

**Diseño de un prototipo de vivienda rural con características bioclimáticas y autonomía  
energética renovable en el municipio de Paipa-Boyacá**

**Luis Ernesto Ortiz Ruiz**

**Universidad Nacional Abierta y a Distancia-UNAD**

**Escuela de Ciencias Agrícolas Pecuarias y del Medio Ambiente-ECAPMA**

**Programa de Ingeniería Ambiental**

**Duitama**

**2020**

**Diseño de un prototipo de vivienda rural con características bioclimáticas y autonomía  
energética renovable en el municipio de Paipa-Boyacá**

**Luis Ernesto Ortiz Ruiz**

**Trabajo para optar al título de Ingeniero Ambiental**

**Director**

**Ing. Dairo José Benítez Villarreal**

**Universidad Nacional Abierta y a Distancia-UNAD**

**Escuela de Ciencias Agrícolas Pecuarias y del Medio Ambiente-ECAPMA**

**Programa de Ingeniería Ambiental**

**Duitama**

**2020**

## Nota de Aceptación

---

Ing. Dairo José Benítez Villarreal  
Director Trabajo de Grado

---

Firma del presidente del jurado

## Resumen

El presente proyecto pretende proponer un prototipo de vivienda rural con características total innovadora en función a brindar mejor calidad de vida a quienes opten por él, este Prototipo de vivienda rural con características bioclimáticas y autonomía energética renovable se desarrolló fundamentalmente bajo los siguientes pilares: Eficiencia energética renovable, Confort térmico, Bienestar y salud, Sostenibilidad ambiental. Tomando en cuenta, el análisis de las alternativas tecnológicas disponibles o de reingeniería, siendo posible aplicarlo integralmente en la construcción de proyectos arquitectónicos de viviendas rurales, a fin de ser desarrollado en el municipio de Paipa – Boyacá. Cabe destacar, que la naturaleza de esta localidad brinda grandes ventajas por su topografía, ubicación geográfica, condiciones medio-ambientales y disposición de recursos naturales que no han pasado por transformación industrial para su utilización; con el fin de contribuir en la reducción de la huella de carbono. Esta investigación estableció como objetivo general Diseñar un prototipo de vivienda rural, acogiendo criterios arquitectónicos con características bioclimáticas y de sostenibilidad, aprovechando las fuentes naturales de energía solar y energía eólica del municipio de Paipa; Departamento de Boyacá.

Se estableció como metodología, método inductivo, a través del análisis comparativo de los sistemas de construcción de viviendas y alternativas energéticas sostenibles, obteniendo con resultados los siguientes aportes: la vivienda brindará la posibilidad de mejorar y optimizar el uso de los espacios habitacionales, optimando su confort térmico interno, sin importar el clima externo de la zona, donde este emplazado el proyecto en referencia. De tal forma, que este proyecto involucra el uso de energías renovables como la solar fotovoltaica, y la eólica, para el funcionamiento de los electrodomésticos y equipos del spa. Cabe destacar, que la iluminación y la ventilación durante el día es totalmente natural. Ahora bien, para el área de habitaciones, y sala-comedor se cuenta con un sistema de calefacción de piso radiante a base de vapor y/o aire caliente.

Finalmente, este proyecto propende por el uso racional de los recursos y el compromiso a nivel individual y colectivo responsable frente al comportamiento con el medio ambiente. Y lo más importante que este prototipo de vivienda rural de forma integral le ofrece bienestar y salud para las personas que habiten estos espacios arquitectónicos.

**Palabras clave: eficiencia energética, huella de carbón, confort térmico, materiales sostenibles, arquitectura en tierra.**

### **Abstract**

This project aims to propose a prototype of rural housing with totally innovative characteristics in order to provide a better quality of life to those who choose it, this Prototype of rural housing with bioclimatic characteristics and renewable energy autonomy was developed fundamentally under the following pillars: Energy efficiency renewable, Thermal comfort, Well-being and health, Environmental sustainability. Taking into account, the analysis of the available technological alternatives or reengineering, being possible to apply it integrally in the construction of architectural projects of rural houses, in order to be developed in the municipality of Paipa – Boyacá. This research established the general objective of Designing a rural housing prototype, accepting architectural criteria with bioclimatic and sustainability characteristics, taking advantage of the natural sources of solar energy and wind energy in the municipality of Paipa; Boyacá Department.

It should be noted that the nature of this town offers great advantages due to its topography, geographical location, environmental conditions and disposition of natural resources that have not undergone industrial transformation for their use; in order to contribute to the reduction of the carbon footprint. It was established as a methodology, inductive method, through the comparative analysis of housing construction systems and sustainable energy alternatives, obtaining the following contributions with results: housing will provide the possibility of improving and optimizing the use of housing spaces, optimizing their internal thermal comfort, regardless of the external climate of the area, where the project in question is located. In such a way, this project involves the use of renewable energies such as solar photovoltaic, and wind, for the operation of the appliances and equipment of the spa.

It should be noted that the lighting and ventilation during the day is completely natural. Now, for the area of bedrooms, and living room, there is a radiant floor heating system based on steam and / or hot air.

Finally, this project tends for the rational use of resources and commitment at the individual and collective level responsible for behavior with the environment. And the most important thing that this prototype of rural housing in an integral way offers well-being and health for the people who inhabit these architectural spaces.

Keywords: energy efficiency, carbon footprint, thermal comfort, sustainable materials, earthen architecture

## Tabla de Contenido

	Pág.
Lista de Tablas.....	10
Lista de Gráficos.....	11
Lista de Figuras.....	12
Planteamiento del problema.....	15
Justificación.....	18
Objetivos de la Investigación.....	20
Objetivo General.....	20
Objetivos Específicos.....	20
Marco Conceptual y Teórico.....	21
Antecedentes.....	21
¿Qué se ha hecho en Colombia?.....	22
Importancia del proyecto en Paipa- Boyacá.....	23
Conceptos Básicos.....	25
Metodología.....	30
Fases.....	30
Flujograma metodología aplicada.....	31
Caracterización de los Sistemas de Construcción de Viviendas Rurales.....	31
Caracterización del Prototipo de la Vivienda Rural.....	35
Sistemas de Abastecimiento de Servicios Vitales.....	36
Matriz DOFA sobre la Implementación de Energías Renovables.....	39
Caracterización de la Población Objetivo.....	40
Normatividad del uso de Energías Renovables.....	41
Diseño del prototipo de la vivienda rural.....	42
Descripción del diseño.....	42
Tipología de la vivienda.....	42
Innovación del sistema constructivo.....	42
Característica de los elementos constructivos de la vivienda.....	43
Planta.....	44
Cubierta.....	44
Muro trombe.....	44
Análisis Bioclimático de la vivienda.....	45
Sistemas mixtos de calefacción.....	46
Ventajas de la arquitectura en tierra.....	47
Huella ecológica en la construcción de vivienda sostenible.....	48
Diseño del proyecto de energía fotovoltaica para el prototipo de vivienda en Paipa.....	50
Climograma de Paipa.....	52
Diagrama de temperatura de la ciudad de Paipa – Boyacá.....	53
Climática//Datos Históricos del tiempo en Paipa-Boyacá .....	54
Radiación solar en Paipa- Boyacá.....	54
Energía eólica en el departamento de Boyacá.....	55
Prototipo de aerogenerador eólico de eje vertical.....	58
Resultados.....	60

Conclusiones.....	61
Anexos.....	63
Anexos N° 1. Ubicación del Municipio de Paipa.....	63
Anexos N° 2. Planos.....	65
Anexos N° 2.1. Plano: Planta 3D.....	66
Anexos N° 2.2. Plano: Fachada Principal.....	67
Anexos N° 2.3. Plano: Fachada Lateral A.....	67
Anexos N° 2.4. Plano: Fachada Lateral B.....	68
Anexos N° 2.5. Plano: Cubierta.....	68
Referencias Bibliográficas.....	69

## Lista de Tablas

	<b>Pág.</b>
Tabla N° 1. Matriz DOFA: Implementación de Energías Renovables.....	38
Tabla N° 2. Relación de Actividades e Impacto Ambiental Causado .....	47
Tabla N° 3. Relación de Actividad e Impacto Ambiental causado en construcciones convencionales.....	48
Tabla N° 4. Dimensionamiento Proyecto de Energía Fotovoltaica.....	49
Tabla N° 5. Resumen de los Elementos Resultantes del Cálculo.....	50
Tabla N° 6. Comparativo de Consumos y Producción.....	50
Tabla N° 7. Climática // Datos Históricos del Tiempo en PAIPA.....	53
Tabla N° 8. Valores Estimados de la Densidad del Aire.....	55
Tabla N° 9. Descripción del Prototipo de Aerogenerador Eólico de Eje Vertical.....	59

## Lista de Gráficos

	<b>Pág.</b>
Gráfico N° 1. Climograma Paipa.....	51
Gráfico N° 2. Diagrama de Temperatura de la ciudad de Paipa- Boyacá.....	52
Gráfico N° 3. Radiación solar en Paipa- Boyacá.....	54
Gráfico N° 4. Histograma de velocidad del viento en función del número de horas.....	57
Gráfico N° 5. Rosa de los vientos Julio 2010. Estación Los Monjes.....	57

## Lista de Figuras

	<b>Pág.</b>
Figura N° 1. Muro Trombe.....	44
Figura N° 2. Prototipo de generador Eólico de Eje vertical.....	58

## Introducción

Debido al deterioro ambiental, originado por el uso intensivo de energía eléctrica convencional generada a partir del uso de combustibles fósiles como el carbón bituminoso y derivados del petróleo, como es el caso de las termo-eléctricas de Paipa-Boyacá (Peña,2011, p:27-33) la huella de carbono aumenta y el calentamiento global es inminente, hecho que debería instar, no solo a los gobiernos de turno; sino también a la comunidad en general para propiciar el desarrollo de alternativas de construcción de viviendas que conlleven menor consumo de materiales prefabricados, traslado de los mismos, uso racional del agua y promover el uso las fuentes de energías limpias.

El desarrollo de vivienda rural en el municipio de Paipa, está aumentando de manera significativa con los sistemas tradicionales de construcción, haciendo uso masivo de materiales prefabricados que consumen mucha energía en su fabricación y traslado, sumado a esto se continúa utilizando energía eléctrica de fuentes térmicas dependientes de combustibles fósiles para su generación y abastecen para el funcionamiento de los electrodomésticos, alumbrado y calentamiento del agua en las viviendas contribuye sustancialmente al deterioro ambiental, al aumento de la huella de carbono y el calentamiento global, por tanto, los procesos constructivos de viviendas originan actividades con impactos negativos hacia el medio ambiente, tanto por los materiales que se emplean como por los procesos mismos (Morales-Domínguez, Ortiz-Guzmán y Alavéz-Ramirez 2007).

Dadas estas particularidades, resulta viable diseñar y construir viviendas con características bioclimáticas que contribuya principalmente a mejorar estilos de vida en tres aspectos:

Ambientalmente, en la disminución de la huella de carbono mediante el uso eficiente de energías renovables en los procesos constructivos.

Desde el punto de vista habitacional, mejorando el confort térmico interno de la vivienda y de forma integral, haciendo uso de materiales para construcción eco-sostenibles, aportando bienestar y salud de sus habitantes.

## Planteamiento del Problema

¿Cómo el uso de energías renovables y técnicas apropiadas de construcción que podrán volver confortable la vivienda rural, contribuirá en la disminución de la huella de carbono?

El cambio climático es un problema de supervivencia. El aumento diario de la huella del carbono, es uno de los fenómenos más importantes por el que está enfrentando el planeta tierra. Uno de los protagonistas de aumentar esa huella de carbono, es el hombre con sus acciones antrópicas por el uso de combustibles fósiles en la producción de energía convencional para alimentar todos los campos del desarrollo social y económico de los países del mundo.

El uso generalizado de estos combustibles, no solo agotan los recursos no renovables como las fuentes hídricas; sino que además están rompiendo el equilibrio de los ecosistemas y sus mayores efectos son el origen de fenómenos naturales como huracanes, tornados, tsunamis, deforestación de bosques nativos y de especies endémicas de flora y fauna, entre otras. Hacer uso de la fuente mayor de energía existente en el universo, la solar, como alternativa, para suplir las necesidades del mundo moderno, para apuntarle a un desarrollo sostenible y sustentable, permite no solo contribuir con el medio ambiente, sino tener las comodidades bioclimáticas (comfort) del espacio en el que habita el ser humano. Este problema es de tal magnitud que jóvenes activistas de países de los diferentes continentes están convocando a todos los seres humanos para que asuman su responsabilidad desde el rol que juega en la sociedad de consumo (Osal, 2012, p: 17).

Al sustituir las energías convencionales por energías limpias en las viviendas, se contribuye en la disminución de la huella de carbono; sino que además disminuye costos, agrega valor y confort dentro de la vivienda. El país empieza a pensar en las energías alternativas...las energías no convencionales, apenas el 6 de marzo de este año...su capacidad de generación pasará de 187 megavatios en 2014 a 360 megavatios en el 2017, según Asocaña (...) *también puede generar su propia energía desde su vivienda* (El Tiempo, 2016, p: 3).

De otra parte, las estadísticas de paneles solares en Colombia comparado con otros países de avanzada en el uso de energías alternativas nos muestran el siguiente comparativo: En Alemania se consume anualmente 608.051 GWh de energía eléctrica (7.4 MWh por habitante anual); pero al mismo tiempo está generando 26.801 GWh anual de energía fotovoltaica. En Colombia consume anualmente 57.000 GWh (1.2 MWh por habitante anual); pero solo se generó 0.006 GWh (el 0.000011%) por el uso de plantas solares. (Vivasola Colombia, 2011, p: 1).

La ley 1715 del 2014, promueve el uso de energías limpias. El Ministerio del Medio Ambiente y Desarrollo Sostenible dentro de sus competencias está la de apoyar al Ministerio de Minas y Energía para velar por un desarrollo bajo en carbono del sector energético a partir del fomento y desarrollo de las fuentes no convencionales de energía y la eficiencia energética. (Ley 1715 de 2014, p: 5-6)

Las viviendas rurales aprovechando el sistema solar térmico autogenerando energía limpia tienen la importancia y el derecho de mejorar su ambiente; pero a la vez, el deber de conservarlo. El verdadero desarrollo del ser humano, es aquel que se logra con principios éticos. En la sociedad de consumo, cada individuo puede hacer su aporte a la sostenibilidad del medio ambiente, contribuyendo en la disminución de la huella de carbono, la utilización racional de los recursos naturales no renovables, como el agua.

Proponer el uso de energías limpias en las viviendas rurales, logrando optimizar cada inversión que se hace del componente arquitectónico, diseñar y construir la estructura de esta vivienda que incluya el aprovechamiento real de los recursos naturales disponibles, como la tierra misma del lugar para fabricar los muros en adobe, tapia pisada, o bahareque, como materiales aislantes, las orientaciones adecuadas con respecto al sol, apropiados diseños de ventanas con vidrio, que de estas se genere confort térmico.

Lograr la eficiencia desde el punto de vista energético y del sistema constructivo propuesto utilizando recursos naturales de la zona sin recurrir a la oferta mercantilista, permite que este prototipo de vivienda se pueda replicar en otros lugares de Boyacá y del territorio nacional, como una alternativa de desarrollo de viviendas rurales sostenibles. Este aspecto primordial de la sostenibilidad, orientado a la disminución de la huella de carbono resulta de atención especial en una sociedad afectada por el calentamiento global y cambio climático.

## Justificación

La responsabilidad individual y colectiva en el manejo de los recursos naturales es deber de todos por la supervivencia en este planeta. Cada día el ser humano aspira a tener más y mejores comodidades en el espacio en el que habita, conllevando un mayor uso de recursos energéticos. La arquitectura bioclimática con autonomía energética, brinda la posibilidad de tener los mismos y/o mejores servicios alimentados con energías alternativas como la solar, la eólica, hidráulica, biogás, pirolisis de biomasa y geotérmica, entre otras.

Conocedor del problema de calentamiento global, se tiene la posibilidad, desde el rol social para hacer aportes con base en los conocimientos adquiridos en la academia y apoyado del adelanto tecnológico, presentar alternativas de solución en la sustitución del uso de energía convencional por energías alternativas en el desarrollo de proyectos arquitectónicos. De ahí que este proyecto arquitectónico, hace parte de la solución del problema de cambio climático, el calentamiento global en la disminución de la huella de carbono.

Este prototipo de la vivienda rural desarrollado en forma masiva, desde lo local en el primer ente territorial como lo es el municipio de Paipa y replicado en el territorio nacional y más allá de las fronteras, contribuirá significativamente a mejorar las condiciones ambientales del planeta tierra y por quien tenemos la responsabilidad social de compensarle por todos los servicios que este nos ha brinda durante la existencia de la humanidad y los demás seres vivos que hacen parte de los ecosistemas.

En el diseño del prototipo de vivienda se propone aprovechar el agua lluvia, (captándola, potabilizándola y almacenándola como reserva del preciado líquido); de manera similar, el agua residual, se depura y se trata para ser devuelta al medio natural en las mejores condiciones para riego de jardines y la energía solar para calentar el agua que requiere la vivienda. En los espacios

habitacionales, se incorpora el muro trombe. Con este tipo de muro, es posible calentar con el aprovechamiento de la radiación solar el aire frío de la parte exterior de la vivienda e incorporarlo al interior de la casa para subir el confort térmico. Estos sistemas constructivos con características bioclimáticas a partir de la autogeneración de energía renovable, favorece a toda la población que desee mejorar sus condiciones de vida, disminuyendo costos en la construcción, dando valor agregado para vivir en ambientes más saludables.

## **Objetivos de la Investigación**

### **Objetivo General**

Diseñar un prototipo de vivienda rural, acogiendo criterios arquitectónicos con características bioclimáticas y de sostenibilidad, aprovechando las fuentes naturales de energía solar y energía eólica del municipio de Paipa-Boyacá.

### **Objetivos Específicos**

Determinar los parámetros que sustentan el desarrollo del diseño.

Caracterizar el componente arquitectónico de la vivienda rural en cuanto a tipología y sistema constructivo apropiado para la zona rural del municipio de Paipa-Boyacá.

Esquematizar cada uno de los espacios habitacionales de vivienda rural con características bioclimáticas

Plantear el sistema de abastecimiento de energía proveniente de fuentes renovables

## Marco Conceptual y Teórico

### Antecedentes

*“Si en diseño siguiera la más humilde de las formas de la naturaleza, nos brindaría formas adecuadas a nuestra propia esencia”* (Senosiain, 2014, p: 1)

El ser humano desde su existencia en el planeta tierra, ha buscado refugio, inicialmente en cavernas, donde su lecho para dormir era el suelo, a medida que empieza su “desarrollo”, busca alternativas diferentes como los troncos de los árboles, hasta que surge la idea de construir las malocas, haciendo uso de los recursos que encontraba en su entorno natural. El hombre era muy feliz, poco o nada le interesaba la estética de su vivienda, amaba la pacha mama, como su refugio más sagrado, hasta que empieza a surgir los diseños geométricos y la forma de las viviendas cambia, inicia a imponerse las cuadrículas.

El ángulo de 90° se utiliza indiscriminadamente, atrapando y opacando la creatividad del hombre, las formas cerradas como el cubo toma fuerza y se sobrepone para armar algo parecido a los panteones de bóvedas, cada familia quiere construir su propio cajón y le incorpora vanos como agujeros para observar su entorno, seguidamente, amplía esos vanos para ganar ventilación y algo de luz. Con el desarrollo tecnológico y la revolución industrial se inicia a incorporar iluminación artificial al interior de las viviendas, se acerca el modernismo y la necesidad de mejorar las condiciones térmicas, se diseñan chimeneas para quemar biomasa y otros elementos extraídos de residuos de cosecha; tanto en el sector urbano como en el sector rural, la estufa de carbón pasa a ser un elemento que le proporciona calor para preparar sus alimentos y generar mejores condiciones térmicas al interior de las viviendas.

El acelerado desarrollo industrial, permite que a las viviendas se les incorpore aire acondicionado, para subir las temperaturas en épocas de mucho frío o bajar el nivel térmico en momentos requeridos. Todo lo anterior conlleva el consumismo de servicio de energía eléctrica producida a base de combustibles fósiles como el carbón bituminoso y derivados del petróleo. Ha sido tan grande la producción de energía convencional que las fuentes fijas de generación pasan a ser uno de los grandes protagonistas del incremento de la huella de carbono.

Frente al gravísimo problema ambiental del calentamiento global, surge la alternativa de la generación de energías renovables, como la fotovoltaica, la eólica, la hidráulica, la geotérmica, entre otras. Volver a lo natural, haciendo uso de los recursos energéticos disponibles en la región que no le afecta al medio ambiente, se sueña y se proyecta la idea de desarrollar proyectos sostenibles mejorando la eficiencia de autogeneración energética limpia y saludable con su entorno, mejorando las condiciones de su hábitat y nada mejor que retomar la forma natural como el estilo propicio para vivir. “La armonía del hombre y su entorno siempre ha sido un quehacer del arquitecto (...) búsqueda de la casa orgánica”. (Senosiain, 2013, p: 9).

### **¿Que se ha hecho en Colombia?**

Hasta comienzos del siglo XX, los desarrollos habitacionales en Colombia, por lo menos se realizaron con materiales locales y con técnicas artesanales. El bahareque de origen precolombino fue adoptado por los obreros, por los campesinos y en general por la población de bajo poder adquisitivo, como el sistema para levantar sus viviendas; mientras que el adobe, la tapia pisada, la mampostería de ladrillo y la piedra sentadas en mortero de cal, fueron utilizadas para la construir de las viviendas de las familias pudientes, los edificios de importancia civil y las iglesias. (Rivero, 2007, p: 354).

Entre los años 1920 y 1940 Colombia comienza a dejar de ser una nación rural para convertirse en nación urbana en un gran porcentaje de territorio, iniciando así la deseada modernidad que trajo consigo nuevos paradigmas de progreso entre los que se encontraban el cemento y el acero

entre otros. Los edificios públicos y los nuevos desarrollos habitacionales se construyeron desde 1930 con el uso del cemento, como el material industrializado de mayor consumo.

En Colombia, el desarrollo urbanístico de las ciudades más antiguas como Popayán, Bogotá, Tunja, Cartagena, Medellín, entre otras, se hizo a base de arquitectura en tierra, donde predominó la tapia pisada, el adobe, la madera, la Caña brava, y la teja de barro.

**Barichara, un caso especial**

“Hoy en día en Barichara casi la totalidad de las nuevas construcciones se levantan en tapia pisada, todas ellas con su licencia de construcción expedida por la alcaldía municipal pese a que la norma de construcción vigente –NSR98- no la contempla como sistema constructivo.” (Rivero, 2007, p: 356).

El hecho de que Barichara sea Bien de Interés Cultural Nacional, por su alto grado de preservación arquitectónica, es un modelo de desarrollo, tenido en cuenta en la academia, como referente para indagar sobre este sistema constructivo del cual, constructores se basan para diseñar y desarrollar grandes proyectos habitacionales, para inversionistas que le dan valor agregado a una construcción en tierra con características de sostenibilidad y uso de las energías renovables para incrementar el confort térmico y el funcionamiento de espacios que brindan bienestar y salud reconociendo el impacto social, político, cultural, ambiental y económico de la arquitectura en tierra.

### **Importancia del Proyecto en Paipa-Boyacá**

Desarrollar viviendas en la zona rural del municipio de Paipa, es una posibilidad de construir casas con características especiales que contribuyen a mejorar el confort térmico interno de la misma, utilizando la radiación solar y el viento para superar la necesidad del uso de energía eléctrica, aprovechar los recursos naturales in situ, como el suelo para fabricar el adobe para la mampostería, la piedra rodada de cantera y la arena para la conformación de las bases.

Estos materiales que se producen en las canteras certificadas, las cuales están ubicadas a menos de cinco kilómetros del sitio del proyecto arquitectónico, igualmente la madera y la cañabrava para la estructura de la cubierta y acabado de los cielorrasos, reducen los costos de materiales de construcción.

La implementación del proyecto en referencia reviste de gran importancia por el impacto social, ambiental, cultural y económico que contribuye a dignificar la vivienda rural que genera bienestar y salud por sus características bioclimáticas del sistema constructivo.

Sustituir en lo posible, el uso de materiales industrializados como el cemento, el acero, ladrillo, bloque, teja de asbesto, por materiales naturales que no generan consumo energético en su fabricación, contribuye a la disminución de la huella de carbono. Al aportar con acciones la reducción de gases efecto invernadero, se ayudará gradualmente en la supervivencia de los seres vivos del planeta tierra.

## Conceptos básicos

- **Adobe:** es un material de construcción hecho con arena, arcilla y agua, y, a veces con fibra o material orgánico como paja, ramas o estiércol. Es moldeado en forma de ladrillo y se deja secar al sol, es conocido por ser un material antiguo capaz de hacer estructuras muy duraderas. (Ramírez, Aguiluz y Gutiérrez, 2014, p: 1).
- **Aislamiento Térmico:** El aislamiento térmico, se relaciona con las condiciones térmicas deseadas en el interior de la vivienda. Los muros gruesos retardan las variaciones de temperatura, debido a su inercia térmica.
 

El aislamiento térmico tiene como objetivo el dificultar las transmisiones de calor del interior al exterior y viceversa para evitar las pérdidas de calor en períodos fríos y la ganancia del mismo en épocas cálidas. (Construible, 2015, p: 1).
- **Arquitectura bioclimática:** La arquitectura bioclimática, es aquella que se realiza teniendo en cuenta las condiciones climáticas y geografía del lugar, aprovechando los recursos naturales disponibles (suelo, agua, vegetación, sol, viento) para disminuir los impactos ambientales, haciendo uso racional del agua. (Vidal, Rico y Vásquez, 2010, p: 13).
- **Arquitectura sostenible:** Arquitectura sostenible, es aquella que hace uso de los recursos naturales sin causar deterioro en los ecosistemas, propiciando el equilibrio de lo biótico y abiótico. Tiene impacto en la salubridad de los edificios a través de un mejor confort térmico, el control de los niveles de CO<sub>2</sub> en los interiores, una mayor iluminación y la utilización de materiales de construcción no tóxicos avalados por declaraciones ambientales. (Arquitectura bioclimática, 2015, p: 1).
- **Confort térmico:** “El confort, es la que lo define como el estado de equilibrio expresado por el balance térmico, entendido como la pérdida o ganancia de energía del cuerpo humano

causada por el proceso químico del metabolismo y el proceso fisiológico de termorregulación en respuesta a los elementos externos del clima y todo esto dependerá de lo que nuestros espacios nos brinden”. (Arquitectura Bioclimática, 2015, p: 36).

- **Desarrollo sostenible:** El desarrollo sostenible, se entiende como aquel que conduce al crecimiento económico, al mejoramiento de la calidad de vida y el bienestar social, conservando los recursos naturales y el medio ambiente para satisfacer sus necesidades, pero respetando el derecho de las generaciones futuras a su explotación y disfrute. (Vinasco, 2017, p: 1).
- **Efecto invernadero:** fenómeno por el cual la radiación entra en un espacio y queda atrapada, calentando, por tanto, ese espacio. Se llama así porque es el efecto que ocurre en un invernadero, que es un espacio cerrado por un acristalado. El efecto invernadero es el fenómeno utilizado en las casas bioclimáticas para captar y mantener el calor del sol. (Ecohabitar, 2014, p: 6).
- **Energía eólica:** La energía eólica, es la energía producida por el viento. Como la mayor parte de las energías renovables, la eólica tiene su origen en el sol, ya que entre el 1% y el 2% de la energía proveniente del sol se convierte en viento, debido al movimiento del aire ocasionado por el desigual calentamiento de la superficie terrestre. Si bien el recurso eólico en Colombia no se caracteriza por ser uno de los mejores en términos generales. El disponible en ciertas regiones localizadas como son ante todo el departamento de La Guajira y gran parte la región Caribe, al igual, parte de los departamentos de Santander y Norte de Santander, zonas específicas de Risaralda y Tolima, el Valle del Cauca, el Huila y Boyacá, cuentan con recursos aprovechables, que en el caso específico de La Guajira son considerados como de los mejores de Sur América. (UPME, 2016, p: 38).

- Energía solar fotovoltaica: La energía solar fotovoltaica, es la energía proveniente de la fuente renovable del sol como radiación electromagnética que se transforma en energía eléctrica mediante un sistema de conversión.

La implementación de sistemas fotovoltaicos en zonas rurales del país es una alternativa viable a la red nacional; se traduce en bienestar del usuario, independencia energética, generación de energía eléctrica de óptima calidad, incrementando en la vida útil los electrodomésticos, conciencia de consumo por parte del usuario conduciendo a alcanzar eficiencia energética. (Ostos. Castellanos. Fernández, 2017, p:8).

Esta fuente de energía renovable, de mayor penetración en el mundo. Países como Alemania, Holanda, China, España e Italia lideran los mercados de energía solar. Colombia cuenta con una radiación solar promedia de 4,5 KWh/m<sup>2</sup>/d, irradiación que supera al promedio mundial de 3,9 KWh/m<sup>2</sup>/d. (UPME, IDEAM, 2005, p.40).

Alemania es el país que consume mayor cantidad de energía solar a nivel mundial con una radiación solar promedia de 3,0 KWh/m<sup>2</sup>/d. Según el atlas de radiación solar de la UPME, en Colombia existen regiones del país como la Guajira, parte de la Costa Caribe, departamentos de Arauca, Vichada, Casanare, Meta, entre otros presentan niveles de radiación que superan el promedio nacional de los 6,0 KWh/m<sup>2</sup>/d. (UPME, 2016, p.40)

Son varias razones al igual que el caso de la energía eólica que inducen a considerar que la energía solar es una oportunidad para explorar y explotar un nicho de consumidores con alto potencial para ofrecer beneficios importantes al sector energético nacional.

En primer lugar, están los costos de la tecnología particularmente en lo relacionado con los módulos o paneles solares que están decreciendo diariamente, hecho que el costo de la energía solar resulte competitivo con las tarifas del mercado minorista de energía eléctrica, especialmente, a nivel residencial y comercial. Igualmente se logra obtener beneficios en la

implementación de pequeños sistemas de autogeneración, para tener autonomía del servicio eléctrico. (UPME, 2016, p.41.)

La implementación de tecnología solar gradualmente se hace accesible para que los usuarios produzcan su propia energía eléctrica para su consumo y los excedentes los podría vender a la red de energía convencional.

- Forma y orientación: La forma de la casa influye sobre la superficie de contacto entre la vivienda y el exterior, lo cual influye en las pérdidas o ganancias caloríficas. Normalmente se desea un buen aislamiento, para lo cual, además de utilizar los materiales adecuados, la superficie de contacto tiene que ser lo más pequeña posible. (Ecohabitar, 2013, p: 1). La forma particular de esta vivienda, es de tipo orgánica, donde predomina la curvatura de semicírculos continuos entrelazados que funcionan por confinamiento de los muros de carga en adobe y piedra.

La orientación de las viviendas particularmente en clima frío, está orientado en la posición norte-sur (N-S), con el objeto de aprovechar al máximo la radiación solar de las horas de la mañana para climatizar la parte oriental y las horas de sol de la tarde para climatizar la parte occidental de la vivienda. El emplazamiento de esta vivienda está sobre una zona de la cordillera oriental, donde se aprovecha el mayor número de horas de radiación solar para climatizar de forma natural el interior de los espacios habitacionales.

- Huella de carbono: La huella de carbono, es un indicador que busca cuantificar la cantidad de emisiones de gases efecto invernadero (G.E.I) que son liberados a la atmósfera debido a las actividades humanas.

“Hoy, el sector productivo que más emisiones aporta en Colombia es el de la energía con un 44% de participación. Aquí entra la producción y el consumo de combustibles

fósiles, el uso de centrales térmicas, la refinación del petróleo, la industria manufacturera y de la construcción y las actividades mineras, entre otras.” (El Tiempo, 2015, s. p.).

- **Inercia Térmica:** La inercia térmica es un recurso utilizado en la arquitectura bioclimática. Consiste en la capacidad de determinados elementos, arquitectónicos en este caso, para almacenar calor, conservarlo y liberarlo de una manera paulatina permitiendo un menor uso de sistemas mecánicos de calefacción e incluso de refrigeración. (Certificados Energéticos, 2016, p: 1).
- **Microclima:** La arquitectura Bioclimática, se define como un conjunto de elementos arquitectónicos, constructivos y pasivos, capaces de transformar las condiciones del microclima para lograr valores que lo acerquen a las condiciones de Bienestar termofisiológico del ser humano. (Arquitectura Bioclimática, 2015, p: 34).
- **Muro Trombe:** Cerramiento que aprovecha la energía solar para el calentamiento por recirculación del aire interior del edificio. Generalmente está formado por una hoja interior de fábrica, una cámara de aire y un acristalamiento exterior. La circulación del aire puede ser natural (termosifón) o forzada. También se denomina muro solar ventilado. (Arquitectura Solar, 2019, p: 24).

## **Metodología**

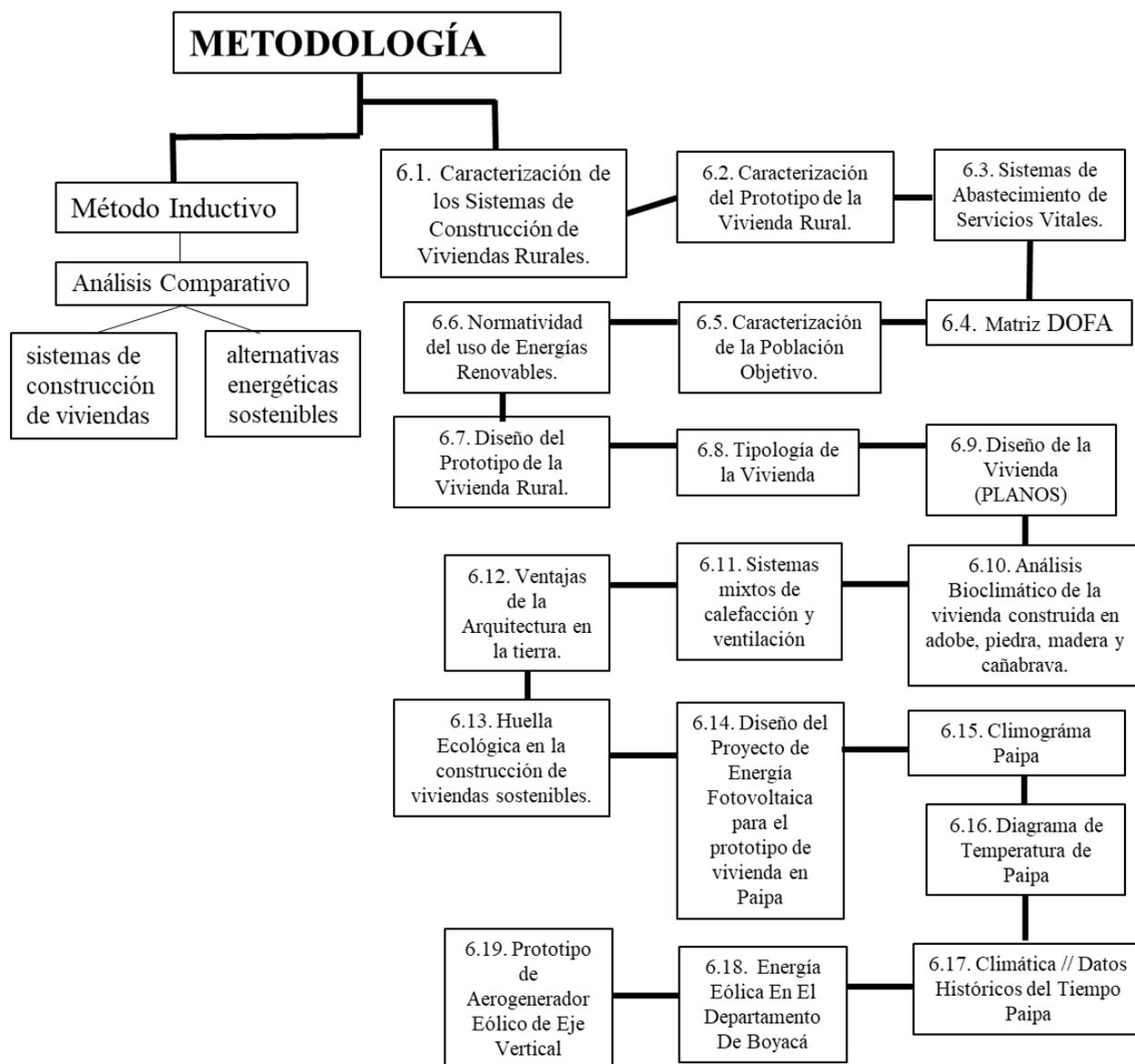
La metodología para este trabajo parte del Método Inductivo, iniciando del análisis comparativo de los sistemas de construcción de viviendas rurales, revisando sus ventajas y desventajas respecto a la implementación del proyecto arquitectónico. Con base en el análisis, se determinó el prototipo de vivienda rural que reúne las características bioclimáticas y de sostenibilidad.

### **El proyecto involucró las siguientes fases:**

Caracterización de los Sistemas de Construcción de Viviendas Rurales: Dentro de lo cual se identificaron sistemas convencionales y no convencionales, algunas ventajas y desventajas de su implementación, y la definición de sistemas constructivos amigables de acuerdo con el análisis de las actividades constructivas y los aspectos e impactos ambientales asociados.

Definición de componentes arquitectónicos: Se analizaron los elementos arquitectónicos (Estructuras, espacios habitacionales y materiales) para propiciar las condiciones bioclimáticas deseadas de acuerdo con las condiciones climáticas del municipio:

Definición de sistemas de abastecimiento de energía eléctrica y calorífica: Se analizaron los diferentes sistemas alternativos para el suministro de energía eléctrica y de energía calorífica para asegurar las condiciones habitacionales con sistemas sostenibles y amigables con el ambiente, en especial en zonas rurales o aisladas en donde llevar energía por la red general puede ser costoso (Salazar-Peralta, Pichardo-S y Pichardo-S (2016).



**Fuente:** Flujograma Metodología aplicada. Ortiz, L. 2020.

### Caracterización de los Sistemas de Construcción de Viviendas Rurales

- Sistema de Construcción Aporticado: Son estructuras de concreto armado con la misma dosificación columnas, vigas peraltadas o chatas, unidas en zonas de confinamiento donde forman Angulo de 90° en el fondo parte superior y lados laterales. (Manual de construcción de estructuras, 2017, p: 1).

- Sistema de Construcción de viviendas de panales estructurales: “Es una estructura tridimensional de alambre de acero pulido o galvanizado de alta resistencia, que lleva al centro un alma de espuma de poliuretano”. (Manual de construcción de estructuras, 2017, p: 2). En este sistema de construcción, principalmente se utiliza paneles formados por dos mallas de acero, aseguradas con tensores de alambre galvanizado, en el interior se instala una placa aislante térmica, por su bajo costo se utiliza frescaza o icopor, se funde con concreto. De igual manera la parte estructural está conformada por vigas y columnas de acero y concreto. En igual forma, que el anterior sistema constructivo genera impacto negativo con el medio ambiente.
- Sistema de construcción en tierra: Este sistema considerado de los más antiguos en Colombia y basa su tecnología, en la utilización de mampostería en tapia pisada o adobe. Para aislar los muros de la humedad se construye una base de piedra rodada de cantera para armar un diafragma de soporte y ventilación, las estructuras se trabajan con piedra y en algunos casos con madera rolliza. Este sistema constructivo es apropiado para contribuir con la disminución de la huella de carbono, su impacto negativo es bajo por el uso de energía y recursos naturales.

La posibilidad de uso de la tierra del mismo sitio de construcción, el buen comportamiento térmico del material y la no utilización de cemento en grandes cantidades, igualmente que la disminución en el uso de maquinarias pesadas para el proceso, hacen de la construcción en tierra una alternativa válida para el desarrollo de la industria de la construcción. (Arquitectura en tierra.pdf, 2018, p: 30).

- Sistema de construcción en madera: Regularmente se trabaja con vidas y columnas en madera rolliza o madera acerrada y los muros se conforman con listón de madera pasada por carpintería. Es un sistema que ofrece buenos aislamientos de frío y calor.

La casa de madera es una casa que respira, absorbe y expulsa la humedad regularizando así la del medio ambiente interior. Contribuye a evitar dolencias de reumatismo y de vías respiratorias, por estabilizar la humedad, filtrar y purificar el aire. (Casa de madera. 1995, p.13).

- Sistema de Construcción en Bahareque: La técnica del bahareque también llamado bajareque y pajareque, consiste en la construcción de una trama formada por tallos de cañas, que sirve de soporte para mezclas plásticas de tierra en forma de barro y paja, como elemento cohesivo, que se adosa al entramado para formar paredes. (Características y patologías constructivas del bahareque, 2017, p: 33). Este sistema es de los más antiguos utilizado en Colombia principalmente en la Guajira, Cundinamarca y Boyacá. Es de las tecnologías constructivas sismo-resistentes y de bajo costo en su conjunto. Se utiliza estructura de madera rolliza de regular tamaño y para los muros, varas delgadas, o cañas de guadua y bambú pañetadas de argamasas de tierra, arena, arcilla, cal y fibras naturales. Son relevantes las ventajas en relación costo-beneficio con el medio ambiente, aunque se produce un bajo impacto por la utilización de recursos naturales.
- Sistema de Construcción Prefabricada: Este sistema, como su nombre lo indica se hace a base de placas de concreto pobre prefabricadas: las cuales se instalan en serie sobre perfiles metálicos ubicados en sentido horizontal inferior y superior, y en sentido vertical, estos se van uniendo con soldadura para ofrecer un sistema sismo-resistente. “En el método de construcción de hormigón preparado en sitio, los revestimientos para los elementos de la construcción individuales se montan en la zona de obras y se rellenan allí con hormigón preparado en sitio”. (Sistemas y productos de construcción con prefabricados, 1994, p: 1). En el método de construcción de hormigón preparado en sitio, los revestimientos para los elementos de la construcción individuales se montan en la zona de obras y se rellenan allí con hormigón

preparado en sitio Para el montaje de la vivienda se construye una placa de concreto flotante, sobre un terreno previamente nivelado. Un sistema muy práctico, de costo medio, pero de alto impacto negativo con el medio ambiente, por la utilización de materiales industrializados.

- Sistema de construcción con material reciclado PET: Este sistema de construcción de vivienda se desarrolla con el aprovechamiento de material reciclado (envases P.E.T.). La estructura para esta tecnología regularmente se utiliza madera reciclada, guadua o bambú. Los envases se cargan de algún tipo de sustrato propio del sitio de la construcción para que adquiera cierta consistencia. Sobre los muros conformados con este tipo de material reutilizado se instala una malla bien anclada para posteriormente aplicar una argamasa tipo pañete para obtener un acabado más estético. “La ventaja de las botellas de plástico PET es que es un elemento que ya se encuentra procesado y se puede encontrar en un estado óptimo para ser reutilizado”. (Prototipo-vivienda-bajos-recursos-con material-reciclado, 2015, p: 21). La relación costo-beneficio con el medio ambiente es ventajosa, aunque impacta en la transformación de la morfología del paisaje.

Analizando los anteriores siete (7) sistemas de construcción de viviendas rurales usados con mayor regularidad en el territorio nacional, todos ofrecen ventajas y desventajas en su construcción y diferencia de costos para acceder a los diferentes tipos de materiales para su construcción. De los sistemas más amigables con el medio ambiente, está los sistemas de construcción en tierra con mampostería de tapia pisada, adobe, bahareque y material reciclado y reutilizado PET.

El objetivo de este proyecto, es la construcción de un prototipo de vivienda rural que reduzca las emisiones de CO<sub>2</sub> a la atmósfera, se concluye, que de los anteriores sistemas constructivos extraemos aquellos materiales que en lo posible no hayan sido producto de transformación

industrial o de bajo impacto ambiental; entre los que se mencionan: Adobe, Piedra Rodada de Cantera, Madera Rolliza, Madera Acerrada, Cañabrava, Listón de Madera.

Estos materiales entran a constituir un factor determinante para el diseño y desarrollo del proyecto; en relación, con los cuatro pilares fundamentales sobre los que se fundamenta este proyecto y lograr los objetivos propuestos. El emplazamiento de este prototipo de vivienda rural es la vereda de Romita del municipio de Paipa Boyacá.

Se manejan las variables: tipos de materiales convenientes para bioclimatizar la vivienda rural de manera natural. De igual forma se estudia las variables de energía solar fotovoltaica, y eólica, los muros Trombe, el tipo de vidrio vitral, y las bombas de calor para alimentar el sistema de pisos radiantes y los materiales de aislamiento térmico.

Se hace uso del método inductivo en grado de investigación aplicada (análisis de casos particulares exitosos). Se emplea la observación de hechos de sistemas de construcción que se replican una y otra vez en distintos sitios de la geografía nacional.

### **Caracterización del Prototipo de la Vivienda Rural.**

El prototipo de vivienda rural reúne características particulares, que hacen que esta casa sea un tipo de construcción que es posible desarrollar en zonas rurales de clima frío como el municipio de Paipa- Boyacá y demás lugares del territorio nacional; donde se cuenta con 365 días de radiación y brillo solar, corrientes moderadas de viento, paisaje verde natural y especialmente un sitio privilegiado para vivir en un ambiente agradable y saludable. De las características arquitectónicas resaltamos las siguientes:

Diseño de Espacios amplios de forma orgánica (no rectilínea).

Espacios internos con manejo del confort térmico entre 18C° y 20 C° mediante pisos radiantes, muros trombe y cúpula acristalada, para crear un efecto invernadero.

Construcción rural con buen aislamiento Acústico.

Entorno verde natural de flora y fauna silvestre.

Sistema constructivo con los siguientes recursos: abobe, tapia, piedra rodada de cantera, madera, caña-brava, muros verdes, y cubierta verde ajardinada, fuente de agua.

Sistemas de iluminación y ventilación natural de 6:00 a.m. a 6:00 p.m. durante todo el año.

Autonomía energética renovable para el funcionamiento de los electrodomésticos, equipos del spa e iluminación propia de la vivienda.

Aprovechamiento del agua lluvia para el abastecimiento total de la vivienda.

Suministro de agua caliente mediante sistema de calentador solar.

Manejo de aguas residuales grises para mantenimiento de prados y jardines.

Manejo de residuos orgánicos y biomasa por medio de bio-digestores para la producción de biogás y utilizarlo en la cocción de alimentos.

### **Sistemas de Abastecimiento de Servicios Vitales**

Para el funcionamiento de forma sostenible, esta vivienda, dispone de los siguientes sistemas de servicios vitales:

- Sistema de abastecimiento de agua caliente: Mediante el montaje de un calentador solar de agua dulce, se abastece los baños y la cocina. Para el jacuzzi del spa se ubica un segundo calentador; además de contar con una caldera monofásica de 4000 watts de potencia con capacidad de 500 litros, que genera el vapor necesario para mantener el agua a una temperatura promedio de 32C°.
- Sistema de tratamiento de residuos orgánicos y biomasa: Los residuos orgánicos provenientes de la cocina se clasifican desde la fuente, más la biomasa de la poda de prados, jardines y

árboles ornamentales, son reunidos en un foso diseñado técnicamente para alimentar el biodigestor; del cual se genera el biogás para cocinar los alimentos de la vivienda.

- Sistema de abastecimiento de agua potable: El prototipo de vivienda para una familia de cinco (5) personas; las cuales consumen en promedio 10 m<sup>3</sup> de agua potable mensualmente. Para garantizar el abastecimiento de agua para consumo humano, se proyectó la construcción de un tanque de reserva de agua potable, con capacidad de 60 m<sup>3</sup>. Este primer volumen se realiza mediante el traslado de agua potable en tanque desde una fuente cercana. Para recolectar el agua lluvia se instala un captador de lluvia y un captador de niebla; de los cuales se conduce el agua por canales hasta el tanque de reserva. La oxigenación del agua se realiza por medio de una torre elevada y la potabilización se hace por medio de un filtro de arena, grava y una esponja retenedora de micro-partículas.
- Sistema de tratamiento de aguas residuales: A partir del diseño del sistema sanitario se separan las aguas negras de los sanitarios de las aguas grises provenientes del lavamanos, duchas, fregadero y jacuzzi. Las aguas grises se tratan mediante un sistema doméstico de pozos de decantación y aplicación de cristal de hojas de nopal. La depuración de las aguas negras se realiza mediante la aplicación de un método biológico, que consiste en agregar a estas aguas hojas y cristal de nopal previamente trituradas.
- Sistema de abastecimiento de energía eléctrica: Para tener autonomía energética proveniente de fuentes renovables, se realizó inicialmente el cálculo de consumo de kilovatios de todos los elementos que consumen energía eléctrica. Este voltaje se logra mediante el montaje de un sistema híbrido de energía solar fotovoltaica de 10 paneles solares y un aerogenerador de eje vertical de 11w@7m/s.

- Sistema de abastecimiento de energía calorífica: El aprovechamiento de la radiación solar en zonas frías, es un recurso natural para optimizarlo al máximo nivel mediante la implementación de los siguientes elementos constructivos:

Construcción de muros trombe en la fachada oriental y fachada occidental de la vivienda; cuya finalidad es el calentamiento del aire frío de la parte exterior y entregarlo a la interior de la vivienda para subir la temperatura de la casa durante las horas de sol.

Construcción de una cúpula acristalada en el centro de la cubierta de la vivienda; la cual proporciona iluminación natural y energía solar calorífica al interior de la vivienda produciendo un efecto invernadero.

## Matriz DOFA

A Continuación, se muestra las fortalezas, debilidades, oportunidades y amenazas que se identifican en este proyecto, respecto a la implementación de energías renovables.

Tabla: N°1. Matriz DOFA: Implementación de Energías Renovables

FORTALEZAS	DEBILIDADES
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Incentivos tributarios.</li> <li>• Aprovechamiento de la radiación solar.</li> <li>• Disminuir los daños al medio ambiente.</li> <li>• Nuevas generaciones aprovecharan este recurso.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Instalación costosa.</li> <li>• Falta de información.</li> <li>• Resistencia a tener una nueva forma de energía.</li> <li>• Indiferencia hacía la contaminación ambiental.</li> </ul>
OPORTUNIDADES	AMENAZAS
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Vivir en ambientes menos contaminados.</li> <li>• Ahorro de energía.</li> <li>• Sustituir los combustibles fósiles.</li> <li>• Desarrollo de proyectos sostenibles.</li> <li>• Aumentar la calidad de vida para las actuales y futuras generaciones.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Desconocimiento sobre esta energía.</li> <li>• Cambios en la Ley 1715 de mayo de 2014</li> <li>• Bajo nivel económico de la comunidad para adquirir esta tecnología.</li> <li>• No todos los espacios geográficos son aptos para el montaje de este prototipo de energía.</li> </ul>

Fuente: Ortiz, Luis. 2019.

Con base en esta matriz DOFA, se concluye que son relevantes las ventajas de optar sistemas de producción de energías renovables para ser autosuficientes en el desarrollo de proyectos arquitectónicos como el prototipo en referencia. Si se analiza desde la parte de sostenibilidad ambiental, la relación costo-beneficio es positiva, aunque la inversión inicial es relativamente alta para adquirir la tecnología fotovoltaica y eólica, los beneficios económicos y de sostenibilidad ambiental a largo plazo se está compensando en gran medida, contribuyendo con la disminución de la huella de carbono.

### **Caracterización de la Población Objetivo**

La población a quien va dirigido este proyecto de vivienda rural sostenible, son personas que desean tener un estilo de vida caracterizado por aspectos como los siguientes:

- Familias que desean gozar de un estilo de vida alejado de ruidos y congestiones.
- Familias amantes de los recursos naturales no renovables
- Personas con libertad de tiempo que desean disfrutar de la vivienda rural.
- Personas que gusten invertir en vivienda rural eco-sostenible.
- Personas que buscan Bienestar y salud.
- Personas que gusten disfrutar de las características bioclimáticas del campo Boyacense.
- Personas que aprecien y se preocupen por el uso racional de las energías limpias.
- Familias que estén dispuestas a tener una favorable relación beneficio-costo, respecto del tipo de construcción de la vivienda, invirtiendo el 20% del costo total de la vivienda en la implementación de tecnologías para tener autonomía energética renovable en su vivienda.

## **Normatividad del uso de Energías Renovables**

Ley 1715 de mayo de 2014. La presente ley tiene por objeto promover el desarrollo y la utilización de las fuentes no convencionales de energía, principalmente aquellas de carácter renovable. (UPME, 2014, p: 1).

## **Beneficios de la Ley 1715 de 2014 para la Implementación de Proyectos de Energía**

### **Renovable en Colombia**

- Impuesto sobre el valor agregado (IVA): La ley 1715 establece que las compras relacionadas en proyectos en etapas de diseño quedan exentas del impuesto sobre el valor agregado (IVA), de esta manera se reduce los costos de los proyectos de energía eléctrica con fuentes renovables. (Energía solar-Incentivos,2014, p:1)
- Impuesto sobre la renta-ley 1715: Las personas que realicen inversiones en proyectos para generar fuentes no convencionales de energía (FNCE) tienen derecho a reducir anualmente de su renta por los cinco años siguientes al año gravable respectivo, el 50% de valor total de la inversión realizada.  
  
Deducción en el impuesto sobre la renta como fomento a la investigación, el desarrollo e inversión en el ámbito de la producción y la utilización de energía a través de FNCE y la gestión eficiente de la energía. (Energía Solar-Incentivos, 2014, p: 1).
- Exención de aranceles: Los titulares de inversiones en proyectos de FNCE gozarán de exención de derechos arancelarios de importación de maquinaria, materiales e insumos destinados a labores de pre inversión e inversión de proyectos con dichas fuentes.  
  
(UPME, 2014, p:10)

## **Diseño del Prototipo de la Vivienda Rural**

### **Descripción del Diseño:**

La vivienda está compuesta por los siguientes espacios: 1. Una sala y un comedor limitados por un hall de circulación, una fuente de agua y un muro verde. 2. Una alcoba principal. 3. Dos alcobas auxiliares. 4. Un baño social. 5. Una cocina social. 6. Un spa compuesto por un baño sauna, un baño turco, un jacuzzi, un gimnasio, un baño auxiliar y un deck de descanso con muro verde y una fuente de agua. 7. Un garaje ubicado en las áreas verdes exteriores de la vivienda. 8. Un área de ropas, ubicado en la parte exterior y posterior de la vivienda.

### Parámetros del Diseño

**Localización:** Vereda Romita- municipio de Paipa (Boyacá).

**Número de pisos:** Uno

**Uso:** Residencial

### **Tipología de la Vivienda**

Tipo de vivienda de diseño orgánico enclaustrada de cuatro frentes o costados.

### **Innovación del Sistema Constructivo**

El desarrollo constructivo del prototipo de vivienda con características bioclimáticas, contempla:

Un sistema de autoconstrucción in situ. Este sistema contribuye al ahorro de energía y agua en la fabricación e instalación de cada material a utilizar en la construcción de la vivienda.

La mampostería de muros es de adobe, y piedra rodada de cantera.

El sistema estructural de columnas es de madera acerrada

El sistema de las vigas de base y amarre o solera está conformado de acero.

Sobre la mampostería exterior de la vivienda se construyen estratégicamente muros trombe. Este tipo de muro trombe, se caracteriza, porque en su interior está construida una cámara que calienta el aire frío que entra por la parte inferior de la misma y lo entrega por la parte superior, climatizando de forma natural los espacios interiores.

Los cielorrasos, conformados por madera estructural y tejido de caña brava.

La cubierta está conformada por grama ajardinada natural.

Hace parte de este proyecto, un sistema de ventilación natural mediante rejillas ubicadas en la cúpula del cielorraso

El sistema constructivo de muros en adobe y piedra, los cielorrasos de madera de pino y caña brava, los muros trombe y los muros verdes permiten que la ventilación y el aislamiento térmico y acústico funcionen eficientemente.

La autonomía energética se obtiene del sistema híbrido de energía solar fotovoltaica y energía eólica para el funcionamiento de los electrodomésticos y equipos del spa, energía térmica para el calentamiento del agua para el spa, baños y cocina y un sistema de pisos radiantes para elevar en 4°C (promedio) el confort térmico de la vivienda

### **Características de los elementos constructivos de la vivienda**

Arquitectura en tierra (adobe, y piedra rodada de cantera) en la mampostería de muros de carga.

Muros verdes en la fachada y el interior de la sala, comedor y spa

Muros trombe con envolvente exterior en piedra de enchape.

Cúpula acristalada con vidrio tipo vitral en el módulo central de la construcción.

Cubierta de grama verde natural.

Cielo-raso en estructura de madera de pino y caña-brava en las habitaciones, sala, comedor y cocina.

Pisos interiores de la sala, comedor, y alcobas en madera laminada.

Pisos de baños en enchape laja de piedra.

Diseño de la Vivienda (PLANOS)

El diseño de la vivienda rural que se propone, es el resultado de la búsqueda continua de un prototipo personalizado y de acercamiento a las formas de la naturaleza, de ahí que los espacios tienen forma orgánica que dinamiza tanto el flujo de energía de la construcción, como el confort de sus habitantes.

### **Planta. (Ver Anexo N° 2)**

La planta está conformada por 14 espacios físicos, de los cuales 8 corresponden a la zona residencial y los otros 7 espacios al área de bienestar y salud que en su conjunto conforman el spa.

### **Cubierta. (Ver Anexo N° 2.5)**

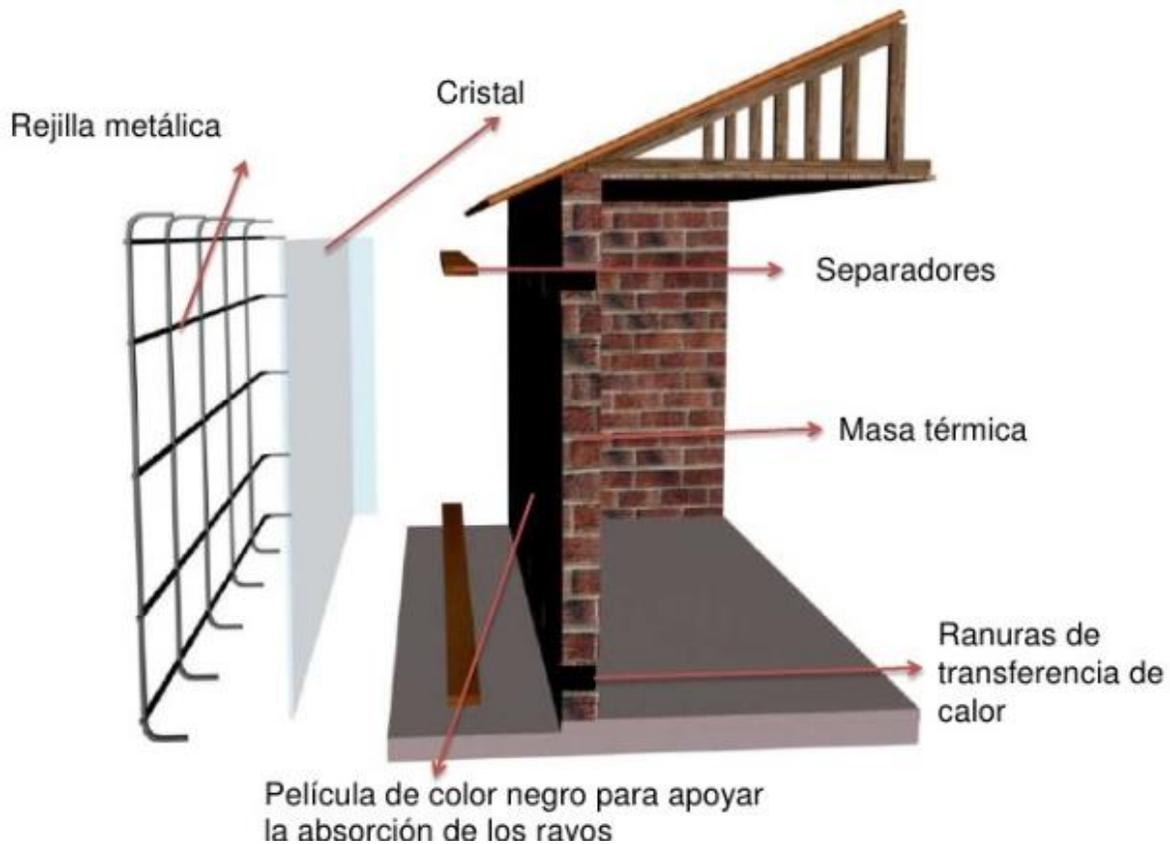
La cubierta de forma orgánica, con una cúpula acristalada, la cual se inserta para utilizarla como fuente de iluminación natural, paso de energía calorífica solar y ventilación pasiva.

### **Muro trombe**

Elemento constructivo que mediante el aprovechamiento de la masa térmica de un muro es posible calentar o enfriar el espacio interior entre 6 y 10 grados. Es decir, se hace uso del aprovechamiento pasivo de la energía solar a través de distintos materiales y sus capacidades de conducción y almacenamiento de calor. Básicamente con lo que se juega es con la densidad del

aire y el aprovechamiento de su movimiento a través de la convección, para dirigir las masas de aire hacia un lado u otro en función de si queremos enfriar o calentar.

Figura N°1. Muro Trombe



Fuente: Muro Trombe. Climatización Pasiva. Autor: Camila Flores. Francisco Gustafsson. Slideshare.net.

### **Análisis Bioclimático de la vivienda construida en adobe, piedra, madera y cañabrava**

- El primer factor a tener en cuenta es la orientación de la vivienda. Esta está orientada en la posición N-S para aprovechar la radiación solar en toda su dimensión en las horas de la mañana, climatizar de forma natural los espacios ubicados al frente de la construcción por el oriente y en las horas de la tarde, el sol se proyecta por el occidente climatizando los espacios ubicados respectivamente por este costado.

- El segundo factor, esta vivienda incluye muros trombe; a los cuales se les construye una cámara de calentamiento de aire. La radiación solar de O-W que recibe este tipo de muro, garantiza elevar el confort térmico del interior de la vivienda.
- El tercer factor de climatización, está la cúpula acristalada de vidrio tipo vitral, ubicada en el centro de la cubierta, este vidrio además de permitir la iluminación natural y climatizar el área social y del spa, también contribuye en la climatización de los espacios interiores por el efecto invernadero, con un valor agregado, el de aprovechar toda la radiación que recibe está cubierta.
- El cuarto factor, es el uso eficiente de la energía calorífica a base de vapor de agua y/o aire caliente conectado a un sistema de pisos radiantes para mantener un confort térmico en el interior de la vivienda entre 18°C-20°C durante las 24 horas del día. Este sistema consiste en el montaje de un serpentín en tubería de cobre o un tipo especial de manguera sintética que se instala por debajo del material del piso final de cada uno de los espacios habitacionales; el cual se conecta a una caldera monofásica que genera vapor de agua y / o una bomba de calor que genera aire caliente y trabaja controladamente por un temporizador que se acciona automáticamente, cuando la temperatura desciende a 16C° y / o cuando la temperatura supera los 20C°.

### **Sistemas mixtos de calefacción y ventilación**

“El prototipo de adobe emplea un sistema mixto para la climatización, como las ventilaciones cruzadas paralelas y la doble altura, de igual manera la inercia térmica de la tierra como un factor estabilizador de la temperatura”. (Ramírez R., ET AL, 2013, p: 235).

## Ventajas de la Arquitectura en Tierra

- Gran capacidad térmica. “La tierra posee unas características aislantes favorables, que hacen que los elementos constructivos compuestos de ella, presenten unos valores de resistencia térmica muy eficientes con respecto a otros sistemas masivos (un muro de adobe puede llegar a comportarse 5 veces mejor que uno de hormigón armado). Pero sobre todo tiene una gran inercia térmica, que le confiere una gran capacidad de almacenamiento de calor”. (Meta 2020 arquitectos, 2019, pág. web).
- Altas propiedades Higrotérmicas. La tierra, como material poroso, tiene unas grandes cualidades de absorción de vapor de agua que permite equilibrar la cantidad de humedad interior y conseguir así un gran confort interior. Esta propiedad se mantiene también a la inversa, es decir, el material aporta su propia humedad en momentos de excesiva sequedad en el aire.” (Meta 2020arquitectos, 2019, pág. web).
- Eliminación de olores indeseables. “Su composición química le confiere una gran capacidad de absorción de partículas tóxicas y olores desagradables”. (Meta 2020arquitectos, 2019, pág. web).
- Gran Comportamiento Acústico. “Los muros de tierra transmiten mal las vibraciones sonoras, de modo que se convierten en una eficaz barrera contra los ruidos indeseados.” (Meta2020arquitectos, 2019, pág. web).
- Resistencia, capacidad portante y estructural. “A pesar de tener una resistencia inferior a la de los materiales como el ladrillo, la tierra tiene una buena capacidad portante capaz de superar más de 100 años de vida, con un correcto mantenimiento y uso.” (Meta2020arquitectos, 2019, pág. web)

- **Mínimo Impacto Ambiental.** “Tanto en su proceso de fabricación y transporte (se necesita el 1% de la energía necesaria para la preparación, transporte y elaboración de hormigón armado o ladrillo cocido), como en los residuos producidos en su fabricación y al final de su vida útil, al ser 100% reutilizable”. (Meta2020arquitectos, 2019, pág. web).

### **Huella Ecológica en la construcción de viviendas sostenibles.**

El prototipo de vivienda que se propone, busca en lo posible, minimizar la huella de carbono, en cada una de las etapas de su ejecución, con el uso de materiales eco-sostenibles y la menor alteración del paisaje natural, el aprovechamiento de recursos naturales como la radiación solar, las corrientes de viento, la energía calorífica y los sistemas de ventilación y calefacción, que se pueden aprovechar sin recurrir a fuentes que consumen combustibles fósiles.

*“La huella ecológica hay que buscarla en los impactos ambientales ligados al proceso de construcción para el caso de una vivienda, desde la explotación de los recursos naturales, la fabricación de materiales pasando por la operación del elemento constructivo y finalizando con la fase de demolición”.* (Wiki libro Construcción Sostenible, 2012, pág. Web)

Tabla N° 2. Relación de Actividades e Impacto Ambiental Causado

<b>ACTIVIDAD</b>	<b>IMPACTO AMBIENTAL</b>
<b>1. Extracción de recursos naturales</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Consumo de recursos naturales y energía</li> <li>• Modificación del paisaje</li> <li>• Emisiones</li> </ul>
<b>2. Fabricación de materiales de construcción</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Emisiones GEI</li> <li>• Otras emisiones</li> <li>• Consumo de recursos naturales</li> <li>• Consumo de energía</li> <li>• Generación de residuos</li> <li>• Vertidos</li> </ul>
<b>3. Procesos de construcción</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Ocupación de suelo</li> <li>• Consumo de energía</li> </ul>
<b>4. Operación</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Consumo de energía</li> </ul>

	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Emisión de GEI</li> <li>• Residuos</li> <li>• Vertidos</li> </ul>
<b>5. Demolición</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Consumo de energía</li> <li>• Emisiones</li> <li>• Residuos</li> </ul>

**Fuente:** Construcción sostenible en Construcción sostenible-wiki EOI de documentación docente. Disponible en: [http://www.eoi.es/wiki/index.php/Construcci%C3%B3n\\_sostenible\\_en\\_Construcci%C3%B3n\\_sostenible](http://www.eoi.es/wiki/index.php/Construcci%C3%B3n_sostenible_en_Construcci%C3%B3n_sostenible)

Esta matriz, permite observar que, en las diferentes etapas de la construcción, existe algún tipo de impacto ambiental, manejando materiales eco-sostenibles en gran parte del componente arquitectónico.

Tabla N° 3. Relación de Actividades e Impacto Ambiental Causado en Construcciones Convencionales

<b>Actividad</b>	<b>Tipo de Impacto Ambiental</b>
<b>1. Extracción de recursos naturales</b> (Piedra de cantera, arena, gravilla, mineral de hierro, puzolana...)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Mayor Consumo de recursos naturales y energía</li> <li>• Modificación del paisaje natural</li> <li>• Mayor volumen de Emisiones GEI</li> </ul>
<b>2. Fabricación de materiales de construcción</b> (Acero. Bloque, concreto, ladrillo, teja, cemento, porcelanas, solventes...)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Aumento de Emisiones GEI</li> <li>• Otras emisiones</li> <li>• Mayor consumo de recursos naturales</li> <li>• Alto Consumo de energía</li> <li>• Alta generación de residuos</li> <li>• Vertidos</li> </ul>
<b>3. Procesos de construcción</b> (Cimentaciones, fundiciones de apoticados, mampostería, arquitectura en seco, soldaduras eléctricas o autógenas, cubiertas de concreto...)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Ocupación de suelo</li> <li>• Alto Consumo de energía</li> <li>• Mayor consumo de recursos naturales extraídos y transformados industrialmente</li> <li>• Generación de residuos</li> </ul>
<b>4. Operación</b> (Mayor cantidad de mano de obra, uso de maquinaria y herramientas)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Alto Consumo de energía</li> <li>• Emisión de GEI</li> <li>• Residuos</li> </ul>

eléctricas, traslado de materiales...)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Vertidos</li> </ul>
<b>5. Demolición</b> (Uso de maquinaria amarilla, herramientas eléctricas de corte Maquinaria para ascenso y descenso de materiales de construcción...)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Alto Consumo de energía</li> <li>• Emisiones</li> <li>• Altos volúmenes de Residuos no reciclables ni de reúso.</li> </ul>

Fuente: Ortiz. Luis. 2020

Con la ilustración de este cuadro, que corresponde a un sistema de construcción convencional, se puede apreciar comparativamente que se presenta un impacto ambiental negativo, especialmente en el uso de recursos naturales para la fabricación de materiales industrializados, consumo de energía y generación de emisiones de GEI y residuos de materiales.

### Diseño del Proyecto de Energía Fotovoltaica para el prototipo de vivienda en Paipa

La existencia de una de las mayores fuentes naturales inagotables de energía como el sol, para poder abastecer de manera limpia este prototipo de vivienda, permite ser autosuficiente para alimentar proyectos arquitectónicos de menor y mayor escala en todo el territorio nacional.

Tabla N°4. Dimensionamiento Proyecto de Energía Fotovoltaica

Tipo de carga	Voltaje	Potencia en Watts	Cantidad	Potencia en Watts24VDC	Potencia en Watts 110VAC	Horas diarias de uso	Consumo energía diaria en W/h	Consumo energía diaria en KW/h	Consumo energía mensual en KW/h
Lámparas LEDS	24	1	20	20	0	8	160	0.16	4.8
PC Portátil	110	50	2	0	50	8	400	0.40	12
Televisión	110	75	1	0	75	4	300	0.30	9
Nevera	110	130	1	0	130	9	1170	1.17	35.1
Lavadora	110	500	1	0	500	0.2	100	0.10	3
Licuadora	110	250	1	0	250	0.1	25	0.025	0.75
Plancha	110	1200	1	0	1200	0.3	360	0.36	10.8
Calentador de sauna	110	9000	1	0	9000	0.3	2700	2.70	81
Caldera generadora de vapor del turco	110	4000	1	0	4000	0.3	1200	1.20	36

Bomba de jacuzzi de 2hp para 8 hidrojets	110	1500	1	0	1500	0.3	450	0.45	13.5
<b>TOTAL</b>				20	16705		6865	6.865	205.95

Fuente: Fuente: Ortiz, Luis. 2019.

El cuadro anterior, muestra el resumen del consumo promedio de energía fotovoltaica que tiene este prototipo de vivienda, con una posibilidad de ahorro mayor, cada vez que se optimiza los recursos renovables existentes y la disponibilidad en el mercado del tipo de elementos de consumo eléctrico, de mayor eficiencia.

Tabla N° 5. Resumen de los Elementos resultantes del Cálculo

Unidades	Elementos
10	Módulos tipo-LUXOR Eco-line 60/230W Policristalino
2	Regulador tipo –STECA TAROM 245 PWM
12	Batería tipo-ECOSAFE TYS-12 TUBULAR-PLATE
1	Inversor tipo-VICTRON MULTIPLUS C 24/3000/70-16

Fuente: Calculador solar Disponible en: [Calculationsolar.com/es/calcular.php](http://Calculationsolar.com/es/calcular.php)

Con los elementos de consumos seleccionados y los componentes de la instalación calculados, obtenemos el siguiente cuadro comparativo de consumos y producción estimados a lo largo del año:

Tabla N°6. Comparativo de Consumos y Producción

Mes	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	agosto	Sept.	octubre	Nov.	Dic.
Consumo /Kw	268	242	268	260	268	260	268	268	260	268	260	268
Producción/Kw	369	301	292	247	287	299	305	278	266	298	318	357

Fuente: Calculador solar Disponible en: [Calculationsolar.com/es/calcular.Php](http://Calculationsolar.com/es/calcular.Php).

Consumo total al año: 3.158 KW

Producción total al año: 3.617 KW

Equivalencia de Kw producidos de energía eléctrica en kg/año de CO<sub>2</sub>

Equivalencia: En promedio, se emite entre 430 – 450 gramos de CO<sub>2</sub>/kwh

Luego, 3.617 Kw X 450 gramos CO<sub>2</sub>/Kwh = 1.627.650 gramosCO<sub>2</sub> = 1.628 kg CO<sub>2</sub>

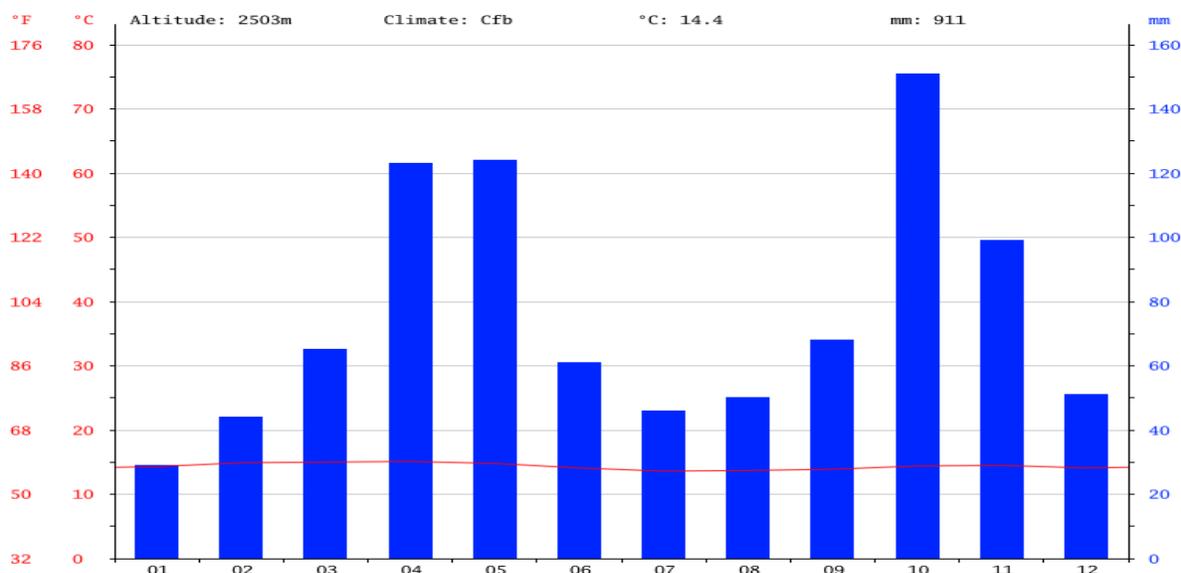
En conclusión, con el sistema autónomo diseñado de generación de energía de fuentes renovables de este prototipo de vivienda, se evita la producción 1.628 kg CO<sub>2</sub> al año.

En resumen, este cuadro muestra que este sistema fotovoltaico, es un sistema eficiente en la producción de energética renovable, garantizando autonomía durante el periodo de tiempo calculado, para el caso corresponde a un año. Y desde el punto de vista de la disminución de la huella de carbono, se evita generar 1.628 Kg/año de CO<sub>2</sub>.

### Climograma Paipa

El mes más seco es enero, con 29 mm. En octubre, la precipitación alcanza su pico, con un promedio de 151 mm.

Gráfico N°1. Climograma de Ciudad Paipa – Boyacá.



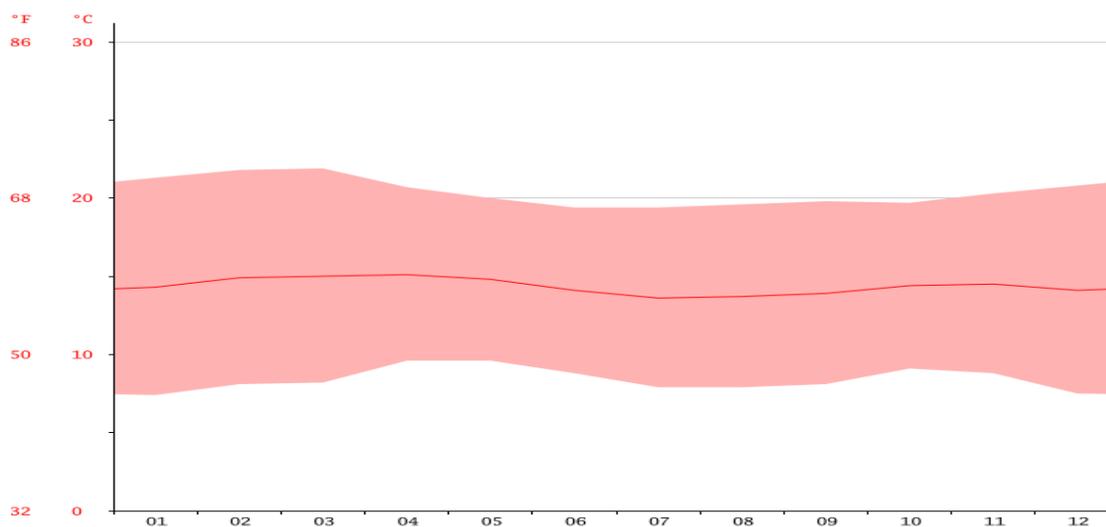
Fuente: Climate-Data.Org. Disponible en: <https://es.climate-data.org/location/50159/>

La gráfica muestra los promedios de precipitación de lluvias, durante un año, para el municipio de Paipa-Boyacá. Hecho garantiza, que, si es posible tener autonomía en el abastecimiento de agua potable, proveniente de las lluvias, para el consumo de los habitantes de esta vivienda,

### Diagrama de Temperatura de la Ciudad de Paipa-Boyacá.

El mes más caluroso del año con un promedio de 15.1 °C de abril. A 13.6 °C en promedio, julio es el mes más frío del año.

Gráfico N° 2. Diagrama de Temperatura de Paipa-Boyacá.



Fuente: Climate-Data.Org. Disponible En: <https://Es.Climate-Data.Org/Location/50159/>

La gráfica, describe el comportamiento del clima en el municipio de Paipa-Boyacá. Esta temperatura promedio es la base para determinar, que se requiere aumentar en el interior de la vivienda de 4 a 6 grados centígrados durante las 24 horas, y lograr el confort térmico esperado de 18 a 20 grados centígrados.

## Climática // Datos Históricos del Tiempo en Paipa-Boyacá

La diferencia en la precipitación entre el mes más seco y el mes más lluvioso es de 122 mm.

La variación en la temperatura anual está alrededor de 1.5 ° C

Tabla N° 7. Climática // Datos Históricos del Tiempo Paipa

	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Sept.	Octubre	Nov.	Dic.
Temperatura media (°C)	14.3	14.9	15	15.1	14.8	14.1	13.6	13.7	13.9	14.4	14.5	14.1
Temperatura min. (°C)	7.4	8.1	8.2	9.6	9.6	8.8	7.9	7.9	8.1	9.1	8.8	7.5
Temperatura máx. (°C)	21.3	21.8	21.9	20.7	20	19.4	19.4	19.6	19.8	19.7	20.3	20.8
Temperatura media (°F)	57.7	58.8	59.0	59.2	58.6	57.4	56.5	56.7	57.0	57.9	58.1	57.4
Temperatura min. (°F)	45.3	46.6	46.8	49.3	49.3	47.8	46.2	46.2	46.6	48.4	47.8	45.5
Temperatura máx. (°F)	70.3	71.2	71.4	69.3	68.0	66.9	66.9	67.3	67.6	67.5	68.5	69.4
Precipitación (Mm)	29	44	65	123	124	61	46	50	68	151	99	51

Fuente: Climate-Data.Org. Disponible en: <https://es.climate-data.org/location/50159/>

El anterior cuadro nos brinda información muy valiosa respecto al clima promedio de la ciudad de Paipa; lo cual permite inferir que la radiación solar en este municipio, es apropiada para el montaje de un eficiente sistema de energía solar fotovoltaica para la generación de energía renovable.

### Radiación Solar de Paipa

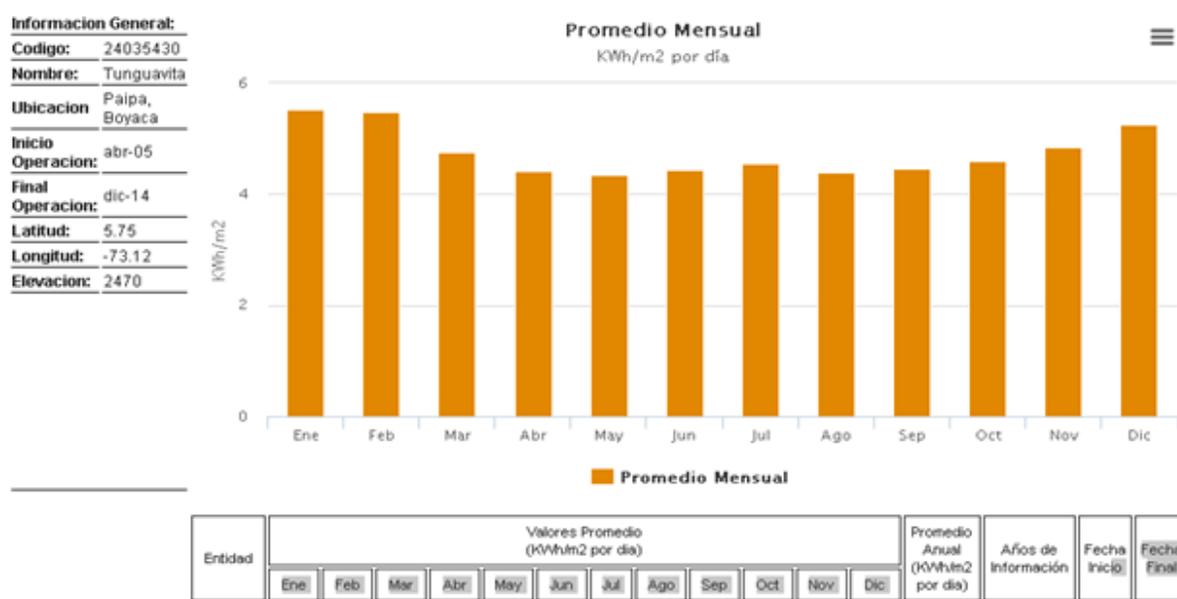
La radiación solar, es un recurso energético inagotable para utilizarla como una opción en la producción de energía limpia y atender las necesidades de las diferentes zonas del país. Cabe señalar que; Colombia es un país privilegiado al recibir 12 horas diarias de radiación solar durante todo el año.

Sin duda, se puede hacer uso de este recurso para satisfacer la demanda energética de las viviendas de manera responsable. En alusión a ello, el promedio de radiación solar global media

anual en Paipa es de 4.756 Wh/m<sup>2</sup>/día y, por lo tanto, se proyecta una generación de 1.825 KWh/año de electricidad. 2 mar. 2018.

En el siguiente gráfico se observa el potencial de la radiación solar en el municipio de Paipa-Boyacá.

Gráfico N° 3. Radiación Solar en Paipa-Boyacá



Fuente: <https://www.energie.ws/datos-radiacion-solar-colombia-atla>

La gráfica anterior, permite conocer el promedio mensual de radiación solar en el municipio de Paipa-Boyacá, para un periodo de un año, con el cual se proyecta el diseño del sistema solar fotovoltaico para la formulación del prototipo de vivienda del proyecto aplicado en referencia.

### Energía Eólica en el Departamento de Boyacá

Las corrientes de viento que se presentan en el departamento de Boyacá, son otra fuente inagotable de recursos naturales para el aprovechamiento en la producción de energía limpia para proyectos arquitectónicos.

En el estudio realizado por Avellaneda en el año 2012, Paipa en su área rural cuenta con potencial eólico para generar energía eléctrica y satisfacer necesidades básicas en poblaciones rurales. Para ello además de información del IDEAM, se basó en los datos estadísticos suministrados por las estaciones de Tinguavita ubicada en Paipa-Boyacá que registra datos de dirección y velocidad del viento desde 1995 hasta 2004, Estación Surbatá ubicada en Duitama-Boyacá que registra datos de dirección y velocidad del viento desde 1989 hasta 2004, estación Andalucía de tipo climatológico ubicada en Duitama-Boyacá que registra datos de temperatura y humedad relativa de los últimos 20 años y estación los Monjes, ubicada en el cordón montañoso de Sotaquirá-Boyacá, donde ubicó la zona de estudio del emplazamiento del proyecto. (Avellaneda, 2012, p: 65 - 78).

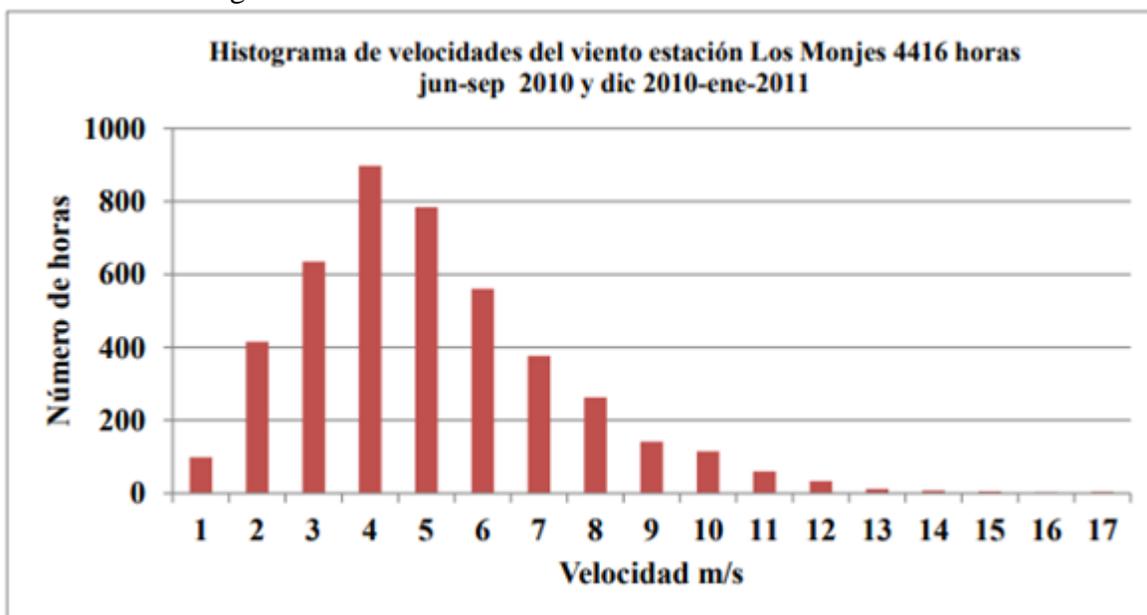
Tabla N° 8. Valores estimados de la Densidad del Aire.

<b>Estación</b>	<b>Elevación(msnm)</b>	<b>Humedad Relativa (%)</b>	<b>Temperatura (°C )</b>	<b>Densidad aire (Kg/m<sup>3</sup>)</b>
<b>Tinguavita</b>	2503	77	15	0,8973
<b>Surbatá</b>	2524	79	14	0,8982
<b>Villa Carmen</b>	2600	81	14	0,8896
<b>Siérrala</b>	2700	85	12	0,8849
<b>Andalucía</b>	3374	84	10	0,8183
<b>Los Monjes</b>	<b>3534</b>	<b>85</b>	<b>9</b>	<b>0,8080</b>

Fuente: Arellano, 2012.

La información suministrada en el anterior cuadro, permite tener el referente de la altitud, en que se encuentra ubicado el municipio de Paipa-Boyacá el cual está a una altura de 2.560 msnm

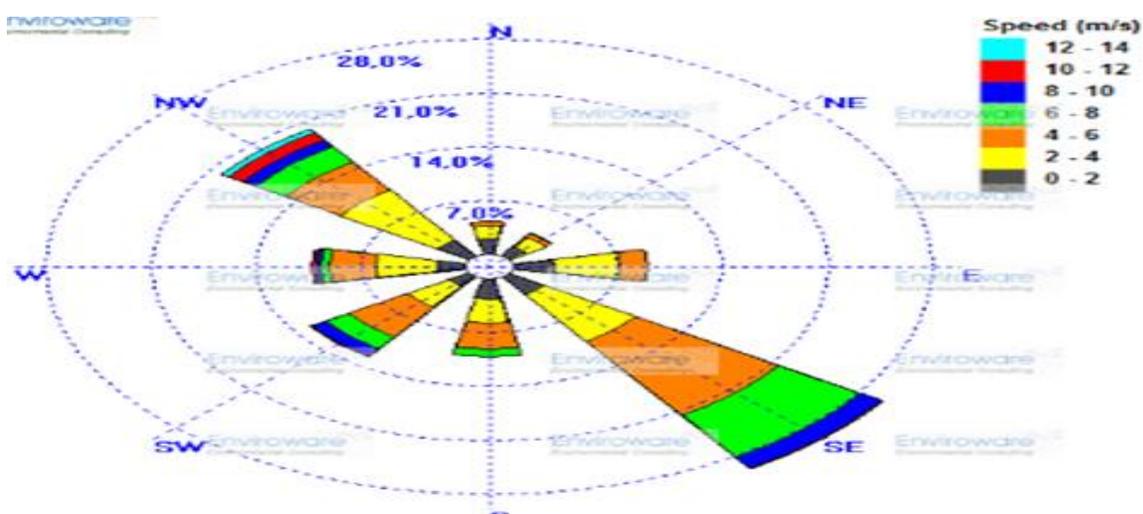
Gráficos N° 4. Histograma de Velocidades del Viento en Función del Número de Horas.



Fuente: Arellano, 2012.

El histograma del cuadro anterior permite determinar el número de horas, durante los meses del año, para proyectar la instalación de un sistema de generación eólica para el proyecto arquitectónico en referencia.

Gráfico N° 5. Rosa de los Vientos julio 2010. Estación Los Monjes.



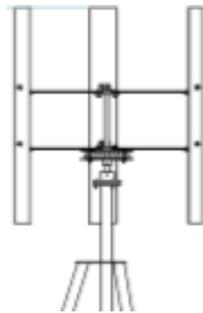
Fuente: Avellaneda, 2012.

La estación de monitoreo del viento denominada los monjes, a 3534 msnm en el cerro Los Monjes, páramo de Chontales, municipio de Sotaquirá, departamento de Boyacá, donde se recolectó información sobre velocidad de los vientos, cuyo promedio fue de 4,57 m/s correspondiente con los datos del IDEAM; hecho que permite aprovechar este recurso para operar sistemas de energía eólica como otra fuente de energía renovable para esta región.

### **Prototipo de Aerogenerador Eólico de Eje Vertical**

Los generadores eólicos existentes en el mercado, de gran variedad de tamaños y modelos, son una muestra para determinar, cuál se ajuste de manera conveniente y garantice la eficiencia y genere menor impacto para implementar este sistema de abastecimiento de energía renovable.

Figura N° 2: Prototipo de Aerogenerador Eólico de Eje Vertical



Fuente: Orduz, Suárez, 2011.

Tabla N° 9. Descripción del Prototipo de Aerogenerador Eólico de Eje Vertical

TIPO	TURBINA EÓLICA EJE VERTICAL
Principio de operación	Fuerza ascensorial
Dimensiones a rotor	850 x 950 mm
Peso	23 kg
Número de alabes	3
Solidez del rotor	0.42
Velocidad del viento al arranque	3,5 m/s
Velocidad para mínima potencia	Mayor a 4 m/s
Velocidad viento critica	15m/s
Potencia/vel. Viento nominal	11w@7m/s
Alternador	Imanes permanentes de neodimio monofásico 6 pares de polos
Sistema de frenado	Carga alternador

Fuente: Orduz, Suárez, 2011.

Las características del aerogenerador de eje vertical en referencia, es una opción a tener en cuenta para implementar, como alternativa para la generación de energía limpia del prototipo de vivienda diseñado.

Cabe destacar que, la potencia mecánica máxima del prototipo del aerogenerador eólico de eje vertical y vientos con velocidad de 11.1 m/s equivale a aproximadamente 44,4 vatios a 310 rpm. (Orduz, Suárez. 2011).

## Resultados

Como resultado del proyecto se propone una vivienda para construir en sentido Norte-Sur para aprovechar la radiación solar en toda su dimensión en las horas de la mañana y de la tarde, y climatizar de forma natural los espacios de la construcción. Paredes redondeadas para evitar la pérdida de energía en espacios angulares, y construidos en abobe, piedra, madera, caña-brava, implementado la técnica de muro trombe con cámara de calentamiento de aire, lo cual favorece y asegura el aislamiento térmico habitacional y un ahorro significativo de energía en términos de un mejor confort, lo anterior teniendo en cuenta lo planteado por Viegas, Walsh y Barros (2016) en cuanto a diversas experiencias basados en la práctica sistemática recurriendo a tecnologías apropiadas, sencillas, de fácil ejecución. Así mismo, los materiales brindan aislamiento acústico para la creación de un ambiente de bienestar en el interior habitacional. La cubierta incluye una cúpula de vidrio tipo vitral en el centro de la misma, contribuyendo a la iluminación natural y climatización del área social y de los espacios interiores por el efecto invernadero. Para finalizar se propone la implementación de un Sistema de energía solar fotovoltaica para los electrodomésticos (Cabezas-Maslanczuk, Fasoli-Tolosa, Franco-Brazes, 2018) y un sistema de piso radiante, alimentado por aire caliente mediante serpentines para mantener un confort térmico en el interior de la vivienda.

## Conclusiones

- Se identificaron los diferentes métodos constructivos convencionales y no convencionales y se establecieron los aspectos relevantes, ventajas y desventajas de los mismos.
- Se establecieron los criterios a tener en cuenta para el diseño del prototipo relacionado con la investigación
- Se definieron los conceptos estructurales, los materiales de construcción, y los mecanismos para el suministro de energía y aseguramiento del confort térmico de las unidades habitacionales.

El prototipo de la vivienda rural, reúne las características bioclimáticas aprovechando el sistema híbrido de arquitectura en tierra, piedra rodada de cantera y muros verdes.

El sistema de abastecimiento de energía proviene de tres fuentes principales:

- Una cúpula central con vidrio tipo vitral que hace parte de la cubierta; la cual permite entrada de luz solar y calor hacia el interior de la vivienda de forma controlada, generando un efecto invernadero; el cual nos brinda servicios esenciales de iluminación y calefacción natural de los espacios habitacionales, asegurando un confort térmico interno ideal durante el día.
- Un sistema energía solar fotovoltaica para alimentar los electrodomésticos de la vivienda y los equipos que requieren de energía eléctrica del spa.
- Un sistema de piso radiante, alimentado de vapor y /o aire caliente, beneficiando en el logro de confort térmico a bajo costo.

La tipología, el sistema constructivo en abobe, piedra, madera, caña-brava, que hace parte del sistema de aislamiento térmico eficiente de esta vivienda garantizan un ahorro significativo de energía en términos de un mejor confort térmico, bajo impacto ambiental, contribuyendo a la

disminución de la huella de carbono.

Por otra parte, las características de los materiales empleados en el sistema constructivo de la vivienda nos brindan un alto aislamiento acústico que permite crear un ambiente de bienestar en su interior. Esta vivienda al estar ubicada en una zona de clima frío con temperatura promedio de 14 °C. Destacando, que el sistema de ventilación se hace de forma natural dado que el sistema constructivo y el tipo de cubierta la altura de los muros de soporte no requiere de sistemas adicionales de ventilación que implique consumo de energía eléctrica.

Cabe mencionar, que el dimensionamiento del sistema fotovoltaico para este proyecto arquitectónico garantiza eficiencia en la producción de energía renovable, autonomía de suministro y desde el punto de vista de la disminución de la huella de carbono, se evita generar 1.960 Kg/año de CO<sub>2</sub>.

Sin lugar a dudas, este prototipo de vivienda es posible realizarlo por personas que desean tener una vivienda sostenible eco-habitable que le brinde el confort térmico, economía en su inversión, eficiencia energética limpia y valor agregado en bienestar y salud. Ya que este prototipo de vivienda permite proyectar la construcción de edificaciones sostenibles energéticamente en contextos de regiones frías esencialmente.

Concluyendo que; la sociedad y sus modelos de desarrollo son el resultado de los aportes de cada generación. El desarrollo habitacional en Colombia ha aprovechado todo tipo de recursos para satisfacer sus necesidades de construcción de todo tipo de vivienda sin prever los efectos negativos contra el medio ambiente. Esta investigación busca mostrar la necesidad de cambiar y dar apertura a una génesis en cuanto a Construcción de Viviendas Bio-sustentables, ya que el uso masivo de materiales industrializados ha permitido el deterioro indiscriminado de los diversos ecosistemas.

## ANEXOS

## ANEXOS N° 1

## Ubicación del Municipio de Paipa

DEPARTAMENTO  
BOYACÁ

## PAIPA

## VEREDA ROMITA



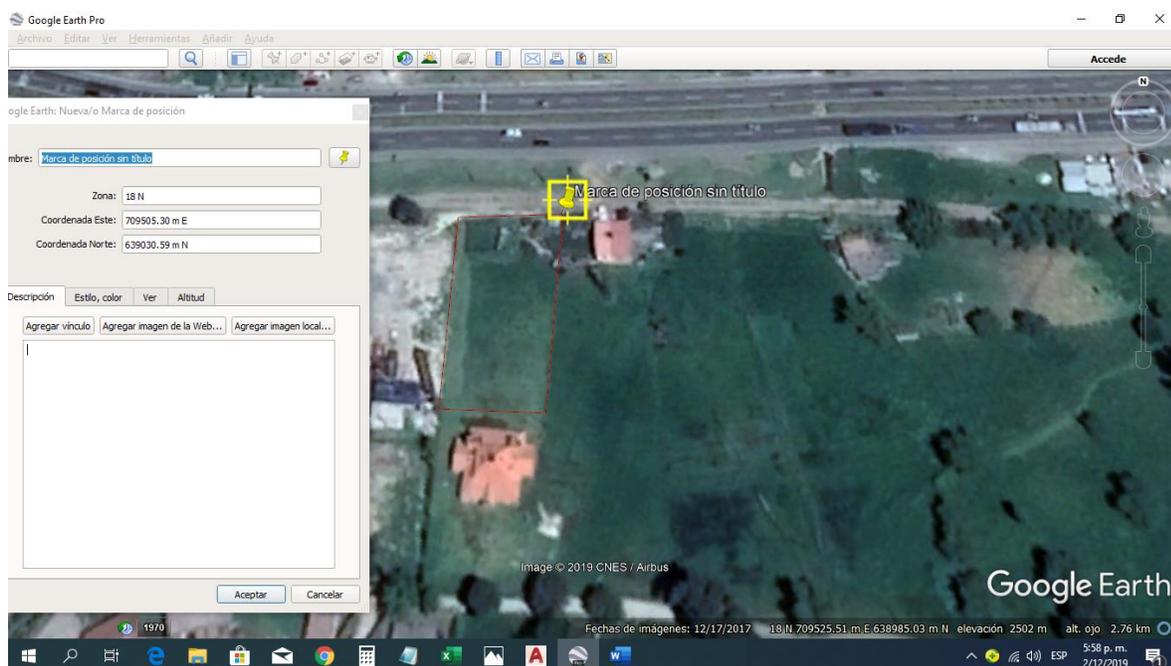
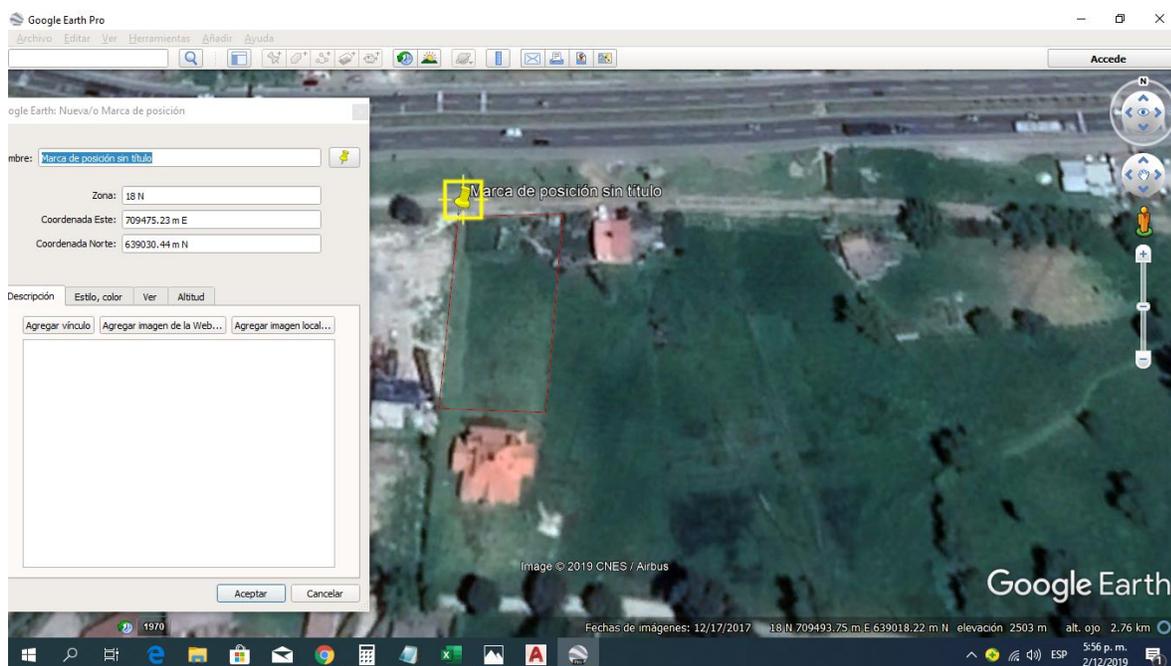
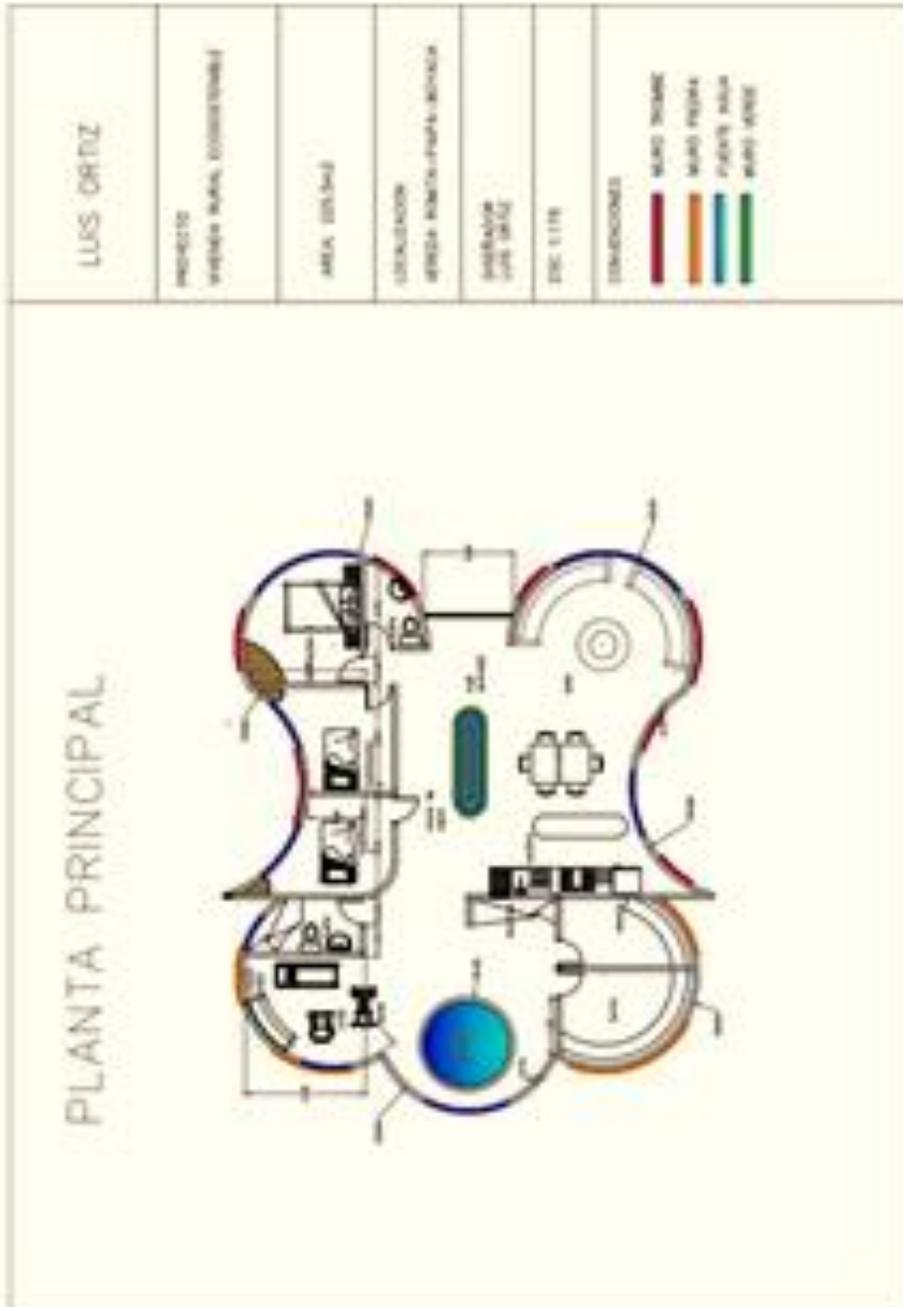


Imagen del sitio de ubicación del proyecto Arquitectónico

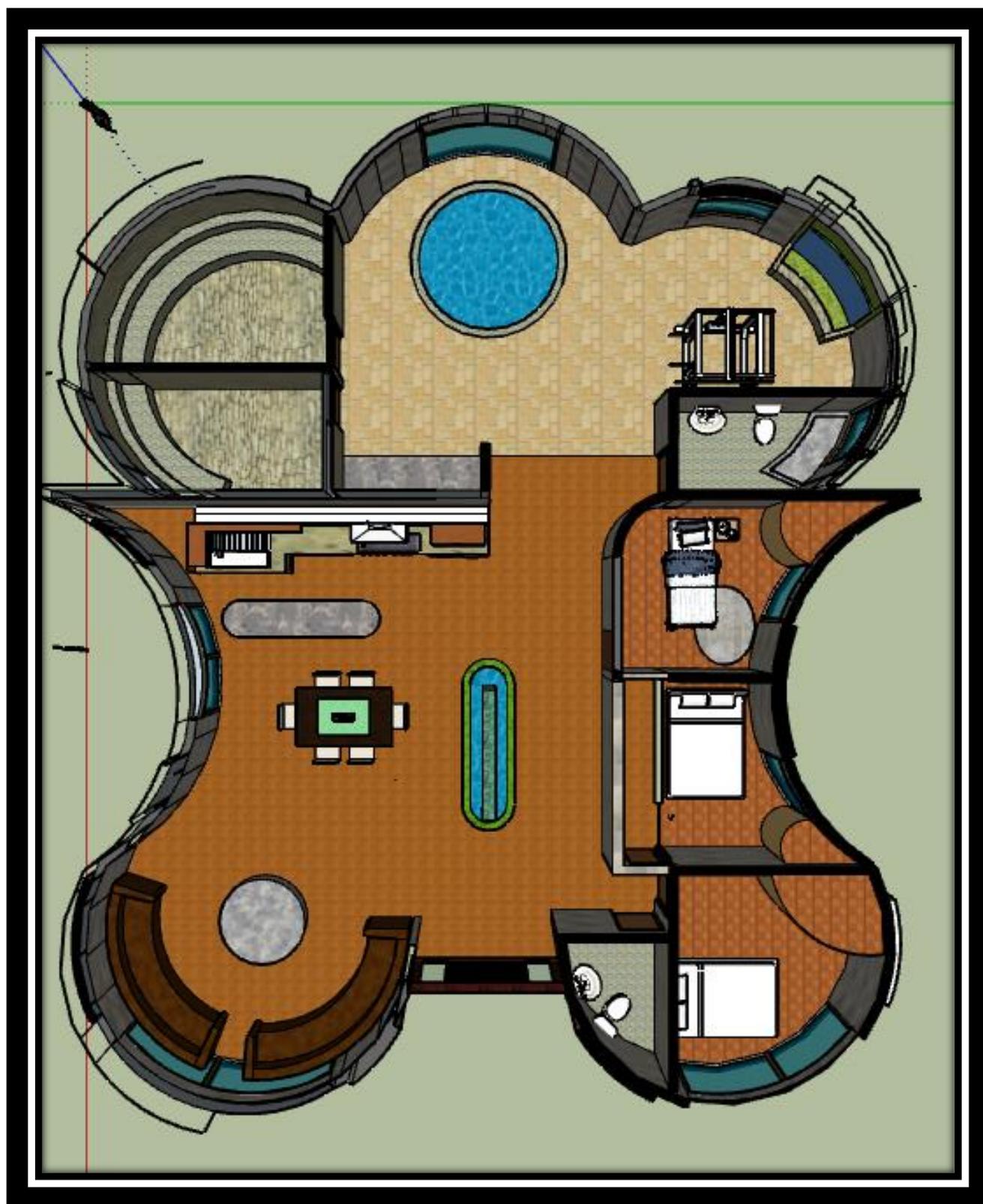
Fuente: Google Earth.

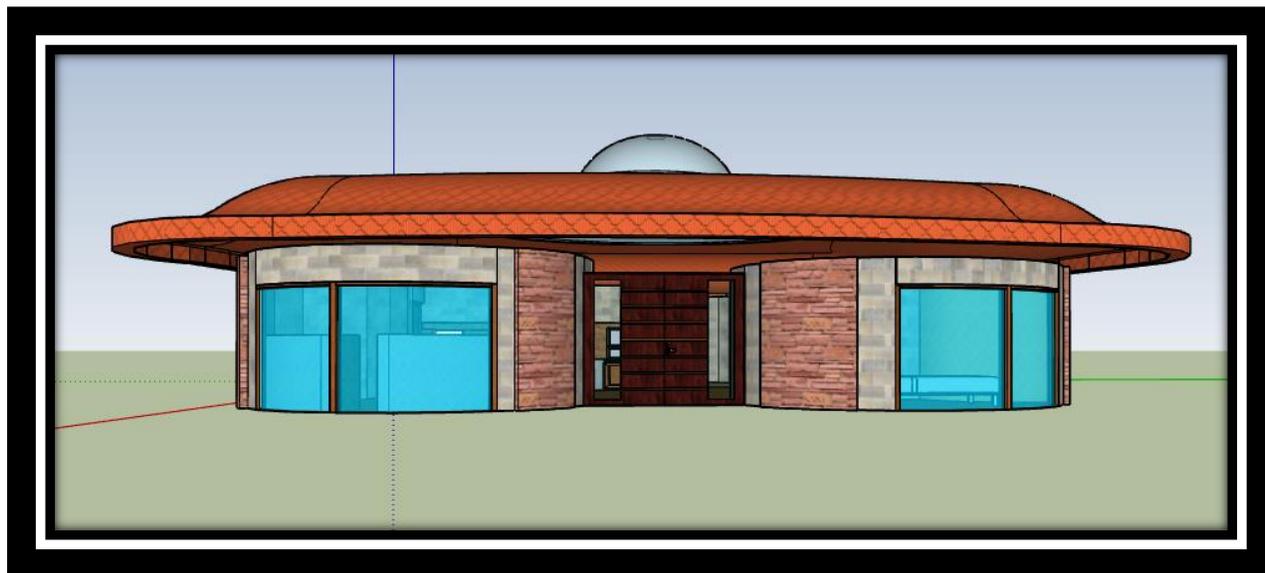
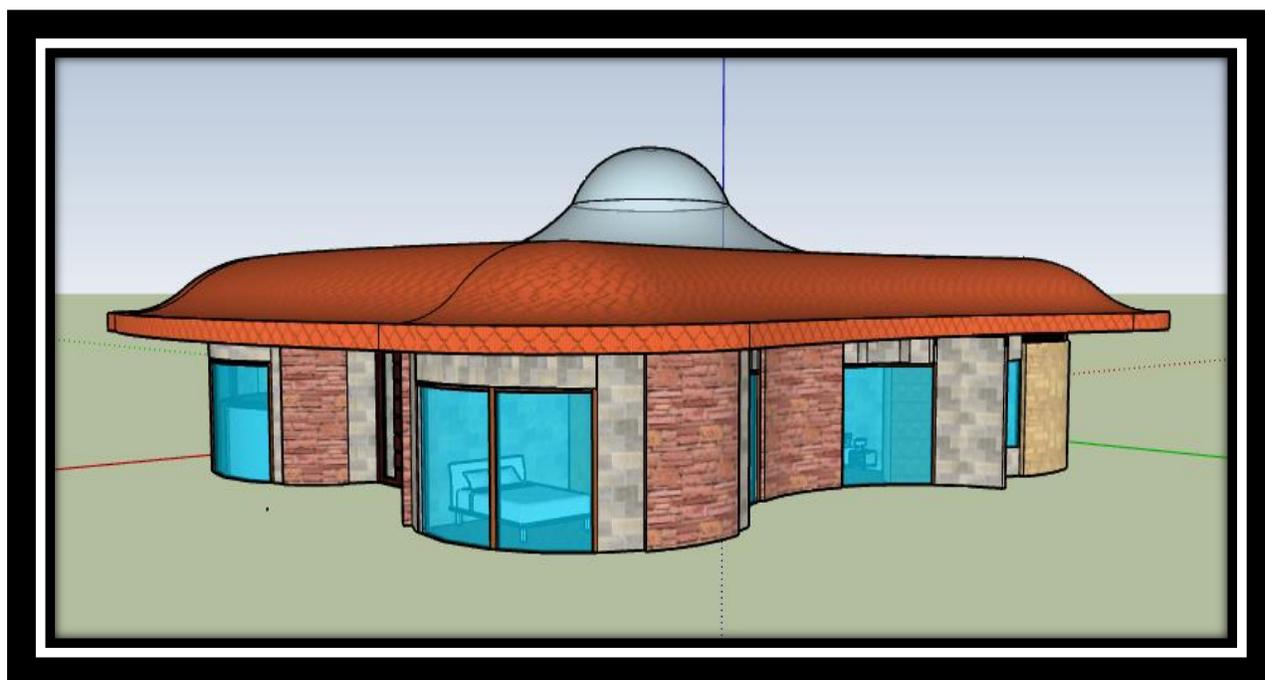
Fecha de imágenes: 12-17-2017.

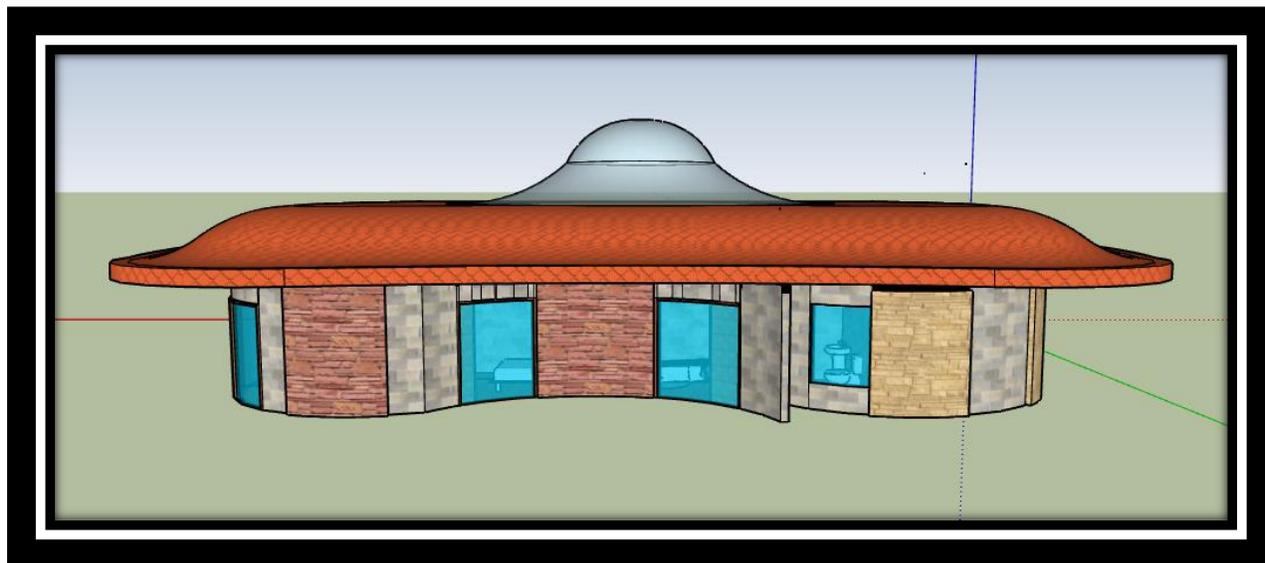
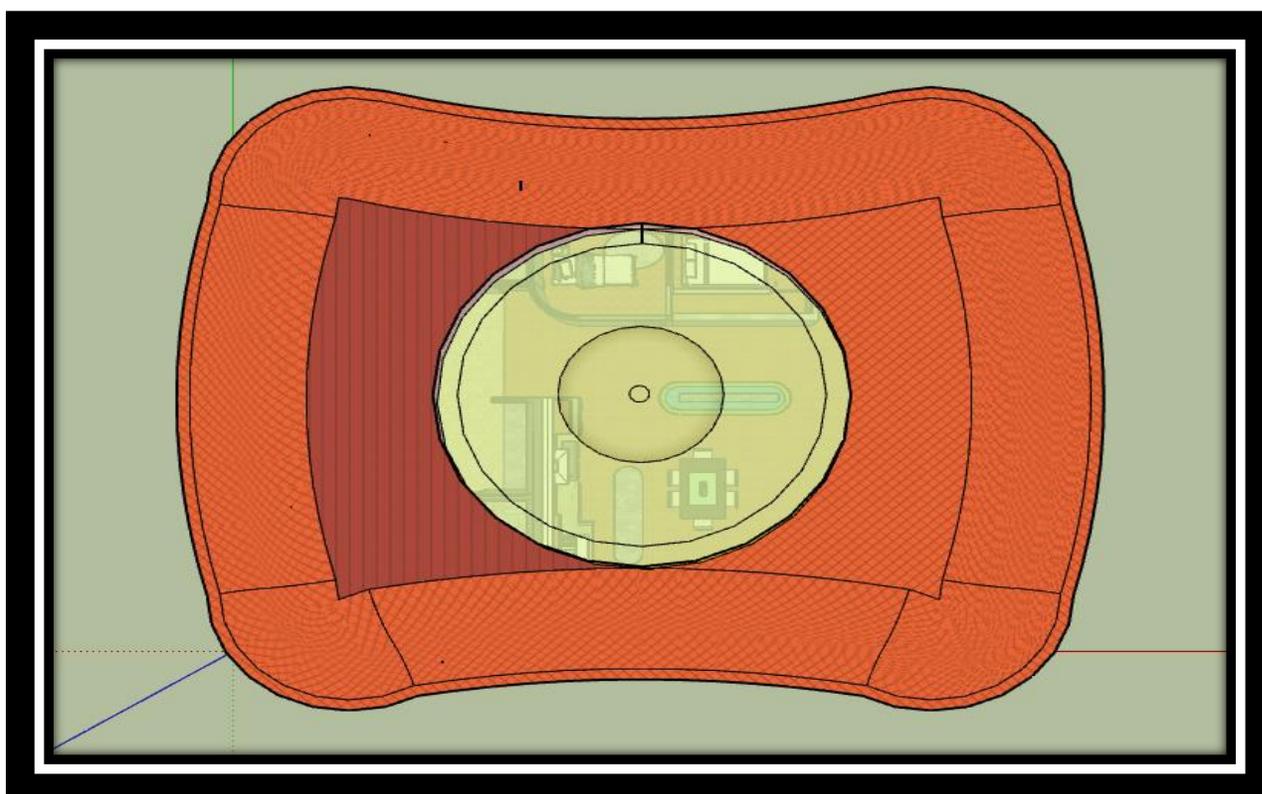
## ANEXO N° 2. PLANOS.



## ANEXO N° 2.1. PLANO: PLANTA 3D



**ANEXO N° 2.2. PLANO: FACHADA PRINCIPAL****ANEXO N° 2.3. PLANO: FACHADA LATERAL A**

**ANEXO N° 2.4. PLANO: FACHADA LATERAL B****ANEXO N° 2.5. PLANO: CUBIERTA**

## Referencias

Arnal, H., Epelboim, S., (1984, noviembre). Manual para el proyecto de estructuras de concreto armado para edificaciones. Ministerios de Desarrollo Urbano. Caracas- Venezuela. Disponible en: <https://es.slideshare.net/mauricio.ravanal/manual-para-el-proyecto-de-estructuras-de-concreto-armado-para-edificaciones-mdu>

Arquitectura Bioclimática. (2015). Recuperado de [http://arquibioclim.blogspot.com.co/2015/01/arquitectura-bioclimatica\\_27.html](http://arquibioclim.blogspot.com.co/2015/01/arquitectura-bioclimatica_27.html)

Arquitectura Solar Pasiva: invernaderos, muros trombe y muros parietodinámicos. (S.F.)  
<https://www.e-zigurat.com/blog/es/arquitectura-solar-pasiva-invernaderos-muros-trombe-muros-parietodinamicos/>

Avellaneda. C. (2012). Estudio del potencial de generación de energía eólica en el páramo de chontales, municipio de Paipa y Sotaquirá. Departamento de Boyacá. Universidad Libre. Bogotá D.C.

Barranco, O. (2015). La Arquitectura Bioclimática. Módulo Arquitectura CUC, Vol.14 N°2 31-40. Doi: Disponible en:<file:///C:/Users/user/Desktop/LEYACOP%20TRAIDING/TDC/arquitectura%20bioclimatica.pdf>

Bernal, T. (2006). Metodología de la investigación administración, economía, humanidades y ciencias sociales. Bogotá D.C., Colombia. Editorial PEARSON. Tercera Edición.

Cabezas, M., Fasoli, H., y Franco, J. (2018, abril/ junio). Diseño y evaluación de un panel solar fotovoltaico y térmico para poblaciones dispersas en regiones de gran amplitud térmica. *Ingeniería Investigación y Tecnología*, 19(2), 209-221. Disponible en: <https://doi.org/10.22201/fi.25940732e.2018.19n2.018>

Características y Patologías Constructivas del Bahareque (2017, 27 de noviembre).

*[bdigital.unal.edu.co > 10270433.2017.pdf](http://bdigital.unal.edu.co/10270433.2017.pdf)*. Universidad Nacional. Medellín. 2017

Conceptos y técnicas de la Arquitectura Bioclimática. (2018, 01 de agosto). Recuperado de [www.ecohabitar.org/wp...y-técnicas-de-la-Arquitectura-Bioclimática.PDF](http://www.ecohabitar.org/wp...y-técnicas-de-la-Arquitectura-Bioclimática.PDF)

Congreso de Colombia. (2014). Ley 1517. Integración de las Energías Renovables No Convencionales al Sistema Energético Nacional. Bogotá - Colombia. Obtenido de UPME  
NORMATIVIDAD: [http://www.upme.gov.co/Normatividad/Nacional/2014/LEY\\_1715\\_2014.pdf](http://www.upme.gov.co/Normatividad/Nacional/2014/LEY_1715_2014.pdf)

Consejo Latinoamericano de Ciencias Sociales OSAL Observatorio Social de América Latina  
Año XIII N° 32 / publicación semestral / noviembre de 2012

Construpedia. Enciclopedia construcción. (S.F.). Aislamiento Térmico. <https://www.Construmatica>construpedia>aislamiento-térmico>

Construpedia. Enciclopedia construcción. (2015). Construible. I. Recuperado de [www.construmatica.com/construpedia/Categoria:Construible](http://www.construmatica.com/construpedia/Categoria:Construible)

Ecohabitar, Arquitectura Bioclimática: Conceptos y técnicas. Publicado por [Benito Sanchez-Montañés Macias](#) en 23 mayo, 2014. Disponible en: <http://www.ecohabitar.org/conceptos-y-tecnicas-de-la-arquitectura-bioclimatica-2/>

Elementos que Caracterizan a la Arquitectura Bioclimática. (2017, 20 de abril).

<https://www.google.com/search?q=La+forma+de+la+casa+influye+sobre+la+superficie+de+contacto+entre+la+vivienda+y+el+exterior%2C+lo+cual+influye+en+las+p%C3%A9rdidas+o+ganancias+calor%C3%ADficas&oq=La+forma+de+la+casa+influye+sobre+la+superficie+de+contacto+entre+la+vivienda+y+el+exterior%2C+lo+cual+influye+en+las+p%C3>

[%A9rdidas+o+ganancias+calor%C3%ADficas&aqs=chrome..69i57j69i59.1417j0j1&sourceid=chrome&ie=UTF-8](#)

Flores, C. y Gustafsson, F. (2018, 19 de abril). Muro Trombe. Climatización Pasiva. Slideshare.net.

Disponible en: <http://mrbimarchitects.com/blog-es/muro-trombe-climatizacion-pasiva/>

Flores, J. (2015). *Energías Alternativas en Colombia Bajo La Ley 1715*. Tesis de pregrado.

Universidad Militar Nueva Granada. Bogotá. PDF. Disponible en:

<https://repository.unimilitar.edu.co/-/ENERGIAS%20ALTERNATIVAS%20en%20%20c...>

HELIOTERMICA. (S.F.). Energía Solar-Incentivos sobre FNCE en Colombia. Disponible en:

[www.heliotermica.com/es/portafolio-solar/incentivos-sobre-fnce-en-colombia.html/](http://www.heliotermica.com/es/portafolio-solar/incentivos-sobre-fnce-en-colombia.html/)

Hurtado, L. y Toro G., (2007), *Paradigmas y Métodos Investigativos 5ta Edición*, Valencia-Estado Carabobo Venezuela. p. 84.

Ministerio de Minas y Energía Unidad de Planeación Minero Energética – UPME. (2010, 04 de febrero). Plan de desarrollo para las fuentes no convencionales de UPME. Disponible en:

[https://www.upme.gov-co/sigic/documentosf/vol\\_1\\_plan\\_desarrollo.pdf](https://www.upme.gov-co/sigic/documentosf/vol_1_plan_desarrollo.pdf)

Morales, V., Ortiz, M., y Alavéz, R. (2007, enero/junio). Mejoramiento de las propiedades mecánicas del adobe compactado. *Revista Naturaleza y Desarrollo*, 5(1), 41-48. Disponible en:

[https://www.ciidiroaxaca.ipn.mx.revista/files/pdf/vol5num1/mejoramiento\\_propiedades.pdf](https://www.ciidiroaxaca.ipn.mx.revista/files/pdf/vol5num1/mejoramiento_propiedades.pdf)

Orduz, O, y Suárez J. (2011). Diseño de un prototipo de turbina eólica ve eje vertical para generar baja potencia. Universidad Industrial de Santander. Bucaramanga.

Ostos, I., Collazos, C., Castellanos, H., y Fernández, C. (2017). Sistema híbrido fotovoltaico (FV) con interacción a la red para zonas rurales de Colombia. *Revista De Investigación Agraria Y*

*Ambiental*, 8 (1), 169 - 182. <https://doi.org/10.22490/21456453.1847>

- Papparelli, A., Kurban, A., y Cunsulo, M. (2003, enero). Aporte del diseño bioclimático a la sustentabilidad de áreas urbanas en zonas áridas. *Revista INVI*, 18(46), 61-68. Disponible en: <http://revistainvi.uchile.cl/index.php/INVI/article/view/402/836>
- Peña, M. (2011) Caracterización De Cenizas De Algunos Carbones Colombianos In Situ Por Retrodispersión Gamma-Gamma. Universidad Nacional de Colombia Facultad de Ciencias, Departamento de Química Bogotá D.C., Colombia. Pág.: 27-33.
- Peraza, J., (1995). *Casa de madera sistema constructivo*. Copyright Asociación de Investigación Técnica de las Industrias de la Madera y Corcho. AITIM. Disponible en: [https://infomadera.net/uploads/descargas/archivo\\_6\\_Libro%20Casas%20de%20madera%20Sistemas%20constructivos.pdf](https://infomadera.net/uploads/descargas/archivo_6_Libro%20Casas%20de%20madera%20Sistemas%20constructivos.pdf)
- Ramírez, M. Aguiluz, J, y Gutiérrez. M. (2013). *Prototipo de vivienda en adobe con energías renovables: caso de estudio localidad de Raíces, Área Natural Protegida del Parque Nacional del Nevado de Toluca, Estado de México*. Proyecto de Investigación. PP., 231-237. Universidad Autónoma del Estado de México Toluca, México. Recuperado de <http://www.redalcy.org/articulo.oa?id=10428759008>
- Rivero, S. (2007). El uso masivo de la tierra como material de construcción en Colombia. Fundación Tierra Viva, Barichara, Colombia (págs354-363) Vol.20 núm.2.
- Sanabria. A. (2016). Análisis Del Costo/Beneficio De La Implementación De Tecnologías De Energía Con Paneles Solares En La Sede Hospital San Cristóbal. Especialización en Gerencia Integral de Proyectos. Universidad Militar Nueva Granada. Bogotá D.C.
- Salamanca Galvis, L. (11 de diciembre de 2015). Huella Social: Huella de carbono. *El Tiempo*, Disponible en: <https://www.eltiempo.com > archivo.>

Serrano, P. (2016, 12 de diciembre). La inercia térmica en la construcción de edificios eficientes.

Disponible en: <https://www.certificadosenergeticos.com > Blog>

Senosiain, J. (2014). Bioarquitectura. – Pág. 1- 9: <https://books.google.com.co>books>

Senosiain, J. (2014) Bioarquitectura: En busca de un espacio. Recuperado de:

<https://books.gogle.com.co/books?isbn=6079254840>

Sistemas y productos de construcción con prefabricados. (1994)

<https://www.prilhofer.com/sistemas-y-productos-de-construccion>

Turismodepalencia.wordpress.com. (2014, 22 de septiembre). El Adobe. Disponible en:

<https://turismodepalencia.wordpress.com/2014/09/22/el-adobe/>

Unidad de Planeación Minero Energética – UPME. (2015). Integración de las Energías Renovables No Convencionales en Colombia. Bogotá. La Imprenta Editores S.A. William Cruz Corredor. Bogotá.

Viega, G. Walsh, C., y Barros, V. (2016). Evaluación cuali-cuantitativa de aislaciones térmicas alternativas para viviendas. El caso de la agricultura familiar. *Revista INVI*, 86(31), 98-117.

Disponible en: <http://revistainvi.uchile.cl/index.php/INVI/article/view/1005>

Vinasco, M. (2017). Marco teórico para la construcción de una propuesta de turismo rural comunitario. *Artículo de investigación*, 8 (1), 95- 106. *Universidad Nacional Abierta y a Distancia*. Recuperado de <http://dx.doi.org/10.22490/21456453.1841>.