

Propuesta de diseño de una vivienda rural sostenible bio inspirada para el municipio de Paipa, Boyacá-Colombia

Proposal for the design of a sustainable rural bio housing inspired by the municipality of Paipa, Boyacá-Colombia

Jennifer Balcucho Escalante, David Sánchez Nielsen, Sebastián Balcucho Escalante, Andrés Cardona Mora, Joan Berrio Casilimas.

MIMICREW, Bogotá, Colombia.

jennifer.balcucho@mimicrew.com, david.sanchez@mimicrew.com, sebastian.balcucho@mimicrew.com, andres.cardona@mimicrew.com, sebastian.berrio@mimicrew.com

RESUMEN

El desarrollo arquitectónico en Colombia se ha concentrado en las grandes urbes y ha estado caracterizado por la implementación de metodologías adaptadas al consumo y que generan una disrupción del entorno y al consumo desmedido de recursos. La arquitectura sostenible busca mitigar el detrimento ambiental de las viviendas a través de elementos como la bioclimática y el uso de metodologías para el correcto manejo de los recursos. Es así como la biomímesis, área que estudia estructuras, sistemas y procesos presentes en la naturaleza para la resolución de problemas humanos, supone una fuente de inspiración para la arquitectura consciente. Como objetivo principal se planteó una propuesta de diseño de una vivienda rural bio inspirada en el Frailejón paipano (*Espeletia paipana*), que mitigara el impacto ambiental de la construcción y funcionamiento de esta. La vivienda diseñada posee una distribución modular y un sistema de condensación del agua, inspirados en la conformación en roseta y la pubescencia del Frailejón, respectivamente. Así mismo, cuenta con metodologías de transformación y aprovechamiento de recursos para disminuir el deterioro del entorno y la demanda energética. En conclusión, se establece la posibilidad de apoyar el desarrollo rural responsable tomando como base el diseño biomimético y el territorio como fuente de inspiración.

ABSTRACT

Architectural development in Colombia has been concentrated in large cities and has been characterized by the implementation of methodologies adapted to consumption and that generate a disruption of the environment and depletion of resources. Sustainable architecture seeks to mitigate the environmental damage of housing through elements such as bioclimatic and the use of methodologies for the proper management of resources. Thus, biomimicry, an area that studies structures, systems and processes present in nature for the resolution of human problems, is a source of inspiration for conscious and transformative architecture. The main objective was a proposal for the design of a rural housing bio-inspired in the paipan Frailejón (*Espeletia paipana*), which would mitigate the environmental impact of its construction and operation. The designed housing has a modular distribution and a water condensation system inspired in the rosette and pubescent conformation of the Frailejón, respectively. Likewise, it has methodologies of transformation and use of resources to diminish the deterioration of the environment and the energetic demand. In conclusion, it establishes the possibility of supporting responsible rural development based on biomimetic design and the territory as a source of inspiration.

PALABRAS CLAVES: Bioclimática, biomímesis, desarrollo, frailejón, sostenibilidad.

KEY WORDS: Bioclimatic, biomimicry, development, frailejón, sustainability.

FECHA DE RECEPCIÓN: 06/09/2020 | **FECHA DE ACEPTACIÓN:** 06/11/2020

DOI: <http://dx.doi.org/10.30972/arq.0164550>

INTRODUCCIÓN

En Colombia, el desarrollo arquitectónico se ha concentrado en las ciudades y ha conllevado a un olvido por el sentido de adaptación con los espacios, llegando al punto de utilizar las mismas tipologías en diferentes zonas climáticas y haciendo uso de elementos externos como aires acondicionados para manejar la necesidad térmica de la vivienda (Martin, 2017). Es así como se ha recurrido a metodologías que suponen un aumento en el consumo energético y en el uso de recursos, teniendo un efecto negativo en el impacto ambiental. Se estima que el sector constructivo consume cerca del 50% de los recursos naturales (Potes *et al.*, 2018) y es responsable del 40% del consumo energético anual, el 38% de las emisiones globales de gases de efecto invernadero y del uso del 12% de agua potable global (USAID, 2013).

Dichas problemáticas han dirigido los esfuerzos regionales en la inversión de proyectos que fomenten el desarrollo de las poblaciones rurales a través de propuestas de viviendas adaptadas a las necesidades territoriales tanto del entorno como de sus habitantes (Departamento Nacional de Planeación, 2014). Es así como se establece la necesidad de un desarrollo rural sostenible que busque un proceso de transformación social y de progreso económico en las comunidades rurales a través de establecer objetivos claves tales como el bienestar de las personas que viven en estas regiones, la protección y conservación de los recursos naturales, paisajes propios y tradiciones constructivas, y el aseguramiento del acceso de alimentos mediante sistemas de producción sostenible acoplados a las viviendas (Naciones Unidas, 1987).

Como ejemplo de este tipo de vivienda rural sostenible encontramos dos proyectos presentados a la Secretaría Distrital de Planeación (SDP) de la Alcaldía mayor de Bogotá D.C. El primero, planteado por Espacio Colectivo Arquitectos + Estación Espacial Arquitectos, se basó en un diseño de vivienda con una cubierta térmica que une estrategias de generación de calor y energía y tiene acoplado un invernadero que sustenta la vida productiva y cotidiana de los campesinos de zonas rurales del territorio bogotano (Dejtjar, 2019). Así mismo, encontramos la propuesta presentada por el equipo FP Arquitectura, la cual resalta los elementos de sostenibilidad integrados a la vivienda diseñada, como lo son, un sistema de recolección de aguas de lluvia en la cubierta, una cocina de leña de alta eficiencia que reduce el material particulado liberado y una zona de producción conformada por una huerta y una zona de compostaje de los residuos orgánicos generados (ArchDaily, 2019)

En concordancia con el desarrollo y arquitectura sostenible aparece la biomímesis, disciplina en la cual organismos y ecosistemas sirven de inspiración para la generación de diseños que emulan procesos y estrategias presentes en la naturaleza (Zari, 2007; Singh & Nayyar, 2015). Esta área ha sido ampliamente estudiada y aplicada en la arquitectura y la ingeniería debido a que supone una fuente constante de innovación, mientras que es un medio para crear ambientes de construcción y propuestas de vivienda más sostenibles e inclusive regenerativas (Reed, 2006; Berkebile, 2007). De manera que el presente trabajo tiene como objetivo presentar una propuesta de vivienda rural sostenible para el municipio de Paipa en Boyacá-Colombia, cuyo diseño fue planteado a partir de un proceso de bio inspiración e integrando elementos de construcción y arquitectura sostenible con metodologías de manejo de recursos que disminuyen el impacto ambiental de la propuesta.

METODOLOGÍA

El Instituto de Biomímesis (The Biomimicry Institute) proporciona una herramienta para el proceso de diseño bio inspirado llamada “Espirale de Diseño Biomimético” (Biomimicry Design Spiral), que ayuda a realizar la transferencia de estrategias presentes en la naturaleza y convertirlas en sistemas, procesos y diseños innovadores y sostenibles.

Esta espirale de diseño está compuesta de 6 pasos definidos. El primer paso se denomina “Definir”, dónde se debe delimitar el problema para así identificar las funciones que el diseño o propuesta debe realizar. Una vez se ha creado una lista de funciones, estas deben traducirse en palabras o términos que tienen sentido en el mundo biológico, siendo este el paso de “Biologizar”. Lo anterior facilitará encontrar inspiración en la naturaleza. Seguido a esto, se encuentra el tercer paso que es “Descubrir”, enfocado en la investigación y recolección de información para descubrir las estrategias que la naturaleza utiliza para cumplir las funciones deseadas. El cuarto paso, “Abstraer”, se centra en explicar las estrategias descubiertas a fin de entender su funcionamiento y su aplicabilidad en la solución del problema. En el quinto paso, conocido como “Emular”, se desarrollan conceptos de diseño aplicando las estrategias encontradas en el paso tres a la propuesta. Como último paso se tiene “Evaluar”, donde se considera la viabilidad técnica del diseño generado al revisar los resultados obtenidos (The Biomimicry Institute, 2015)

DESARROLLO

Definir

El municipio de Paipa se encuentra ubicado en el centro-oriente de Colombia, en el departamento de Boyacá, sobre los Andes Orientales a una altura aproximada de 2525 m.s.n.m. (Alcaldía de Paipa, 2020). Debido a su posición, los ecosistemas nativos de la región corresponden a bosques tropicales de alta montaña y páramos. Cuenta con una extensión de 30.592,41 hectáreas y su cabecera municipal se encuentra a los 5°47' de latitud norte y 73° 06' de longitud oeste (Buitrago *et al*, 2015; Alcaldía de Paipa, 2020). Aproximadamente el 49.2% de la población vive en la zona rural del municipio (Plan de Acción de los Objetivos del Milenio, 2006). Dentro del Plan de Desarrollo Municipal 2020-2023, la nueva administración presenta como uno de sus pilares la responsabilidad ambiental y establece la necesidad de tomar en cuenta los límites en el consumo de los recursos naturales de la región para garantizar la calidad de vida y la equidad intergeneracional (Alcaldía de Paipa, 2020). Por tanto, la construcción de viviendas en el municipio buscará ser sostenible, al menos las que fuesen construidas con recursos de la administración actual. Teniendo en cuenta las condiciones climáticas del territorio, las viviendas rurales propuestas deberán poseer elementos para el confort térmico de sus habitantes, así como integrar técnicas de construcción propias de la región que utilizan materiales disponibles en el territorio.

Biologizar

En la naturaleza existen múltiples estrategias que son utilizadas por los organismos para termoregularse y adaptarse a los cambios de temperatura en sus entornos (The Biomimicry Institute, 2020). Algunos organismos como las mariposas *Ornithoptera priamus* captan el calor gracias a la estructura organizada de sus alas y a la presencia de pigmentos negros en las mismas, los cuales ayudan a absorber la energía proveniente de los rayos solares (Zhao *et al.*, 2010). Por su parte, los mamíferos realizan procesos de termorregulación gracias a la presencia de glándulas sudoríparas en la epidermis, las cuales se abren para dejar salir sudor que al evaporarse ayuda a disipar el calor de la superficie de la piel (Folk & Semken, 1991). Otros organismos como el tucán *Ramphastos toco* controlan su temperatura corporal gracias a la

presencia de estructuras con gran área superficial de contacto. Su pico de gran tamaño tiene la capacidad de regular la distribución del calor modificando el flujo sanguíneo, comportándose como un radiador (Tattersall *et al.*, 2009). En el caso de los frailejones, plantas propias de los ecosistemas de páramo, se observan adaptaciones que les permiten su floración en terrenos de alta montaña, realizar procesos de fotosíntesis y mantener una temperatura apta al aumentar el calor, además de poseer un papel clave en el ciclo hídrico de estos hábitats (Secretaría de Planeación de Boyacá, 2018; Salinas *et al.*, 2020).

Descubrir

El levantamiento de los Andes tropicales dio como resultado un ambiente con condiciones drásticas. El páramo, presenta frecuentes heladas nocturnas; alta humedad relativa; una alta radiación, capaz de alterar la estructura genética de los organismos; baja temperatura anual, pero con una intensa fluctuación diaria de la misma y una marcada estacionalidad por precipitación (Banco de Occidente, 2001; Buitrago *et al.*, 2015). Debido a pulsos de alta radiación e insolación, seguidos de momentos muy nublados con poca radiación y congelamiento y descongelamiento diario del suelo, la actividad fotosintética se realiza en condiciones extremas. Entender estas y otras limitaciones ambientales le dan sentido a las estrategias adaptativas que han utilizado los organismos para vivir en dicho ecosistema sobrellevando estos problemas ambientales. (Banco de Occidente, 2001). Además, lo anterior permite visualizar qué otras limitaciones podrían tener una vivienda rural que se enfrentaría a las mismas condiciones ambientales que por millones de años han moldeado la evolución de las formas de vida nativas. Cuando vemos formas de vida semejantes, pero evolutivamente no relacionadas entre sí, como es el caso de las rosetas del género *Espeletia* de los Andes y las rosetas del género *Dendrosenecio* de África, llamamos a este evento una convergencia evolutiva, ambos linajes han resuelto exitosamente y de la misma manera los problemas ambientales equivalentes que se presentan en sus respectivos hábitats (Banco de Occidente, 2001). Particularmente, en el área de interés encontramos una especie endémica llamada *Espeletia paipana* S. Díaz & Pedraza, la cual se encuentra en "Peligro Crítico" de acuerdo a la Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza (UICN), debido a su dramática reducción poblacional, reportada en 2004 por López (López, 2004) y que correspondía a un área inferior a los 0.007 Km² con un total de 76 individuos entre adultos, jóvenes y plántulas, de los cuales, sobrevivieron 27 individuos reportados para el año 2015 (Buitrago *et al.*, 2015).

Abstraer

Monasterio y Sarmiento (Monasterio & Sarmiento, 1991) explican cómo las rosetas del Frailejón poseen hojas perennes, lo cual les permite una absorción continua de energía solar para llevar a cabo sus procesos metabólicos. A su vez, en relación con la estrategia anterior, sus hojas se tornan más verticales a lo largo del gradiente de elevación del espécimen (Meinzer, Goldstein & Rundel, 1985). Dicha naturaleza parabólica del crecimiento de sus hojas le permite al Frailejón asimilar de forma más eficiente la luz solar en la media mañana y en la tarde temprana, cuando los rayos solares son oblicuos (Goldstein *et al.*, 1989). A su vez, la roseta presenta un crecimiento asimétrico, posibilitando cualquier orientación para sus hojas (Monasterio & Sarmiento, 1991). Esta disposición admite una variabilidad en la absorción de radiación solar, así como una exposición continua de las hojas a la luz solar. Lo anterior mejora el aprovechamiento de la radiación solar durante el día y las temporadas seca y lluviosa, brindando un balance térmico más favorable (Goldstein *et al.*, 1989).

Otra característica que ayuda al Frailejón a hacer frente a las condiciones climáticas a la que se enfrenta en su entorno son las pubescencias, o estructuras similares a vellos, de sus hojas, las cuales evitan una excesiva transpiración y a su vez, mejoran la retención de agua (Cárdenas *et al.*, 2018). Dichas funciones hacen que las pubescencias de las hojas sean vitales para la

regulación de agua y temperatura, dado que, sin este pelaje la temperatura de las hojas alcanzaría niveles letales (Meinzer & Goldstein, 1985; Buitrago *et al.*, 2015).

Emular

Con base en las cualidades del Frailejón descritas anteriormente, se hizo un proceso de abstracción que permitió aprovechar y adaptar la modularidad y estructura del Frailejón a la propuesta de vivienda rural sostenible, que se encontrará en hábitats semejantes. Por tanto, se estableció la forma de roseta como concepto guía en el diseño de la propuesta, dado que con dicha conformación se consigue un mejor aprovechamiento de la radiación solar, otorgando a la vivienda una mayor capacidad de termorregulación, y una calefacción continua, sin necesidad de un sistema que supla dicha necesidad, resultando en la disminución de la demanda energética del hogar frente a las condiciones propias de la zona. A su vez, las pubescencias de *Espeletia* son integradas al diseño como un sistema de aprovechamiento de la condensación de la neblina que ocurre en la superficie de las ventanas por la diferencia de temperaturas entre el interior y exterior de la vivienda.

Como se observa en la Figura 1, el diseño propuesto tiene un componente central: un patio, elemento tradicional de la arquitectura boyacense (Paredes, 2017). Con esto se busca emular la circularidad de la disposición en roseta y a partir del cual se ensamblan todos los demás elementos de la vivienda sostenible. Es así cómo se logra una distribución ordenada de los espacios, a través de un concepto modular que a su vez le confiere versatilidad al diseño final, ya que permite suprimir o agregar procesos y espacios según las características del terreno y las necesidades de los habitantes.



Figura 1. Disposición modular en roseta y planimetría. Fuente: MIMICREW

A fin de lograr confort térmico en la vivienda, así como lo hace el Frailejón paipano, se recurrió al uso de elementos como claraboyas que permiten una alta entrada de luz a los espacios internos. Así mismo, la propuesta integra un invernadero adosado que aprovecha al máximo la energía solar al estar delimitado por paredes de vidrio. Además, se encuentra conectado con el espacio contiguo mediante un muro que posee dos aperturas de ventilación ubicadas en la parte superior e inferior, permitiendo la circulación del aire entre habitaciones (López, 2003). Finalmente, para lograr un aislamiento térmico el piso se encuentra separado por una cámara de aire y una capa de piedra, aislándolo de la humedad y congelamiento del suelo (Figura 2).

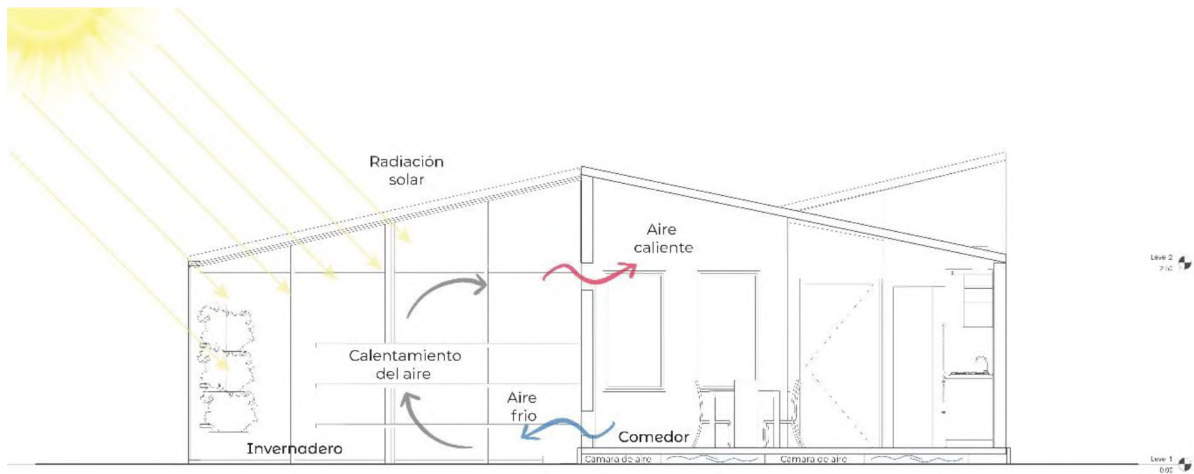


Figura 2. Corte bioclimático. Fuente: MIMICREW

Finalmente, encontramos una estrategia para la captación del agua de la neblina, así como lo hacen las pubescencias del frailejón. Como se observa en la Figura 3, en la parte inferior de las ventanas se encuentra una malla dispuesta en capas separadas y tiene como función atrapar el agua condensada, pasando hacia una canaleta recolectora que guiará el agua a un tanque de almacenamiento.

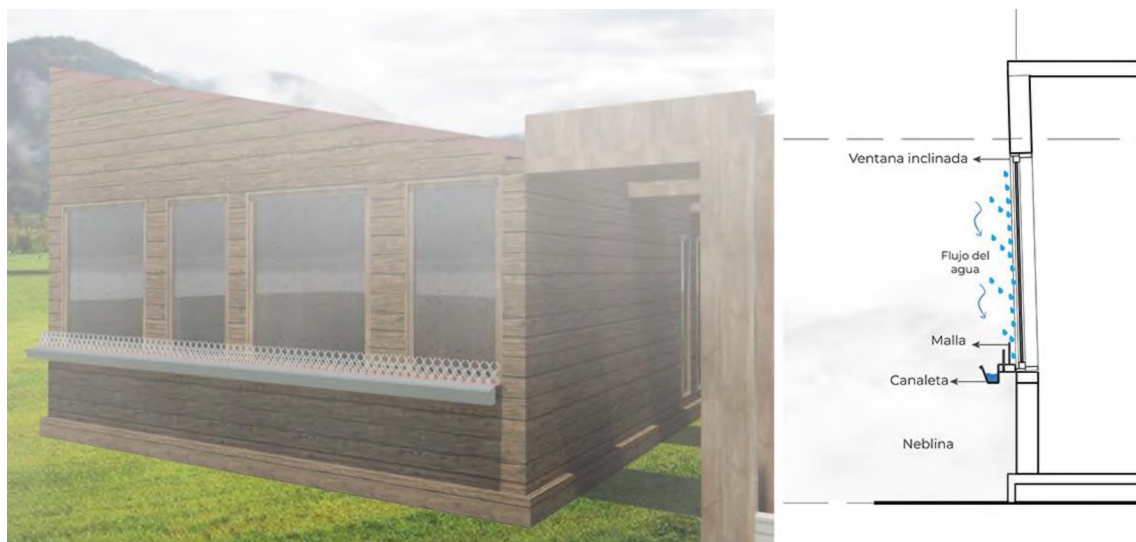


Figura 3. Estrategia de condensación del agua en la neblina. Fuente: MIMICREW

Evaluar

La propuesta de vivienda incorpora, además de componentes biomiméticos que permiten resolver problemáticas de termorregulación a partir de la bioclimática, otros apartados que mejoran la sostenibilidad y circularidad del hogar. Dichos apartados incorporan metodologías como diferenciales de gradientes, biodigestión, fitodepuración, entre otros, para resolver las problemáticas de desechos y aprovechamiento de residuos. Se enumeran y describen a continuación, haciendo seguimiento de la Figura 4.

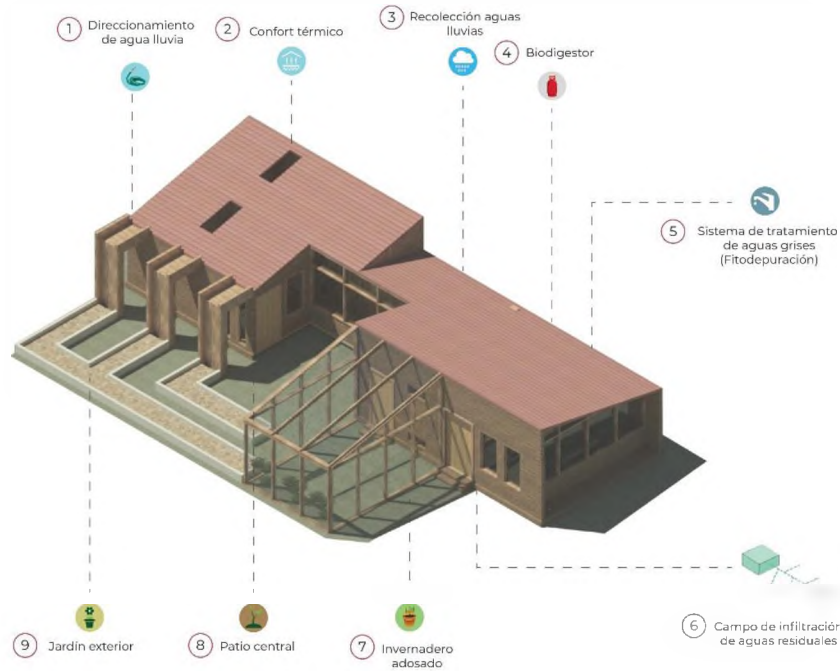


Figura 4. Metodologías sostenibles acopladas al diseño bio inspirado. Fuente: MIMICREW

1. *Sistema de direccionamiento de aguas de lluvia*, a través de canaletas que transportan el agua a vigas canal que alimentan el jardín exterior. En viviendas rurales convencionales el agua lluvia es redirigida pero no se aprovecha, el sistema propuesto permite usar el recurso en el jardín exterior, siendo un sistema de riego automático para las plantas del lugar.
2. *Confort térmico*, por claraboyas que permiten el paso de luz al interior del hogar, mejorando la calefacción y reduciendo la necesidad de sistemas de regulación térmicas artificiales, mientras se alivia la carga económica de los habitantes al disminuir la demanda energética de la vivienda.
3. *Recolección de aguas de lluvia*, a partir de una bajante que recolecta el agua lluvia para su almacenamiento en un tanque y posterior aprovechamiento en zonas como baños y cocina. En comparación con una vivienda rural convencional, que se limita a redirigir el agua lluvia fuera del techo, esta estrategia brinda un alivio para la demanda de recurso hídrico, transformándose finalmente en un alivio económico.
4. *Biodigestor*, que aprovecha los desechos orgánicos producidos por la actividad del hogar y también, si es el caso, de la actividad agrícola, mediante un almacenamiento controlado que permite la transformación a través del metabolismo de microorganismos presentes y la generación de biogás útil para el hogar. Lo anterior en comparación con una

vivienda rural convencional, que suele acoplar sistemas mixtos o de apoyo para el gas consumido.

5. *Sistema de tratamiento de aguas grises*, basado en la fitodepuración, aprovecha la capacidad del buchón de río (*Eichhornia crassipes*) para disminuir la carga de residuos contaminantes en el agua proveniente del lavaplatos, a través de procesos metabólicos propios de la planta y que permiten disponer del agua tratada para diversos usos (i.e. Riego).
6. *Campo de infiltración*, el cual permite un tratamiento apropiado de las aguas residuales de los baños, al dispersarse uniformemente por un sistema de trincheras. Dicho sistema aminora el impacto medioambiental generado por el hogar, debido a que este redistribuye las aguas desecho de manera que funcionen como abono en capas profundas del terreno.
7. *Invernadero adosado*, formado por vidrio transparente y que representa una estrategia bioclimática al convertirse en un foco de calor para el hogar. A su vez, da espacio a cultivos de fácil cuidado y de consumo para los habitantes de la vivienda, lo que genera un alivio económico para los mismos.
8. *Patio central*, que abre un espacio de encuentro para los habitantes de la vivienda y que permite la circulación hacia los demás espacios o módulos, mientras genera un vínculo con la arquitectura colonial propia de la región.
9. *Jardín exterior*, el cual se alimenta del agua recolectada por el primer sistema y estará conformado por plantas propias de la región, sirviendo como elemento de enriquecimiento de los ecosistemas circundantes.

Estimación de costos

El primer paso para definir la estructura óptima de costos; teniendo como base el diseño arquitectónico, el sistema estructural definido y los materiales; es la extracción de cantidades a través de un modelo digital que cumple con los lineamientos establecidos por la metodología BIM (Building Information Modelling). Una vez desarrollado el modelo digital, y de la mano con el proceso constructivo, se procede a realizar la organización del proyecto por capítulos, teniendo en cuenta la secuencia lógica de ejecución. Posteriormente, se procede a realizar el costo directo mediante el método de Análisis de Precios Unitarios (APU), considerando costos tales como: equipos, materiales, mano de obra y transporte al sitio. Como fuentes de información se consultaron proveedores locales, generadoras de precios y revistas especializadas (LEGIS, 2020). Por su parte, la mano de obra se calculó teniendo en cuenta el rendimiento unitario de cada cuadrilla y la cantidad de horas necesarias para llevar a cabo cada actividad. Cabe aclarar que el costo de los equipos se estima a través de un porcentaje variable sobre el costo total de la actividad y el transporte está incluido en el costo del material, es decir que el costo del material es puesto *in situ*.

Entonces, el costo directo se calcula sumando los costos de equipos más los costos por materiales, transporte y mano de obra por cada actividad y después se suman los costos de todas las actividades. Luego, se utiliza la metodología para cálculo de costos indirectos Administración Imprevistos Utilidad (AIU) la cual hace referencia a los administrativos, imprevistos y utilidades (Rojas & Bohórquez, 2009). Finalmente, se suman los costos directos e indirectos, agregado Impuesto al Valor Agregado (IVA), y convirtiendo el resultado a dólar estadounidense (USD) con la Tasa Representativa del Mercado (TRM) del 29 de agosto del 2020.

Balcucho Escalante J., Sánchez Nielsen D., Balcucho Escalante S., Cardona Mora A., Berrio Casilimas

Tabla 1. Presupuesto de obra de vivienda rural sostenible

Nº ITEM	PARTIDA	COSTO	PARTIDA	UNIDAD	COSTO
1	OBRAS PRELIMINARES	\$ 4.244.312	Administración (%)	1,9	\$ 15.436.749
2	CARPINTERIA EN MADERA	\$ 21.006.437	Imprevisto (%)	8	\$ 6.499.684
3	MADERA ESTRUCTURAL	\$ 46.534.449	Utilidad (%)	1,0	\$ 8.124.605
4	ARQUITECTURA	\$ 7.012.456	IVA (%)	1,9	\$ 1.543.675
5	INSTALACIONES	\$ 2.448.395			
Total Costo Directo		\$ 81.246.049	Total Costo Indirecto		\$ 31.604.713
			Total Costo del Proyecto		30.090 USD

Fuente: MIMICREW.

La Figura 5 presenta el diseño y apariencia final de la propuesta al ser implementada; ambientado con el paisaje de la región, el clima y los campesinos locales. Así mismo, se muestran los materiales seleccionados para su construcción y elementos claves en el diseño como lo son la huerta y los jardines exteriores.



Figura 5. Diseño final vivienda rural sostenible bioinspirada. Fuente: MIMICREW

CONCLUSIONES

La presente propuesta de diseño de vivienda rural sostenible desarrollada para el municipio de Paipa en Boyacá-Colombia, fue planteada haciendo uso de la herramienta de diseño biomimético llamada "Biomimicry Design Spiral". A partir de la comprensión de las limitaciones ambientales del territorio y emulando las estrategias adaptativas del Frailejón paipano (*Espeletia paipana*), se plantearon soluciones a problemáticas como la termorregulación de la vivienda, según las condiciones ambientales locales, implementando estrategias bioclimáticas. Se evidencia que el diseño incorpora diferentes metodologías sostenibles, nueve (9), así como tres (3) estrategias bio inspiradas que disminuyen el impacto ambiental del proceso constructivo y del funcionamiento de la vivienda. A comparación de otras propuestas de vivienda rural sostenible hechas en Colombia, la presente propuesta se centra en la funcionalización de los procesos y el bienestar de los habitantes a partir de la bio inspiración local, integrando elementos como la recolección de agua a partir de la condensación de la neblina y la fitodepuración en el sistema de tratamiento de aguas grises.

REFERENCIAS

- Alcaldía de Paipa. (2020). *Plan de desarrollo municipal: con sumercé podemos avanzar 2020-2023*. Boyacá, Colombia.
- ArchDaily. (2019). *Prototipo de vivienda rural sostenible y productiva en Colombia*, por FP Arquitectura. Consultado en: <https://www.archdaily.co/co/912225/prototipo-de-vivienda-rural-sostenible-y-productiva-en-colombia-por-fp-arquitectura>
- Banco de Occidente. (2001). *Páramos de Colombia*. Capítulo 5: Estrategias adaptativas de la vegetación. Consultado en: <https://www.imeditores.com/banoccl/paramos/cap5.htm>

- Berkebile, B. (2007). *Master Speaker Address. Living Future Conference*. Seattle, USA.
- Buitrago, S., Vanegas, L., & Ramos, C. (2015). *Pérdida de pubescencia foliar y sus efectos fisiológicos en Espeletia paipana* (Asterales, Asteraceae), en el departamento de Boyacá-Colombia. *Revista de Biología Tropical* ISSN-0034-7744 Vol. 63 (3): 845-858. Consultado en: <https://www.scielo.sa.cr/pdf/rbt/v63n3/0034-7744-rbt-63-03-00845.pdf>
- Cárdenas, M., Tobón, C., Rock, B. (2018). *Ecophysiology of frailejones* (Espeletia spp.), and its contribution to the hydrological functioning of páramo ecosystems. *Plant Ecol* 219, 185–198.
- Dejtiar, F. (2019). *Vivienda rural sostenible y productiva en Colombia, por Espacio Colectivo Arquitectos + Estación Espacial Arquitectos*. Consultado en: <https://www.archdaily.co/co/913305/vivienda-rural-sostenible-y-productiva-en-colombia-por-espacio-colectivo-arquitectos-plus-estacion-espacial-arquitectos>
- Departamento Nacional de Planeación. (2014). *Plan Nacional de Desarrollo 2014-2018*. Colombia.
- Folk, G., & Semken, A. (1991). *The evolution of sweat glands*. *International Journal of Biometeorology*, 35(3), 180-186.
- Goldstein, G., Rada, F., Canales, M., & Zabala, O. (1989). *Leaf gas exchange of two giant caulescent rosette species*. *LEGIS*. (2020). *Cálculo de precios*. *Construdata*, 1(195), 12-18. Consultado en: <https://tienda.construdata.com/index.php>
- López, M. (2003). *Estrategias Bioclimáticas en la Arquitectura*
- López, F. (2004). *Diagnóstico del estado de conservación de "Espeletia paipana"* (Tesis inédita de pregrado). Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia, Tunja, Colombia.
- Martin, J. (2017). *Arquitectura tradicional colombiana como sistema pasivo de aprovechamiento energético*.
- Meinzer, F., & Goldstein, G. (1985). *Some Consequences of Leaf Pubescence in the Andean Giant Rosette Plant Espeletia Timotensis*. *Ecology*, 66: 512-520.
- Meinzer, F., Goldstein, G., & Rundel, P. (1985). *Morphological changes along an altitude gradient and their consequences for an andean giant rosette plant*. *Oecologia* 65, 278–283.
- Monasterio, M., & Sarmiento, L. (1991). *Adaptive radiation of Espeletia in the cold andean tropics*. *Trends in Ecology & Evolution*, 6(12), 387–391.
- Naciones Unidas. (1987). *Nuestro futuro común. Informe de la Comisión Mundial sobre el Medio Ambiente y el Desarrollo* (Resumen)
- Paredes, S. (2017). *Casas en la colonia*. *Revista Credencial*. Casa Editorial el Tiempo & banco de occidente. Consultado en: <http://www.revistacredencial.com/credencial/historia/temas/casas-en-la-colonia>
- Plan de Acción de los Objetivos del Milenio. (2006). *Programa para la disminución de la pobreza y seguimiento al avance de las metas del milenio en el departamento de Boyacá Municipio de Paipa* Programa PNUD-Departamento de Boyacá <https://www.dapboyaca.gov.co/descargas/odm/tundama/paipa.pdf>
- Potes, L., Chavez, H., Bernal, K., & Llano, S. (2018). *Arquitectura y urbanismo sostenible en Colombia. Una mirada al marco reglamentario*. *Bitácora Urbano-Territorial*, 28(3), 19-26.
- Reed, B. (2006). *Shifting our Mental Model - "Sustainability" to Regeneration*. *Rethinking Sustainable Construction 2006: Next Generation Green Buildings*. Sarasota, Florida.
- Rojas, M., & Bohórquez, N. (2009). *Aproximación metodológica para el cálculo del AIU*. <http://www.scielo.org.co/pdf/dyna/v77n162/a30v77n162.pdf>
- Salinas, C., Fuentes, L., & Hernández, L. (2020). *Caracterización de los lepidópteros fitófagos asociados a la herbivoría de frailejones en la microcuena de la quebrada Calostros del Parque Nacional Natural Chingaza*.
- Secretaría de planeación de Boyacá. (2018). *Boyacá Bio*. Boyacá, Colombia.
- Singh, A., & Nayyar, N. (2015). *Biomimicry-an alternative solution to sustainable buildings*. *Journal of Civil and Environmental Technology*, 2(14), 96-101.
- Tattersall, G., Andrade, D., & Abe, A. (2009). *Heat exchange from the toucan bill reveals a controllable vascular thermal radiator*. *Science*, 325(5939), 468-470.
- The Biomimicry Institute. (2015). *Biomimicry toolbox*. Consultado el 29/08/2020 en: <https://toolbox.biomimicry.org/es>
- The Biomimicry Institute. (2020). *Thermoregulation*. Consultado en: <https://asknature.org/?s=thermoregulation>
- USAID. (2013). *Documento técnico de soporte. Recomendaciones de Política Pública de Construcción y Urbanismo Sostenible*. Informe final. Bogotá: USAID
- Zari, M. (2007). *Biomimetic approaches to architectural design for increased sustainability*. In *the SB07 NZ Sustainable Building Conference*, 1-10.
- Zhao, Q., Fan, T., Ding, J., Zhang, D., Guo, Q., & Kamada, M. (2011). *Super black and ultrathin amorphous carbon film inspired by anti-reflection architecture in butterfly wing*. *Carbon*, 49(3), 877-883.