ESTUDIO CLIMÁTICO DE VILCALLAMAS ARRIBA Y ANÁLISIS DE INDICADORES BIOCLIMÁTICOS DE APLICACIÓN POTENCIAL

Leonid Machuca, leonidmachuca@uni.pe
Jessica Molina, jmolinac@uni.pe
Rafael Espinoza, respinoza@uni.edu.pe
FC-UNI, CER-UNI

Resumen. *El Confort Térmico puede entendérselo como un estado personal de estar bien en el ambiente que uno habita y uno de los factores medibles que lo determinan es la temperatura de dicho ambiente, necesaria para el cálculo de la temperatura radiante interpretada como aquella que el ser humano siente y determina su comodidad. La temperatura del ambiente que determina indirectamente el confort térmico de una persona en el lugar en que se encuentre, conjuntamente con la humedad relativa del ambiente de ese lugar, se constituyen en los parámetros medibles y controlables más representativos del proceso a seguir con el fin de obtener ambientes térmicamente confortables y son muy dependientes de las características del clima del lugar geográfico en donde se encuentre la persona y existen los llamados indicadores bioclimáticos que nos informan sobre los valores de la temperatura y de la humedad relativa del ambiente que le proporcionaría confort a la persona humana. En este contexto, en el presente trabajo se presenta los resultados de un estudio climático hecho para la comunidad Vilcallamas Arriba (4500 msnm) del distrito Pizacoma, Chucuito, Puno, sobre la base de su ubicación geográfica, datos climáticos medidos durante un año (2009) y la aplicación de técnicas existentes para determinar la temperatura y humedad relativa requeridas para el confort térmico de un ambiente dentro de rangos de valores determinados aplicando dichas técnicas.*

Palabras clave: *Estudio climático, indicadores bioclimáticos.*

1. DESCRIPCIÓN DE VILCALLAMAS ARRIBA

Vilcallamas Arriba se ubica en el departamento de Puno, provincia Chucuito, distrito de Pisacoma con latitud 16.58°S, longitud 70.51°O y altitud de 4500 msnm.

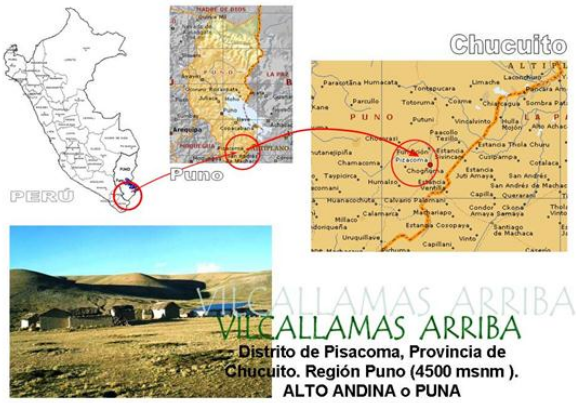


Figura 1. Mapa de ubicación de Vilcallamas Arriba, latitud 16.58°S y longitud 70.51°O.

- Vilcallamas Arriba es un comunidad de un tamaño aproximado a 6 000 hectáreas y 300 habitantes que conforman 50 familias, cada una de las cuales es propietaria de una parcela de 5 a 100 Ha de magnitud.
- La ubicación de las viviendas es altamente dispersa, no se encuentra más de 4 ó 5 viviendas con algunos metros de separación entre ellas. En realidad no existen viviendas de familias diferentes físicamente colindantes, es decir, que algunos de sus muros estén uno al lado del otro.
- La distancia entre viviendas o pequeños grupos de ella es, en la mayoría de casos, mayor a un kilómetro.
- En esta comunidad se instaló uno de los 130 sistemas de energía del programa EUROSOLAR y, a la fecha, ya ha sido electrificada por extensión de la red pública, constituyéndose por ello en una comunidad con notable infraestructura energética.
- Es una comunidad mayormente poblada por gente de la tercera edad y por niños. Los jóvenes han emigrado a otros lugares más atractivos para ellos, o, tal vez, menos agresivos.

2. DATA CLIMÁTICA DE VILCALLAMAS ARRIBA (VA).

Para el análisis de los parámetros de temperatura, humedad relativa, precipitación pluvial y viento, se recopilaron los datos en el año 2009 en la localidad de Vilcallamas Arriba.

3. ASPECTOS TEÓRICOS

3.1. Movimiento de la tierra y Movimiento aparente del sol

Para determinar una ubicación sobre la superficie terrestre es necesario contar con tres puntos geográficos: la latitud, longitud y altitud del lugar.

La **latitud** (θ) se mide por su elevación en grados respecto al ecuador, considerando el polo norte como θ =90º N. Por convención, se toman valores positivos para el hemisferio norte y negativos para el sur.

La **longitud** es el ángulo que forma el meridiano del lugar con el meridiano 0º de referencia que pasa por Greenwich (Londres).

Para conocer cual es la posición del sol en cada momento es necesario y suficiente conocer las coordenadas que la definen. Existe dos sistemas de referencia: el sistema de coordenadas angulares (declinación y ángulo horario) y el sistema de coordenadas horizontales (altura o elevación solar y azimut).

La **Declinación (δ)** es el ángulo que forman el vector tierra-sol y el plano ecuatorial, debido a la inclinación del eje de la tierra. La declinación es función de la fecha, siendo máxima en el solsticio de verano δ = +23.45º, nula en los equinoccios δ = 0º, y mínima en el solsticio de invierno δ = -23.45º. La declinación está determinada por la Ec. 1, donde n es el número del día del año.

$$\delta = 23.45° \times \mathrm{sen}(2\pi \frac{n+284}{365}) \tag{1}$$

El **ángulo horario (ω)** es el formado entre la posición del sol a la hora considerada y su posición al mediodía, medido sobre el círculo de su órbita. El sol recorre 15º cada hora, con ángulos positivos antes del mediodía y negativos después del mediodía, en el hemisferio sur. Para determinar el ángulo horario se usa la Ec. 2, donde t es la hora solar.

$$\omega = 15°(12 - t) \tag{2}$$

La **salida del sol** ($\boldsymbol{\omega_s}$), ángulo horario cuando el ángulo de elevación es igual a cero, determinan con la Ec. 3. La puesta del sol u ocaso ($\boldsymbol{\omega_o}$), es opuesto a la salida del sol ($\boldsymbol{-\omega_s}$).

$$\omega_s = \arccos(-\tan\delta . \tan\theta) \tag{3}$$

La **altura** o **elevación solar** (α) es el ángulo medido verticalmente entre el sol y el plano del horizonte. La altura es 0º en la salida y puesta del sol, mientras el máximo se presenta al medio día solar.

$$\boldsymbol{\alpha = \mathrm{arcsen}(\mathrm{sen}\theta . \mathrm{sen}\delta + \cos\theta . \cos\delta . \cos\omega)} \tag{4}$$

El **azimut** (a) es el ángulo medido en el plano horizontal entre la línea del norte y la proyección de la línea que demarca la posición del sol sobre el plano horizontal. Su origen se encuentra mirando hacia el Norte en el hemisferio Sur contándose como positivo hacia el Este (sentido horario).

$$\cos a = \frac{\mathrm{sen}\alpha . sen\theta - \mathrm{sen}\delta}{\cos\alpha . \cos\theta} \tag{5}$$

3.2. Carta Solar Estereográfica

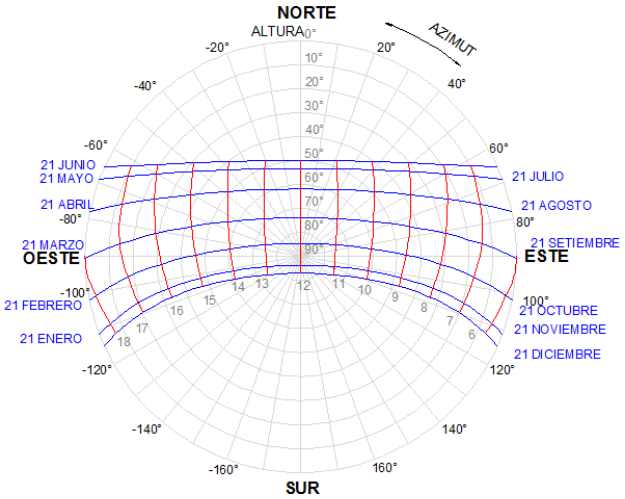


Figura 2. Carta solar estereográfica de Vilcallamas Arriba. Latitud 16.58°S y longitud 70.51°O.

La Carta Solar Estereográfica es una representación en planta de la cúpula del cielo con los recorridos solares, que permite una lectura bastante directa de la posición del sol, es de gran utilidad para el estudio de espacios abiertos

exteriores. Esta carta solar varía con la latitud del lugar.

En la Fig. 2, se tiene la carta solar estereográfica de VA, las curvas horizontales (líneas azules) muestran los recorridos solares de los días del año, las curvas verticales corresponden a las horas solares, desde el amanecer (este) al ocaso (oeste), y con el mediodía solar (12:00) coincide con la línea Norte-Sur. Para leer la Altura solar se mide directamente la posición del sol (fecha y hora) en los círculos concéntricos, mientras que para leer el Azimut hay que trazar una línea desde el centro hasta la posición del sol y prolongarla hasta el círculo graduado exterior. Se observa que la mayor parte del año el sol se ubica hacia el norte de la localidad.

4. ESTUDIO CLIMÁTICO INTEGRAL DE VA

4.1. Radiación Solar

La intensidad de la radiación solar sobre una superficie normal a ella, fuera de la atmósfera y a la distancia media de la tierra al sol se define como la constante solar Gcs, el valor comúnmente aceptado de la constante solar es 1353 W/m^2.

La radiación solar extraterrestre que le llega a la tierra (Gon) para cualquier día del año (n) se puede estimar mediante la Ec. 6. Además, la radiación horaria extraterrestre horizontal (Ho) se encuentra a partir de la Ec. 7.

$$\mathbf{G_{on} = G_{cs}.\left[1 - 0.0335.sen(2\pi\frac{n}{365})\right]} \tag{6}$$

$$\mathbf{H_o = G_{on}.[sen\delta.sen\,\theta + cos\delta.cos\theta.cos\,\omega\,]} \tag{7}$$

Para hallar la radiación global horizontal horaria (Gohhora) es necesario contar con el índice de claridad (K). El índice de claridad medio mensual es el cociente entre el promedio mensual de radiación diaria en una superficie horizontal (Goh) y el promedio mensual diario de radiación extraterrestre (Ec. 9). Existen numerosos modelos para la estimación de la radiación difusa media mensual en relación con la total en función de K medio mensual. Para el cálculo del coeficiente de incidencia de la radiación difusa (Hd) se toma la correlación de Liu y Jordan (Ec. 10)

$$\mathbf{Goh_{hora} = K.H_o} \tag{8}$$

$$\mathbf{K = \frac{Goh_{día}}{\sum H_o}} \tag{9}$$

$$\mathbf{Hd = 1.09 - 4.0273K + 5.541.K^2 - 3.108K^3} \tag{10}$$

La radiación difusa horizontal horaria (Doh hora), la radiación directa horizontal (Soh) y la radiación difusa horaria vertical (Dov) se determinan con las ecuaciones 11, 12 y 13 respectivamente. El coeficiente de albedo (σ): 0.18 a 0.25 en césped y prados; 0.55 en concreto; 0.20 en campos; 0.80 a 0.90 nieve recién caída. Se toma un albedo de 0.15 a 0.20 para un plano vertical.

$$\mathbf{Doh_{hora} = Goh_{hora}\,.Hd} \tag{11}$$

$$\mathbf{Soh = Goh - Doh} \tag{12}$$

$$\mathbf{Dov = 0.5.[Doh + \sigma \times Goh]} \tag{13}$$

Para una superficie con una inclinación (β) y una orientación (Ψ) arbitraria la radiación que incide se muestra en la Ec. 14. Donde α es el ángulo de elevación del sol y "a" es el ángulo acimutal solar. Un módulo acostado en el suelo tiene β = 0 ° y un módulo vertical β = 90 °. El ángulo de azimut del colector (Ψ), para el hemisferio sur, es positivo al este desde el norte ($\boldsymbol{\psi = 0°}$ para el norte, $\boldsymbol{\psi = 90°}$ para el este, $\boldsymbol{\psi = 180°}$ **para el sur** y $\boldsymbol{\psi = 270°}$ para el oeste).

$$\mathbf{S_{\psi\beta} = S_{incidente}[cos\,\alpha\,.sen\,\beta.cos(a - \psi\,) + sen\alpha.cos\,\beta]} \tag{14}$$

La Ec. 15 relaciona la radiación solar directa sobre una superficie con una orientación e inclinación arbitraria con la radiación solar horizontal directa ($S_{horizontal}$).

$$\mathbf{S_{\psi\beta} = S_{horizontal}\frac{[cos\,\alpha\,.sen\,\beta.cos(a-\psi\,)+sen\alpha.cos\,\beta]}{sen\,\alpha}} \tag{15}$$

4.2. Parámetros climáticos

Temperatura. Dentro del análisis de este parámetro se encuentran las temperaturas media, máxima, máxima extrema, mínima y mínima extrema. Para el diseño bioclimático, la temperatura horaria es útil para evaluar la

comodidad y el confort térmico del usuario; mientras que para la obtención de las oscilaciones térmicas se utilizan las temperaturas máximas y mínimas.

El cálculo de la zona de confort térmico requiere la utilización de la temperatura media anual ($\mathbf{T_{ma}}$) con la que se determina la temperatura neutra (Tn) en base a fórmulas propuestas por Steve Szokolay (1998), resultando los límites máximos y mínimos de la zona de confort térmico. El límite de confort térmico mínimo (ZCmin) y el límite de confort térmico máximo (ZCmax) son calculados sustraendo y adicionando a la temperatura neutra 2.5 °C respectivamente (Ec. 17 y Ec. 18).

$$\mathbf{T_n = 0.31 \times T_{ma} + 17.6°C} \tag{16}$$

$$\mathbf{ZC_{min} = T_n - 2.5°C} \tag{17}$$

$$\mathbf{ZC_{max} = T_n + 2.5°C} \tag{18}$$

Humedad Relativa. Es el contenido de agua en el aire. La humedad relativa, expresada en porcentajes, se refiere a la cantidad de agua necesaria para saturar el aire a una misma temperatura; ésta se mide cuando se obtiene una relación entre el termómetro de bulbo seco y el de bulbo húmedo. El empleo de la humedad relativa en el diseño bioclimático se convierte en una herramienta básica de climatización pasiva, debido a su efecto en los espacios y su bajo costo.

Precipitación. Se refiere a la cantidad de agua que procede de la atmósfera, esta puede ser en forma de lluvia, granizo, llovizna, nieve o bruma; la precipitación pluvial se mide en milímetros de precipitación (mm), en un periodo determinado, donde un milímetro es un litro por metro cuadrado. Éste es un parámetro que influirá directamente en el diseño pues condicionará la forma, extensión de las cubiertas, inclinaciones y materiales a utilizar, así como el diseño de desalojo de aguas pluviales.

Viento. Es otro parámetro de gran importancia para el diseño, ya que para algunos casos en donde el clima es cálido y húmedo es la principal fuente de climatización. Es producido por las corrientes de aire en la atmósfera, entre sus atributos se encuentran dirección, frecuencia y velocidad; conocer sus atributos permitirá diseñar dispositivos tanto para su aprovechamiento en la ventilación pasiva como para la protección de su incidencia en zonas no requeridas.

4.3. Indicadores bioclimáticos

Diagrama bioclimático. El diagrama bioclimático (Olgyay, 1963), define las estrategias con base en la relación de temperatura y humedad relativa. Define cuatro estrategias básicas de diseño: calentamiento, control solar o sombreado, ventilación natural y humidificación. En este diagrama se grafican los puntos que relacionan las temperaturas máximas con las humedades mínimas y las temperaturas mínimas con las humedades máximas mensuales, para posteriormente trazar la línea que une a los dos puntos graficados.

Carta Psicrométrica. La carta muestra las relaciones y parámetros psicrométricos del aire húmedo, que son:

- Temperatura de bulbo húmedo, es la temperatura que tiene un bulbo termométrico permanentemente humedecido. En la carta se representa como un conjunto de curvas
- Temperatura de bulbo seco, medida por un bulbo termométrico seco y se representa en el eje de las abscisas de la carta.
- Humedad absoluta, se expresa como la presión parcial de vapor de agua (en mm de Hg).
- Humedad relativa, expresada como el porcentaje de humedad respecto al máximo que admite la atmósfera y esta representada a través de curvas en la carta.

Givoni definió una zona de confort y distintas estrategias de diseño entre las que se encuentran el calentamiento, ventilación, humidificación, enfriamiento evaporativo, masa térmica, masa térmica con ventilación nocturna y sistemas activos o convencionales de acondicionamiento de aire (Alavéz, 2004).

Triángulo de Evans. Es una técnica gráfica de diseño bioclimático que tiene énfasis en la oscilación térmica. Los triángulos permiten visualizar la relación entre condiciones climáticas y condiciones deseables de confort, seleccionar estrategias de diseño bioclimático, así como verificar el funcionamiento de edificios existentes a través de la amplitud térmica y su modificación al aplicar estrategias bioclimáticas.

La oscilación térmica y temperatura media mensual son datos necesarios para la utilización de este método, las cuales son graficadas en los dos diferentes grupos de triángulos; el primero, triángulos de confort, define el tipo de confort (Actividad sedentaria, confort para dormir, circulación interior y circulación exterior), el segundo, estrategias de diseño, muestra el recurso bioclimático a utilizar entre las que se encuentran la ventilación cruzada, ventilación selectiva, inercia térmica, ganancias internas y ganancias solares.

Tablas de Mahoney. Es un método de diseño bioclimático elaborado por Carl Mahoney para el diseño del hábitat. Tienen la finalidad de comparar los datos climáticos con un límite de confort establecido para un lugar en

específico y permiten evaluar las condiciones climáticas para tener referencia del tipo de recurso bioclimático a utilizar. En las tablas se realiza un estudio dividido en cuatro etapas: 1. Análisis de datos meteorológicos mensuales; 2. Comparación de los datos climatológicos contra valores de límites o zonas de confort; 3. Identificación de indicadores y; 4. La definición de recomendaciones para el diseño arquitectónico.

5. RESULTADOS OBTENIDOS

5.1. Radiación Solar

En la Tab. 1 se muestra la radiación solar incidente en la localidad de Vilcallamas según el Atlas Solar la Radiación.

Tabla 1. Energía Solar incidente Diaria en VA.

	(Wh/m2 dia)
Enero	5500
Febrero	6000
Marzo	6500
Abril	5750
Mayo	5500
Junio	5000
Julio	5000
Agosto	5000
Septiembre	5500
Octubre	5750
Noviembre	6000
Diciembre	5250

La Tab. 2 muestra la radiación solar global incidente sobre una superficie durante todo un día en condiciones ideales (sin nubes), se calculó para 9 superficies diferentes: superficie horizontal, superficies verticales orientadas al sur, norte, este, oeste, noreste, noroeste, sureste y suroeste. Se observa que la radiación incidente horizontal anual es mayor respecto a las otras superficies.

Tabla 2. Radiación Global terrestre en principales direcciones promedio mensual

Radiación Global (Wh/m^2 dia)						
Mes	**Horizontal**	**Vertical**				
		Norte	**Sur**	**Este ú Oeste**	**Noreste ó Noroeste**	**Sureste ó Suroeste**
Enero	5500	1387	2521	3279	2336	3138
Febrero	6000	1504	1928	3720	2893	3193
Marzo	6500	2535	1334	4316	3913	3064
Abril	5750	3862	1099	3398	3901	1947
Mayo	5500	5364	910	3451	4678	1528
Junio	5000	5667	852	3236	4714	1310
Julio	5000	5230	898	3184	4455	1392
Agosto	5000	3857	1047	3021	3655	1667
Septiembre	5500	2705	1211	3299	3303	2246
Octubre	5750	1662	1647	3633	2985	2973
Noviembre	6000	1393	2491	3610	2580	3357
Diciembre	5250	1378	2636	3097	2166	3056
Media	5563	3045	1548	3437	3465	2406
Anual (kWh/m^2)	2030.3	1111.6	565	1254.4	1264.7	878.2
(%)	100	54.7	27.8	61.8	62.3	43.3

En la Fig. 3, se observa que la radiación incidente en la pared norte es mayor que en la superficie horizontal para pocos días del año principalmente entre junio y julio, pero disminuyéndose rápidamente al alejarse de esos meses. La irradiación en las paredes este y oeste idealmente tienen la misma energía acumulada por día debido a la simetría de la trayectoria del sol, lo mismo sucede con las superficies orientadas al noreste- noroeste y sureste-suroeste. La energía anual acumulada sobre las paredes este ú oeste es mayor a la energía anual acumulada sobre la pared norte, pero ambas son menores que la energía acumulada en la superficie horizontal.

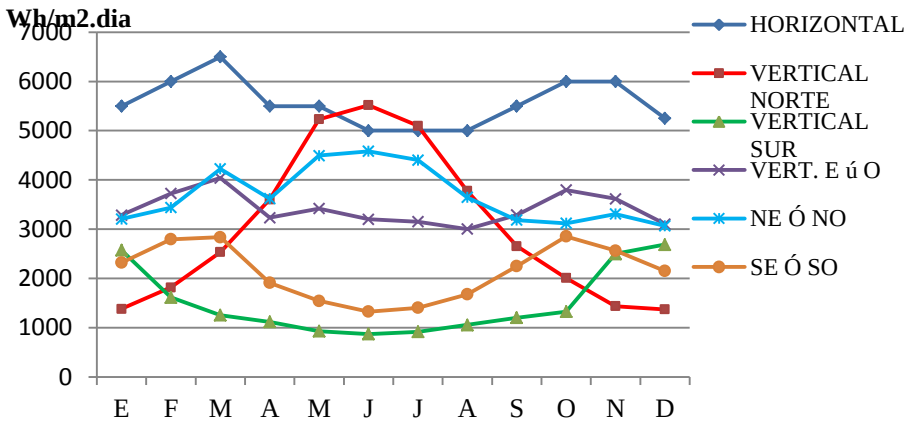


Figura 3. Radiación global G_{ov} en diferentes direcciones en VA.

5.2. Parámetros climáticos

Temperatura. La Tab. 3 muestra el promedio de las temperatura máximas (T_{MAX}), el promedio de las temperatura mínimas (T_{MIN}) y la temperatura Media (T_{PROM}) tanto mensual como anual. Se observa que la máxima temperatura corresponde a los meses de Noviembre y Diciembre con 13.4 ° C y la mínima temperatura se encuentran en los meses de Julio y Agosto con -3.6° C y -3.1°C respectivamente. Además, la temperatura media anual es de 4.9°C, dato que permite el cálculo de la zona de confort. La oscilación promedio anual es de 13.2 °C.

Tabla 3. Promedio de temperaturas máxima, mínima, media, máxima extrema y mínima extrema por mes en Vilcallamas Arriba.

	T_{PROM} °C	T_{NOCHE} °C	T_{DIA} °C	T_{MAX} °C	T_{MIN} °C	$T_{MAX.}$ EXTREMA °C	T_{MIN} EXTREMA °C	Oscilación °C
Enero	5.0	2.4	7.2	10.5	0.8	12.7	-0.6	9.7
Febrero	5.6	3.1	7.6	11.3	1.0	12.8	-2.7	10.3
Marzo	5.4	2.8	7.7	11.6	1.0	13.2	-1.2	10.6
Abril	5.1	1.7	8.0	12.4	-0.8	14.4	-3.2	13.2
Mayo	4.8	1.3	7.7	12.0	-1.0	14.9	-4.0	13.0
Junio	3.8	0.4	6.7	11.4	-2.3	14.2	-6.3	13.7
Julio	2.9	-0.1	5.5	11.0	-3.6	13.5	-7.8	14.6
Agosto	3.9	0.7	6.7	12.5	-3.1	16.0	-7.6	15.6
Septiembre	4.9	1.1	8.1	12.7	-1.9	14.6	-5.4	14.6
Octubre	5.7	2.2	8.7	12.4	-2.7	16.2	-4.4	15.1
Noviembre	6.5	2.7	9.8	13.4	-1.0	17.3	-2.5	14.4
Diciembre	5.5	2.8	7.8	13.4	0.0	15.9	-4.4	13.4
Anual	4.9	1.8	7.6	12.1	-1.1	14.6	-4.2	13.2

La zona de confort térmico para la localidad de Vilcallamas Arriba se encuentra entre 16.6°C y 21.6°C, con una temperatura neutra de 19.1°C. Estos rangos fueron utilizados para delimitar la zona de confort térmico anual, mensual y horario en la Fig. 5. Se observa que las temperaturas medias mensuales se encuentran por debajo de la zona de confort (menor a 16.6 °C)

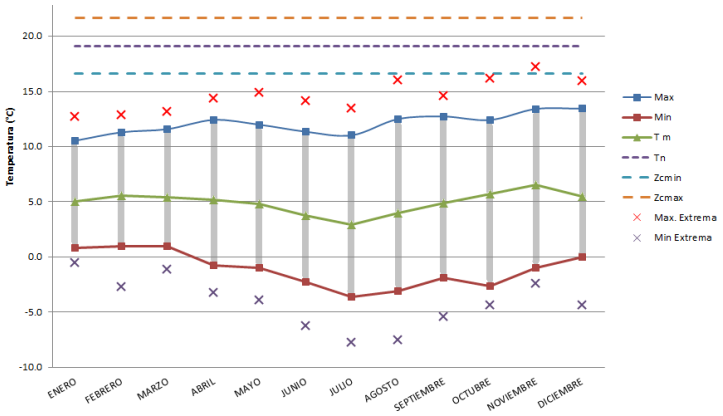


Figura 4. Gráfica de temperatura media, máxima, mínima, máxima extrema, mínima extrema y neutra demVA.

Conocer las horas de sobrecalentamiento y de enfriamiento contribuirá a tomar las decisiones más adecuadas en cuanto a las características formales y funcionales del espacio a diseñar, esto al relacionarlas con los horarios de uso del inmueble. En la Tab. 4, se muestran las temperaturas horarias a lo largo del año. El color celeste indica que temperaturas están por debajo de la mínima temperatura de confort (menor que 16.6°C). Las mínimas y máximas temperaturas horarias se encuentran aproximadamente a las 5 a.m. y a las 14p.m. respectivamente.

Tabla 4. Promedio de temperaturas horarias en la localidad de Vilcallamas Arriba.

Temperaturas Horarias (°C)

HRS	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	PR
ENE	1.9	1.7	1.3	1.0	1.2	1.9	2.6	4.0	6.0	8.0	9.2	9.8	10.3	10.1	9.3	8.5	7.4	6.2	4.9	4.0	3.4	2.9	2.5	2.2	5.0
FEB	2.9	2.7	2.3	1.8	1.3	1.5	2.6	4.5	6.6	8.2	9.7	10.8	10.9	10.6	10.1	9.3	7.9	6.2	5.0	4.2	3.8	3.7	3.5	3.3	5.6
MAR	2.5	2.3	2.1	1.7	1.3	1.3	2.3	4.4	6.6	8.3	9.8	10.8	11.3	11.2	10.4	9.3	7.9	6.2	4.9	3.9	3.4	3.1	2.8	2.6	5.4
ABR	1.0	0.6	0.3	0.0	-0.3	-0.3	1.2	4.4	7.3	9.1	10.6	11.6	12.2	12.0	11.1	10.1	8.7	6.6	5.0	3.9	3.0	2.4	1.8	1.4	5.1
MAY	0.4	0.1	-0.2	-0.4	-0.2	0.5	1.1	2.9	5.8	8.6	10.4	11.1	11.8	11.7	10.9	10.1	8.8	6.8	4.9	3.5	2.5	1.6	1.0	0.7	4.8
JUN	-0.8	-1.0	-1.2	-1.3	-1.3	-1.2	-0.9	0.3	3.1	6.5	8.6	9.6	10.4	10.9	11.0	10.7	9.8	7.8	5.1	2.9	1.6	0.7	0.0	-0.6	3.8
JUL	-1.5	-1.9	-2.3	-2.5	-2.8	-3.2	-3.3	-2.7	0.4	4.4	6.8	8.4	9.5	10.4	10.9	10.9	10.4	8.8	5.8	3.1	1.6	0.4	-0.4	-1.0	2.9
AGO	-0.9	-1.2	-1.6	-2.0	-2.2	-2.5	-2.8	-1.4	2.0	5.5	7.8	9.5	10.8	11.7	12.3	12.2	11.6	9.9	7.0	4.3	2.6	1.4	0.5	-0.2	3.9
SEP	-0.2	-0.7	-1.2	-1.5	-1.2	-0.6	0.3	2.5	5.7	8.4	10.1	11.2	12.1	12.5	12.2	11.6	10.5	8.7	6.3	4.3	3.0	1.8	0.9	0.4	4.9
OCT	0.8	0.3	0.1	-0.2	-0.5	-0.6	0.4	3.5	6.8	9.2	10.8	11.9	12.5	12.7	12.5	12.0	11.2	9.8	7.6	5.5	4.0	2.9	2.0	1.3	5.7
NOV	1.2	0.9	0.6	0.1	-0.2	-0.2	1.6	5.2	8.3	10.4	11.9	12.9	13.8	14.4	14.2	13.3	11.8	10.1	8.4	6.3	4.6	3.4	2.5	1.8	6.6
DIC	2.0	1.7	1.4	1.1	0.8	0.8	1.8	3.8	5.8	7.5	8.9	9.9	10.9	11.5	11.6	11.0	9.9	8.2	6.3	4.9	4.0	3.3	2.8	2.4	5.5
	0.8	0.5	0.1	-0.2	-0.4	-0.2	0.6	2.6	5.4	7.8	9.5	10.6	11.4	11.6	11.4	10.8	9.7	8.0	5.9	4.2	3.1	2.3	1.7	1.2	

Humedad Relativa. En la Tab. 5, se presentan los valores promedio de humedad relativa, humedad relativa mínima (HR_m) y humedad relativa máxima (HR_M) a lo largo de los meses en VA.

Tabla 5. Promedio de la humedad relativa máxima y mínimas en VA.

	HR_M (%)	**HRm (%)**	**Media (%)**
Enero	77.7	43.0	61.2
Febrero	77.1	37.7	58.0
Marzo	80.8	44.9	64.3
Abril	64.4	27.9	44.9
Mayo	49.1	20.6	33.1
Junio	42.9	15.3	27.5
Julio	35.9	11.7	22.9
Agosto	33.8	8.7	19.5
Septiembre	36.4	14.4	24.2
Octubre	58.1	18.7	36.5
Noviembre	51.1	17.2	32.6
Diciembre	81.5	39.5	61.5
ANUAL	57.4	25.0	40.5

Se observa que los valores de humedad relativa máxima corresponde al mes de Diciembre con 81.5%; la humedad mínima se presentó en el mes de Agosto con un 8.7 % de humedad, y la humedad media anual es de 40.5%, la cual se encuentra en el rango de confort higrométrico, ya que Fuentes (2004a) establece un rango de 30% como límite mínimo y 70% como máximo.

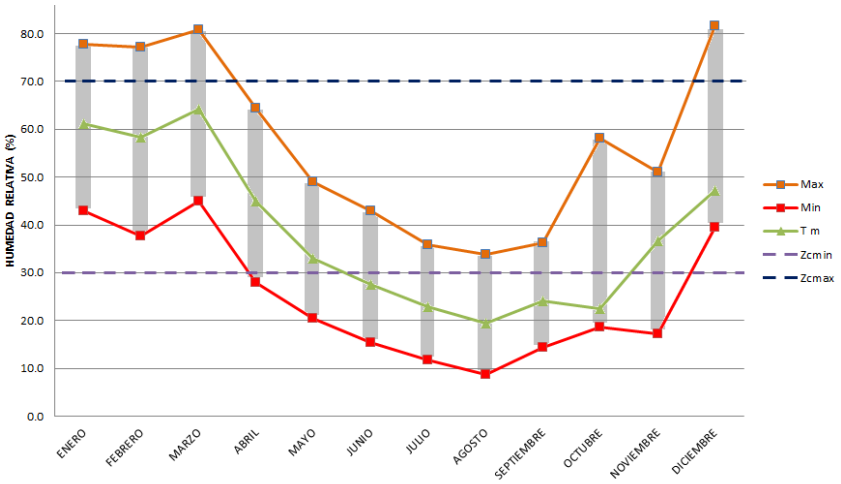


Figura 5. Gráfica de zona de confort de humedad, humedades media, máxima y mínima relativa.

En la Fig. 5, se observa la humedad relativa mínima de 8 meses del año se encuentran debajo de la zona de

confort, las humedades máximas de esos meses se encuentran dentro de la zona de confort higrométrico (Zcmax). La humedad media mensual está dentro de la zona de confort en Enero, Febrero, Marzo, Abril, Mayo, Noviembre y Diciembre, los 5 meses restantes se ubican por debajo de la zona de confort.

En la Tab. 6 se muestra la humedad relativa horaria a lo largo del año. El color celeste indica que se encuentra debajo de la zona de confort térmico (menor a 30%), el color blanco que está dentro de la zona de confort y el fondo naranja que se encuentra por encima de la zona de confort (mayor a 70%). Las máximas y las mínimas humedades relativas están dadas para las 13 y 23 horas respectivamente.

Tabla 6. Humedad relativa horaria.

Humedad relativa (%)																									
HRS	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	PRM
ENE	72.5	72.5	72.4	72.2	71.1	68.8	66.0	61.5	55.4	49.9	46.6	45.2	44.6	45.3	47.5	50.8	54.5	58.2	62.7	66.2	68.7	71.3	72.1	72.1	61.2
FEB	66.4	66.4	67.4	67.6	67.1	66.5	63.2	57.5	52.0	47.2	43.2	40.4	39.8	41.4	44.1	47.9	54.1	60.6	64.2	66.1	67.1	67.1	67.2	66.9	58.0
MAR	73.4	72.9	72.6	72.5	72.4	72.3	69.1	63.2	58.0	53.0	49.0	47.4	47.0	47.5	50.1	54.3	59.7	65.7	70.4	74.0	74.7	74.5	75.1	74.2	64.3
ABR	52.2	50.1	48.4	47.4	46.5	45.8	43.2	39.0	35.5	32.9	31.0	30.1	31.2	33.3	35.6	39.0	44.8	51.8	57.7	59.6	57.8	56.8	55.6	53.3	44.9
MAY	39.4	38.1	37.0	36.1	34.9	33.3	32.0	29.6	26.5	23.7	22.6	22.6	22.8	23.7	25.2	27.0	30.3	35.2	40.9	43.7	43.6	43.6	42.5	40.4	33.1
JUN	34.1	33.3	32.6	32.3	32.1	31.6	31.3	31.6	29.6	25.1	21.7	19.8	18.5	17.7	17.5	17.9	19.4	22.8	28.2	31.7	32.5	32.5	32.7	33.5	27.5
JUL	27.8	28.5	29.2	29.6	30.8	31.9	32.2	33.3	30.2	22.8	18.1	16.0	14.5	13.2	12.5	12.4	12.8	14.1	17.3	21.0	23.3	24.9	26.3	27.4	22.9
AGO	24.5	24.5	24.8	25.3	25.5	25.9	26.6	27.5	24.7	19.6	16.4	14.2	12.9	11.8	10.8	10.4	10.4	11.5	14.6	18.0	20.3	21.8	23.1	23.9	19.5
SEP	28.2	28.0	28.0	27.7	27.1	26.2	26.0	25.0	22.3	19.8	18.2	17.0	16.3	16.4	17.3	18.4	20.3	22.6	25.6	28.5	30.0	30.9	30.6	29.7	24.2
OCT	45.1	45.9	46.2	46.6	47.3	47.9	47.4	42.4	34.2	27.5	24.1	22.7	22.3	23.4	24.8	26.8	29.1	31.4	34.9	38.3	40.4	41.7	42.5	43.4	36.5
NOV	38.1	38.2	38.0	38.4	39.0	38.4	37.5	32.4	26.8	25.0	23.6	22.5	21.4	20.2	21.0	24.5	30.8	34.1	35.9	38.2	39.1	39.4	39.2	39.8	32.6
DIC	71.7	71.8	71.9	72.0	72.0	71.8	70.9	66.9	60.7	55.1	50.9	48.2	45.5	43.9	44.0	46.3	50.5	55.5	61.1	65.4	68.1	70.1	70.9	71.3	61.5
	47.8	47.5	47.4	47.3	47.2	46.7	45.5	42.5	38.0	33.5	30.4	28.9	28.0	28.1	29.2	31.3	34.7	38.6	42.8	45.9	47.1	47.9	48.2	48.0	

Viento. Con datos recolectados de la dirección y velocidad del viento en Vilcallamas Arriba se obtuvo la Tab. 7. La dirección predominante es el este, con una velocidad promedio anual de 4.1 m/s. Adicionalmente se obtuvo la frecuencia de velocidades respecto a su dirección y la velocidad media en VA (Tab. 8).

Tabla 7. Velocidad del viento en Vilcallamas Arriba.

Viento	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ANUAL
Dirección Dominante	E	E	E	E	E	E	E	E	E	E	E	E	E
Velocidad Media	3.7	3.1	3.4	3.8	4.5	4.4	4.1	4.2	4.3	4.5	4.6	4.2	4.1
Velocidad Máxima	6	5	6	5	6	8	6	7	7	7	8	6	8

Tabla 8. Frecuencia anual de velocidades del viento en Vilcallamas Arriba.

	N	NE	E	SE	S	SO	O	NO
Velocidad Media	2.3	3.7	4.1	4.0	3.8	4.4	4.4	3.6
Frecuencia (%)	0.8	3.3	75.3	11.0	1.1	1.4	2.2	4.7

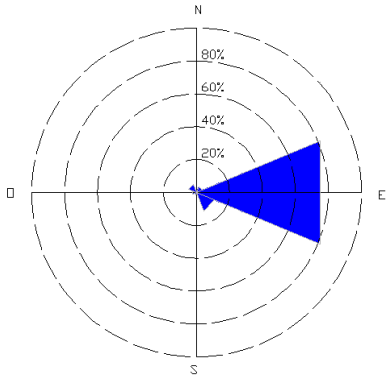


Figura 6. Rosa del viento de Vilcallamas Arriba, dirección predominante el este.

5.3. Indicadores Bioclimáticos

Diagrama de Olgyay. En el estudio del diagrama bioclimático, con la finalidad de facilitar el análisis, la información se dividió en trimestres, de acuerdo a las estaciones del año. Para conocer las horas de aplicación de las estrategias se tomó como base los resultados de la Tab. 3 y 5. La Fig. 7 muestra el diagrama de Olgyay corregido con las fórmulas propuestas por Szokolay. Se observa claramente que todos los meses se encuentran por debajo de la zona de confort, requiriéndose el aumento de temperatura por calentamiento solar pasivo y activo. Para el verano se observa valores de humedad relativa mayores al 40% (periodo de lluvias) y lo contrario ocurre con el invierno ya que la humedad relativa se encuentran por debajo del 40%.

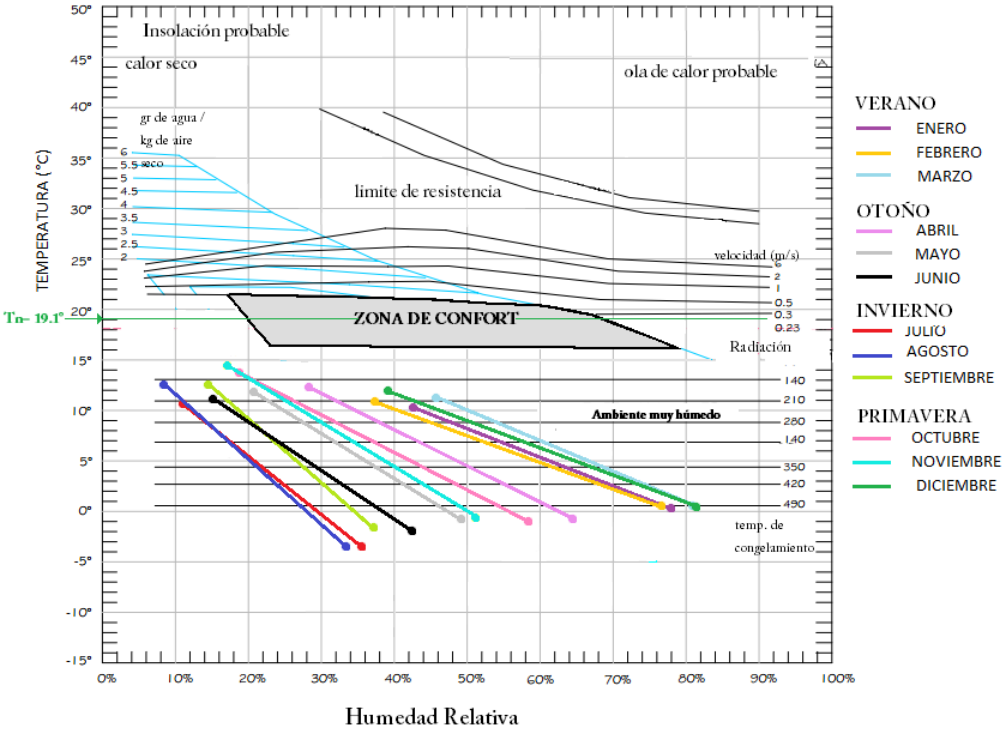


Figura 7. Diagrama bioclimático de Olgyay para todos los meses del año.

Carta Psicometrica de Givoni. En la Fig. 8 se muestra todos los meses del año, dibujados sobre la carta psicométrica (3800msnm) como recomienda Givoni, en base a los puntos extremos de temperatura y humedad relativa tabulados según la información de la Tab. 3 y 5.

Para ubicar la zona de confort se considero las relaciones empíricas según Szokolay para los límites de temperatura y para el eje vertical los rangos generales según Givoni.

Ninguno de los 12 meses del año cae dentro de la zona de confort, en principio se recomienda un 50% de calentamiento solar pasivo y 50 % de calentamiento solar activo y convencional aproximadamente.

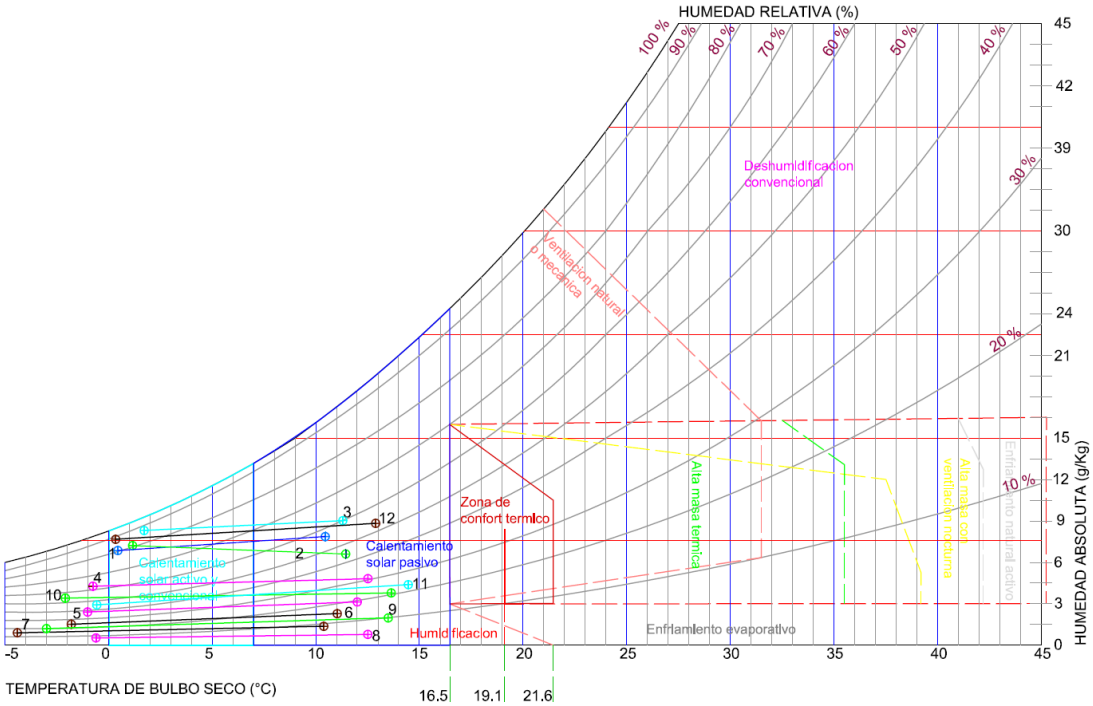
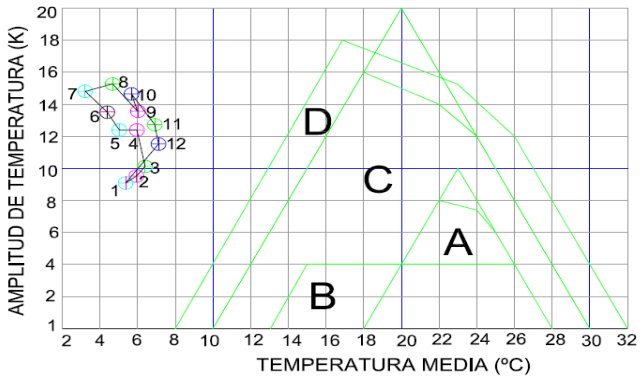


Figura 8. Carta psicométrica de Givoni par a todos los meses del año numerados del 1 al 12.

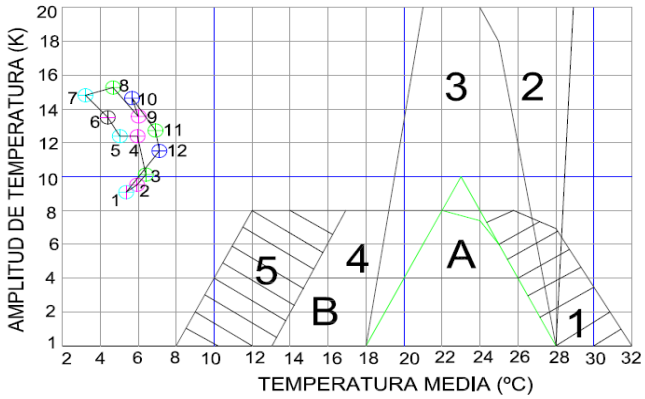
Triangulo de Evans. A continuación se aplica la técnica Evans para el análisis del clima en Vilcallamas Arriba de acuerdo con las recomendaciones correspondientes a esta técnica.



Referencias de zonas de confort:
A= Actividad sedentaria
B= Confort para dormir
C= Circulación interior
D= Circulación exterior

Figura 9. Triángulos de confort según Evans sobre los cuales se ha ubicado las condiciones de temperatura en VA para los doce meses del año.

El eje horizontal del gráfico representa la temperatura media del periodo analizado, mientras el eje vertical indica la amplitud o diferencia entre temperaturas máxima y mínima durante el mismo periodo.



Estrategias Bioclimáticas

1= Ventilación cruzada
2= Ventilación selectiva
3= Inercia térmica
4= Ganancias internas
5= Ganancias solares

Figura 10. Estrategias bioclimáticas en relación con las condiciones de confort del triángulo de Evans. Nótese también los puntos de color representativos de las condiciones térmicas de VA.

Para que los meses ubicados en la Fig. 10 (puntos del 1 al 12) lleguen a la zona de confort A se recomiendan en principio calentamiento que podría darse mediante la estrategia 4 y 5 (ganancias internas y solares), también ayudaría materiales con alta inercia térmica para preservar por más tiempo el calor en el interior del hábitat.

Tablas de Mahoney. A continuación se presenta las *Tablas de Mahoney* elaboradas con la data climática de Vilcallamas Arriba.

Tabla 9. Datos de máximos, mínimos, oscilación y promedios de temperatura mensual.

Temperatura del Aire (°C)												
	E	**F**	**M**	**A**	**M**	**J**	**J**	**A**	**S**	**O**	**N**	**D**
Máx. Medidas Mensuales	10.5	11.3	11.6	12.4	12.0	11.4	11.0	12.5	12.7	12.4	13.4	13.4
Mín. Medidas Mensuales	0.8	1.0	1.0	-0.8	-1.0	-2.3	-3.6	-3.1	-1.9	-2.7	-1.0	0.0
Variaciones Medias Mensuales	9.7	10.3	10.6	13.2	13.0	13.7	14.6	15.6	14.6	15.1	14.4	13.4
Temp. Promedio Mensual	5.0	5.6	5.4	5.1	4.8	3.8	2.9	3.9	4.9	5.7	6.5	5.5
TMA=4.9												

Tabla 10. Datos de máximos, mínimos, oscilación y promedios de HR mensual.

Humedad Relativa Del Aire (%)												
	E	**F**	**M**	**A**	**M**	**J**	**J**	**A**	**S**	**O**	**N**	**D**
Máx.Medias Mensuales	77.7	77.4	80.8	64.4	49.1	42.9	35.9	33.8	36.4	58.1	51.1	81.5
Mín. Medias Mensuales	43.0	37.7	44.9	27.9	20.6	15.3	11.7	8.7	14.4	18.7	17.2	39.5
HR promedio	61.2	58.3	64.3	44.9	33.1	27.5	22.9	19.5	24.2	36.5	32.6	61.5
Grupo HR	3	3	3	2	2	1	1	1	1	1	2	3
Pluvosidad	90	120	100	60	20	0	0	0	10	60	70	65
Viento (dirección) Dominante	E	E	E	E	E	E	E	E	E	E	E	E

Tabla 11. Diagnostico de Rigor Térmico y grupos de Humedad según Mahoney.

Diagnostico del Rigor Térmico TMA:													
Tablas Mahoney		**E**	**F**	**M**	**A**	**M**	**J**	**J**	**A**	**S**	**O**	**N**	**D**
Grupo de Humedad		3	3	3	2	2	1	1	1	1	2	2	3
Confort Diurno	Rango Sup.	26	26	26	27	27	30	30	30	30	27	27	26
	Rango Inf.	19	19	19	20	20	21	21	21	21	20	20	19
Confort Nocturno	Rango Sup.	19	19	19	20	21	21	21	21	21	20	20	19
	Rango Inf.	12	12	12	12	14	12	12	12	12	12	12	12
Máx. Medias Mensuales		10.5	11.3	11.6	12.4	12	11.4	11	12.5	12.7	12.4	13.4	13.4
Mín. Medias Mensuales		0.8	1.0	1.0	-0.8	-1.0	-2.3	-3.6	-3.1	-1.9	-2.7	-1.0	0.0
Rigor Térmico	Día	F	F	F	F	F	F	F	F	F	F	F	F
	Noche	F	F	F	F	F	F	F	F	F	F	F	F

Tabla 12. Grupo de Humedad de Mahoney

	Promedio de Humedad Relativa (%)			
	<30	30-50	50-70	>70
Grupo de Humedad	1	2	3	4

Tabla 13. Límites de Confort de Mahoney

GRUPO DE HUMEDAD	TEMPERATURA MEDIA ANUAL (TMA)					
	A		B		C	
	mayor a 20°C		entre 15°C y 20°C		menor a 15°C	
	día	noche	día	noche	día	noche
1	26-33	17-25	23-31	14-23	21-30	12-21
2	25-30	17-24	22-29	14-22	20-27	12-20
3	23-28	17-23	21-27	14-21	19-26	12-19
4	22-27	17-21	20-25	14-20	18-24	12-18

Tabla 14. Indicadores de Mahoney para Estrategias de Diseño Bioclimático

INDICADORES														
		E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	TOTAL
HUMEDAD														
1- VENTILACIÓN INDISPENSABLE	H1													0
2- VENTILACIÓN CONVENIENTE	H2													0
3- PROTECCIÓN CONTRA LA LLUVIA	H3													
ARIDEZ														
4- ALMACENAMIENTO TÉRMICO	A1		V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	11
5- ESPACIO PARA DORMIR AL AIRE LIBRE	A2													
6- PROTECCIÓN CONTRA EL FRÍO	A3	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	12

Los resultados de aplicar esta técnica, en función de los indicadores que resultan, son las estrategias de confort recomendadas. Para el caso de Puno cada uno de los doce meses del año resulta con el mismo indicador **A3** correspondiente para zonas frías y, por lo tanto, hay que proteger contra el frío, lo que se destaca en la Tab. 15. Deben cumplirse todas las condiciones de cada línea para adquirir el indicador.

Tabla 15. Indicadores para el diagnostico

SI					Entonces
Rigor Térmico		Pluviosidad	Grupo de Humedad	Variación media	
Diurno	Nocturno				
C			4		H1
C			2 ó 3	<10°	H1
---			4		H2
		>200mm			H3
			1,2 ó 3	>10°	A1
	C		1 ó 2		A2
C	---		1 ó 2	>10°	A2
F					A3

Por lo tanto, de acuerdo con la técnica de Mahoney, las recomendaciones de estrategias bioclimáticas para VA son las que se muestran en la Tab. 16. Este resultado sigue la técnica aplicada y no es muy concordante con las condiciones de temperatura del clima de Vilcallamas Arriba.

Tabla 16. Recomendaciones de estrategias bioclimática según la técnica de Mahoney.

Distribución	Concepto de patio compacto
Tamaño de Aberturas	Medianas, 30-50%
Muros y Pisos	Masivos arriba de 8h de retardo térmico

6. CONCLUSIONES

La energía anual acumulada sobre las superficies verticales (paredes) este ú oeste es mayor a la energía anual acumulada sobre la pared norte o sur, sin embrago la energía acumulada en la superficie horizontal es mayor a todas ellas. La mejor forma de aprovechar este tipo de energía, para elevar la temperatura del interior de una vivienda, es la utilización de claraboyas ya que estas se ubican de manera horizontal.

Tabla 17. Estrategias de diseño bioclimático para el poblado de Vilcallamas Arriba (Puno)

	Autor	Estrategias y Recomendaciones Propuestas
DIAGRAMA BIOCLIMATICO	Victor Olgyay	CALENTAMIENTO SOLAR ACTIVO Y CONVENCIONAL
		CALENTAMIENTO SOLAR PASIVO
CARTA PSICOMETRICA	Baruch Givoni	CALENTAMIENTO SOLAR ACTIVO Y CONVENCIONAL
		CALENTAMIENTO SOLAR PASIVO
TABLAS DE MAHONEY	Carl Mahoney	ALMACENAMIENTO TERMICO
		CALENTAMIENTO DURANTE TODO EL AÑO
		RECOMENDACIONES
		CONCEPTO DE PATIO COMPACTO
		ABERTURA MEDIANAS, 30-50%
		MUROS Y PISOS MASIVOS ARRIBA DE 8h DE RETARDO
TRIANGULOS VERDES	Martin Evans	INERCIA TERMICA
		GANANCIA INTERNA
		GANANCIA SOLAR

Es evidente que debe aplicarse estrategias de calentamiento con preferencia sobre cualquier otra, no obstante, esto no es explícito con las recomendaciones del resultado.

Podríamos interpretar esta aparente discordancia como evidencia de desconexión de la técnica con las condiciones de zonas frías alto andinas no consideradas en su elaboración.

REFERENCIAS

Alavéz R. R. (2004). *Análisis de materiales vegetales e industrializados aplicados a techumbres, como recurso bioclimático en el Pacifico Sur del estado de Oaxaca*, Universidad Metropolitana, México DF: tesis de maestría.

Evans J. M. (2000). *Técnicas bioclimáticas de diseño: las tablas de Mahoney y los triángulos de confort.*

Fuentes, F. V. (2004a). *Clima y Arquitectura. México:* UAM-Azcapotzalco.

Sol F.J. (2006). *Estrategias de diseño bioclimático para la ciudad de Oaxaca y la zona conurbada*, tesis para obtener el grado de Maestro en Ciencias.México.

Szokolay, S. (1980). *Environment Science Handbook*. Inglaterra: The Construction Press.

CLIMATE STUDY VILCALLAMAS ARRIBA AND ANALYSIS OF BIOCLIMATIC INDICATORS OF POTENTIAL APPLICATION

Abstract. *Thermal comfort can be understood as a personal state of being well in the environment which one lives and a measurable factor is the temperature of the environment which is necessary for calculating radiant temperature interpreted as that which the human being feels and determines their comfort. The environment temperature determines indirectly the thermal comfort of a person in the place in which is located, and together with the relative humidity, constitute the measurable and controllable parameters more representative of the process in order to obtain thermally comfortable environments and these are highly dependent on the characteristics of the geographical climate where the person is and there are bioclimatic indicators that inform us about the values of temperature and relative humidity that will provide comfort to the human person. In this context, this paper presents the results of a study done for the climate Vilcallamas Arriba community (4500 m), Pizacoma, Chucuito, Puno, on the basis of geographical location, climatic data measured during one year (2009) and the application of existing techniques to determine the temperature and humidity required for the thermal comfort of an environment within ranges of values determined by applying these techniques.*

Keywords: *Climate studio, bioclimatic indicators.*