el acondicionamiento natural*. Retrieved November 19, 2021. <http://sedici.unlp.edu.ar/handle/10915/109526>
- Báez-García, W., & Jassón, F. (s.f.). *Adaptive thermal comfort in hot-humid climates View project Fotovoltaic Nanofiltration model View project*. Retrieved November 15, 2021. <https://www.researchgate.net/publication/337801147>
- Báez-García, W., Sánchez - Montes, J. & Flores - Prieto, J. (del 14 al 18 de octubre de 2019). *Evaluación de las cargas de enfriamiento en una vivienda de interés social utilizando el modelo de confort térmico adaptativo CIBSE Guide A en los tres climas predominantes de México*. XLIII Semana Nacional de Energía Solar
<https://www.researchgate.net/publication/337801147> Evaluacion de las cargas de enfriamiento en una vivienda de interes social utilizando el modelo de confort termico adaptativo CIBSE Guide A en los tres climas predominantes de Mexico
- Beltrán-Fernández, M., García-Muñoz, J., & Dufrasnes, E. (2017). Análisis de las estrategias bioclimáticas empleadas por Frank Lloyd Wright en la casa Jacobs I. *Informes de La Construcción*, 69(547), 213. <https://doi.org/10.3989/ic.16.156>
- Calixto Aguirre, V. I. (2019). *Methodology for the validation of thermal simulations of real building* [Tesis para obtener el título de Ingeniería en Energías Renovables, Universidad Nacional Autónoma de México].
https://ru.dgb.unam.mx/bitstream/DGB_UNAM/TES01000785906/3/0785906.pdf
- Campano-Laborda, M. Á. (2015). *Confort térmico y eficiencia energética en espacios con alta carga interna climatizados. confort térmico y eficiencia energética en espacios con alta carga interna climatizados* [Tesis doctoral, Universidad de Sevilla]
<https://idus.us.es/handle/11441/30632>

Centro Nacional de Estimación, Prevención y Reducción del Riesgo de Desastres – CENEPRED (2014). Plan nacional de gestión del riesgo de desastres. PLANAGERED 2014-2021

<https://sigrid.cenepred.gob.pe/sigridv3/documento/417>

Centro Nacional de Estimación, Prevención y Reducción del Riesgo de Desastres - CENEPRED (2018). *Escenarios de riesgo por heladas y friajes en el marco del Plan Multisectorial Multianual 2019-2021*. Lima.

<https://sigrid.cenepred.gob.pe/sigridv3/documento/7102>

Condor Aquino, F. M. (2017). *Diseño de una vivienda bioclimática para zonas altoandinas del Perú 2017* [Tesis para optar el título de Ingeniero Civil, Universidad Peruana de los Andes]

<https://repositorio.upla.edu.pe/handle/20.500.12848/248>

Godoy- Vaca, L., Almaguer, M., Castillo, J. P., Martínez, J. & Lobato-Cordero, A. (7-9 august, 2017) *Dynamic-physical model to predict the performance of a solar chimney in a warm-humid climate with different absorbent materials View project*. Conference San Francisco, CA, USA.

<https://repositorio.uisek.edu.ec/bitstream/123456789/2860/1/978-1-7750520-0-5%20MARTINEZ%20JAVIER%20CONGRESO%20SCOPUS%201%281%29.pdf>

El confort en el diseño bioclimático (s.f.).

https://www.tdx.cat/bitstream/handle/10803/6113/20ANEXO1_2.pdf

Giuliano Raimondi, G. M. del C., & Garzón, B. S. (2016). Prototipo rural de educación inicial en Santiago del Estero Análisis, simulación y etiquetado térmico-energético para su adecuación bioclimática. *Estudios del hábitat*, Vol. 14 (1)

<https://ri.conicet.gov.ar/handle/11336/77360>

Godoy Muñoz, A. de J. (2012). *El Confort térmico adaptativo. Aplicación en la edificación en España*. [Máster en Sostenibilidad, Universidad Politécnica de Cataluña]

<https://upcommons.upc.edu/handle/2099.1/18763>

- Gómez-Azpeitia, G., Bojorquez-Morales, G. & Ruiz-Torres, R.P. (2007). El confort térmico, dos enfoques teóricos enfrentados. *Palapa*. Universidad de Colima. Año/vol.2, número 001, págs. 45-57.
<https://www.redalyc.org/pdf/948/94820107.pdf>
- Guardia, C. M. (2017). Confort Térmico: Un sistema aislante para la vivienda altoandina fabricado con materiales reciclados. *Módulo Arquitectura-CUC*, 73-90.
<https://doi.org/10.17981/moducuc.18.1.2017.04>
- Holguino Huarza, A., Olivera Marocho, L., & Escobar Copa, K. U. (2018). Confort térmico en una habitación de adobe con sistema de almacenamiento de calor en los andes del Perú. *Revista de Investigaciones Altoandinas*, 20(3), 289–300.
<https://doi.org/10.18271/RIA.2018.394>
- Instituto Argentino de Normalización (1996). *Acondicionamiento Térmico de Edificios. Clasificación bioambiental de la República Argentina*.
http://www.portalhuarpe.com.ar/medhime20/Talleres/TALLERES%20CUIM/Taller%2010/T1002Instalaciones%201/Navegable/NORMAS%20IRAM/IRAM_11603.pdf
- Karami, M., McMorrow, G. V., & Wang, L. (2018). Continuous monitoring of indoor environmental quality using an Arduino-based data acquisition system. *Journal of Building Engineering*, Volume 19, pages 412-419.
<https://doi.org/10.1016/j.jobe.2018.05.014>
- Organización Mundial de la Salud (2018). *Directrices de la OMS sobre la vivienda y salud*.
<https://apps.who.int/iris/bitstream/handle/10665/279743/WHO-CED-PHE-18.10-spa.pdf>
- León, C. A. (2018). *Criterios de confort ambiental y su incidencia en la optimización del espacio público recreativo de la urbanización California, distrito Víctor Larco, Trujillo, 2017*. [Tesis para obtener el grado académico de: Maestra En Arquitectura, Universidad Cesar Vallejo]

[https://repositorio.ucv.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12692/11780/salda%
c3%b1a_lc.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://repositorio.ucv.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12692/11780/salda%c3%b1a_lc.pdf?sequence=1&isAllowed=y)

Marincic, I., Ochoa, J. M., & del Río, J. A. (2012). Confort térmico adaptativo dependiente de la temperatura y la humedad. *ACE: Architecture, City and Environment*, 7(20), 27–46. <https://doi.org/10.5821/ACE.V7I20.2572>

Martínez-Torres, K.E., Alcántara-Lomeli, A., Bojórquez-Morales, G. & Gómez-Azpeitia, L.G. (2017) Thermal sensation and preference in naturally ventilated dwellings. Manzanillo, Colima. Cuadernos de Arquitectura Año 07 N°07 Abril 2017
<http://cuadernos.uanl.mx/pdf/num7/8.pdf>

Mascaró, L. R. (1983) *Luz, clima y arquitectura*. Universidad Nacional de La Plata.

Matzarakis, A. (2007). Climate, thermal comfort and tourism. *Climate Change and Tourism-assessment and Coping Strategies* (pp. 140–154).
file:///Users/escj/Downloads/Climate_thermal_comfort_and_tourism.pdf

Ministerio del Ambiente (2017). Clasificación Climática.

https://idesep.senamhi.gob.pe/portalidesep/idesep_tema_caracterizacion_climatica.jsp

Ministerio de Desarrollo e Inclusión Social (MIDIS) (2020). *Bienvenidos a Kallapuma*.
https://www.pais.gob.pe/tambook/tambo/perfiltambo/index/id_tambo/19802

Ministerio de Trabajo y Asuntos Sociales España (1983). NTP 74: Confort térmico - Método de Fanger para su evaluación.
https://www.insst.es/documents/94886/326853/ntp_074.pdf/1a5d4655-f44d-4118-9516-281a452e820d

Molina, C., & Veas, L. (2012). Evaluación del confort térmico en recintos de 10 edificios públicos de Chile en invierno. *Revista de La Construcción*, 11(2), 27–38.
<https://doi.org/10.4067/S0718-915X2012000200004>

- Molina Fuertes, J.O., Horn-Mutschler, M.J. & Gómez-León, M.M. (2017). Evaluación sistemática del desempeño térmico de un módulo experimental de vivienda altoandina para lograr el confort térmico con energía solar. *TECNIA* Vol.30 N°1 <http://www.scielo.org.pe/pdf/tecnia/v30n1/2309-0413-tecnia-30-01-70.pdf>
- Molina Fuertes, J. O., Horn Mutschler, M. J., & Gómez León, M. M. (2020). Evaluación sistemática del desempeño térmico de un módulo experimental de vivienda alto andina para lograr el confort térmico con energía solar. *TECNIA*. <https://doi.org/10.21754/tecnia.v30i1.841>
- Molina, J. O., Lefebvre, G., Horn, M., & Gómez, M. M. (2020). Diseño de un módulo experimental bioclimático obtenido a partir del análisis de simulaciones térmicas para el centro poblado de Imata (4519 m s.n.m.) ubicado en Arequipa, Perú. *Información Tecnológica*, 31(2), 173–186. <https://doi.org/10.4067/S0718-07642020000200173>
- Molina, J. R., Lefebvre, G., Espinoza, R., Horn, M., & Gómez, M. M. (2020). Bioclimatic approach for rural dwellings in the cold, high Andean region: A case study of a Peruvian house. *Energy and Buildings*. Volume 231. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2020.110605>
- Molina, J. R., Nakama, V. L., & Lefebvre, G. (2020). A low-cost measurement device for recording perceptions of thermal comfort. *Journal of Physics: Conference Series*. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1433/1/012006>
- Normalización Española (s.f.). *Ergonomía del ambiente térmico. Estimación del aislamiento térmico y de la resistencia a la evaporación de un conjunto de ropa. (ISO 9920:2007)*.
- Presidencia del Consejo de Ministros (2017). *Plan Multisectorial ante heladas y friaje 2017*. http://www.pcm.gob.pe/wp-content/uploads/2017/05/PMAHF_2017.pdf
- Rincón-Martínez, Martínez-Torres, González-Trevizo & Fernández-Melchor (2020). Modelos matemáticos para estimar el confort térmico adaptativo en espacios

- interiores. *Ingeniería Revista Académica de la Facultad de Ingeniería Universidad Autónoma de Yucatán*.
<https://www.revista.ingenieria.uady.mx/ojs/index.php/ingenieria/article/view/186>
- Lamberts, R., Dutra, L. & Pereira, F. (s.f.). *Eficiencia energetica en arquitectura*.
file:///Users/escj/Downloads/eficiencia_energetica_na_arquitetura.pdf
- Rodríguez Hernández, L. & Alonzo Salomón, J. E. (2004). Efecto de los factores ambientales, laborales y psicosociales, en el síndrome del edificio enfermo . *Ingeniería*, 8., págs.1-10.
<https://www.redalyc.org/pdf/467/46780203.pdf>
- Santana Ramírez, M., Campos M. A., León, L. A. & Guevara, V. V. (2004). *Estudio de las sensaciones térmicas en la provincia Ciego de Ávila*. IV Congreso Nacional de Geografía. Hidrología y Climatología, 42 págs.
<http://repositorio.geotech.cu/jspui/handle/1234/2694>
- García-Sobrevilla, R. de F. C. (2017). El confort adaptativo infantil según las estrategias bioclimáticas en escuelas de la selva baja peruana: colegios “12 de Abril” y “Rumococha”, San Juan Bautista, Loreto. *Investiga Territorios*, (6), 31-46.
<https://revistas.pucp.edu.pe/index.php/investigaterritorios/article/view/23756>
- Programa Nacional de Vivienda Rural (2020).
<https://www.gob.pe/programa-nacional-de-vivienda-rural>
- S&P. (2018). Humedad relativa específica y absoluta
<https://www.solerpalau.com/es-es/blog/humedad-relativa-especifica-absoluta/>
- Sol Sampedro, F. J. (2006). *Estrategias de Diseño Bioclimático para la ciudad de Oaxaca y Zona Conurbada*. Instituto Politécnico Nacional, Santa Cruz Xoxocotlán. [Tesis para obtener el grado de Maestro en Ciencias]
http://literatura.ciidiroaxaca.ipn.mx/jspui/bitstream/LITER_CIIDIROAX/32/1/Sol%20Sampedro%2C%20F.%20J..pdf

El Peruano (13 de mayo de 2014). Modifican Título III del Reglamento Nacional de Edificaciones D.S. N 006-2014-VIVIENDA

<https://busquedas.elperuano.pe/download/url/modifican-titulo-iii-del-reglamento-nacional-de-edificacione-ds-n-006-2014-vivienda-1082132-1>

El Peruano (27 de julio de 2022). R.M. No 197-2022-VIVIENDA. - Disponen publicación de proyecto de Resolución Ministerial que aprueba la modificación de la Norma Técnica EM.110, Envolvente Térmica, contenida en el numeral III.4 Instalaciones Eléctricas y Mecánicas, del Título III Edificaciones del Reglamento Nacional de Edificaciones

<https://busquedas.elperuano.pe/download/full/6uSfaCO74yPBQhuwLWyP13>

SENHAMI (2010). *Atlas de Heladas del Perú*.

<https://idesepe.senamhi.gob.pe/portaledesepe/files/tematica/atlas/helada/atlasheladas.pdf>

Vásquez Dávila, P. X. (2019). Methodology to simulate a complex building using EnergyPlus: Detailed case study for building. [Tesis para optar el grado de Ingeniera en Energías Renovables, Universidad Nacional Autónoma de México]

https://ru.dgb.unam.mx/handle/DGB_UNAM/TES01000790103

Zini, L. A., Vera, L. H., & Firman, A. D. (2015). Diseño, implementación y calibración de un medidor digital de confort térmico. *Extensionismo, Innovación y Transferencia Tecnológica*, 2(0), 170–179. <https://doi.org/10.30972/EITT.202834>

ANEXOS

Anexo I

Especificaciones Técnicas Data Logger para Termocuplas HOBO® UX120 Cuatro-Canales

Tabla 47


Especificaciones técnicas sensor de temperatura.

Características	Sensor de Temperatura
Rango de Operación	-20° a 70°C (-4° a 158°F)
Exactitud	0,21 ° C de 0 ° a 50 ° C (\pm 0,38 ° F de 32 ° a 122 ° F)
Resolución	0,024 ° C a 25 ° C (0,04 ° F a 77 ° F)
Estabilidad (deriva)	<0,1 ° C (0,18 ° F) por año

Tabla 48

Especificaciones técnicas logger.

Características	Logger
Rango de Operación	-20 ° a 70 ° C (-4 ° a 158 ° F), 0 a 95% de HR (sin condensación); precisión del registrador de 0 ° a 50 ° C (32 ° a 122 ° F)
Lectura	0 ° a 50 ° C (32 ° a 122 ° F) según la especificación de USB
Velocidad de Registro	1 segundo a 18 horas, 12 minutos, 15 segundos

Modos de Registro	Normal, ráfaga o estadística.
Batería	Dos baterías alcalinas AAA 1,5V
Memoria	4 MB (1,6 millones de medidas, máximo)
LCD	LCD es visible desde: 0 ° a 50 ° C (32 ° a 122 ° F); la pantalla LCD puede reaccionar lentamente o quedar en blanco en temperaturas fuera de este rango
Modos de Memoria	Envolver cuando esté lleno o detenerse cuando esté lleno
Dimensiones	10,8 x 5,41 x 2,54 cm
Peso	107,5 g
Calificación Ambiental	IP50
	El marcado CE identifica este producto como que cumple con todas las directivas relevantes en la Unión Europea (UE)
