

ARTÍCULO CIENTÍFICO

Comportamiento y análisis de insolación e irradiación solar de la vivienda andina Uru-Chipaya: Revalorización del conocimiento ancestral de la arquitectura andina a partir simulaciones digitales para el diseño bioclimático

Behavior and analysis of insolation and solar irradiation of the Uru-Chipaya Andean housing: Revaluation of ancestral knowledge of andean architecture from digital simulations for bioclimatic design

Grover Antonio Pozo Ledo¹ 

1. Licenciado en Arquitectura. Máster en Arquitectura Avanzada, Paisaje, Urbanismo y Diseño, Especialidad en Hábitat Sostenible. Docente investigador Instituto de Investigación y Ciencias del Hábitat. Facultad de Arquitectura y Urbanismo. Universidad Técnica de Oruro, Oruro. E-mail: Gru_boeser@hotmail.com

RESUMEN

La arquitectura de las viviendas Uru-Chipayas son consideradas un legado representativo de la cultura Andina, que han sido capaces de trascender en el tiempo y conservar sus rasgos culturales hasta la actualidad. Los Putukus y las Wayllichas se consideran hoy como símbolos propios de una identidad andina que, por sus características constructivas, su forma y la sencillez de estas, ha llamado la atención de expertos no solo en el ámbito antropológico, semiótico o epistemológico, sino también por la calidad bioclimática de su propia arquitectura vernacular.

Bajo este último precepto, el objetivo fue el revalorizar los saberes ancestrales de la conceptualización de la arquitectura Andina Uru-Chipaya desde la perspectiva bioclimática. Con una metodología analítica basada en simulaciones digitales, con la finalidad de recabar resultados cuantitativos para comprender de mejor manera el comportamiento de asoleamiento, exposición y radiación solar en estas viviendas, con relación al diseño arquitectónico, materialidad constructiva con alta resistencia térmica y los valores culturales esta cultura. Del estudio se obtuvo parámetros cuantitativos y cualitativos generando una impronta de lineamientos para la definición de nuevos

critérios de design bioclimático, com uma identidade própria de altiplano boliviano, além de revalorizar e difundir o conhecimento milenar andino.

Palabras Clave: Bioclimático. Comportamiento Solar. Conocimiento ancestral. Vivienda andina,

ABSTRACT

The architecture of the Uru-Chipayas houses is considered a representative legacy of the Andean culture, which has been able to transcend time and preserve its cultural features to the present day. The Putukus and the Wayllichas are considered today as symbols of an Andean identity that, due to their constructive characteristics, their shape and simplicity have attracted the attention of experts not only in the anthropological, semiotic, or epistemological field, but also because of the bioclimatic quality of its own vernacular architecture.

Under this last precept, the objective was to revalue the ancestral knowledge of Andean Uru-Chipaya architecture from the bioclimatic perspective. With an analytical methodology based on digital simulations, to collect quantitative results to better understand of the behavior of sunlight exposure and solar radiation in these homes, in relation to architecture design, constructive materiality with high thermal resistance and cultural values of this culture. Quantitative and qualitative parameters were obtained from the study, generating guidelines imprints for the definition of new bioclimatic design criteria, with an identity of the Bolivian highlands, in addition to revaluing and disseminating the ancient Andean knowledge.

Keywords: Andean dwelling. Ancestral knowledge. Bioclimatic. Solar Behavior.

1. INTRODUCCIÓN

Existe una relación intrínseca entre la Arquitectura Andina y el manejo de la energía solar, que personifica un rasgo característico, desde el aporte cultural y étnico hasta la materialidad de esta. Estos saberes ancestrales han trascendido el tiempo y los choques culturales, consolidándose como conocimientos materializados y puestos hoy en valor por el manejo de la radiación solar, la materialidad y el grado de confort térmico que pueden lograr las viviendas Uru-Chipayas.

Sin embargo, este conocimiento necesita ser expuesto ante la implantación de otros modelos constructivos con materiales contemporáneos (Figura 1) que ocasionan modificaciones formales y materiales en las viviendas de los comunarios, como en la relación directa con el manejo de la radiación solar y el bioclimatismo¹, y por ende, en la pérdida de los saberes propios de esta cultura, como lo señala Bernabé (2010).

El objetivo es analizar y evaluar el comportamiento solar de las viviendas andinas Uru-Chipayas, mediante simulaciones digitales para cuantificar la insolación e irradiación solar. Con un enfoque de análisis digital, así como con el manejo de un software que nos permita la simulación y valoración de objetos modelizados tridimensionales generando: Simulaciones del Asoleamiento, Exposición Solar y Radiación Solar. Esto para analizar y visualizar el impacto solar, en una posición geográfica y valores climáticos específicos como señala Andrea Sancho (2017), como herramienta para el estudio bioclimático aplicado sobre un elemento construido al igual que Indriago (2002). Y así, obtener un análisis cuantitativo sobre la arquitectónica con respecto a la eficiencia de la captación solar, la relación con su materialidad y, por ende, el valor de la sabiduría ancestral, con la finalidad de contribuir, difundir y revalorizar estos conocimientos.

De esta forma, se es revalorizan las viviendas desde la perspectiva científica de la bioclimática, la eficiencia energética y arquitectónica, como señala Olgyay (1998) y Serra (2001); además con una identidad propia del altiplano boliviano. Permittiéndonos comprender que la cultura, más allá de los elementos ornamentales o folklóricos, reside justamente en las tecnologías desarrolladas históricamente en determinados territorios derivados de estos conocimientos, estos saberes ancestrales que han pasado de generación en generación, pues son el reflejo un diálogo ritual cultural y material con la naturaleza.

¹ Establecer la relación del clima con el ser humano, el clima como clave de la respuesta arquitectónica y su aplicación en el campo del urbanismo. OLGAY, V. (1998). Arquitectura y clima, “Manual de diseño bioclimático para arquitectos y urbanistas”, Barcelona: Gustavo Gili.



Figura 1. Albergue Comunitario Chipaya Centro Turístico utilización de materiales contemporáneos
Fuente. Extraído de <https://urgente.bo/noticia/en-semana-santa-disfruta-del-albergue-de-los-uru-chipaya>

2. METODOLOGÍA

La metodología de investigación está fundamentada para identificar la relación funcional entre causa y efecto, estableciendo la correlación de parámetros definidos medidos en campo como; el clima, la geografía, y en la arquitectura haciendo el relevamiento de la misma, para establecer simulaciones que permitirán el cálculo de la insolación e irradiación solar que influyen precisamente en esta última como señala Andrea Sancho (2017).

2.1. Determinación de simulaciones

El enfoque de análisis digital con el uso de softwares nos permite generar la simulación y valoración de elementos mediante objetos modelizados tridimensionales como “*método experimental*” (Indriago, 2002), posibilitando generar:

- **Simulaciones de Asoleamiento:** Permite visualizar el recorrido aparente del sol para estudiar el impacto de la luz natural y las sombras en la superficie exterior del proyecto en cualquier ubicación geográfica.
- **Simulaciones de Exposición Solar:** Permite especificar de exposición de una superficie con respecto a la bóveda celeste. Los resultados de iluminación de la exposición solar son aplicados directamente sobre un modelo en valor porcentual en la superficie.

- **Simulaciones de Radiación solar:** Permite visualizar y cuantificar la distribución de radiación solar y la cantidad de energía solar que incide sobre una superficie². Mostrando los resultados de la cantidad de energía que se capta en una superficie (kw/m²), como la radiación acumulada en un determinado periodo de tiempo sobre una superficie (kwh/m²) directamente en el modelo³.

2.2. Parámetros para la simulación

Analizada la composición formal y valoración del efecto que los parámetros climáticos tienen sobre “el Putuku y la Wayllicha”, es posible utilizar herramientas informáticas de simulación solar generando ensayos, tomando en cuenta lo descrito por De la Zerda (1993), teniendo claras las orientaciones y disposiciones volumétricas en cada caso de estudio.

Con los modelos digitales de las viviendas se realizarán valoraciones en épocas del año precisas, presentando un esquema del movimiento aparente del sol tomando como referencia el Solsticio de Invierno (21 de junio), ya que la posición del Sol en el cielo se encuentra a la mayor distancia angular negativa del Ecuador celeste; y en el Solsticio de Verano (21 de diciembre), donde la trayectoria del sol se encuentra mucho más perpendicular a la superficie.

Se analizarán por un lapso de exposición de 12 horas entre las 6:00 am y las 18:00 pm. Utilizando coordenadas geográficas en grados decimales: **Longitud:** -67.1500000. **Latitud:** -17.9833300. considerando una altura media 3690 m.s.n.m. con Clima semiárido BSk⁴ de temperatura media anual por debajo de 16 °C, con máxima de 22°C y una mínima de -10°C, (Pozo, 2017).

² Radiación solar global: Es la cantidad de energía solar que incide sobre una superficie. La radiación solar global diaria es la cantidad de radiación global entre las seis de la mañana y las seis de la tarde (en algunos lugares del mundo y en determinados meses, este periodo se puede ampliar entre las cinco de la mañana y las siete de la noche) y sus valores oscilan entre 300 y 9800 W*h/m² al día. Extraído de: <http://ideam.gov.co/web/tiempo-y-clima/caracteristicas-de-la-radiacion-solar>

³ Esta simulación genera una serie de datos para análisis solar detallado (resultados de irradiación por hora en una fachada, evaluación de enmascaramiento, radiación directa, difusa, reflejada, etc.).

⁴ Clasificación climática de Köppen: se basa en parámetros para determinar el clima de una zona son las temperaturas y precipitaciones medias anuales y mensuales, y la estacionalidad de la precipitación. Se divide en cinco grupos principales. Le tipo BSK es Estepario frío, inviernos son fríos o muy fríos; y los veranos pueden ser templados, precipitación escasa, vegetación natural es la estepa.

3. RESULTADOS

3.1. Análisis tipológico y constructivo

Las Viviendas de los Chipayas son patrimonios arquitectónicos reconocidos y protegidos por el Gobierno Autónomo de la Nación Originaria Uru Chipaya por su alto valor étnico, cultural, arquitectónico y turístico⁵. Construidas con tepes y materiales trabajados desde su conocimiento ancestral con relación a su propia cosmovisión, referidos a la práctica cultural, ritual y espiritual⁶.

Los Chipayas no sufrieron las consecuencias de conquistas españolas y por condiciones geográficas y climáticas su arquitectura ha trascendido al pasar del tiempo (Muñoz, 2014). Conserva sus rasgos iniciales y su concepción singular, siendo la respuesta a una forma de vida y las condiciones climáticas del territorio. Existen dos variantes precoloniales que se han conservado dentro de las tradiciones y costumbres de la comunidad, además entre las relaciones sociales de la misma (Wachtel, 2001, p. 30).

- **El Putuku**

Esta vivienda, catalogada como tipo Rural, es considerada la más antigua, según Jordán (2011) dataría de 2000 años A.C., ubicada en áreas de pastoreo, y que aún hoy se sigue construyendo, aunque de manera menos frecuente. Tiene una planta circular de 4 metros de diámetro aproximadamente, los muros de un ancho considerable (40 cm), donde se aprecia una leve inclinación hacia el interior a medida que la envolvente se levanta, abstrayéndonos una forma catenaria como base estructural. Tiene un único acceso con una puerta de forma trapezoidal de dimensiones reducidas, que regula la entrada del viento y permite conservar la temperatura interior. La función es sencilla, al interior un lugar de descanso al norte, el almacenamiento al Sur y al Oeste un anafe u hornillo de barro.

⁵ El análisis constructivo de las viviendas Uru Chipayas en POZO, G. Canal Milton Salas (12 de noviembre de 2021). (archivo de video). <https://www.youtube.com/watch?v=a9Wearegf4o&t=12s>

⁶ Extraído a partir del Órgano Electoral Plurinacional. Estatuto del Gobierno Autónomo de la Nación Originaria URU-CHIPAYA (2016).

- **La Wayllicha**

Catalogada como tipo Urbano, presenta también una base circular de 4 metros de diámetro, con una leve inclinación en los muros, pero la cubierta se logra de diferente manera. Debido a que lograron acceder y trabajar con otros materiales, la cubierta está fabricada con arcos de amarros de Th'ola⁷ trenzados y asegurados con cuerdas fabricadas de paja brava⁸, cubiertas por esta misma paja y un mortero de barro para hacerla impermeable.

Como una forma de culto a los dioses de las montañas y como estas resisten ante los vientos (Hennings, H., 2004), esta forma particular ha tenido reinterpretaciones con materiales contemporáneos en proyectos turístico-culturales. Construida por sus dueños y la ayuda de vecinos, esta labor es una tradición que es pasada a generaciones, por lo que la habilidad de los Chipayas es ampliamente reconocida.

El arquitecto De la Zerda en su libro "*Los Chipayas: modeladores del espacio*" (1993), describe claramente la construcción y la elección de materiales⁹. Utilizando el "tepe" que es un bloque de tierra y raíces de una gramínea¹⁰ que abunda en la región. Un bloque extraído del suelo, de 43 cm de largo por 40 cm de ancho y un alto de 12 cm con junta en seco. De una calidad térmica excelente similar al adobe (capacidad calorífica entre 500 y 1000 Kcal/m³C)¹¹.

⁷ Conocida también como Taya Thola o Koa, recibe el nombre científico de *Parastrephia lepidophylla*. Esta especie arbustiva tiene un tamaño entre los 0,5 a 2m, es de características ramosas, vegetación propia de la región del altiplano Andino.

⁸ Conocida como Paja Ichu o Stipa Ichu lleva el nombre científico de *Jarava Ichu*. Esta especie se la puede ver por todo el altiplano en general, ya que el ambiente donde puede desarrollarse es en suelos áridos, pedregosos o arenosos (Villarando D. *et al.*, 2011).

⁹ "En el caso de los tepes, se elige primeramente un buen pasto de raíces gruesas y maduras, con el fin de garantizar la durabilidad. Luego se traza una doble curva en el pasto, con azadón. Los cortes en sentido transversal dan la forma precisa a los tepes, mediante certeros y limpios golpes de azadón. Seguidamente se procede a la extracción, traslado y apilado de los tepes, hasta que se considere que están lo suficientemente secos para la construcción (unos diez días)" (De La Zerda, J., 1993).

¹⁰ Familia de plantas monocotiledóneas de tallo cilíndrico, nudoso y generalmente hueco, hojas alternas que abrazan el tallo.

¹¹ La inercia térmica en la construcción de edificios eficientes, Materiales con elevada inercia térmica. Extraído 18 Nov 2021 de: <https://www.certificadosenergeticos.com/inercia-termica-construccion-edificios-eficientes>

El espesor y la materialidad de los cerramientos garantiza el aislamiento por su inercia térmica, a la vez la posición del pequeño horno calienta la vivienda por las noches. Para el Aislamiento exterior se utiliza un revoque de arcilla, que según Zerda (1993), el material existente es bastante fino debido ya que fue erosionado por muchos años de un lecho que fue marino, permitiendo su impermeabilización y evitando que el frío se filtre a través de las juntas. En la Figura 2 encontraremos planos esquemáticos y para mayor referencia del análisis constructivo se puede consultar un video aclarativo de canal Milton Salas (2021).



*Figura 2. Planta Elevación y Corte del Putuku y la Wayllicha
Fuente: Elaboración propia, 2021.*

3.2. Simulación de asoleamiento

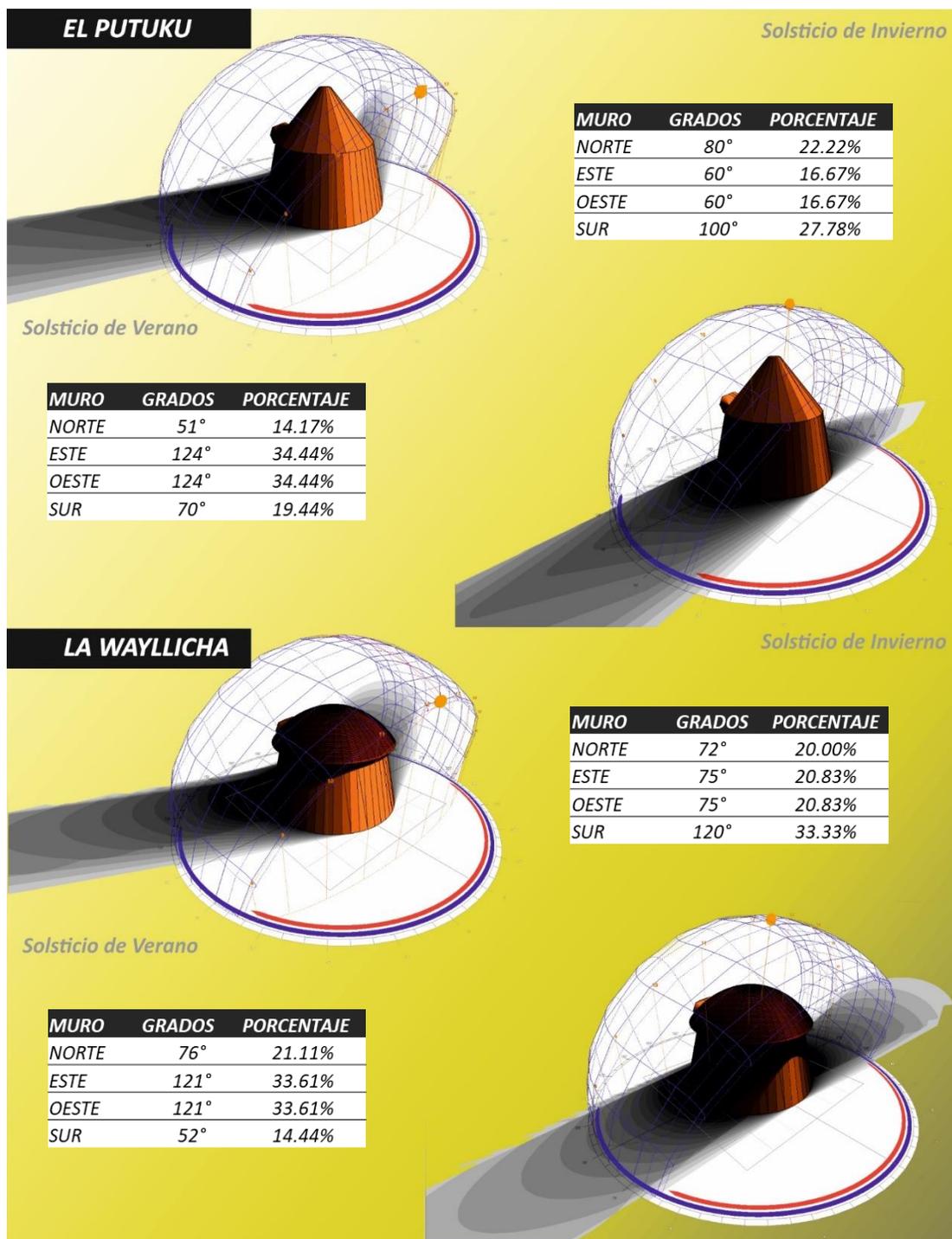
Para el caso de invierno, el Putuku en el esquema se aprecia que por la forma circular de la planta y cónica de la envolvente, las sobras proyectadas se generan principalmente de sudeste y a sudoeste, empero a lo largo del día la proyección de sombras menos difusa con mayor intensidad es hacia el Sur provocando una sombra de 2,50 m. La forma y dimensiones particulares aseguran que las sombras estén controladas y sean mínimas teniendo una mayor exposición solar en la envolvente hacia el norte de un 22% libre de sombra; un 33,5% con una sombra progresiva hacia el noreste y noroeste; un 16,5% hacia el este y oeste respectivamente, con una sombra mucho menos difusa; y, finalmente, hacia el sur 27,5% una proyección de sombra constante por el lapso del ensayo.

En la Wallichá las fachadas tienen un similar comportamiento al Putuku, pero reciben una cantidad mayor de sombra por la cubierta. La exposición solar en la envolvente Norte de un 20% libre de sombra; un 44,5% de sombra progresiva hacia el noreste y noroeste; y un 30,5% hacia el este y oeste respectivamente con una sombra mucho menos difusa. Pero en la cubierta, el cono de sombra tiene un comportamiento distinto, hacia el Norte el 44,5% sin sombra; en cambio, el 11,2% con orientación sureste y suroeste con un cono de sombra mucho más difuso; y al Sur el 33,5% con una proyección de sombra constante.

Para verano, el Putuku, por su forma catenaria proyecta sombras mínimas, pero con mayor intensidad hacia el noreste y noroeste, provocando una sombra en planta de 1,60 m. En esta época la mayor cantidad de sombra proyectada en la envolvente es a este y oeste con un 58% de sombra progresiva, con un grado alto de asoleamiento en la fachada solo cuando se expone al levante y al poniente; en el caso norte solo se presenta un 22% de sombra proyectada; y un 20% al sur, evitando así sobrecalentamientos al interior de este.

La Wayllichá, por la forma de la cubierta, presenta diferencias significativas. Al norte un 18,5% de exposición solar continua, al este y oeste un 33,5% respectivamente, generando sombras importantes de la cubierta que se proyecta a lo largo del día sobre el volumen de la vivienda; y hacia el sur un 14,5% de la superficie tiene un grado de proyección de sombra difuso. Esto nos demuestra que en la época de verano la vivienda es capaz de generar sombras en los horarios de

mayor asoleamiento; en cambio las fachadas norte y sur, debido a la inclinación solar de esta estación son las que menor cantidad de sombras genera (Figura 3).



*Figura 3. Simulación asoleamiento Putuku y Wayllicha Solsticio Invierno/Verano
Fuente: Elaboración propia, 2021.*

3.3. Simulación exposición solar

Para el solsticio de invierno, el Putuku hacia el cerramiento norte tiene un grado de exposición mayor al 90%. A medida que se acerca a las orientaciones este y oeste la exposición solar va disminuyendo al 50%, con una mínima variante en la apertura del vano de la puerta; y a sur baja al 10%. Para la cubierta la exposición es mayor al norte obteniendo hasta un 93% de incidencia, a medida que el recorrido va de este a oeste, la exposición solar decae de un 62%; y en orientación sur disminuyendo a valores menores al 10%.

La Wayllicha, en la orientación norte genera una exposición solar del 90%; mientras al este y oeste desciende hasta el 50%. En ellas, el alero proyecta una franja de sombra disminuyendo la exposición hasta el 20%. Mientras más nos acercamos a la parte sur de la volumetría, obtenemos valores que descienden por debajo del 10%. Ahora bien, la cubierta, por su forma, donde de manera progresiva y casi paralela de norte a sur la exposición va disminuyendo del 95% hasta el 10%, con la particularidad de estar mayormente expuesta en superficie a lo largo del día.

En el solsticio de verano, en el Putuku, hacia norte los muros obtienen un 50% de exposición solar; a medida que el ángulo tiende a este u oeste alcanzamos un aumento entre un 60% y 65%. Mientras nos acercamos a sur, la exposición solar aumenta desde un 70% llegando hasta el 90%. La cubierta tiene un comportamiento diferente; hacia norte obtiene el 80%; mientras que a este y oeste puede decaer entre un 70% y 65%; en cambio, mientras más cerca a la orientación sur está, esta aumenta sobrepasando el 90%.

Para la Wayllicha, la fachada con orientación norte alcanza un 10% de exposición, que va aumentado hacia este y oeste, llegando al 50% donde, debido al alero, la exposición solar decae en la fachada por debajo del 20%. En la base de la fachada sur, siendo el ángulo más abierto del cerramiento, alcanza un valor superior al 95%; pero a medida que llegamos al encuentro con la cubierta este valor decae progresivamente a un 20%. En cambio, en el eje norte-sur de la cubierta se alcanza el 90%, y que decae hasta un 80% en los extremos de levante a poniente (Figura 4).

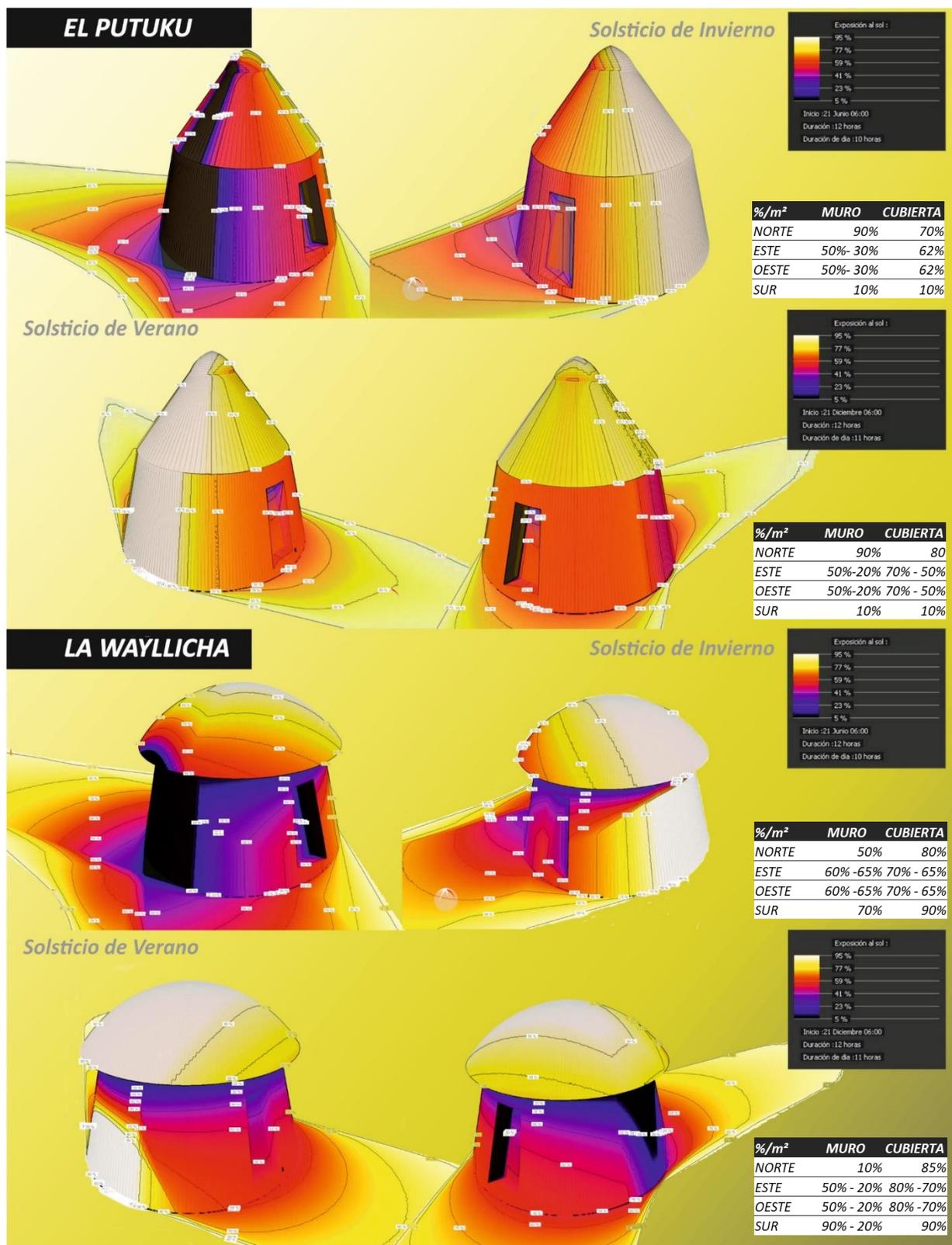


Figura 4. Simulación Exposición Solar Putuku y Wayllicha Solsticio Invierno/Verano

Fuente: Elaboración propia, 2021.

3.4. Simulación de radiación solar

Para el solsticio de invierno (Figura 4), el Putuku, en la orientación norte obtiene un valor medio 535 kW/m^2 con un valor acumulado de $6,42 \text{ kWh/m}^2$; en la cubierta una media de 625 kW/m^2 con valor acumulado de $7,51 \text{ kWh/m}^2$. Hacia los ejes este y oeste de la volumetría una media de 275 kW/m^2 con un acumulado de $3,30 \text{ kWh/m}^2$. La cubierta como media 370 kW/m^2 y un valor acumulado de $4,45 \text{ kWh/m}^2$. Hacia el sur los muros con una media de 50 kW/m^2 y un valor acumulado de $0,621 \text{ kWh/m}^2$; y en la cubierta media es de 62 kW/m^2 con valor acumulado de $0,756 \text{ kWh/m}^2$.

La Wayllicha, hacia norte, la superficie de muros obtiene un valor medio de 545 kW/m^2 , con una ganancia acumulada de $6,54 \text{ kWh/m}^2$; la cubierta con un valor medio de 635 kW/m^2 y con un acumulado de $7,63 \text{ kWh/m}^2$. Para la orientación este y oeste de la volumetría la radiación media de muros es de 270 kW/m^2 , con una ganancia acumulada de $3,25 \text{ kWh/m}^2$, la cubierta una radiación media de 350 kW/m^2 y un valor acumulado de $4,21 \text{ kWh/m}^2$. La orientación sur, con un valor medio de 45 kW/m^2 y un valor acumulado de $0,55 \text{ kWh/m}^2$; y la cubierta tiene un valor medio de 90 kW/m^2 , con una ganancia acumulada de $1,09 \text{ kWh/m}^2$, representado esta orientación los valores más bajos.

Para el solsticio de verano (Figura 5), el Putuku, en la orientación norte, los muros obtienen un valor medio de 215 kW/m^2 y una ganancia acumulada de $2,58 \text{ kWh/m}^2$. La cubierta un valor medio de 380 kW/m^2 con un valor acumulado de $4,57 \text{ kWh/m}^2$. Hacia el este con 425 kW/m^2 y un valor acumulado de $5,10 \text{ kWh/m}^2$, mientras que la cubierta con un valor medio de 530 kW/m^2 y una ganancia acumulada de $6,37 \text{ kWh/m}^2$. Finalmente, al sur los muros alcanzan un valor de 210 kW/m^2 con una ganancia acumulada de $2,52 \text{ kWh/m}^2$, y la cubierta un valor medio de 355 kW/m^2 , con una ganancia acumulada de $4,27 \text{ kWh/m}^2$.

La Wayllicha, para la orientación norte de los muros un valor medio de 180 kW/m^2 , con una ganancia acumulada de $2,16 \text{ kWh/m}^2$, con una variante por el alero de la cubierta, empero la cubierta tiene una ganancia de radiación media de 410 kW/m^2 , con una ganancia acumulada de $4,93 \text{ kWh/m}^2$. Hacia la orientación este, un valor medio 390 kW/m^2 y acumulada de $4,68 \text{ kWh/m}^2$ y al oeste a 175 kW/m^2 como un valor medio, y una ganancia acumulada de $2,11 \text{ kWh/m}^2$, para la cubierta un valor medio de 560 kW/m^2 , y un acumulado de $6,72 \text{ kWh/m}^2$. Hacia el sur, en los muros

una media de 305 kW/m², y en la acumulada 3,67 kWh/m², en la cubierta encontraremos un descenso progresivo valores medios de 455kW/m², con un valor acumulado de 5,46 kWh/m².

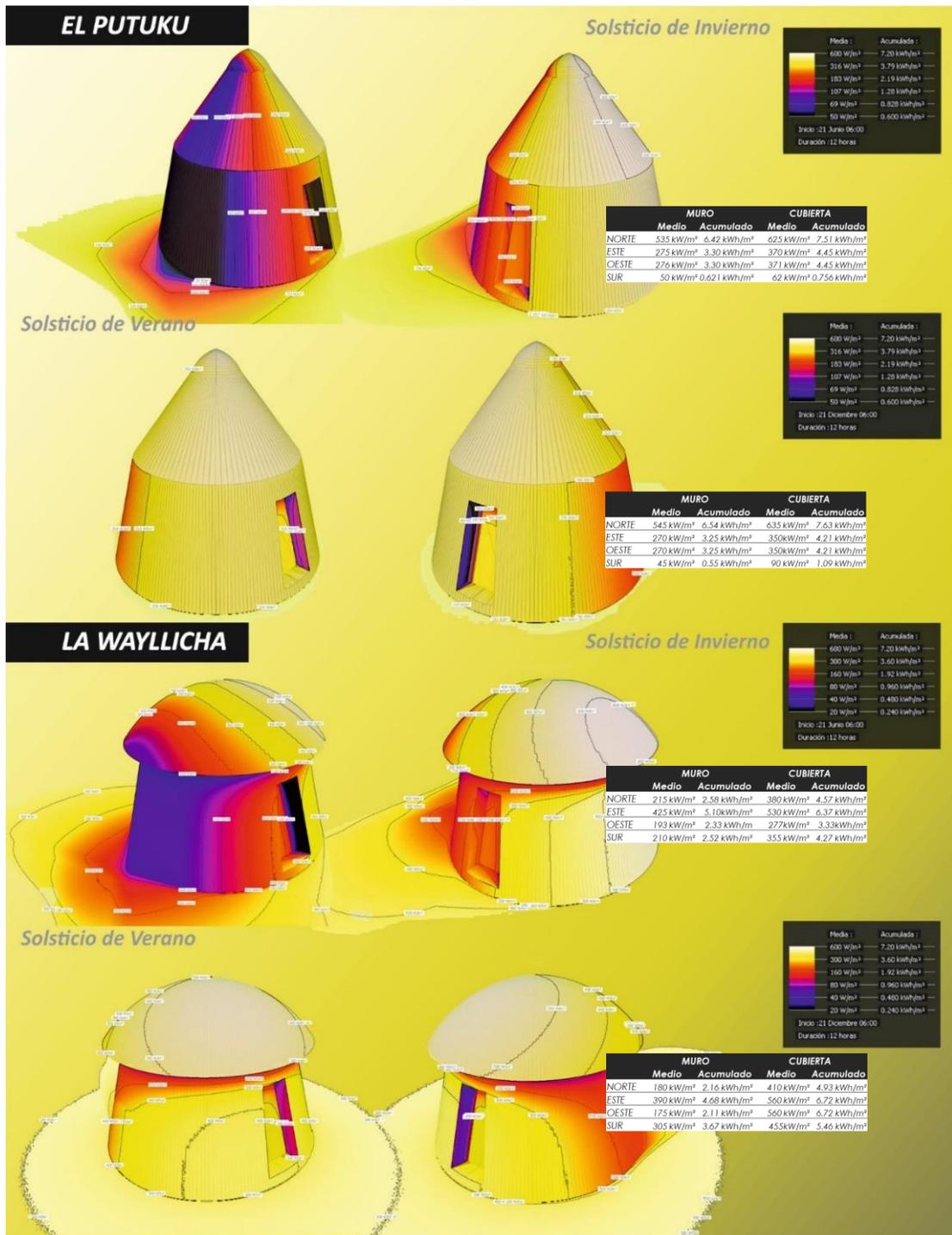


Figura 5. Simulación Radiación Solar Putuku y Wayllicha Solsticio Invierno/Verano

Fuente: Elaboración propia, 2021

4. DISCUSIÓN

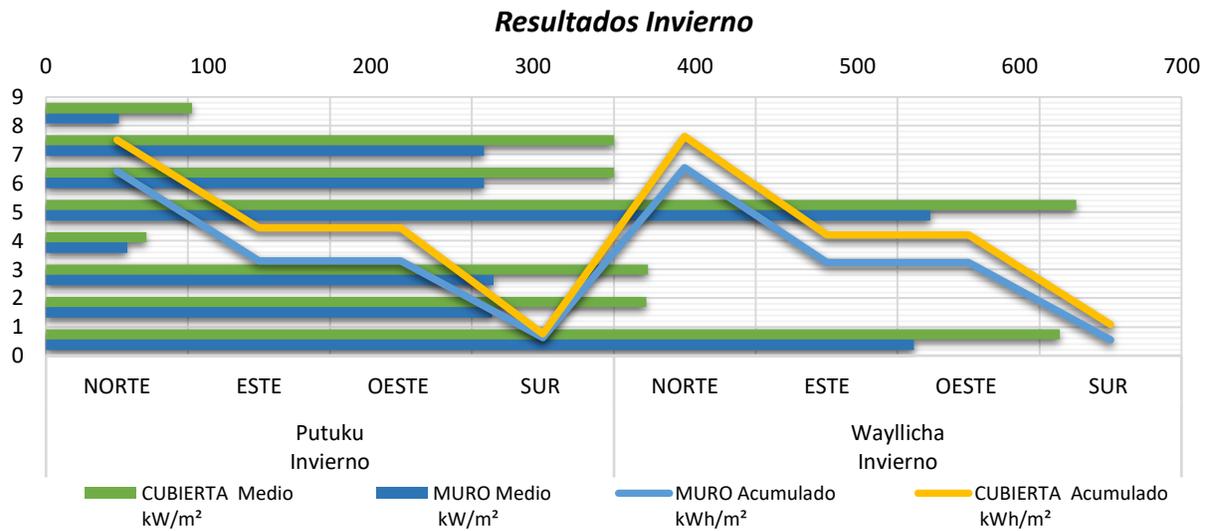
La forma circular de las viviendas en planta y la inclinación de los muros que da por resultado un volumen catenario, hace que las viviendas trabajen de manera mucho más eficiente en captar y controlar la radiación solar en invierno y verano respectivamente. Trabajando de manera constante para regular la cantidad de radiación a lo largo del año, en invierno potenciando estas cualidades formales y materiales para calentar la masa térmica y en verano controlando las sombras y evitando sobrecalentamientos.

Es así que, en invierno, cuando las temperaturas son más extremas, el Putuku, al tener los muros continuos siendo parte de la cubierta, hace que la sombra esté dirigida al sur, asegurando que exista un alto grado de asoleamiento en una mayor superficie, donde la exposición solar se concentra en la fachada a lo largo del día, alcanzando así una ganancia media de 600kW/m^2 con valor acumulado de $7,00\text{kWh/m}^2$.

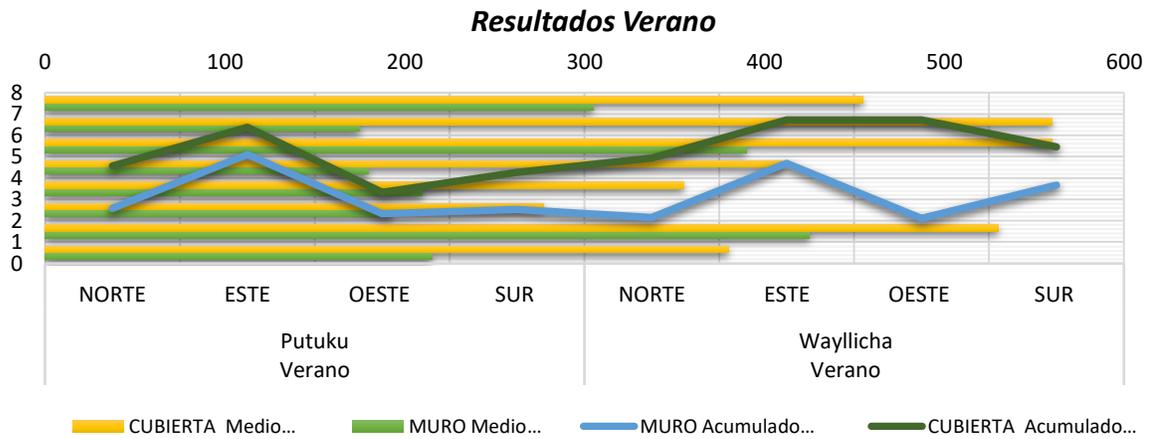
Por otro lado, los muros de la Wayllicha trabajan similarmente, alcanzando un valor medio de 545kW/m^2 , con una ganancia acumulada de $6,5\text{kWh/m}$ como valores medios de la fachada expuesta, esto debido a la sombra que genera el alero de la cubierta. Empero la cubierta de Th'ola es la superficie con mayor exposición solar y la mayor carga de radiación solar, generando una menor proyección de sombra en la superficie de emplazamiento. Demostrando la eficiencia del manejo solar y conocimiento ancestral de estas para la época de invierno, en comparación con viviendas contemporáneas (Figura 6).

Por otro lado, en verano el comportamiento de ambas viviendas está diseñado para responder a la perpendicularidad del ángulo solar, como a la climatología lluviosa. La intención formal del Putuku para resguardar los muros de sobrecalentamientos llega a una media de 215kW/m^2 con una ganancia acumulada de $2,50\text{kWh/m}^2$; en cambio, la cubierta puede ser capaz de absorber y controlar los mismos trabajando el calentamiento interior de manera convectiva, pero cabe resaltar que la materialidad de esta tiene un desgaste mayor en época de lluvia al estar construida totalmente de “Tepes”.

La Wayllicha, de manera similar, controla la radiación solar en los muros por su inclinación y sobre todo por la cubierta. Esta optimiza para sí misma la proyección de sombras para el control del sobrecalentamiento obteniendo 180 kW/m², con una ganancia acumulada de 2,16kWh/m². La cubierta se convierte en la principal barrera para evitar sobrecalentamientos que por su materialidad trabaja de manera eficiente para esta finalidad, teniendo en cuenta además su función para la época de lluvia (Figura 7).



(a) Invierno



(b) Verano

Figura 6. Resultados Putuku y Wayllicha Solsticio Invierno/Verano

Fuente: Elaboración propia, 2021.

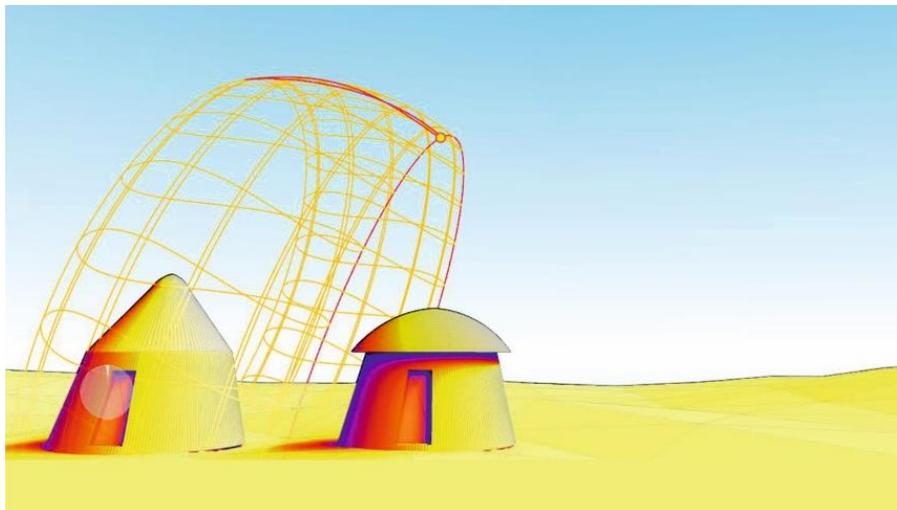


Figura 7. Putuku y Wayllicha Eficiencia de la de la cubierta - Solsticio Invierno/Verano

Fuente: Elaboración propia, 2021.

La conceptualización, la utilización y adaptación formal y material de las viviendas Uru Chipayas optimiza sus relaciones energéticas con el medioambiente que la rodea, mediante su propio diseño arquitectónico en la concepción del bioclimatismo¹² tal y como se refiere Serra (2000) a la importancia del manejo de la energía proveniente del sol.

Es en este sentido, que los resultados encontrados en la simulación de edificaciones vernaculares y el uso de estas herramientas permiten la adaptación y pautas para futuros proyectos que se realicen en el lugar, como lo afirma Sancho (2017), en las conclusiones de su propio análisis, coincidiendo con las afirmaciones de Indriago en sus propias simulaciones.

A la vez, el trabajo de Franco & Bright (2016) hace hincapié en la revisión historia donde “*Las civilizaciones han trabajado por siglos con sistemas pasivos de acondicionamiento térmico*”, en la historia se encuentran las soluciones a problemas que parecen haberse olvidado. Dejando claro que desde el conocimiento ancestral se maneja la eficiencia energética de captación solar pasiva, constatada en las simulaciones realizadas para el estudio, revalorizando estos saberes para aplicaciones futuras.

5. CONCLUSIONES

La resolución del diseño Arquitectónico es una respuesta tangible al contexto climático y natural que engloba el cotidiano y cultural de los Uru-Chipayas, una respuesta que ha perdurado con el pasar del tiempo. Contiene un saber ancestral con un alto valor científico en materia de análisis bioclimático y manejo de la radiación solar, que se hace tangible ante los datos presentados. La eficiencia volumétrica y material para captar la radiación solar que se analizó a partir de las simulaciones digitales permitió hacer una evaluación cuantitativa y gráfica de la insolación e irradiación solar teniendo en cuenta periodos climáticos.

Los resultados de la investigación demuestran la eficiencia en el manejo de la captación solar de ambas viviendas es debido a la forma arquitectónica, sus proporciones, los cerramientos sobre todo por su inclinación y base circular que los hacen altamente eficientes en la captación solar en invierno, y que en verano por la perpendicularidad del ángulo solar trabajan de manera opuesta.

¹² Bioclimática se intenta recoger el interés por la respuesta del hombre, el "BIOS", como usuario del edificio, y del ambiente exterior, el "clima", como afectantes de la forma arquitectónica" (Serra, 2000).

La diferencia principal es el remate de las cubiertas, donde La Wayllicha es la que mayor cantidad de radiación solar capta en invierno y que en verano evita sobrecalentamientos por la proyección de sombras como por los materiales de construcción de esta. Además, es capaz de resistir de mejor manera los temporales de lluvia y nevada característicos de la zona. La cubierta del Putuku, en cambio, por el acabado en Tepe y la cantidad de radiación solar que recibe, tiene mejor aislamiento para las inclemencias climáticas por la inercia térmica de la tierra.

Entendiendo esto, las propiedades térmicas identificadas de las diferentes soluciones constructivas analizadas permiten reconocer que el tepe como envolvente consolida la eficiencia térmica de estas viviendas y se presenta como una alternativa válida y con un enorme potencial desde el punto de vista del desempeño térmico en las soluciones arquitectónicas, que se pueden aplicar en un sistema constructivo mixto.

Es importante que se contemplen estos resultados para la incorporación de estrategias en la comunidad no solo aplicado a la conservación de estas tipologías, resaltando la importancia de la su composición volumétrica y proporciones (alturas, radios, inclinaciones, espesor de muros), el manejo constructivo, sino también en la aplicación de la misma para las nuevas construcciones y la incorporación de estos saberes en la proyección de nuevos proyectos arquitectónicos de carácter turístico, residencial, como también algunos equipamientos.

Su reconocimiento como un patrimonio arquitectónico cultural puede recobrar mayor preponderancia por su valor intrínseco del conocimiento ancestral que puede impulsar más investigaciones en las ciencias, saberes y tecnologías andinas y su relación con el campo bioclimático, la eficiencia energética y la sostenibilidad. Lo que abre el camino a continuar el análisis por medio de cálculo de masa térmica e inercia de los materiales para terminar de cuantificar la potencialidad de estas viviendas con respecto a la composición arquitectónica y sobre todo materialidad de esta, con la finalidad contribuir, difundir y revalorizar los conocimientos ancestrales.

REFERENCIAS

- Bernabé, A. (2010) Revalorización de sabidurías uru Chipayas. Experiencias de apoyo. Programa Regional BioAndes AGRUCO, Cochabamba, Bolivia.
<http://www.agruco.org/bioandes/pdf/revalorizacion-uru-chipaya.pdf>
- De la Zerda, J. (1993). Los Chipayas “Modeladores del espacio”, La Paz: Instituto de Investigaciones de la Facultad de Arquitectura y Artes.
- Franco, R., & Bright, P. J. (2016). Acceso solar en la arquitectura y la ciudad: aproximación histórica. *Revista de Arquitectura* (Bogotá), 18(2), 95-106.
<https://doi.org/10.14718/RevArq.2016.18.2.9>
- Hennings, H. (2004). La Identidad de los pueblos Una aproximación milenaria: los Chipayas
<http://www.architecthum.edu.mx/Architecthumtemp/historiografiasuno/Heninngs.htm>
- Indriago, et al. *Rev. Téc. Ing. Univ. Zulia*. (2002) Evaluation of the natural illumination and sunlighting of bioclimatic houses for hot humid climates. *Revista Técnica de la Facultad de Ingeniería Universidad del Zulia*, 25(2), 68-81. Recuperado en 18 de noviembre de 2021, de http://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0254-07702002000200002&lng=es&tlng=es
- Jordán, W.; Castedo, L.; Chuquimia, C.; Jiménez, S.; Vega, V. (2011). La Nación Uru en Bolivia; Irohito Urus - Uru Chipaya - Urus del lago Poopó: Descripción de la situación social, política, económica y cultural. Educación sin Fronteras, Fundación Machak Amauta. Agencia Catalana de Cooperación al Desarrollo.
- Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. (n.d.). *Características de la Radiación Solar - IDEAM*. IDEAM - Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales. Retrieved November 18, 2021, from <http://ideam.gov.co/web/tiempo-y-clima/caracteristicas-de-la-radiacion-solar>.
- Muñoz, E. y Lázaro, G. (2014). El pueblo Uru Chipaya: un pueblo milenario en la historia y en el presente, Editorial: FUNPROEIB Andes, Cochabamba, Bolivia.
- Olgyay, V. (1998). *Arquitectura y clima, “Manual de diseño bioclimático para arquitectos y urbanistas”*, Barcelona: Gustavo Gili.
- Órgano Deliberativo de la Autonomía Indígena de la Nación Uru Chipaya –ODAINU (2016). Estatuto del Gobierno Autónomo de la Nación Originaria Uru Chipaya. *Órgano Electoral Plurinacional – OEP*. Retrieved from http://autonomias.gobernacionlapaz.com/wp-content/uploads/2018/pdf/uru_chipaya_2016.pdf
- Pozo, G., (2017). *ARQUITECTURA BIOCLIMÁTICA: Adaptación al Altiplano Boliviano*. Instituto de Investigaciones de la Facultad de Arquitectura y Urbanismo. Oruro, Bolivia.

Pozo, G. Canal Milton Salas (12 de noviembre de 2021). Insolación e irradiación solar de la Vivienda Andina Uru – Chipaya. (archivo de video). <https://www.youtube.com/watch?v=a9Wearegf4o&t=12s>

Sancho A. (2017). La simulación digital como herramienta para el reacondicionamiento bioclimático de edificios. *Anales de Edificación* Vol. 3, N°1, 32-43 (2017) ISSN: 2444-1309.

Serra, R. (2000). *Arquitectura y Climas*, Editorial Gustavo Gili. Barcelona, España.

Serra, R. y COCH, H. (2001) *Arquitectura y energía natural*. Catalunya: Ediciones UPC

Villalpando D., Villarpando P., Villalobos J. (2011). Fichas botánicas de especies agroforestales nativas aptas para tierras altoandinas: *Programa CARE-PNCC*. Retrieved from <http://www.ecosaf.org/altiplano/Fichas%20botanicas%20CARE.pdf>

Wachtel, N. (2001). El regreso de los antepasados. Los indios urus de Bolivia, del siglo XX al XVI. México: Fideicomiso Historia de las Américas. Pag 30.

Yuste, P. S. (n.d.). *La inercia térmica en la construcción de edificios eficientes*. *Certificadosenergeticos.com*. Retrieved November 18, 2021, from <https://www.certificadosenergeticos.com/inercia-termica-construccion-edificios-eficientes>

Fuentes de financiamiento: Esta investigación fue financiada con fondos del autor.

Declaración de conflicto de intereses: El autor declara que no tiene ningún conflicto de interés.

Copyright (c) 2021 Grover Antonio Pozo Ledo



Este texto está protegido por una licencia [Creative Commons 4.0](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).

Usted es libre para Compartir —copiar y redistribuir el material en cualquier medio o formato— y Adaptar el documento —remezclar, transformar y crear a partir del material— para cualquier propósito, incluso para fines comerciales, siempre que cumpla la condición de:

Atribución: Usted debe dar crédito a la obra original de manera adecuada, proporcionar un enlace a la licencia, e indicar si se han realizado cambios. Puede hacerlo en cualquier forma razonable, pero no de forma tal que sugiera que tiene el apoyo del licenciante o lo recibe por el uso que hace de la obra.

[Resumendelicencia](#) - [Textocompletodelalicencia](#)