



UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE CUENCA

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CUENCA

Comunidad Educativa al Servicio del Pueblo

UNIDAD ACADÉMICA DE POSGRADO

**MAESTRÍA EN CONSTRUCCIONES CON MENCIÓN EN
ADMINISTRACIÓN DE LA CONSTRUCCIÓN
SUSTENTABLE**

**RECOMENDACIONES PARA LA APLICACIÓN DE
ESTRATEGIAS BIOCLIMÁTICAS PASIVAS EN UN
CLIMA MEGA TÉRMICO LLUVIOSO, TENA-ECUADOR**

**ARTÍCULO PROFESIONAL DE ALTO NIVEL PREVIO A LA
OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE MAGISTER EN
CONSTRUCCIONES MENCIÓN EN ADMINISTRACIÓN DE LA
CONSTRUCCIÓN SUSTENTABLE**

AUTOR: KATIA MARGARITA CARRION ATIAJA

DIRECTOR: JUAN CARLOS ORTEGA CASTRO

CUENCA - ECUADOR

2023

DIOS, PATRIA, CULTURA Y DESARROLLO



UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CUENCA

Comunidad Educativa al Servicio del Pueblo

UNIDAD ACADÉMICA DE POSGRADO

**MAESTRÍA EN CONSTRUCCIONES CON MENCIÓN EN
ADMINISTRACIÓN DE LA CONSTRUCCIÓN
SUSTENTABLE**

**RECOMENDACIONES PARA LA APLICACIÓN DE ESTRATEGIAS
BIOCLIMÁTICAS PASIVAS EN UN CLIMA MEGA TÉRMICO
LLUVIOSO, TENA-ECUADOR**

**ARTÍCULO PROFESIONAL PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL
TÍTULO DE MAGISTER EN CONSTRUCCIONES MENCIÓN EN
ADMINISTRACIÓN DE LA CONSTRUCCIÓN SUSTENTABLE**

AUTOR: KATIA MARGARITA CARRIÓN ATIAJA

DIRECTOR: JUAN CARLOS ORTEGA CASTRO




CUENCA - ECUADOR

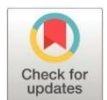
2023

DIOS, PATRIA, CULTURA Y DESARROLLO

Recomendaciones para la aplicación de estrategias bioclimáticas pasivas en un clima mega térmico lluvioso, Tena-Ecuador

Recommendations for the application of passive bioclimatic strategies in a rainy mega thermal climate, Tena-Ecuador

- ¹ Katia Margarita Carrión Atiaja  <https://orcid.org/0009-0003-0737-083X>
Maestría en Construcción con Mención en Administración de la Construcción Sustentable de la Universidad Católica de Cuenca.
katia.carrion.93@est.ucacue.edu.ec
- ² Juan Carlos Ortega Castro  <https://orcid.org/0000-0001-6496-4325>
Universidad Católica de Cuenca.
jcortegac@ucacue.edu.ec
- ³ Beatriz Rivela Carballal  <https://orcid.org/0000-0001-8006-6082>
Universidad Católica de Cuenca.
beatriz.rivela@ucacue.edu.ec



Artículo de Investigación Científica y Tecnológica

Enviado: 10/02/2023

Revisado: 15/03/2023

Aceptado: 04/04/2023

Publicado: 05/05/2023

DOI: <https://doi.org/10.33262/cienciadigital.v7i2.2541>

Cítese:

Quispe Fernández, G. M., Arellano Cepeda, O. E., Rodríguez, E. A., & Cruz Parra, J. F. (2023). La rentabilidad y el comercio electrónico en las PYMES en el Ecuador. Caso emprendimientos en empresas de alimentos y bebidas. *Ciencia Digital*, 7(2), 82-94.
<https://doi.org/10.33262/cienciadigital.v7i2.2541>



CIENCIA DIGITAL, es una revista multidisciplinaria, **trimestral**, que se publicará en soporte electrónico tiene como **misión** contribuir a la formación de profesionales competentes con visión humanística y crítica que sean capaces de exponer sus resultados investigativos y científicos en la misma medida que se promueva mediante su intervención cambios positivos en la sociedad. <https://cienciadigital.org>
La revista es editada por la Editorial Ciencia Digital (Editorial de prestigio registrada en la Cámara Ecuatoriana de Libro con No de Afiliación 663) www.celibro.org.ec



Esta revista está protegida bajo una licencia Creative Commons Attribution Non Commercial No Derivatives 4.0 International. Copia de la licencia: <http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>.

Palabras**claves:**

Estrategias bioclimáticas pasivas, arquitectura, clima mega térmico lluvioso, confort térmico

Keywords:

passive bioclimatic strategies, architecture, rainy mega thermal climate, thermal comfort

Resumen

Introducción: el presente estudio tiene como objetivo brindar recomendaciones de diseño bioclimáticas pasivas para la ciudad de Tena, caracterizado por ser un clima mega térmico lluvioso. **Metodología:** la metodología aplicada se basó en el registro de las variables climáticas (temperatura, radiación solar, humedad relativa, velocidad del viento y precipitación) de la estación meteorológica de la Universidad de Ikiam con datos desde el 2016. Los elementos climáticos fueron analizados en relación con los criterios de confort y herramientas bioclimáticas (Carta bioclimática de Olgyay, Carta Psicométrica y Triángulos de Confort). **Resultados:** los resultados mostraron la necesidad de utilizar el viento, disminuir la humedad y temperatura al interior de las viviendas durante todos los meses del año. Esto permitió identificar que las principales estrategias bioclimáticas recomendadas para la ciudad de Tena están relacionadas a la orientación y forma de la vivienda, generación de sombra, ventanas e inercia térmica. Estas recomendaciones permitirán a los diseñadores arquitectónicos adoptar estrategias adecuadas de enfriamiento pasivo para mejorar el confort térmico.

Abstract

Introduction: the present study aims to provide passive bioclimatic design recommendations for the city of Tena, characterized by being a rainy mega thermal climate. **Methodology:** the methodology applied was based on the recording of climatic variables (temperature, solar radiation, relative humidity, wind speed and precipitation) of the meteorological station of the University of Ikiam with data from 2016. The climatic elements were analyzed in relation to the comfort criteria and bioclimatic tools (Olgyay Bioclimatic Chart, Psychometric Chart and Comfort Triangles). **Results:** the results showed the need to use the wind, reduce humidity and temperature inside the houses during all months of the year. This allowed us to identify that the main bioclimatic strategies recommended for the city of Tena are related to the orientation and shape of the house, generation of shade, windows, and thermal inertia. These recommendations will enable architectural designers to adopt appropriate passive cooling strategies to improve thermal comfort.

Introducción

Según la Constitución de la República del Ecuador, la energía en todas sus formas es considerada como un sector estratégico, puesto que tiene influencia decisiva en el ámbito económico, político y ambiental (Asamblea Nacional Constituyente, 2008). La distribución porcentual del consumo final de energía para cada sector productivo es: Transporte (54%), Industria (22%), Residencial (15%), Comercial (7%), Agricultura (1%) y Construcción (1%). El sector residencial es un actor importante en el consumo energético porque participa el 88% de los ecuatorianos (Araujo y Robalino-López, 2018). En este sector la energía utilizada está principalmente destinada a la refrigeración (51%), iluminación (18%), cocción y calentamiento (12%), aire acondicionado (7%) y otros usos (12%) (ARCONEL & MEER, 2013).

En una encuesta realizada por ENIGHUR en el 2011 a 39617 hogares urbanos y rurales, permite entender la demanda de energía traducidas en pérdidas económicas a partir de los ingresos por vivienda y gastos realizados (Instituto Nacional de Estadísticas y Censos [INEC], 2012). Los resultados mostraron que las zonas urbanas demandan de mayor energía y, por tanto, de mayores gastos mensuales en alquiler, agua, electricidad, gas y otros combustibles, siendo un total de 60 USD en viviendas urbanas y 17 USD en viviendas rurales. El gasto de electricidad en una vivienda de bajos ingresos (528 USD-urbano y 310 USD-rural) es de 9,31 USD en la zona urbana y de 4,92 USD en la zona rural; mientras que en los hogares de ingresos medios (850 USD-urbano y 500 USD-rural) es de 13,73 USD y 6,97 USD en la zona rural y urbana respectivamente (Araujo & Robalino, 2019). Y una vivienda de altos ingresos (1800 USD-urbano y 900USD-rural) es de 22,44 USD en el área urbana y 9,67 USD en la rural.

La urbanización ha llevado a un aumento en el consumo de energía para mantener la temperatura interior de las viviendas en condiciones de confort térmico (Araujo & Robalino, 2019). De esta manera, el cumplimiento de las necesidades humanas, la producción de bienes y servicios y la obtención de comodidades conllevan costos económicos que, si no se tienen en cuenta durante la etapa de diseño de las viviendas, resultarán en gastos a largo plazo en sistemas insostenibles tanto desde el punto de vista económico como ambiental.

Con el fin de mitigar el aumento en la demanda de energía, se ha puesto énfasis en el desarrollo de viviendas que sean energéticamente eficientes mediante avances en la ingeniería. La refrigeración es una estrategia de diseño pasivo altamente efectiva y cada vez más relevante en términos de ahorro energético y preservación ambiental. Sin embargo, estas soluciones dependen principalmente de las condiciones climáticas. Garzón (2007), establece que una vivienda bioclimática se distingue por emplear elementos de diseño que aprovechan las condiciones climáticas y ambientales favorables, al mismo tiempo que protegen de los efectos negativos del entorno externo. En definitiva,

el enfoque bioclimático implica el diseño de viviendas que responden al clima de manera inteligente para lograr una mayor comodidad térmica y eficiencia energética en la vivienda (Bhamare et al., 2020).

Las variables meteorológicas tienen impactos en los materiales de construcción, principalmente: la temperatura, radiación solar, humedad relativa, velocidad del viento y precipitación. Estas variables están condicionadas por parámetros físicos del medio como: altitud, latitud, cobertura vegetal, etc. (Jaramillo, 2009). El confort general de las personas está estrechamente ligado a su bienestar. El principal reto en el diseño arquitectónico es diseñar viviendas que sean eficientes en términos de confort y preservación del medio ambiente, aprovechando las condiciones locales (Franco, 2016).

Según Wendy (2006), al diseñar una vivienda, es fundamental tener en cuenta la temperatura, ya que la radiación solar aumenta la temperatura en la superficie de los materiales y provocar la liberación de calor en el interior de la construcción debido a la inercia térmica. Mientras que la humedad relativa en la construcción es la cantidad de vapor de agua que se encuentra en el aire, y está relacionada con la evaporación de las masas debido a la radiación solar y la evo-transpiración. Este factor puede influir en la duración de los materiales utilizados en la construcción (Franco, 2016). La velocidad del viento es importante en el diseño de estructuras para lograr una buena climatización, ya que puede permitir la pérdida de calor y genera sensaciones de frescura (Simancas, 2003). Finalmente, la precipitación es un variable que influye indirectamente en el confort térmico y muy necesario al considerar cada una de las estrategias bioclimáticas, siendo una zona lluviosa.

De esta manera, la presente investigación tiene como objetivo principal plantear distintas recomendaciones de estrategias bioclimáticas pasivas que podrían ser implementadas en las viviendas ubicadas en la zona urbana y rural de la ciudad del Tena (clima mega térmico lluvioso), ubicada en la Amazonía ecuatoriana. Para lo cual se caracterizó la climatología, se implementaron diferentes herramientas bioclimáticas y se realizó una exhaustiva búsqueda bibliográfica con el fin de plantear recomendaciones bioclimáticas viables que permitan cambiar el enfoque convencional arquitectónico donde el control de las condiciones interiores depende del sistema de acondicionamiento artificial, por estrategias bioclimáticas que modifican y mejoran el microclima interno y externo a través del propio diseño arquitectónico.

Sitio de estudio

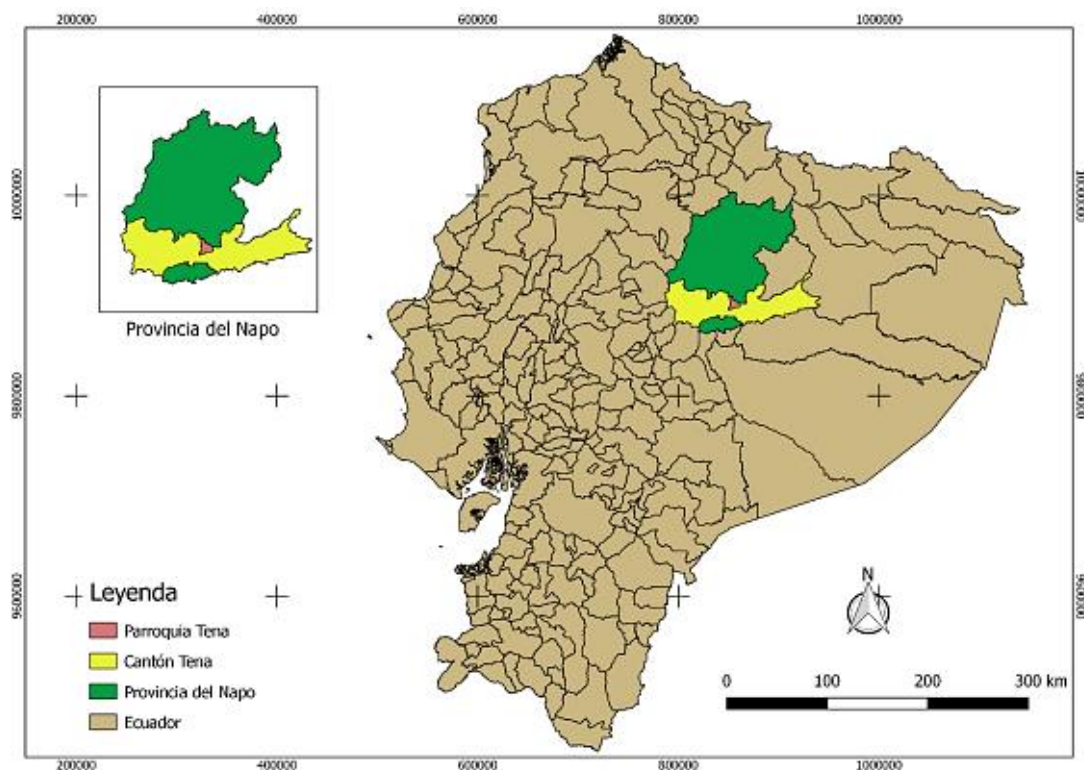
Descripción general

El cantón Tena se encuentra en la región amazónica del centro occidente de Ecuador, en la provincia de Napo (figura 1). Está situado en las vertientes exteriores de la Cordillera

de los Andes y se extiende desde los 4840 msnm en los páramos andinos hasta los 260 msnm en la llanura amazónica (Gobierno Autónomo Descentralizado de Tena [GADM-TENA, 2014).

Figura 1

Ubicación del sitio de estudio



En el año 2014, la población total del cantón Tena en la provincia de Napo, ubicado en el centro occidente de la región amazónica ecuatoriana al sur de la provincia de Napo, representó el 58,1% del total de la población de la provincia del Napo, con un total de 69.202 habitantes, de los cuales el 61,82% vive en la zona urbana y el 38,28% en la zona rural (INEC, 2010). De acuerdo con el INEC (2010), el cantón Tena es una zona multiétnica y pluricultural, donde la población indígena es la más numerosa y se encuentra distribuida en comunidades a lo largo de las vías y ríos. La población mestiza es la segunda más grande, seguida por la blanca, afroecuatoriana y finalmente los Huaorani.

El bosque nativo es la vegetación predominante en el cantón Tena, cubriendo un 65,15% del territorio, seguido de tierra agropecuaria (18,23%), vegetación arbustiva (14,84%), cuerpos de agua (1,26%) y otros usos (0,52%) (Ministerio del Ambiente [MAE], 2008). Durante el período 2000-2008, la deforestación ha resultado en una conversión de bosque nativo a pastizales, debido a la expansión de la frontera agrícola (GADM-TENA, 2014).

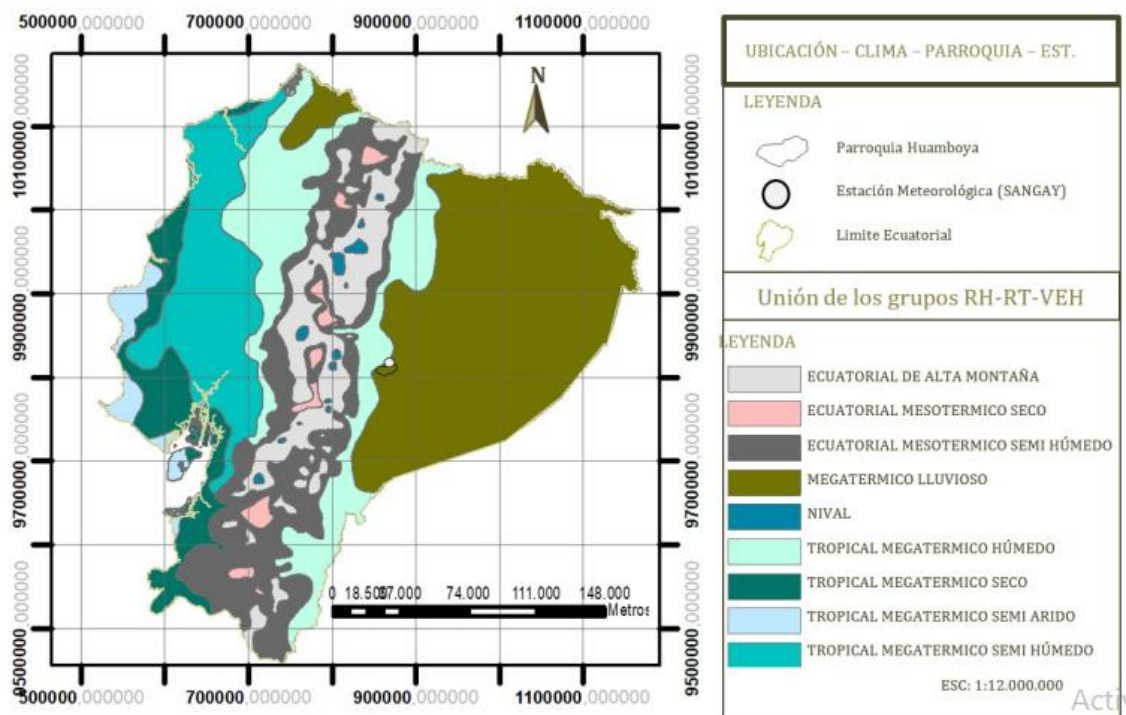
Caracterización climática

Se registra una precipitación constante durante todo el año en la Amazonía ecuatoriana, con periodos de baja precipitación en agosto y enero debido al movimiento de los vientos en la Zona de Convergencia Intertropical (ZCIT). La región se divide en dos zonas climáticas, Amazónico Húmedo y Amazónico Semihúmedo, ambas con altas temperaturas, precipitaciones y humedad relativa según la clasificación del clima de Köppen (INEC, 2010).

Según Pourrut (1983), en la Región Amazónica, las temperaturas promedio son de 25°C, las precipitaciones son regulares y alcanzan alrededor de 3000 mm al año, la humedad relativa es mayor al 90% y hay aproximadamente 1000 horas de insolación al año. Con base en estas características, el clima del lugar de estudio es descrito como "mega térmico lluvioso" (Figura 2).

Figura 2

Clasificación Pourrut (1983) de los Climas del Ecuador



Fuente: Piña (2019)

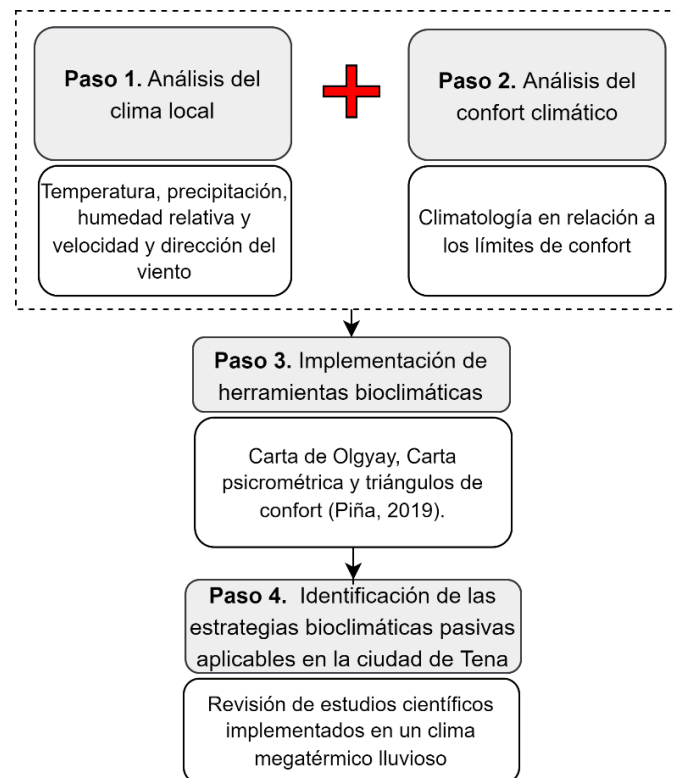
Metodología

La investigación desarrollada fue de carácter cuantitativa y descriptiva, donde a partir de variables cuantitativas se interpretaron y se establecieron recomendaciones. Se basó en

cuatro pasos: 1) análisis del clima local, 2) determinación de los límites de confort, 3) aplicación de herramientas bioclimáticas e 4) identificación de las estrategias bioclimáticas. A continuación, se presenta el diagrama de la metodología aplicada (Figura 3).

Figura 3

Metodología aplicada en el sitio de estudio



La información de las variables meteorológicas (temperatura, radiación solar, humedad relativa, velocidad y dirección del viento y precipitación) fue adquirida de la estación ubicada en la Universidad Regional Amazónica Ikiam con datos desde el 2016 (7 años) y un registro histórico de Tena desde 1991-2015 (24 años), información proporcionada por el INAMHI. Esto permitió conocer los promedios, máximos y mínimos mensuales de las distintas variables para caracterizar el clima en la ciudad de Tena.

Se realizó un análisis de confort para cada variable meteorológica con el objetivo de conocer los límites de confort. Luego a partir de las herramientas bioclimáticas como la carta bioclimática de Olgay, la carta Psicométrica y Triángulos de confort implementadas en el estudio realizado por Piña (2019), se determinaron las medidas bioclimáticas pasivas aplicables en el sitio de estudio de acuerdo con el clima. Estas estrategias fueron contrastadas y priorizadas con base a investigaciones realizadas en un similar piso climático y considerando el ámbito económico, social y cultural.

Resultados y Discusión

Límites de confort de las variables climáticas

Temperatura

De acuerdo con Piña (2019), la temperatura es una medida meteorológica que indica la cantidad de calor o frío presente en la atmósfera. Respecto a esta variable, el monitoreo de la estación Ikiam de la temperatura a partir del 2016 mostró un escaso rango en el gradiente de la temperatura máxima, mínima y media. La temperatura promedio fue de 22,74°C (Figura 4A). A continuación, en la figura 4 y tabla 1, se presenta la estadística mensual de esta variable.

Figura 4

Comportamiento mensual de las variables climáticas en la ciudad de Tena

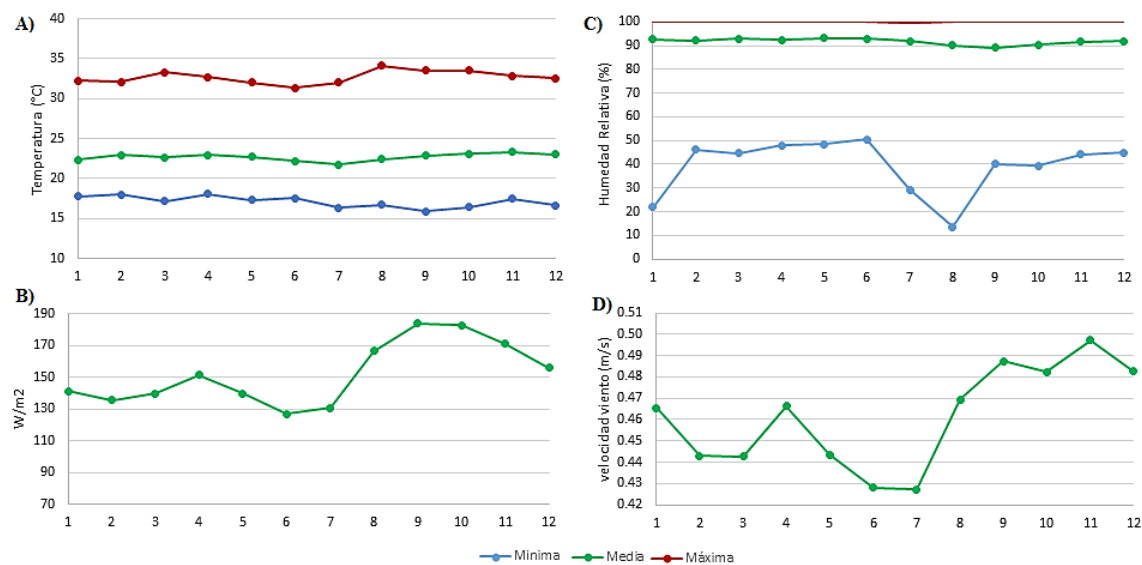


Tabla 1

Temperatura y humedad relativa mensual registrada en la estación Ikiam desde 2016

	Temperatura (°C)			Humedad Relativa (%)		
	Media	Mínima	Máxima	Media	Mínima	Máxima
Ene	22,38	17,77	32,25	92,83	21,95	100
Feb	22,94	17,97	32,12	92,10	46,10	100
Mar	22,62	17,17	33,27	92,94	44,71	100
Abr	22,93	18,06	32,74	92,34	47,92	100
May	22,70	17,34	32,01	93,19	48,35	100
Jun	22,16	17,53	31,32	93,07	50,54	100

Tabla 1

Temperatura y humedad relativa mensual registrada en la estación Ikiam desde 2016 (continuación)

	Temperatura (°C)			Humedad Relativa (%)		
	Media	Mínima	Media	Mínima	Media	Mínima
Jul	21,76	16,30	32,03	91,91	29,35	100
Ago	22,39	16,71	34,14	90,25	13,67	100
Sep	22,89	15,87	33,51	89,20	40,09	100
Oct	23,12	16,40	33,50	90,32	39,37	100
Nov	23,31	17,48	32,86	91,67	44,06	100
Dic	23,05	16,61	32,57	92,07	44,79	100

Para definir los rangos de confort de temperatura, respecto a la fórmula de Szokolay se aplicó la siguiente ecuación:

$$\text{Zona de confort} = T_n \pm 2,5^{\circ}\text{C} \quad (1)$$

$$T_n = 17,6 + 0,31T_m$$

Dónde:

T_m = Temperatura media

T_n = Temperatura neutra

$$T_n = 24,65^{\circ}\text{C}$$

$$\text{Zona de confort} = (22^{\circ}\text{C} - 27^{\circ}\text{C})$$

Siendo la temperatura media de $22,75^{\circ}\text{C}$, el rango de confort de temperatura es de $22^{\circ}\text{C} - 27^{\circ}\text{C}$. De esa manera, la temperatura máxima mensual cuyo promedio es de 32°C , debería disminuir cinco grados Celsius para lograr un confort térmico.

Radiación solar

En la estación Ikiam, se registró que en los meses donde hubo mayor radiación global solar fueron: agosto, septiembre y octubre con radiaciones promedio de 185 W/m^2 . Y los meses de menor radiación fueron junio y julio, siendo una radiación de 129 W/m^2 (Figura 4B). La mayor radiación se registró al medio día entre las 10 a.m. a 3p.m. Durante el día existen 12 horas de sol aproximadamente, desde las 6:00 a.m. hasta las 6:00 p.m.

Calleja (1998), indica que una de las variables más significativas que influyen en el confort térmico dentro de las residencias es la irradiación excesiva, la cual proviene

principalmente de la radiación solar que atraviesa las ventanas, cristales, paredes y techos. La temperatura en ventanas o superficies verticales debería ser inferior a 5°C y en el techo de 10°C.

Los resultados en la ciudad de Tena mostraron valores altos de radiación persistente durante 12 horas, estos datos traducidos a temperatura alcanzarían valores de 15°C en ventanas o superficies verticales y de 25°C en techos o superficies horizontales de las viviendas. Por tal razón es requerido establecer estrategias que mitiguen y disminuyan de 10°C a 15°C las superficies horizontales y verticales de las viviendas para evitar calentamiento excesivo en el interior.

Humedad Relativa

Piña (2019), explica que la humedad relativa se refiere a la cantidad de vapor de agua que puede contener el aire en un momento dado. Cuando la humedad relativa alcanza el 100%, esto indica que el aire está completamente saturado de vapor de agua. La humedad relativa mensual promedio en la ciudad de Tena registrada fue de 91,74% (figura 4C). En la tabla 1, se presenta un resumen de los datos mensuales de la humedad relativa.

En el 2010 el Reglamento de Instalaciones Térmicas de los Edificios (RITE) estableció que, en España, se debe mantener un rango de humedad interna en las viviendas del 40% al 70% para prevenir la presencia de microorganismos. Por su parte, la Agencia Internacional de Protección Ambiental (EPA) de Estados Unidos recomendó mantener un nivel de humedad entre el 30% y el 50%. Además Fuentes (2002), considera que una humedad relativa del 30% al 70% es necesaria para lograr un confort térmico en una vivienda ubicada en zonas tropicales.

En la ciudad de Tena la humedad relativa promedio es de 91,74%, cuyo valor se encuentra fuera de la zona de confort (30-70%). Los resultados de la humedad relativa exceden los niveles de confort establecidos, lo que significa un problema para la infraestructura y confort interno en las viviendas.

Velocidad y dirección del viento

El movimiento del aire se produce por la diferencia de la presión atmosférica, es decir, las variaciones de temperatura producen una diferencia de densidades en la atmósfera. Siendo estrecho el rango de temperatura, el movimiento del aire también es limitado, evitando el enfriamiento de los espacios al interior de las viviendas (Calleja, 1998).

Fuentes (2002), indica que la velocidad del viento óptima para generar confort en espacios interiores oscila entre 0,1 y 1,5 m/s, mientras que en espacios semiabiertos se sitúa entre 0,1 y 2 m/s. Velocidades superiores a este rango se consideran vientos fuertes, mientras que velocidades inferiores se consideran escasas. Por otro lado Calleja (1998), sugiere

que velocidades menores a 0,5 m/s son más satisfactorias para los usuarios dentro de las viviendas.

En la zona de estudio, en sitios exteriores la velocidad del viento se encuentra en rangos comprendidos entre 0,42 y 0,5 m/s y un promedio de 0,46 m/s (Figura 4D). Y la dirección del viento proviene principalmente del oeste-noroeste.

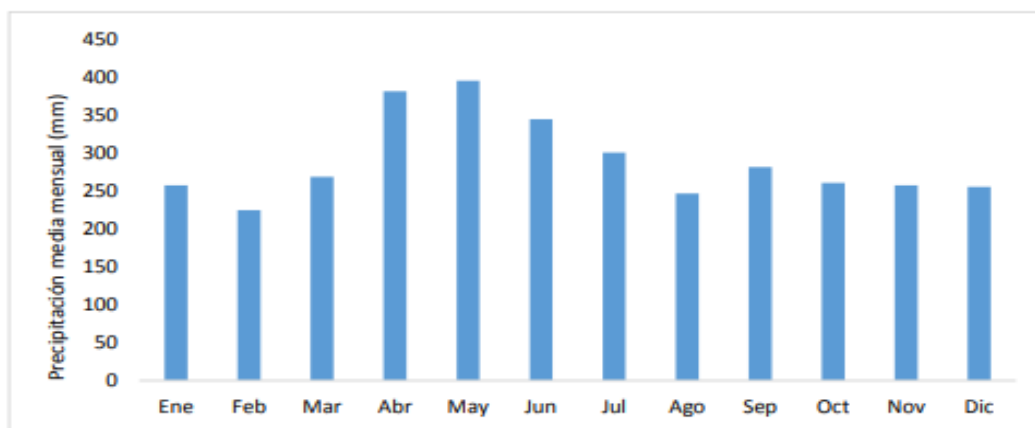
Los valores de velocidad del viento en Tena se encuentran dentro del margen de confort recomendado por Fuentes (2002) y Calleja (1998). Por lo tanto, se aplicarían estrategias de ventilación únicamente para disminuir la humedad y temperatura al interior de las viviendas. En referencia a la dirección del viento es necesario que la orientación de la infraestructura sea norte-oeste para maximizar la entrada del aire al interior.

Precipitación

Las máximas precipitaciones se registraron en los meses de abril, mayo, junio y julio. Sin embargo, la pluviometría es relativamente alta durante todo el año (figura 5). En la ciudad de Tena, el promedio mensual de precipitación fue de 275 mm. En los meses secos: diciembre, enero y febrero, el promedio mínimo de precipitación fue de 219 mm (INEC, 2010). El promedio mensual de la precipitación es de 398,25 mm registrada en la estación Ikiam.

Figura 5

Precipitación media mensual (1991-2015)



La ciudad del Tena se caracteriza por estar en un piso mega térmico lluvioso, cuya precipitación anual se encuentra entre 3000 a 6000 mm. El registro histórico desde 1991 a 2015 de la precipitación anual en ciudad de Tena está por encima de los 3000 mm en todos los años a excepción de 1991, 1992 y 1993. Los meses de máxima precipitación (>300 mm) corresponden a abril, mayo y junio; mientras que la mínima se observa en los meses de febrero y agosto con una precipitación menor a 250 mm.

La precipitación es una variable que influye indirectamente en el confort térmico, ya que al incrementar la precipitación incrementa la evaporación y transpiración debido a las altas temperaturas. Sin embargo, no se establece un límite de confort como tal, pero fue considerado en el presente estudio, porque el cantón Tena al estar ubicado en un clima mega térmico lluvioso, las estrategias bioclimáticas pasivas deben considerar la dirección del viento y la intensidad de la lluvia, ya que la precipitación sobre la vivienda afecta la vida útil del material.

Herramientas bioclimáticas pasivas

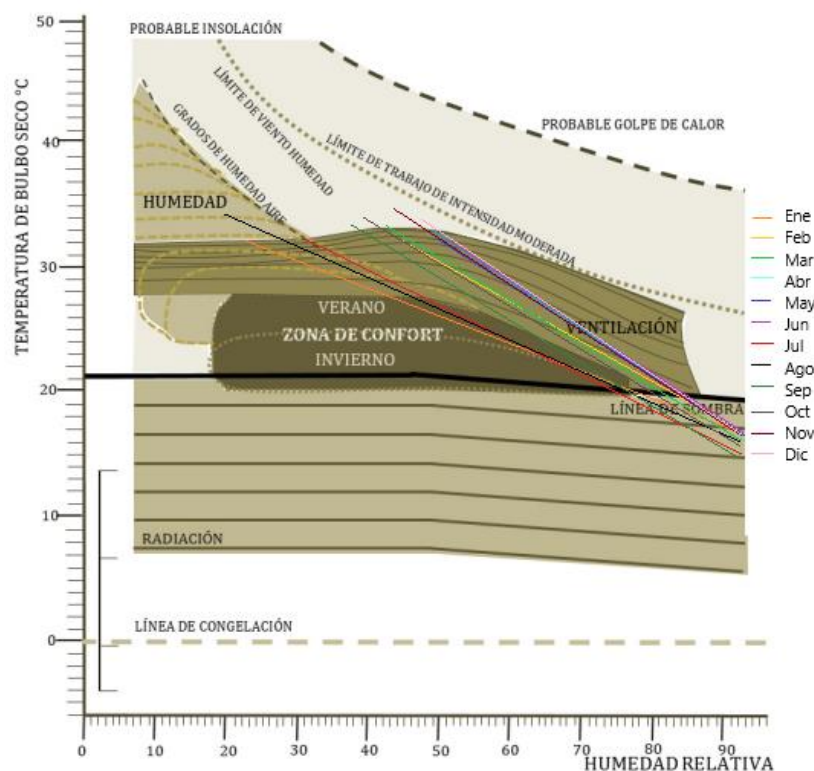
Carta bioclimática de Olgay

Olgay (1973), propone una metodología de diseño climático que prioriza el análisis de variables climáticas, biológicas y tecnológicas antes de lograr viviendas climáticamente balanceadas.

Utilizando los datos de la tabla 1, se representan en la figura 6 dos puntos de la recta que corresponden a la temperatura máxima y humedad relativa mínima, así como a la temperatura mínima y humedad relativa máxima de cada mes.

Figura 6

Carta Bioclimática de Olgay con información mensual del sitio de estudio



Fuente: Piña (2019)

La figura 6, muestra que los únicos meses que alcanzan la zona de confort son los correspondientes a enero, julio y septiembre; mientras que los demás meses requieren una estrategia bioclimática de ventilación para alcanzar el confort térmico. A través de la ventilación, se podría mantener la humedad interior de la vivienda en un nivel adecuado para lograr un ambiente cómodo. Además, se nota que en todos los meses la línea de sombra es sobrepasada, lo que sugiere la necesidad de incluir vegetación o elementos de sombreado para disipar la radiación solar directa e indirecta y reducir el exceso de calor.

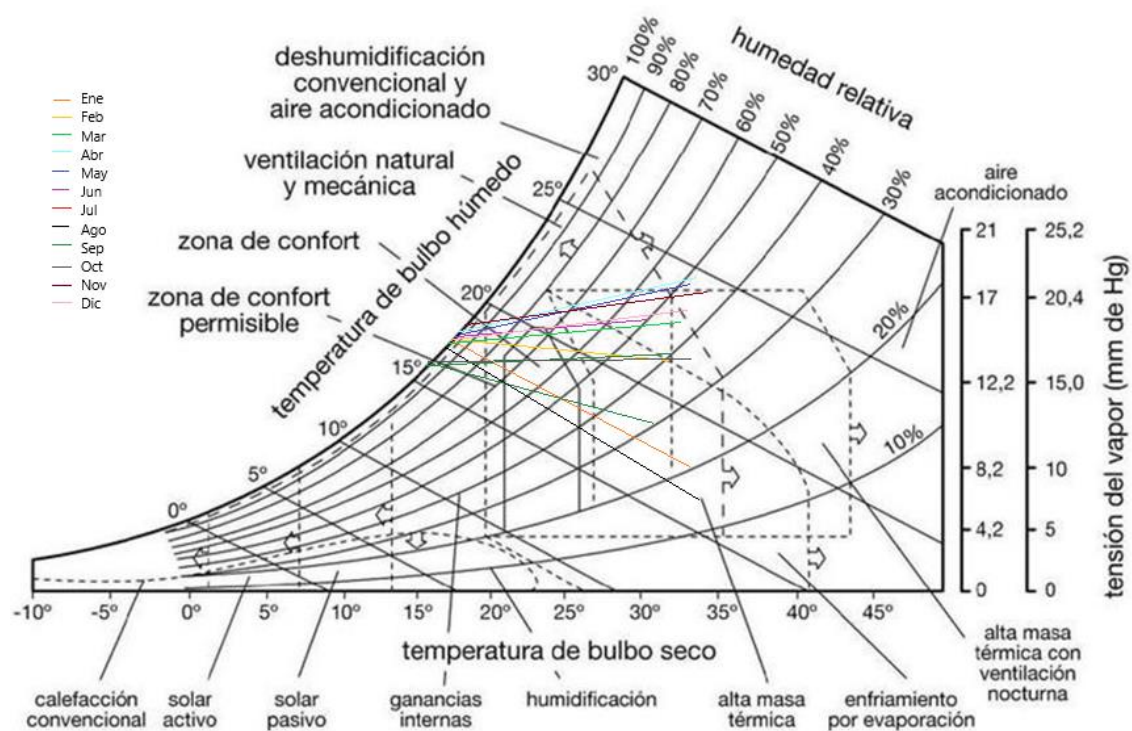
Carta Psicométrica

La Carta Bioclimática establecida por Givoni (1992), es una de las herramientas más comunes para definir las zonas de confort y proponer diversas estrategias de diseño. Su enfoque se centra en la relación entre la temperatura del aire y la humedad relativa, al igual que la Carta Bioclimática de Olgyay.

Según los resultados presentados en la figura 7, se evidencia la necesidad de emplear técnicas de diseño pasivas para asegurar una ventilación natural constante a lo largo del año. No obstante, se observa que en los meses de enero, agosto y septiembre se logra un ambiente de confort térmico sin la necesidad de utilizar estas estrategias.

Figura 7

Carta psicométrica del sitio de estudio



Fuente: Fuentes (2002)

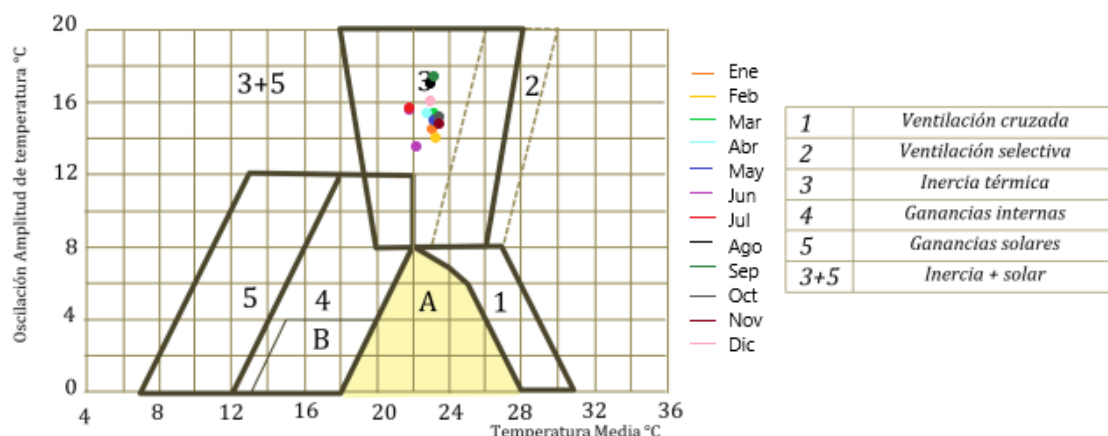
Triángulos de Confort

Técnica establecida por John Martín Evans para analizar el diseño de acuerdo con la amplitud térmica, tomando en cuenta las temperaturas máxima, media y mínima mensuales. La figura 8 presenta un plano en el que se representa la temperatura media en el eje horizontal y la diferencia entre la temperatura máxima y mínima en el eje vertical.

Los resultados muestran que todos los meses del año se encuentran en la zona C, por lo tanto, es necesario tener la inercia térmica dentro de la vivienda, esto consiste en el tipo de material o a la circulación interna del aire y enfriamiento de los ambientes internos (figura 8).

Figura 8

Triángulos de Confort



Fuente: Piña (2019)

Estrategias bioclimáticas pasivas para un clima mega térmico lluvioso

Los resultados obtenidos de las herramientas bioclimáticas indican que, dada la ubicación del sitio de estudio con altas temperaturas, humedad y precipitaciones, es imprescindible utilizar técnicas pasivas de diseño, como la ventilación natural, la sombra proporcionada por la vegetación y la utilización de materiales con alta inercia térmica para reducir la humedad interior y garantizar la comodidad de los usuarios. En la tabla 2, se representan los principales hallazgos en las herramientas bioclimáticas pasivas.

Tabla 2*Principales resultados de las herramientas bioclimáticas*

Herramienta bioclimática	Resultados	Estrategia bioclimática
Carta bioclimática de Olygay	Se requiere de diseños que proporcionen ventilación adecuada para lograr niveles de confort dentro de la vivienda.	Ventilación
Carta Psicométrica	Es necesario reducir los niveles de humedad y aumentar la ventilación natural.	Deshumidificación Generación de sombra
Triángulos de confort	Se debe tener en cuenta el flujo de aire interno y la refrigeración de los espacios interiores de las viviendas. Es importante mantener la capacidad de la vivienda para retener y liberar calor de manera gradual, es decir, su inercia térmica.	Inercia térmica

A continuación, en la tabla 3 se presentan las principales estrategias de diseño para el clima mega térmico lluvioso a partir de estudios bibliográficos con similares características climáticas a la ciudad del Tena.

Tabla 3*Estrategias bioclimáticas aplicadas en un piso climático mega térmico lluvioso*

Herramienta bioclimática	Recomendaciones de diseño	Características	Fuente
Ventilación y deshumidificar	Ventanas como sistemas de ventilación	- Ventanas orientadas hacia un espacio exterior con el propósito de permitir la entrada de luz y ventilación.	Vidal et al., 2010
		- Permite establecer una conexión física o visual entre el interior y el exterior mediante la apertura de las ventanas.	
	Patios	- Se refiere a zonas de la vivienda que regulan el clima y al mismo tiempo permiten el paso de luz y aire fresco al interior.	Duran, 2013
	Ventilación por medio de la cubierta	- La acumulación de calor en las cubiertas provoca la elevación de la temperatura del aire, lo que a su vez genera una zona de baja presión. Si se abre una abertura en la cubierta, el aire caliente interior se elevará.	Macias & Benito, 2014
	Ventilación cruzada	- Se logra la circulación de aire al colocar aberturas en fachadas opuestas, permitiendo que el aire fresco ingrese por una fachada ventilada para enfriar el ambiente, mientras que el aire caliente sale por la fachada opuesta.	Piña, 2019

Tabla 3

Estrategias bioclimáticas aplicadas en un piso climático mega térmico lluvioso (continuación)

Herramienta bioclimática	Recomendaciones de diseño	- Características	Fuente
Generación de sombra	Celosías	- Se refiere a un elemento que permite el paso del viento, pero no de los rayos solares directos hacia el interior de la vivienda, y además evita la entrada de lluvia.	Duran, 2013
	Vegetación	- Plantar árboles frondosos puede ser beneficioso para crear espacios verdes que reduzcan la exposición a la radiación indirecta y faciliten el flujo de vientos canalizados. - Los techos verdes tienen la capacidad de reducir la radiación indirecta al disipar el calor acumulado en la superficie verde.	Molillón, 2006; Rayter, 2008
	Cubiertas	- Cubrir la parte superior de la ventana para generar sombra y proteger de las precipitaciones intensas.	Molillón, 2006
Inercia térmica	Uso de materiales	- El uso de materiales como agua, hormigón y piedras naturales ayuda a mantener la frescura del ambiente durante el día y una temperatura templada durante la noche. - Paredes o material de construcción con baja capacidad de transferir el calor a través de ellas.	Piña, 2019

Olgay (1973) y Molillón (2006), expertos en el tema, han establecido criterios y recomendaciones de diseño basados en el tipo de clima. Según los resultados obtenidos la ciudad de Tena correspondería a una región cálida húmedo, presente en la zona subtropical con altas temperaturas, humedad relativa y frecuentes precipitaciones durante todo el año, para lo cual en la tabla 4, se presentan las recomendaciones de diseño de una vivienda en regiones cálidas-húmedas.

Tabla 4

Criterios de diseño de una vivienda utilizando criterios bioclimáticos

Factor	Recomendación de diseño bioclimática
Distribución	- En caso de tener sombra, se recomienda una disposición interior de planta abierta para permitir la circulación del aire. - Evitar zonas de concreto. - Mallas protectoras contra insectos.

Tabla 4
Criterios de diseño de una vivienda utilizando criterios bioclimáticos (continuación)

Factor	Recomendación de diseño bioclimática
Distribución	<ul style="list-style-type: none"> - Aislar y ventilar las áreas que puedan generar humedad o calor, alejándolas de la estructura principal. - Regular el nivel de humedad e insectos en áreas de almacenamiento
Forma y volumen	<ul style="list-style-type: none"> - Diseños alargados y de formas libres. - La proporción ideal es de 1:1,7, aunque una proporción de 1:3 en el eje este-oeste también es aceptable.
Orientación	<ul style="list-style-type: none"> - Orientación Norte-Sur con los ejes más largos orientados en dirección Este-Oeste.
Interior	<ul style="list-style-type: none"> - Áreas interiores con sombra y ventilación. - Áreas versátiles o polivalentes separadas por paneles móviles o paredes de baja altura. - Ventilación en dirección este-oeste en las áreas de actividad durante el día. - Área de protección en caso de eventos naturales catastróficos (intensidad de lluvia)
Color	<ul style="list-style-type: none"> - Colores de tonalidades suaves y reflectantes
Localización de los espacios	<ul style="list-style-type: none"> - La sala, comedor y habitaciones deben estar orientados hacia el sureste. - El armario, la cocina, los baños y las áreas de circulación deben estar orientados hacia el noroeste.
Elevación	<ul style="list-style-type: none"> - Se recomienda una ubicación lo más elevada posible para aprovechar la exposición a los vientos y reducir la temperatura y la humedad excesiva.
Control solar	<ul style="list-style-type: none"> - Construir una fachada con aleros para proteger del sol y la lluvia. - Ubicar entradas, pórticos o balcones en las fachadas para permitir la entrada del viento - Se deben plantar arbustos para regular la incidencia de la radiación, pero sin obstruir la circulación del viento. - Construcciones que proporcionen sombra y fomenten la circulación de aire. - Proporcionar protección solar en las áreas expuestas, especialmente en los techos y fachadas orientadas hacia el este y el oeste.
Ventilación	<ul style="list-style-type: none"> - Se puede construir de forma unilateral en cualquier orientación - Se debe garantizar una ventilación cruzada instalando ventanas en ambos lados de la edificación para aprovechar los vientos predominantes - Es necesario canalizar la circulación de los vientos en los diferentes espacios.
Ventanas	<ul style="list-style-type: none"> - Instalar ventadas de la mayor dimensión posible para permitir la máxima entrada de viento. - Se recomienda que el área de la ventana de salida sea un 25 % del tamaño de la ventana de entrada. - La altura de la ventana dependiendo del piso. - Ubicar las aberturas de ventilación a nivel de los ocupantes en la parte media-baja de los muros. - Utilizar ventanas que puedan abrirse de forma abatible, corrediza con protección o persianas. - Protección de Mosquitos

Fuente: Olgay (1973), Molillón (2006) y Austin et al. (2020)

Estrategias recomendadas para la ciudad de Tena

En relación con cada elemento del clima, es necesario disminuir la temperatura, radiación y humedad relativa se encuentran fuera del rango de confort, por lo tanto, es necesario

establecer estrategias bioclimáticas pasivas. Referente a la velocidad y dirección del viento, se encuentra dentro del confort, por lo tanto, sería una variable estratégica que ayudaría a mantener en el límite a los elementos climáticos mencionados anteriormente. Mientras que, en relación con la precipitación, se debe considerar para que cada una de las estrategias recomendadas sea viable, puesto que este parámetro juega un rol muy importante en la vida útil del material de la vivienda.

En el análisis de las herramientas bioclimáticas con las distintas cartas, se deduce que se requiere de ventilación natural, generación de sombra e inercia térmica durante todos los meses en la ciudad de Tena. Según Zoure & Genovese (2022), el uso de solo una técnica pasiva no garantiza un confort térmico óptimo y reducción de energía a lo largo del año. Zoure & Genovese (2022), exponen que el uso combinado de estrategias disminuye en un 69% las horas de incomodidad y el consumo anual de energía en un 43%.

Es así que se recomiendan diferentes estrategias ya expuestas, estos criterios nos permiten modificar la temperatura y humedad en el interior de la vivienda a través de la orientación, forma geométrica, protección solar y de la lluvia, techos ventilados, ventanas, etc., con el objetivo de reducir el consumo de energía y minimizar impactos al medio ambiente, mientras mejora la calidad del ambiente interior logrando una mayor sensación de frescor para los usuarios dentro de las viviendas en la ciudad de Tena. La tabla 5, realizada con base a la tabla 3 y 4, se presentan las estrategias bioclimáticas priorizadas y más factibles para la ciudad de Tena, considerando el factor medio ambiental, económico, social y cultural.

Tabla 5

Análisis bioclimáticos para el diseño de construcción en la ciudad de Tena


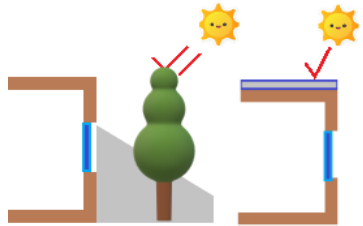
Elementos	Recomendaciones	Representación gráfica
Orientación y forma	Norte-Sur, donde se presentan los vientos predominantes. La disposición de la edificación se extiende de Este a Oeste para permitir la entrada cruzada del viento.	
Protección solar y lluvia	Se propone el uso de vegetación para proporcionar sombra a las ventanas y paredes y se debe tener en cuenta que éstas deben permitir la circulación del aire. Sombreado del techo que protege contra la radiación solar directa e indirecta.	

Tabla 5

Análisis bioclimáticos para el diseño de construcción en la ciudad de Tena (continuación)

Elementos	Recomendaciones	Representación gráfica
Protección solar y lluvia	<p>Se propone la utilización de una cubierta ventilada y reflectante para evitar la acumulación de calor en el interior de la edificación.</p> <p>Se recomienda tener en cuenta la dirección y la intensidad de la lluvia.</p>	
Ventanas	<p>Instalación de entradas y salidas de aire.</p> <p>La ventana de entrada de aire debe ser lo suficientemente grande para permitir una mayor cantidad de viento (50-80%) y la ventana de extracción debe representar el 25% del tamaño total de la abertura.</p> <p>Ventilación cruzada.</p> <p>Considerar la dirección e intensidad de la precipitación.</p>	
Materiales	<p>Paredes y suelos exteriores con materiales ligeros. Inercia térmica.</p> <p>Fachadas con colores vivos.</p> <p>Bajo aislamiento de los materiales.</p>	
Patios o corredores	<p>Ventilación natural</p> <p>Considerar la dirección e intensidad de la precipitación.</p>	

Conclusiones

- Al analizar la climatología del cantón Tena, se puede concluir que las altas temperaturas (22,75°C), la intensa radiación solar (185 W/m2), elevada humedad relativa (91,74%) y alta precipitación (>300 mm) son características de un clima

mega térmico lluvioso, variables que influyen en el confort térmico y vida útil de los materiales.

- La construcción de viviendas en la ciudad de Tena requiere de la incorporación de las principales estrategias bioclimáticas pasivas para disminuir la temperatura y humedad al interior durante todos los meses del año. El objetivo de las estrategias propuestas es incrementar la ventilación natural, generar sombra y disminuir el uso de material conductor térmico, para lo cual las recomendaciones están relacionadas a: 1) la orientación y forma de la vivienda; 2) protección solar y lluvia utilizando sombreado en el techo o cubierta ventilada y reflectante para evitar la acumulación de calor en el interior; 3) ventanas que permitan el paso del viento; y 4) utilización de material constructivo ligero o de alta inercia térmica.
- Las recomendaciones bioclimáticas planteadas contienen un conocimiento suficiente de las variables climáticas para que los arquitectos puedan utilizar eficientemente las condiciones naturales y así intentar reducir la demanda de energía tanto como sea posible en función del clima preservando el confort térmico en el interior de las viviendas.

Conflicto de intereses

No existe conflicto de interés entre los autores

Referencias Bibliográficas

- Araujo, G., & Robalino-López, A. (2018). Eco-innovación en el Sector Residencial Ecuatoriano. *Visus - Revista Politécnica de Desarrollo e Innovación*, 1(3), 22. <https://hdl.handle.net/20.500.13048/1872>
- Araujo, G., & Robalino, A. (2019). Aportes desde el enfoque analítico: Consumo energético del sector residencial del Ecuador. Escuela Politécnica Nacional, 2019: XVIII Congreso Latino-Iberoamericano de Gestión Tecnológica. <https://hdl.handle.net/20.500.13048/1872>
- Asamblea Nacional Constituyente. (2008). Constitución de la República del Ecuador, 140. <https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>
- ARCONEL & MEER. (2013). Plan Maestro de Electrificación 2013-2022. *Aspectos de Sustentabilidad y Sostenibilidad Social y Ambiental*, 53(9), 1689–1699. <https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>
- Austin, M. C., Castillo, M., Da Silva, Á. D. M., & Mora, D. (2020). Numerical assessment of bioclimatic architecture strategies for buildings design in tropical climates: A case of study in Panama. *In E3S web of conferences (Vol. 197, p. 02006)*. EDP Sciences. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202019702006>

- Bhamare, D. K., Rathod, M. K., & Banerjee, J. (2020). Evaluation of cooling potential of passive strategies using bioclimatic approach for different Indian climatic zones. *Journal of Building Engineering*, 31(March), 101356. <https://doi.org/10.1016/j.jobe.2020.101356>
- Calleja, A. H. (1998). NTP 501: Ambiente térmico: inconfort térmico local. Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo (INSHT). <http://www.preventoronline.com/imagesbd/down/attach1143.pdf>.
- Duran, A., (2013). Adecuación bioclimática a viviendas en el trópico caribeño: el caso de la República Dominicana. <http://hdl.handle.net/10251/27669>.
<http://hdl.handle.net/10251/27669>.
- Franco, B. (2016). Variables climatológicas y los elementos constructivos y paisajísticos. <https://www.columbia.edu.py/presencial/arquitectura/investigacion/articulos-deinvestigacion/224-variables-climatologicas-y-los-elementos-constructivos-y-paisajisticos>
- Fuentes Freixanet, V. A. (2002). Metodología de diseño bioclimático: el análisis climático (Tesis de Maestría, Universidad Autónoma Metropolitana (México). Unidad Azcapotzalco. Coordinación de Servicios de Información.). <http://hdl.handle.net/11191/5605>
- Garzón, B, (2007). *Arquitectura Bioclimática*. Buenos Aires, Argentina: Bibliográfica de Moros. *Arquitectura bioclimática - Google Libros*
- Givoni, B. (1992). *Comfort, climate analysis and building design guidelines*. Energy Build. [http://dx.doi.org/10.1016/0378-7788\(92\)90047-K](http://dx.doi.org/10.1016/0378-7788(92)90047-K)
- Gobierno Autónomo Descentralizado de Tena [GADM-TENA]. (2014). *Pan de desarrollo y ordenamiento territorial del cantón Tena*.
- Instituto Nacional de Estadísticas y Censos [INEC]. (2012). Principales Resultados: Encuesta Nacional de Ingresos y Gastos de Hogares Urbanos y Rurales ENIGHUR 2011-2012. <http://www.ecuadorencifras.gob.ec/banco-de-informacion/>
- Instituto Nacional de Estadísticas y Censos [INEC]. (2010). *Censo en el cantón Tena*.
- Jaramillo, R. A. (2009). *Edificaciones con sistema constructivo de adobe: determinación del cálculo térmico para viviendas en la ciudad de Loja-Ecuador*. TEA Ediciones. <http://132.248.9.195/ptd2009/febrero/0640089/Index.html>

- Macias, M., & Benito, S. (2014). *Arquitectura Bioclimática: Conceptos y técnicas*.
<https://ecohabitar.org/arquitectura-bioclimatica-conceptos-y-tecnicas/>
- Ministerio del Ambiente [MAE]. (2008). <http://www.ambiente.gob.ec/mae-sensibiliza-600-guardianes-del-planeta-sobre-la-conservacion-del-agua-en-napo/dsc05636>
- Molillón, D. (2006). *Edificios bioclimáticos en México: Acciones, programas y proyectos para la vivienda de interés social. Los edificios bioclimáticos en los países de Ibero América*. <https://doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2006.01.027>
- Olgay, V. (1973). *Design With Climate*. Princeton University Press. U.S.A. pp. 10-13.
<https://doi.org/10.1515/9781400873685>
- Pourrut, P. (1983). *Los climas del Ecuador: fundamentos explicativos*. In *Centro Ecuatoriano de Investigaciones Geográficas* (pp. 7–41).
http://horizon.documentation.ird.fr/exl-doc/pleins_textes/divers11-10/21848.pdf
- Piña, D. A. (2019). *Recomendaciones bioclimáticas de diseño arquitectónico en vivienda unifamiliar clima mega térmico lluvioso, parroquia Huamboya, provincia Morona Santiago*. Universidad Católica de Cuenca.
<https://dspace.ucacue.edu.ec/handle/ucacue/1674>
- Rayter. (2008). *Guía de aplicación de arquitectura bioclimática en locales educativos*. Lima, Perú. <https://docplayer.es/28765481-Guia-de-aplicacion-de-arquitectura-bioclimatica-en-locales-educativos.html> ARQUITECTURA BIOCLIMÁTICA EN LOCALES EDUCATIVOS - PDF Descargar libre (docplayer.es)
- Simancas, K. C. (2003). *Reacondicionamiento bioclimático de viviendas de segunda residencia en clima mediterráneo*. Universitat Politècnica de Catalunya.
<http://hdl.handle.net/2117/93425>
- Vidal, C., Rico, L., & Vásquez, F. (2010). *Diseño de un modelo de vivienda bioclimática y sostenible*. 0–134. Doi:10.5377/entorno.v0i49.6974
- Wendy, M. (2006). *Influencia de los factores climatológicos en el diseño de la vivienda urbana ubicada en climas extremos*.
<http://recursosbiblio.url.edu.gt/publilppm/2014/Tesis/2006/03/06/Sagastume-Wendy.pdf>
- Zoure, A. N., & Genovese, P. V. (2022). *Development of Bioclimatic Passive Designs for Office Building in Burkina Faso*. *Sustainability*, 14(7), 4332.
<https://doi.org/10.3390/su14074332>

Agradecimientos

El presente artículo es parte del trabajo de investigación y titulación del Programa de Maestría en Construcción con Mención en Administración de la Construcción Sustentable de la Universidad Católica de Cuenca, por ello agradecemos a todos y cada uno de los instructores pertenecientes a los grupos de investigación; Ciudad, Ambiente y Tecnología (CAT), y sistemas embebidos.

El artículo que se publica es de exclusiva responsabilidad de los autores y no necesariamente reflejan el pensamiento de la **Revista Ciencia Digital**.



El artículo queda en propiedad de la revista y, por tanto, su publicación parcial y/o total en otro medio tiene que ser autorizado por el director de la **Revista Ciencia Digital**.



Indexaciones



El, Dr.C. Efraín Velasteguí López. PhD. Director y editor de la revista electrónica “**Ciencia Digital**”, (ISSN 2602-8085) alojada en <http://www.cienciadigital.org>

ACREDITA QUE:

El artículo “**Recomendaciones para la aplicación de estrategias bioclimáticas pasivas en un clima mega térmico lluvioso, Tena-Ecuador**” evaluado por pares ciegos (doble-blind), que consta de 22 páginas en formato PDF, cuyos autores son: Katia Margarita Carrión Atiaja., Juan-Carlos Ortega-Castro., & Beatriz Rivela Carballal. , ha sido aceptado para su publicación en el Vol 7 Num 2. **Optimización & Eficiencia**, de Abril - Junio 2023.

<http://www.cienciadigital.org>

Lo que se hace constar en Ambato 4 de abril de 2023

El Director



Fdo.: Efraín Velasteguí López

