



**UNIVERSIDAD SANTO TOMÁS**  
PRIMER CLAUSTRO UNIVERSITARIO DE COLOMBIA

**ALTERNATIVAS SOSTENIBLES PARA REDUCCIÓN DEL  
CONSUMO EN LOS SERVICIOS PÚBLICOS DE LA VIVIENDA  
RURAL EN TUNJA, BOYACÁ.**

**ESTEBAN CAMILO MEDRANO ESPINOSA**  
**CODIGO: 2204569**

**UNIVERSIDAD SANTOTOMÁS**

**INGENIERIA CIVIL**

**BOGOTÁ, COLOMBIA**

**2017**



**UNIVERSIDAD SANTO TOMAS**  
PRIMER CLAUSTRO UNIVERSITARIO DE COLOMBIA

**ALTERNATIVAS SOSTENIBLES PARA REDUCCIÓN DEL CONSUMO EN LOS  
SERVICIOS PÚBLICOS DE LA VIVIENDA RURAL EN TUNJA, BOYACÁ**

**ESTEBAN CAMILO MEDRANO ESPINOSA**

**CÓDIGO: 2204569**

**TESIS DE GRADO**

**INGENIERO JOHN ALEXANDER SEGURA**

**UNIVERSIDAD SANTO TOMAS**

**INGENIERÍA CIVIL**

**BOGOTÁ**

**2017**

## ÍNDICE DE CONTENIDO

<b>1. INTRODUCCIÓN</b> .....	9
<b>2. ANTECEDENTES</b> .....	15
<b>3. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA</b> .....	22
<b>4. JUSTIFICACIÓN</b> .....	29
<b>5. ALCANCE</b> .....	32
<b>6. OBJETIVOS</b> .....	33
6.1. GENERAL .....	33
6.2. ESPECÍFICOS .....	33
<b>7. MARCOS REFERENCIALES</b> .....	34
7.1. DESCRIPCIÓN DE LA ZONA DE ESTUDIO .....	34
7.2. MARCO TEÓRICO .....	42
7.2.1. CARACTERÍSTICAS Y DEFINICIONES DE LAS CONSTRUCCIONES SOSTENIBLES APLICADAS AL PROYECTO .....	42
7.2.2. CRITERIOS DE LA NORMA LEED APLICADOS FRECUENTEMENTE POR EL CCCS .....	44
i. DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA DE CAPTACION DE AGUA LLUVIA .....	46
ii. BASES DEL FUNCIONAMIENTO DE LAS CÉLULAS FOTOVOLTAICAS .....	47
iii. GENERALIDADES Y PRINCIPIO DE GENERACIÓN DEL BIOGÁS .....	48
iv. ANÁLISIS COSTO-BENEFICIO .....	50
7.3. MARCO CONCEPTUAL .....	51
7.3.1. CONTRUCCION SOSTENIBLE, DEFINICION Y GENERALIDADES .....	51
7.3.2. CARACTERÍSTICAS Y QUE POSEEN LAS CONSTRUCCIONES SOSTENIBLES .....	52
7.3.3. BENEFICIOS DE LA CONSTRUCCIÓN SOSTENIBLE .....	53
7.3.4. ENERGÍAS RENOVABLES .....	54
7.3.5. ADECUACIÓN DE PLANOS .....	54
7.3.6. VIVIENDA RURAL .....	54
7.3.7. ENERGÍA SOLAR .....	55
7.3.8. SISTEMAS GENERADORES DE ENERGÍA, A PARTIR DE LA RADIACIÓN SOLAR .....	55

7.3.9. SISTEMAS DE CAPTACIÓN DE AGUA LLUVIA .....	56
7.3.10. GENERACIÓN DE BIOGÁS .....	57
7.3.11. ANÁLISIS COSTO-BENEFICIO .....	58
<b>8. NORMATIVIDAD APLICABLE.</b> .....	<b>59</b>
<b>9. METODOLOGÍA</b> .....	<b>63</b>
9.2. FASE I: ANÁLISIS DE ENERGÍAS SOSTENIBLES PARA INTERVENCIÓN DE PLANOS. ....	64
9.2.1. ANÁLISIS FOTO VOLTAICO: VARIABLES A CONSIDERAR Y OBTENCIÓN DE DATOS PARA ABORDAR LAS NECESIDADES REQUERIDAS. ....	65
9.2.2. ANÁLISIS DE SISTEMA DE CAPTACIÓN DE AGUAS LLUVIA: SISTEMA DE CAPTACIÓN DE AGUA PLUVIAL EN TECHOS, VARIABLES A EVALUAR, DISEÑO Y OBTENCIÓN DE RESULTADOS.....	66
9.2.3. ANÁLISIS DE GENERACIÓN DE BIOGÁS: VARIABLES A EVALUAR, DISEÑO DEL TANQUE ANAEROBIO (BIODIGESTOR DE CAMPANA FIJA).....	73
9.2.3.1. Diseño de Biodigestor de Campana Fija .....	74
Diseño.....	74
9.3. FASE II: ADECUACIÓN DEL PLANO DE VIVIENDA: SUGERENCIA Y VISTA PRELIMINAR DE LA UBICACIÓN DE LOS SISTEMAS SOSTENIBLES SELECCIONADOS PARA LAS NECESIDADES DEL PROYECTO. ....	85
9.4. FASE III: RECOLECCIÓN Y ANÁLISIS DE DATOS DE AHORRO ECONÓMICO EN LA IMPLEMENTACIÓN LOS SISTEMAS SOSTENIBLES.....	86
9.4.1. ANÁLISIS ECONÓMICO DEL SISTEMA GENERADOR DE ENERGÍA SOLAR: (ENERGÍA SOLAR) .....	86
9.4.1. ANÁLISIS ECONÓMICO DEL SISTEMA DE CAPTACIÓN DE AGUA PLUVIAL EN TECHOS.....	89
9.4.2. ANÁLISIS ECONÓMICO DEL SISTEMA GENERADOR DE BIOGÁS .....	94
9.5. FASE IV: ANÁLISIS POR EL MÉTODO COSTO-BENEFICIO DE IMPACTO AMBIENTAL PARA DEMOSTRAR LOS BENEFICIOS DE LOS SISTEMAS PROPUESTOS.....	95
9.6. FASE V: SOLUCIÓN TÉCNICA, FINANCIERA Y AMBIENTAL.....	101
9.5.1. Sistema Foto Voltaico (Energía Solar). ....	102
9.6.2. Sistema de Captación de Agua Pluvial en Techos.....	103
9.6.3. Sistema Generador de Biogás. ....	103
<b>10. ANÁLISIS DE RESULTADOS.</b> .....	<b>104</b>

10.6.	PANEL SOLAR.....	105
10.7.	SISTEMA DE CAPTACIÓN DE AGUA PLUVIAL EN TECHOS .....	110
10.8.	SISTEMA GENERADOR DE BIOGÁS .....	116
<b>11.</b>	<b>CONCLUSIONES .....</b>	<b>122</b>
<b>12.</b>	<b>RECOMENDACIONES .....</b>	<b>123</b>
<b>13.</b>	<b>ANEXOS.....</b>	<b>125</b>
<b>14.</b>	<b>BIBLIOGRAFÍA.....</b>	<b>126</b>

## INDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1.</b>	<b>Normativa Aplicable.....</b>	<b>59</b>
<b>Tabla 2.</b>	<b>Promedio precipitación mensual de cada año.....</b>	<b>68</b>
<b>Tabla 3.</b>	<b>Cálculo de Precipitación de Precipitación Promedio Mensual.....</b>	<b>69</b>
<b>Tabla 4.</b>	<b>Valores Demanda Para Cada Mes Del Año. ....</b>	<b>70</b>
<b>Tabla 5.</b>	<b>Oferta De Aguas En El Mes A Evaluar Para Un Área De Cubierta= 50m<sup>2</sup> .....</b>	<b>71</b>
<b>Tabla 6.</b>	<b>Volumen Cada Mes.....</b>	<b>73</b>
<b>Tabla 7.</b>	<b>Estimación de posible carga orgánica o biomasa .....</b>	<b>75</b>
<b>Tabla 8.</b>	<b>Valores del porcentaje de sólidos totales y sólidos volátiles (Olaya Arboleda &amp; Gonzáles Salcedo, FUNDAMENTOS PARA EL DISEÑO DE BIODIGESTORES, 2009). .....</b>	<b>83</b>
<b>Tabla 9.</b>	<b>Cotización Panel Solar para Vivienda Rural. ....</b>	<b>86</b>
<b>Tabla 10.</b>	<b>Costo del consumo de energía de la vivienda rural:.....</b>	<b>88</b>
<b>Tabla 11.</b>	<b>Tarifas a Aplicar a partir del Periodo Enero 2016 Servicio Público de Acueducto.....</b>	<b>90</b>
<b>Tabla 12.</b>	<b>Consumo promedio de una Familia Mensual acueducto.....</b>	<b>90</b>
<b>Tabla 13.</b>	<b>Tarifas Alcantarillado A Partir Del Periodo De Enero De 2016 .....</b>	<b>90</b>
<b>Tabla 14.</b>	<b>Subsidios en Acueductos.....</b>	<b>91</b>
<b>Tabla 15.</b>	<b>Subsidios en Alcantarillado.....</b>	<b>91</b>

<b>Tabla 16. Costo Total.</b> .....	92
<b>Tabla 17. Consumo Promedio Con sistema de captación en el Acueducto</b> .....	92
<b>Tabla 18. Costo total con sistema de captación de agua lluvia.</b> .....	93
<b>Tabla 19. Evaluación de la Magnitud del Daño Mediante el Método Propuesto para Gas.</b> .....	96
<b>Tabla 20. Evaluación de la Magnitud del Daño Mediante el Método Propuesto para Luz/Energía.</b> .....	98
<b>Tabla 21. Evaluación de la Magnitud del Daño Mediante el Método Propuesto para el Agua.</b> .....	100
<b>Tabla 22. Resultados De Los Gastos Y Ganancias De Los Multimensuales Supuestos Del Sistema</b> .....	106
<b>Tabla 23. Resumen Consumo Multimensual del Sistema Captación de Agua Lluvia.</b> .....	111
<b>Tabla 24. Resultados De Los Gastos Y Ganancias De Los Multimensuales Del Sistema Generador de Biogás.</b> .....	117
<b>Tabla 25. Ahorro De Cada Uno De Los Sistemas Sostenibles A 10 Años.</b> .....	121

## **INDICE DE ECUACIONES.**

<b>Ecuación 1. Precipitación Promedio Mensual, según OPS, 2004</b> .....	69
<b>Ecuación 2. Estimación de la Demanda Mensual de Precipitación, según (OPS, 2004)</b> .....	70
<b>Ecuación 3. Oferta de Agua en el Mes según (OPS, 2004)</b> .....	71
<b>Ecuación 4. Volumen Del Tanque (OPS, 2004):</b> .....	72
<b>Ecuación 5. Estimación de la cantidad de mezcla de agua (OPS, 2004)</b> .....	76
<b>Ecuación 6. Estimación de la biomasa diaria: La biomasa diaria es calculada como el total de estiércol diario y mezcla de agua (Olaya Arboleda &amp; Gonzáles Salcedo, FUNDAMENTOS PARA EL DISEÑO DE BIODIGESTORES, 2009)</b> .....	76
<b>Ecuación 7. Tiempo de Retención (Tr) (Olaya Arboleda &amp; Gonzáles Salcedo, FUNDAMENTOS PARA EL DISEÑO DE BIODIGESTORES, 2009)</b> .....	78
<b>Ecuación 8. Volumen necesario</b> .....	78

<b>Ecuación 9. Despeje para Hallar las Dimensiones de la Campana</b> (Olaya Arboleda & Gonzáles Salcedo, FUNDAMENTOS PARA EL DISEÑO DE BIODIGESTORES, 2009)..	80
<b>Ecuación 10. Radio</b> (Olaya Arboleda & Gonzáles Salcedo, FUNDAMENTOS PARA EL DISEÑO DE BIODIGESTORES, 2009).....	81
<b>Ecuación 11. Altura del Volumen (Hc)</b> (Olaya Arboleda & Gonzáles Salcedo, FUNDAMENTOS PARA EL DISEÑO DE BIODIGESTORES, 2009) .....	81
<b>Ecuación 12. Volumen del gas (Vg)</b> (Olaya Arboleda & Gonzáles Salcedo, FUNDAMENTOS PARA EL DISEÑO DE BIODIGESTORES, 2009) .....	82
<b>Ecuación 13. Para a y b respectivamente</b> (Olaya Arboleda & Gonzáles Salcedo, FUNDAMENTOS PARA EL DISEÑO DE BIODIGESTORES, 2009) .....	82
<b>Ecuación 14. Producción del biogás en Relación con Gas metano CH<sub>4</sub></b> (Olaya Arboleda & Gonzáles Salcedo, FUNDAMENTOS PARA EL DISEÑO DE BIODIGESTORES, 2009) .....	84
<b>Ecuación 15. Consumo de una Estufa de gas (HACEB, 2016)</b> .....	94

## INDICE DE GRÁFICAS

<b>Gráfica 1. Promedio de Temperatura Mensual Multianual de la Estación Hidroclimatológica UPTC-Tunja</b> .....	36
<b>Gráfica 2. Hidrograma de la Precipitación Promedio de la Estación Hidroclimatológica UTPC-Tunja</b> .....	37
<b>Gráfica 3. Velocidad Promedio del Viento a 10 Metros de Altura en Tunja-Boyacá.</b> .	38
<b>Gráfica 4. Promedio Mensual de Brillo Solar en Tunja, Boyacá</b> .....	39
<b>Gráfica 5. Ganancia Del Sistema Fotovoltaico Multianual Acumulada.</b> .....	106
<b>Gráfica 6. Inversión Vs Consumo Promedio En Sistema Foto Voltaico.</b> .....	108
<b>Gráfica 7. Ganancia Del Sistema De Captación De Agua Lluvia Muntimensual Acumulada</b> .....	112
<b>Gráfica 8. Inversión Contra Consumo Promedio En El Sistema De Captación De Agua Lluvia</b> .....	113
<b>Gráfica 9. Consumo Acumulado Del Sistema Generador De Biogás.</b> .....	118
<b>Gráfica 10. Costos Vs Consumo Promedio Del Sistema Generador de Biogás.</b> .....	119

## INDICE DE ESQUEMAS

<b>Esquema1: Esquema De Vivienda Con Paneles Solares.....</b>	<b>43</b>
<b>Esquema 2. Logotipo Y Categorías De Evaluación De La Normativa Ambiental LEED .....</b>	<b>45</b>
<b>Esquema 3. Sistema De Captación De Agua Pluvial En Viviendas Rurales (SCAPT) .....</b>	<b>47</b>
<b>Esquema 4. Flujo De Electrones Y Corriente En Una Célula Solar .....</b>	<b>48</b>
<b>Esquema 5. Esquema Del Proceso De Generación De Biogás Y Tratamiento De Materia Orgánica Residual. ....</b>	<b>49</b>
<b>Esquema 6. Logo del Consejo Colombiano de Construcción Sostenible.....</b>	<b>52</b>
<b>Esquema 7. Paneles Solares, Energía Eléctrica Renovable.....</b>	<b>56</b>
<b>Esquema 8. Sistema de Captación de Agua Lluvia en Techos. ....</b>	<b>57</b>
<b>Esquema 9. Sistema de Generación de Biogás.....</b>	<b>58</b>
<b>Esquema 10. Factor De Corrección Para El Tiempo De Retención (Olaya Arboleda &amp; González Salcedo, 2006).....</b>	<b>77</b>
<b>Esquema 11. Variables Involucradas En El Dimensionamiento De Un Biodigestor (Olaya Arboleda &amp; Gonzáles Salcedo, FUNDAMENTOS PARA EL DISEÑO DE BIODIGESTORES, 2009).....</b>	<b>78</b>
<b>Esquema 12. Dimensionamiento Del Tanque Biodigestor De Campana Fija (Olaya Arboleda &amp; Gonzáles Salcedo, FUNDAMENTOS PARA EL DISEÑO DE BIODIGESTORES, 2009).....</b>	<b>84</b>

## INDICE DE MAPAS

<b>Mapa 1: Departamento de Boyacá, Localización de las Principales Ciudades y Departamentos con los que Limita. ....</b>	<b>13</b>
<b>Mapa 2: Distancia entre el Municipio de Motavita y La UPTC perteneciente al Municipio de Tunja, Boyacá.....</b>	<b>15</b>
<b>Mapa 3. División Política, Administrativa Y Límites, Tunja 2013. ....</b>	<b>35</b>
<b>Mapa 4. Municipio de Motavita- Boyacá .....</b>	<b>41</b>

## **INDICE DE FOTOGRAFÍAS**

<b>Fotografía 1. Energía Solar En Colombia.....</b>	<b>16</b>
<b>Fotografía 2. Hospital Sostenible San Vicente Paul, Medellín-Colombia.....</b>	<b>19</b>
<b>Fotografía 3. Escuelas de Permacultura en Colombia.....</b>	<b>20</b>
<b>Fotografía 4. Tanque Biodigestor.....</b>	<b>21</b>
<b>Fotografía 5: Vivienda en Zona Rural .....</b>	<b>24</b>
<b>Fotografía 6: Proyecto Social de Viviendas Rurales en Boyacá .....</b>	<b>26</b>

## **1. INTRODUCCIÓN**

Desde tiempos precolombinos, el departamento de Boyacá se ha caracterizado por su producción agrícola y por lo tanto, hoy en día se tiene aún una alta concentración de población rural como se puede observar en el sitio web del DANE, aunque no muestra un porcentaje de la población rural, da una idea de la población en el valor correspondiente al “Resto” el cual es de 11.414.735 habitantes que no pertenecientes la “Cabecera”, según la población proyectada del DANE (DANE, 2016). El departamento es conocido por su producción de cereales, fibras, flores, follajes, frutales, hortalizas, leguminosas, plantas aromáticas, condimentos, tubérculos y plátanos, además de una producción lechera estimada en 1 millón 600 mil litros diarios entre otras (Caracol Radio, 2012). La importancia de la agricultura boyacense suple al país transportando de 5 a 100 mil toneladas de productos provenientes de la actividad agrícola, a las principales centrales de abastos, como a la ciudad de Bogotá y otras capitales del país (Caracol Radio, 2012).

Por lo general, los ingresos de la población campesina y los provenientes de las actividades relacionadas con el campo son muy bajos, pues más del 70 % de estos, son inferiores a un Salario Mínimo Mensual Legal Vigente (SMMLV) (Gaviria, 2014). Esto se ve reflejado en la poca capacidad que tienen estas familias para la construcción y mantenimiento de sus viviendas, ya que su principal prioridad es la subsistencia, es por ello por lo que resulta necesario realizar estudios que determinen la forma como se puede incorporar los diferentes aspectos de desarrollo sostenible en las características de las viviendas de la población rural en el departamento de Boyacá; con el fin de mejorar la calidad de vida de este grupo de personas y que al mismo tiempo sea amigable con los importantes ecosistemas presentes en la región.

El gobierno colombiano, a través del Ministerio de Vivienda, genera subsidios de vivienda destinados a la población habitante de las zonas rural, y que posee bajos recursos económicos. En la página web del Ministerio de Vivienda, es posible encontrar las diferentes características que debe tener la población para acceder a estas ayudas económicas, los cuales son: “Ser colombiano debidamente

identificado ante la Registradora Nacional del Estado Civil, Vivir en área Rural, Pertener a nivel 1 y 2 de SISBEN” (Minvivienda, 2017).

En la ciudad de Tunja, Boyacá, muchos de los habitantes poseen o tienen contacto con casas campestres y pueden trazar su origen a la población proveniente de las zonas rurales. Es en este escenario donde resulta necesario estudiar alternativas sostenibles y de bajo costo, aplicando los principios técnicos de la ingeniería civil y vinculando nuevas tendencias de protección ambiental que son de vital interés para este proyecto.

En este trabajo, se busca intervenir planos de vivienda rural común y diseñar un sistema que ofrezca beneficios para los usuarios y el medioambiente en cuanto a los servicios públicos tomando como caso de estudio información de la ciudad de Tunja. Este mejoramiento se basará en la implementación de energías renovables como generar energía a partir de la radiación solar, aprovechar, reutilizar agua de agua lluvia y utilización de desechos sólidos para generar gas. Además, se diseña con el fin de que sea adaptable a diferentes condiciones para el desarrollo de diversos proyectos.

En el documento se podrá encontrar el cálculo de los sistemas de generación de biogás y captación de agua lluvia. Para el cálculo de paneles, se solicitó una cotización a la empresa en donde se proporcionó información de las características de la vivienda. Se estudiaron los sistemas convencionales, con sus ventajas y desventajas en cuanto a funcionalidad, precio y mantenimientos. Se hizo una evaluación de impacto ambiental, bajo la metodología adaptada del análisis costo beneficios, evaluando la magnitud del daño con la adaptación de la metodología de la matriz de Leopold, propuesta para este análisis; adaptación de planos, donde se evidencia la implementación de las alternativas sostenibles<sup>1</sup>

---

<sup>1</sup> Ver Anexo b: “Nuevos planos”

El presente proyecto se divide en cinco aristas articuladas que serán explicadas a profundidad en la sección 8. *Metodología*, se enuncian a continuación:

- Análisis de alternativas sostenibles para intervención de planos.
- Adecuación del plano de vivienda: diseño de las soluciones para optimizar.
- Recolección y estudio de datos de ahorro en la implementación del sistema.
- Análisis por el método costo-beneficio de evaluación de impacto ambiental.
- Solución técnica, financiera y ambiental.

Considerando los incentivos que brinda el gobierno a la implementación de energías renovables prácticas que reduzcan el impacto ambiental; y atendiendo a la misión humanista de la universidad con las personas de bajos recursos económicos, resulta viable y necesaria la implementación del presente proyecto.

- **Principales características geográficas del municipio de Tunja:**

Limita por el NORTE con los municipios de Motavita y Cómbita, al ORIENTE, con los municipios de Oicatá, Chivatá, Soracá y Boyacá, por el SUR con Ventaquemada y por el OCCIDENTE con los municipios de Samacá, Cucaita y Sora.

Extensión total: 121.4920 Km<sup>2</sup>

Extensión área urbana: 19.7661 Km<sup>2</sup>

Extensión área rural: 101.7258 Km<sup>2</sup> (Boyacá Informa, 2016).

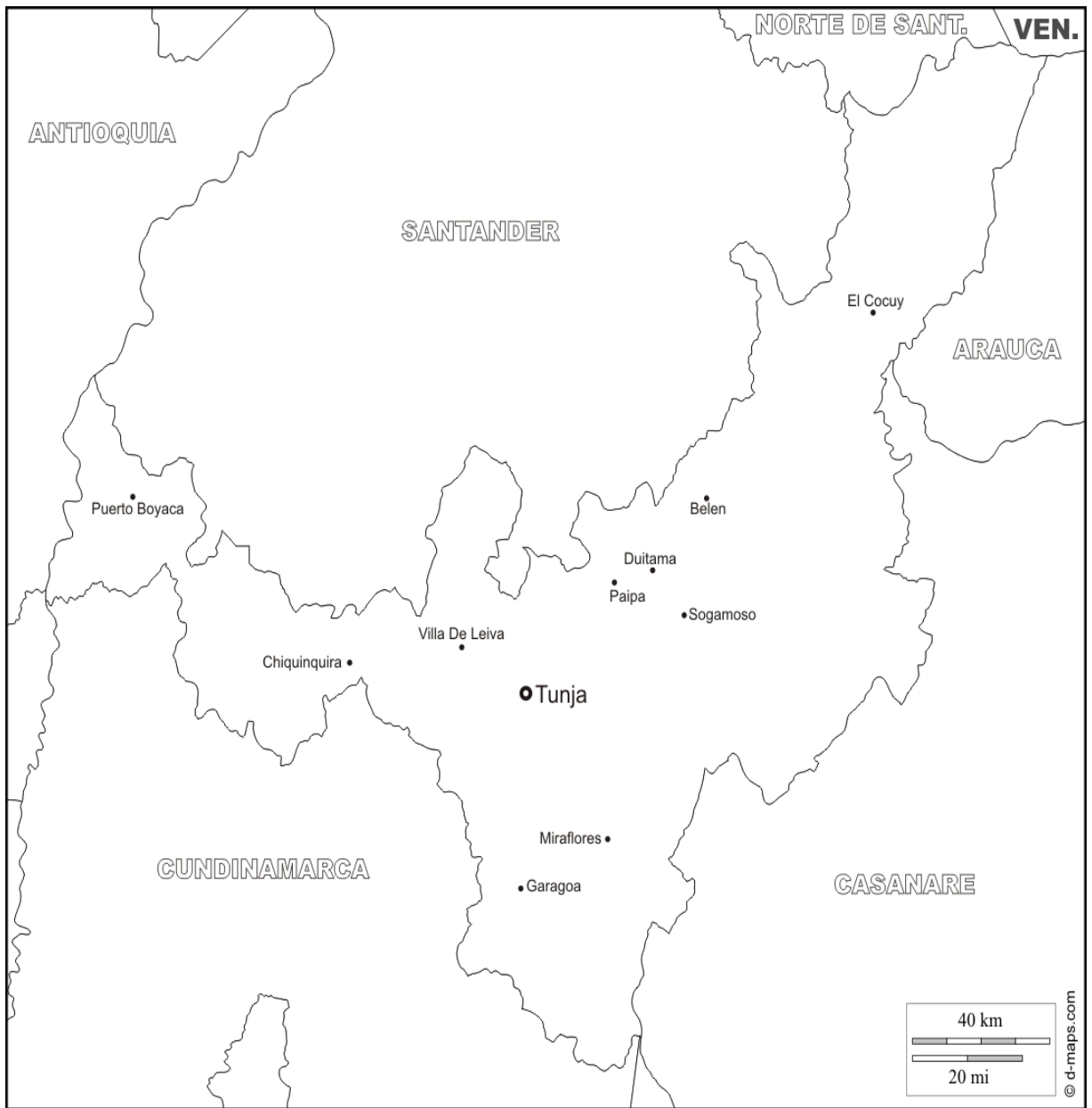
**Los Principales municipios del departamento de Boyacá son:**

Paipa, Duitama, Sogamoso, Chiquinquirá, Monguí, Moniquirá, Villa de Leyva (*ver Mapa 1*).

- **Los límites del departamento de Boyacá son:**

Por el norte con los departamentos de Santander y Norte de Santander; al oriente con los departamentos de Arauca y Santander; por el sur con el departamento de Cundinamarca; y por el occidente con el departamento de Antioquia (*ver Mapa 1*).

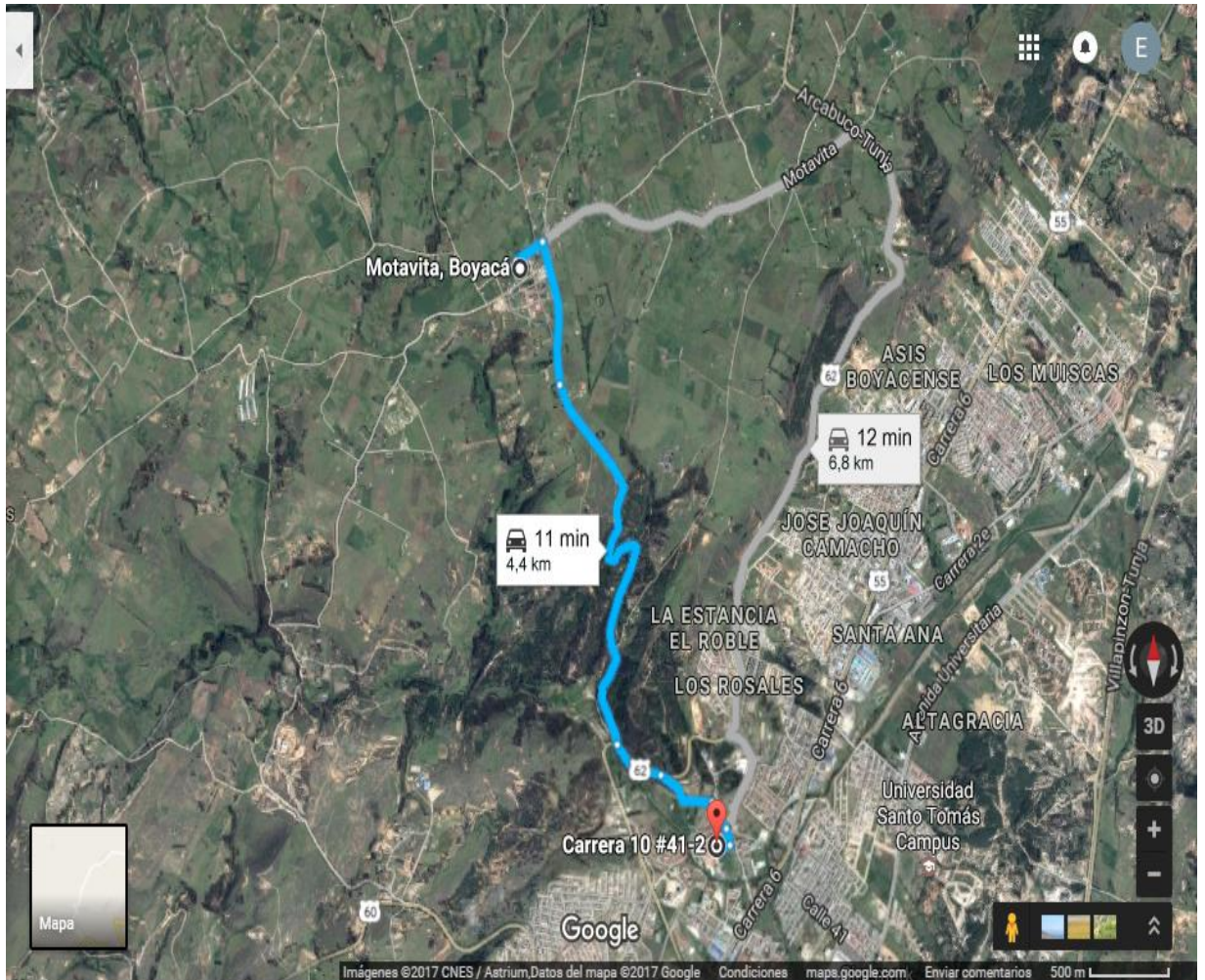
**Mapa 1: Departamento de Boyacá, Localización de las Principales Ciudades y Departamentos con los que Limita.**



Fuente: [http://d-maps.com/carte.php?num\\_car=72403&lang=es](http://d-maps.com/carte.php?num_car=72403&lang=es)

El área de estudio es una zona rural del municipio de Motavita a menos de 4 km de la UPTC en la cabecera municipal de Tunja (ver Mapa 2).

**Mapa 2: Distancia entre el Municipio de Motavita y La UPTC perteneciente al Municipio de Tunja, Boyacá.**



Fuente: Google Maps satelital 2017.

## 2. ANTECEDENTES

Para la comprensión del problema de investigación planteado es preciso acudir a los artículos relacionados con los diferentes subtemas. Esto es, todos aquellos que tengan información relacionada y pertinente en materia de energías renovables, sostenibilidad, captación de agua para viviendas, generación y aprovechamiento de biogás.

Empezando por el artículo “Las energías renovables son el futuro” de José Santamarta, de año 2010. En este se expresa como las energías renovables pueden mitigar o reducir los daños causados por los combustibles fósiles, brindando una posible alternativa amortiguando el impacto ambiental causado por estos donde los generadores de energía eléctrica de fuentes renovables (paneles solares, hidrógeno, eólica entre otras).

### **Fotografía 1. Energía Solar En Colombia.**



Fuente: [http://www.larepublica.co/menos-de-3-de-la-energ%C3%ADa-que-colombia-consume-es-solar\\_215976](http://www.larepublica.co/menos-de-3-de-la-energ%C3%ADa-que-colombia-consume-es-solar_215976)

Un aporte sumamente relevante, pues muestra un panorama local, es el artículo “Desarrollo de la energía solar en Colombia y sus perspectivas” escrito por el físico Humberto Rodríguez Murcia, en el año de 2009. Allí, se explica la evolución de la energía solar en Colombia y el importante papel que juega adquiriendo cada vez mayor fuerza. Concluye con que las energías renovables se constituyen como un gran aporte a un futuro de posibles crisis energéticas, por lo que las normativas políticas relacionadas con el tema, han tomado un papel muy importante a nivel mundial; y que, en el caso de Colombia, cada día existen mayores incentivos para la producción de energías renovables.

Continuando con el artículo titulado “Comportamiento Térmico-Energético De Envoltorio De Vivienda En S. M. De Tucumán En Relación A La Adecuación Climática” de Cecilia Martínez en el año 2005. En este se expresa si las construcciones cuentan con el índice de transmisión térmica medio ponderado, el cual demuestra aplicando métodos bioclimáticos, puede hacer que las viviendas generen temperaturas cálidas, simplemente cambiando su material constructivo o su ubicación en relación con la cantidad de luz solar que se tiene en el día, donde finalmente expresa que las construcciones del ladrillo tradicional, cumple como material que permite un clima interno amigable y óptimo, pero teniendo en cuenta **su ubicación** con la cantidad de radiación solar óptima.

En el artículo de “Viviendas con energía solar pasiva” realizado por G. Yáñez\*, muestra una tendencia que tiene mucha acogida en países europeos, empleada para la calefacción del agua, donde el autor analiza y explica, esta alternativa como una herramienta muy útil, a la hora de aplicar alternativas sostenibles para la calefacción del agua, que va a ser consumida por los usuarios de las viviendas, donde estas alternativas a pesar que no son difíciles de ejecutar, puede adaptarse a épocas del año donde no se requiera su uso tan frecuente como verano entre otras.

El artículo “Metodología y herramienta VERDE para la evaluación de la sostenibilidad en edificios” escrito por M. Macías(\*), J. García Navarro, Expresa las posibles herramientas que pueden mitigar o reducir los impactos ambientales, donde concluyó un sistema que puede aplicarse a cualquier construcción en el mundo donde puede, ajustarse a las circunstancias deseadas y brindar unas herramientas de reducción de impactos en las construcciones utilizando estrategias sostenibles o estrategias verdes.

Ahora, adentrándonos en los sistemas de captación de agua, como una de las estrategias sostenibles la cual es de importancia evaluar, el artículo “Historia De Los Sistemas De Aprovechamiento De Agua Lluvia” escrito por José Alejandro Ballén Suárez, Miguel Ángel Galarza García, Rafael Orlando Ortiz Mosquera en el año 2006, hace una compilación de técnicas utilizadas en todo el mundo de captación de agua, teniendo en cuenta su evolución de técnicas, como de materiales que pueden optimizar su recolección y económica a la hora de implementar sistemas como esto, donde concluyeron después de esta ardua labor que las técnicas empleadas para la captación de agua, son técnicas útiles como alternativas sostenibles para la correcta utilización y consumo de este recurso no renovable y además que la evolución de estas prácticas y mecanismo de captación permiten que hoy en día sea algo sumamente asequible para las personas del común.

En el boletín informativo de la empresa Green Colombia, “En regiones con alta irradiación, tal como en Colombia, un kilovatio-hora cuesta significativamente menos para generar que en Alemania. Los cálculos revelan que el costo por kilovatio-hora de generación de energía en Alemania (aproximadamente irradiación. 1.040 kWh / m<sup>2</sup> por año) equivale a aprox. EUR 0,22. Si la misma cantidad de energía debía ser producida por un generador diesel, esto cuesta como aprox. € 0,47/ kWh”, consiguiente a lo mencionado, la energía solar en Colombia, es una solución rentable, gracias a que en la mayoría del país es sumamente factible generar energía eléctrica con la implementación de sistemas de la captación solar.

En la publicación en el sitio web del Ministerio de Educación “Colombia una potencia en energías alternativas” (Ministerio de Educación & Universidad de Antioquia, 2016), buscan incentivar alternativas sostenibles para lograr hacer más “amigable con el medioambiente”, la producción de energía en el país, dando como primera opción la energía solar en Colombia, “Este tipo de energía es gratuita, no genera emisiones y es silenciosa. Además es una de las pocas tecnologías renovables que pueden ser integradas al paisaje urbano y es útil en zonas rurales de difícil acceso” (Ministerio de Educación & Universidad de Antioquia, 2016)

### **Fotografía 2. Hospital Sostenible San Vicente Paul, Medellín-Colombia**



Fuente: <http://vidamasverde.com/2011/hospital-san-vicente-de-paul-primer-centro-de-salud-sostenible-en-colombia-tras-la-certificacion-leed%E2%80%A6parte-i/>

Como expresa el Centro Panamericano de la “El abastecimiento de agua, especialmente en localidades rurales, es una de las prioridades programáticas de la cooperación técnica que brinda la Organización Panamericana de la Salud/Organización mundial de la Salud (OPS/OMS) a través del Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente (CEPIS)” (Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Medio; Organización Panamericana de la Salud y Ambiente, 2003).

Estas técnicas cada toman un papel muy importante, gracias a la popularidad que han tomado en el mundo, en Colombia por ejemplo en la tesis de grado, titulada “Requerimientos de Infraestructura para el Aprovechamiento Sostenible del Agua Lluvia en el Campus de la Pontificia Universidad Javeriana, sede Bogotá” por los ingenieros Jorge Luis Estupiñán Perdomo y Héctor Ovidio Zapata García en el año de 2010, habla de un sistema de captación y aprovechamiento de agua lluvia, para ser implementado en la Universidad Javeriana de la Ciudad de Bogotá donde se quiere demostrar que tan factible es implementar este sistema, donde concluyó que son estrategias que aportan a gran medida a un desarrollo sostenible para la universidad, mitigando problemas de sobre presión y daños ambientales como uso racional de este recurso.

Teniendo en cuenta el artículo perteneciente a la Organización Mundial de la Salud “What is the minimum quantity of water needed” (World Health Organization, 2013), denota la cantidad suficiente que necesitan las personas para, generar un consumo óptimo, y sin caer en los excesos que inconscientemente hacen la mayoría de usuarios de los diferentes servicios este recurso.

### **Fotografía 3. Escuelas de Permacultura en Colombia**



Fuente: <https://edpcolombia.blogspot.com.co/2012/04/la-lluvia.html>

Para la producción de biogás, el cual es un tema de mucha trascendencia en cuanto se está hablando de viviendas rurales, como menciona el artículo: “Aplicaciones de los modelos multicriteriales a la energía, la sociedad y el medioambiente.” Por los ingenieros Manuel Eduardo Cortés Cortés, Aníbal Borroto Nordelo y Carlos Alberto Álvarez Bravo, de la Universidad de Cienfuegos, Cuba. Donde hace énfasis y desarrollan modelos matemáticos multicriteriales para la selección de fuentes de energía para una población rural de forma tal que se ahorren recursos, se cumplan con las aplicaciones que se necesitan y se disminuya la afectación al ambiente.

**Fotografía 4. Tanque Biodigestor.**



Fuente: <http://agrortizeu.blogspot.com.co/2009/08/quieres-producir-gas-metano-para-la.html>

Concluyendo, mediante el uso de matrices de variables ambientales y sostenibles, muestra un amplia gama de soluciones que podría disminuir considerablemente el impacto ambiental en las viviendas rurales, sin invertir una cantidad considerable de

dinero; no obstante en ciudades como México, el aprovechamiento del material orgánico, como muestra el artículo del instituto politécnico “Cálculo del biogás generado en los sitios de disposición final de residuos sólidos urbanos en el Estado de México” por los estudiantes Paulina, Rebeca Cárdena, Moreno, Raúl González-Cruza, Juan Felipe Núñez, Espinoza, Francisco José Colomer, Mendoza, Fabián Robles, Martínez

Debido a que los desechos orgánicos, en su degradación liberan hartas cantidades de gases, entre ellos metano y dióxido de carbono, los cuales pueden generar un importante impacto ambiental y donde se concluyó con “Para el 2012 se calculó un flujo total de biogás de 21,964 m<sup>3</sup>/h. Se considera que éste flujo perjudica las condiciones ambientales del estado de México 25 veces más que el dióxido de carbono por su potencial de calentamiento global”

Así que los gases resultantes de los desechos urbanos sólidos, dentro de los rellenos sanitarios, tenían una alta carga contaminante, pero si ese biogás se reutiliza como fuente de energía, aparte de reducir el inconveniente de contaminación ambiental, también hace un gran aporte a la reducción de costos en el servicio del gas para los hogares.

### **3. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

A nivel nacional el DANE presenta en su página web que la población rural, denominada “Resto” para cuantificar la población que no vive en la “Cabecera”, tiene aún una alta concentración. Son 11.414.735 habitantes rurales, según la población proyectada del DANE (DANE, 2016).

A nivel departamental, Boyacá es conocido por su producción de cereales, fibras, flores, follajes, frutales, hortalizas, leguminosas, plantas aromáticas, condimentos, tubérculos y plátanos, además de una producción lechera estimada en 1 millón 600 mil litros diarios entre otras (Caracol Radio, 2012). La importancia de la agricultura boyacense suple al país transportando de 5 a 100 mil toneladas de productos provenientes de la actividad campestre, a las principales centrales de abastos, como a la ciudad de Bogotá y otras capitales del país (Caracol Radio, 2012).

El alto índice de incumplimiento de los mínimos habitacionales ha implicado la necesidad de estructuras políticas públicas orientadas a la garantía del derecho a la vivienda. Han surgido programas específicos destinados a la construcción de vivienda, como los más destacados como: Programa de Vivienda de Interés Social Rural, Convocatoria para subsidios de vivienda rural, programa gratuito de vivienda rural 2016, entre otros. La Alcaldía de la ciudad de Tunja, Boyacá, ha desarrollado proyectos que enfocan su atención en el sector rural. En el año 2013, “Con la presencia de las familias beneficiarias, se firmó el acta de inicio para la construcción de 96 viviendas en el sector rural de Tunja, con una inversión de 1.900 millones de pesos” (Alcaldía de Tunja, Boyacá, 2013).

Los habitantes del sector rural son en su mayoría población campesina, o con trabajos relacionados con el sector agrícola, quienes en su mayoría obtienen ingresos económicos menores a un salario mínimo mensual legal vigente (SMMLV). En este sentido, señala el director de Planeación Nacional, Simón Gaviria en entrevista realizada por “Blu Radio”, que “el 75 % de los habitantes de zonas rurales gana por debajo de un salario mínimo, inclusive como sector, el agropecuario en materia de compensación es tan solo el 70 % del salario mínimo en promedio para este sector” (Blu Radio , 2014); los trabajadores agrícolas junto a las garantías por el futuro del posconflicto, el diario El Espectador indica “la Unión Europea (UE) decidió hacer un primer desembolso de 575 millones de euros para proyectos relacionados con el desarrollo agrícola sostenible, el cuidado de los recursos

naturales, el desminado humanitario y la pedagogía para la paz.” (El Espectador, 2016).

Por ello, el gobierno colombiano, a través del Ministerio de Vivienda, genera subsidios de vivienda destinados a la población habitante de las zonas rural, y que posee bajos recursos económicos (*Ver Fotografía 5: Vivienda en Zona Rural*).

***Fotografía 5: Vivienda en Zona Rural***



Fuente: Rudolf Erich Treffz, 2012.

En el sitio web del Ministerio de Vivienda, es posible encontrar diferentes características que debe tener la población para acceder a estas ayudas económicas, las cuales son: “Ser colombiano debidamente identificado ante la Registraduría Nacional del Estado Civil, Vivir en área rural, pertenecer al nivel 1,2 del SISBEN” (Minvivienda, 2017).

Ahora bien, la constitución política de Colombia en su artículo 51, junto al artículo 11 del Pacto Internacional de Derechos Económicos Sociales y Culturales (DESC), interpretado por el Comité de interpretación de los DESC, permiten afirmar la

existencia de siete elementos característicos del derecho a una vivienda digna y adecuada. Estos son, según comenta Galvis Castro en 2009 (*Ver Fotografía 6*):

1. *Seguridad jurídica de la tenencia*: protección de diversas formas de expropiación de la vivienda.
2. *Disponibilidad de servicios, materiales, facilidades e infraestructura*: suministro de todos los servicios relacionados con la vivienda.
3. *Gastos soportables*: las cargas económicas relacionadas con la vivienda no deberán ser tan altas, tanto que terminen comprometiendo la satisfacción de otras necesidades básicas.
4. *Habitabilidad*: en términos de seguridad y salubridad.
5. *Asequibilidad*: garantía de acceso pleno y sostenible a los recursos adecuados para conseguir una vivienda.
6. *Localización*: que permita el acceso al empleo, cuidado de niños y que no ponga en riesgo la salud ni la vida por razones de contaminación.
7. *Adecuación cultural*: Garantía de que la vivienda refleje la identidad cultural de sus habitantes. (Galvis Castro, 2009).

## Fotografía 6: Proyecto Social de Viviendas Rurales en Boyacá



Fuente: <http://www.excelsio.net/2013/02/banco-agrario-culmina-proyecto-de.html>

En relación con la población que se encuentra en el sector rural es necesario destinar especial atención en la disponibilidad de servicios públicos y la existencia de gastos razonables. Por ello es posible pensar en alternativas para la reducción de costos en materia de servicios públicos, y que se vinculen con el proceso de construcción de la vivienda, como el Banco Interamericano de Desarrollo (BID) expresa: “La construcción de viviendas sostenibles y resilientes beneficiará a largo plazo tanto los aspectos económicos como los sociales de sus poblaciones, además de cubrir la problemática medioambiental” (Martin, Campillo, Meirovich, & Meirovich, 2013). Dentro de estas opciones de reducción es posible atender a la construcción de vivienda rural sostenible, que permite: reducir costos en el pago de los servicios públicos domiciliarios de la población escasos recursos, buscar el aprovechamiento de energías renovables, y reducir la contaminación ambiental.

En lo relacionado con el aprovechamiento de energías renovables se hace necesario utilizar fuentes generadoras de energías específicamente renovables, manipulando recursos renovables, como la energía solar, pueden suplir necesidades energéticas para viviendas, específicamente rurales, como expresa el autor en el artículo, “Análisis Multicriterio para Viviendas Rurales” (Cortés Cortés, Borroto Nordelo, & Álvarez Bravo, 2012). Allí es posible evidenciar que la energía Solar Fotovoltaica y Biogás, posee características capaces de suplir en gran medida el consumo de servicios públicos, y prestar varias funciones simultáneamente y utilizar elementos de procedencia renovable.

Los proyectos relacionados con la captación de agua lluvia en techos, pueden brindar una solución respecto a la reducción del consumo del servicio público, como evidencian proyectos como: “Captación de agua lluvia en Santander” (Sanabria Cala & Perez Garcia , 2012) donde se ha aplicado sistemas de recolección y reuso de las aguas lluvias en el estadio 1° de Marzo; “Programa de Ahorro y Uso Eficiente del Agua en Escuela de Cadetes y Policial General Francisco de Paula Santander” (Corrales Castrillo & Acevedo Moreno, 2010), brinda un programa de ahorro y uso eficiente del recurso hídrico, aplicando sistema de captación de agua lluvia, reduciendo el consumo de este; “Sistema De Recolección, Almacenamiento Y Conservación De Aguas Lluvias Para El Abastecimiento De Agua Potable A Los Habitantes Del Pacífico Colombiano En Zona Rurales De Difícil Acceso Con Ausencia O Deficiencia Del Recurso” (Arango Escobar, Nathalie Arango; Florez Cacrdona, Juliana;, 2012) frece un sistema de captación de agua lluvia por techos, como una alternativa de bajo costo para los habitantes de zonas rurales y viviendas de interés rural, en donde existe escasas del recurso hídrico.

El aprovechamiento del material orgánico, como muestra el artículo del instituto Politécnico “Cálculo Del Biogás Generado En Los Sitios De Disposición Final De Residuos Sólidos Urbanos En El Estado De México” (2012). Debido a que los

desechos orgánicos, en su degradación liberan grandes cantidades de gases, entre ellos metano y dióxido de carbono, los cuales pueden generar un importante impacto ambiental y donde se concluyó “para el 2012 se calculó un flujo total de biogás de 21,964 m<sup>3</sup>/h. Se considera que éste flujo perjudica las condiciones ambientales del Estado de México 25 veces más que el dióxido de carbono por su potencial de calentamiento global” (Cárdenas Morenoa, González Cruz, Núñez Espinoza, Colomer Mendoza, & Robles Martínez, 2012).

Situación que permite hacer frente a la construcción y el crecimiento excesivo de las ciudades, que constituye una de las actividades que generan mayor impacto ambiental en el mundo. En este sentido, han señalado Facco y Mazzocato que: “Uno de los mayores problemas del siglo XXI está constituido crecimiento excesivo de las ciudades”. (Facco Mazzocato & Costa Ribeiro, 2013, pág. 1).

Las construcciones en Colombia, poseen normativa no muy exhaustiva, referente a la sostenibilidad, pero en el marco de estas necesidades ha surgido el Consejo Colombiano de Construcción Sostenible (CCCS), que tiene como misión, crear pautas y manuales para la reducción del impacto ambiental generado por las construcciones, aplicando alternativas sostenibles para reducir el impacto al medioambiente mediante los parámetros de la norma, según CCCS:

- Se ofrece un portafolio completo y relevante de herramientas de verificación/certificación en construcción y urbanismo sostenible para inspirar a la industria y al mercado.
- Se apoya la formulación y cumplimiento de políticas públicas y la generación de incentivos a la construcción sostenible.
- Se promueven edificaciones, ciudades y comunidades con alta calidad de vida, las cuales hacen un uso adecuado de los recursos naturales y protegen la biodiversidad. (Consejo Colombiano de Construcción Sostenible, 2012).

Por ello, y en el marco de estas necesidades, se plantea la siguiente pregunta de investigación:

***¿Qué alternativas sostenibles adaptadas a la vivienda rural en etapa post constructiva, pueden reducir el gasto mensual a sus usuarios, en función de su calidad de vida y del cuidado del ambiente, en una zona rural cercana a Tunja, Boyacá?***

#### 4. JUSTIFICACIÓN

La ley colombiana genera incentivos para las construcciones que utilicen energías renovables. Así, el Consejo Colombiano de Construcción Sostenible (CCCS) da a conocer las características que hacen sostenibles a las viviendas dentro de las que se destacan: "Ahorro en agua, Eficiencia energética y Calidad de aire interior" (Medina, 2011, pág. 13). En el mismo documento se indica que "se han propuesto algunos incentivos para la promoción de estas tecnologías e ir afianzando la energía solar en el territorio colombiano, como un método de divulgación y aceptación técnica y comercial." (Álvarez Álvarez, C. A & Serna Alzate, F.J, 2012, pág. 13). A su vez, el gobierno está muy interesado en la disminución del impacto ambiental de la contaminación, y en el proyecto de acuerdo No. 162 de 2008, "se establecen unos incentivos tributarios para quienes modifiquen sus fuentes de generación de energía tradicional a energías alternativas renovables y limpias para generar energía eléctrica y para quienes implementen mecanismos de aprovechamiento óptimo y uso racional y eficiente de energía tradicional que disminuyan el impacto ambiental" (Álvarez Álvarez, C. A & Serna Alzate, F.J, 2012, pág. 13)

De la misma forma, la alcaldía de Tunja, de la mano con la gobernación de Boyacá. Tiene destinado subsidios de vivienda para las personas pertenecientes a estratos económicos bajos, donde se promueve la compra de vivienda. De esta manera, se hace necesario el estudio de soluciones sostenibles en la etapa del uso de dichas viviendas, generando beneficios económicos para la población que posea pocos

recursos, brindando una alternativa de reducir costos en los servicios públicos y de igual forma, generar beneficios al medioambiente.

La Facultad de Ingeniería Civil de la Universidad Santo Tomás (USTA) ha definido como ejes centrales de su plan de formación e investigación la “Planificación estratégica y modelos de desarrollo sostenible. (...) y la implementación de sistemas de gestión de riesgos y protección de los recursos naturales” (Clavijo Parrado J. G., 2015, pág. 19)

Así mismo la Universidad Santo Tomás desea motivar, la incorporación de estos conceptos de planeación y modelos de construcción sostenible a corto y a mediano plazo, en diferentes cursos, tal y como se expresa en el fragmento “Enriquecer y fortalecer los cursos electivos, cursos especiales de capacitación, semilleros, grupos y/o líneas de investigación y en general el programa académico” (Clavijo Parrado, 2015, pág. 23); junto a “Diseñar proyectos de investigación acerca de la adaptación de las tecnologías de punta para la construcción en el país” (Clavijo Parrado, 2015, pág. 24). Dichos objetivos se encuentran vinculados con las tendencias globales que atañen a las construcciones sostenibles.

La implementación de sistemas auxiliares para generación de energía, utilizando recursos renovables, como es la energía solar, resulta importante ya que el sistema ocupa un espacio pequeño y generando un beneficio ambiental y económico muy grande, como expresa el autor en el artículo, “Análisis Multicriterio para Viviendas Rurales” (Cortés Cortés, Borroto Nordelo, & Álvarez Bravo, 2012). Allí es posible evidenciar que la energía *Solar Fotovoltaica* y *Biogás*, posee características capaces de suplir en gran medida el consumo de servicios públicos, y prestar varias funciones simultáneamente y utilizar elementos de procedencia renovable.

Adicionalmente el artículo “Historia De Los Sistemas De Aprovechamiento De Agua Lluvia” (2006), los autores al hacer una comparación de diferentes métodos de

captación de agua lluvia, indica que *la técnica de captación por techo* puede brindar una solución respecto al ahorro del consumo del servicio público, sin necesidad de una fuerte inversión o grandes gastos en mantenimiento. (Ver numeral 8. *Metodología*).

El biodigestor uno de los elementos de funcionamiento sostenible, capaz de reducir ¿costos? en una vivienda es la generación y aprovechamiento de biogás según indica el proyecto de la Universidad de Santander: “Las principales razones que pueden llevar a la implementación de la tecnología del biogás son: Obtener una fuente de energía económica que permita disminuir costos asociados al consumo de la energía eléctrica o sistemas de gas convencionales. (...)” (Silva Vinasco, 2002), como reducción de olores, entre otros. A su vez como afirma el World Energy Council (WEC, 1999, p. 35) “se ha demostrado que la falta de energía se correlaciona muy estrechamente con muchos indicadores de pobreza”. Ello implica que las familias utilizan como energía, para cocinar alimentos, la leña proveniente de los bosques, como expresa el autor Flavio Siabato, donde concluye que las posibles alternativas óptimas para suplir el gasto energético, sin necesidad de ser extraído de los bosques, son la energía solar calórica y el biogás (Siabato, 2004).

Junto a ello, en relación con las conexiones a un sistema de acueducto local, es importante la implementación de un tratamiento previo a la disposición final de los desechos líquidos. Ello en la medida de que en el proceso de tratamiento existen tanques anaeróbicos donde se presenta la generación de biogás.

El aprovechamiento de las aguas lluvias, resulta de gran interés, gracias a que es un sistema fácil y económico respecto a su instalación y realización, aprovechando un recurso que en su mayoría no es utilizado, en la cultura colombiana, que es la captación y reutilización de las aguas lluvias.

## 5. ALCANCE.

En el documento se podrá encontrar el cálculo de los sistemas de generación de biogás y captación de agua lluvia. Para facilidad de cálculo, la *zona rural* a trabajar es la es entre el municipio de Tunja, Boyacá y Motavita, Boyacá, al noroccidente de Tunja. Para el cálculo de *paneles solares*, se solicitó una cotización a la empresa en donde se proporcionó información de las características de la vivienda; para el cálculo del sistema de *captación de agua lluvia*, bajo la metodología propuesta por la OPS en su “Guía de diseño de Captación de Agua Lluvia”, donde los datos utilizados fueron los de la estación hidroclimatológica UPTC-Tunja; Para el diseño de biodigestor de campana fija, se utilizó la metodología de “Fundamentos Para El Diseño De Biodigestores” de la Universidad Nacional Colombia, en el cual para facilidad de cálculo, se asumió datos respecto al CH<sub>4</sub> y composición de los desechos orgánicos de los humanos (heces fecales). Se hizo una evaluación de impacto ambiental, bajo la metodología adaptada del análisis costo beneficios, evaluando la magnitud del daño con la adaptación de la metodología de la matriz de Leopold, propuesta para este análisis; además se realizó una adaptación de planos arquitectónicos, en los cuales se sugiere la ubicación de los sistemas propuestos por el autor, teniendo en cuenta, área y volumen que ocupan.

## **6. OBJETIVOS**

A continuación, se mostrarán los objetivos General y Específicos de este proyecto.

### **6.1. GENERAL**

Plantear alternativas sostenibles postconstructivas para la reducción del consumo de recursos de servicios públicos en viviendas rurales a partir de la adecuación de planos prediseñados de viviendas convencionales, en una zona rural del municipio de Tunja, Boyacá, Colombia.

### **6.2. ESPECÍFICOS**

- Analizar las alternativas sostenibles para vivienda rural que permitan mejorar calidad de vida a sus habitantes, mediante el cuidado del ambiente, el ahorro de costos mantenimiento y cuidados en Tunja, Boyacá.
- Determinar el nivel de ahorro, que brinda el sistema planteado para el consumo de servicios públicos, tales como energía, agua a los habitantes de las viviendas del sector rural de la ciudad de Tunja.
- Adecuar el plano de una vivienda de interés prioritario, con el fin de agregar alternativas sostenibles, capaces de reducir, el consumo energético y el consumo de agua.

## **7. MARCOS REFERENCIALES**

En el siguiente aparte, se evidenciará las generalidades pertinentes para la correcta comprensión y desarrollo del proyecto, en cada uno de los siguientes numerales.

### **7.1. DESCRIPCIÓN DE LA ZONA DE ESTUDIO**

La zona de estudio comprende a la ciudad de Tunja y sus cercanías hacia el municipio de Motavita, con lo cual la mayoría de información disponible de la capital boyacense abarca a su vecino. A continuación se podrá encontrar: el “*Mapa 3. División Política, Administrativa Y Límites, Tunja 2013.*”, el cual muestra algunas características geográficas del municipio de Tunja, Boyacá; las características hidroclimatológicas, como temperatura, precipitación, vientos, brillo solar y humedad relativa; y por último las características geológicas generales.

#### **7.1.2. CARACTERÍSTICAS DEL MUNICIPIO DE TUNJA, BOYACÁ:**

Límites del municipio: Limita por el NORTE con los municipios de Motavita y Cóbbita, al ORIENTE, con los municipios de Oicatá, Chivatá, Soracá y Boyacá, por el SUR con Ventaquemada y por el OCCIDENTE con los municipios de Samacá, Cucaita y Sora.

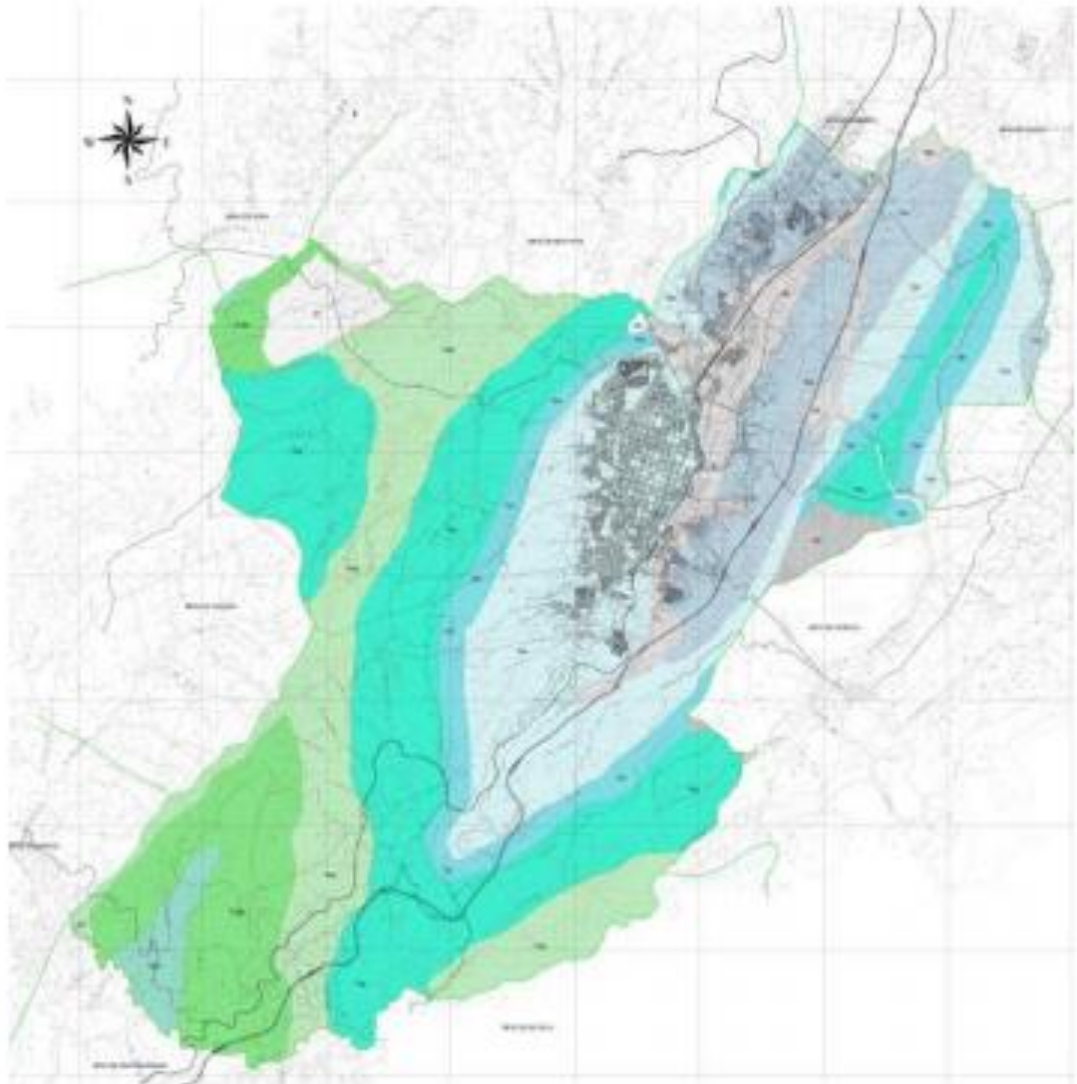
Extensión total: 121.4920 Km<sup>2</sup>

Extensión área urbana: 19.7661 Km<sup>2</sup>

Extensión área rural: 101.7258 Km<sup>2</sup>

**Mapa 3. División Política, Administrativa Y Límites, Tunja 2013.**

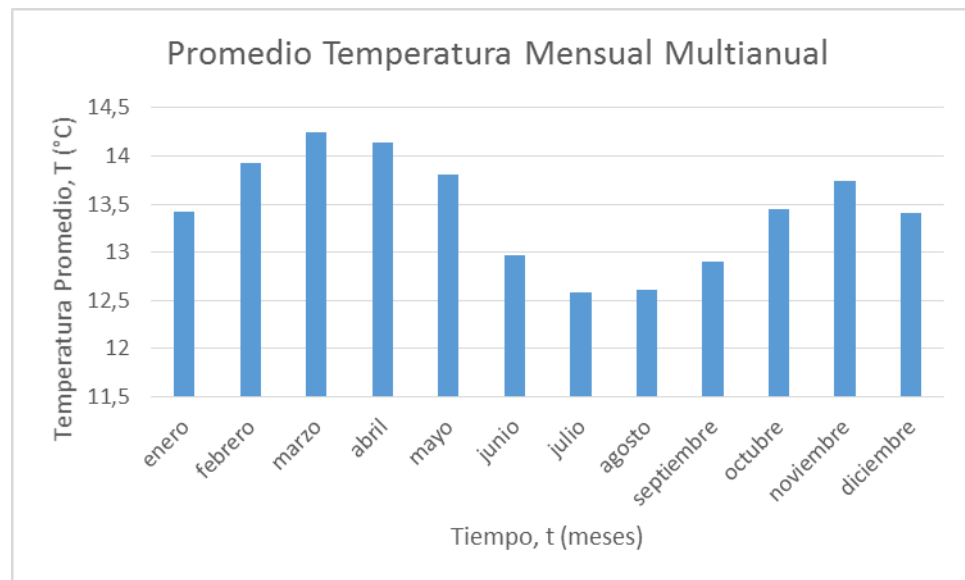
**El mapa está pixelado, tienes una mejor resolución?**



**Fuente: Oficina de Planeación Tunja**

- **Temperatura:** La temperatura promedio es de 12.9°C. Al medio día la temperatura máxima media oscila entre 25 y 26°C. En la madrugada la temperatura mínima está entre 17 y 18°C. El sol brilla cerca de 4 horas diarias en los meses lluviosos, pero en los meses secos, la insolación oscila alrededor de las 6 horas diarias/día. La humedad relativa del aire oscila durante el año entre 82 y 89 %, siendo mayor en la época lluviosa del segundo semestre (IDEAM, 2016). Los meses de mayor temperatura son marzo y abril, y los de menor temperatura son agosto y septiembre. La temporada más cálida es la primera mitad del año, seguidos por la temporada más fría que comprende los meses de junio a septiembre (ver **Gráfica 1**; *Error! No se encuentra el origen de la referencia.*).

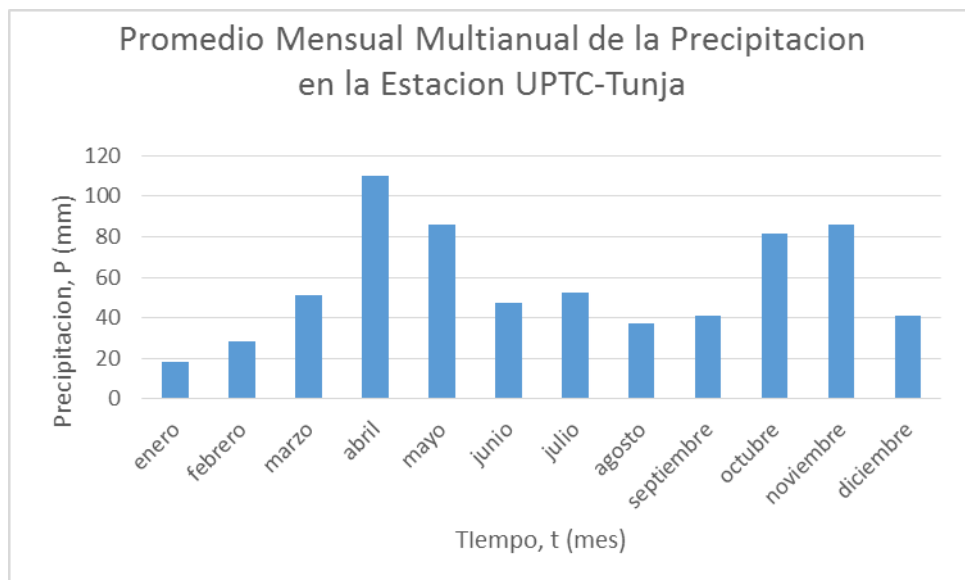
**Gráfica 1. Promedio de Temperatura Mensual Multianual de la Estación Hidroclimatológica UPTC-Tunja.**



Fuente: Autor, 2016

- **Precipitación:** El promedio de lluvia total anual es de 645 mm. Las lluvias tienen un comportamiento bimodal, mostrando dos picos importantes de precipitación en los meses de abril-mayo y octubre-noviembre. Durante el año las lluvias se distribuyen en dos temporadas secas y dos temporadas lluviosas. La temporada seca principal se registra en los meses de diciembre, enero y febrero; en los meses de julio y agosto, se registra una temporada seca de menor intensidad. Las temporadas de lluvia se extienden desde finales de marzo hasta principios de junio y desde finales de septiembre hasta principios de diciembre. En los meses secos de principios y final de año, llueve alrededor de 5 a 10 días/mes; en los meses de mayores lluvias del primero y segundo semestre, así como en la temporada seca de mitad de año, puede llover entre 17 y 19 días/mes. (IDEAM, 2016) (ver **Gráfica 2**)

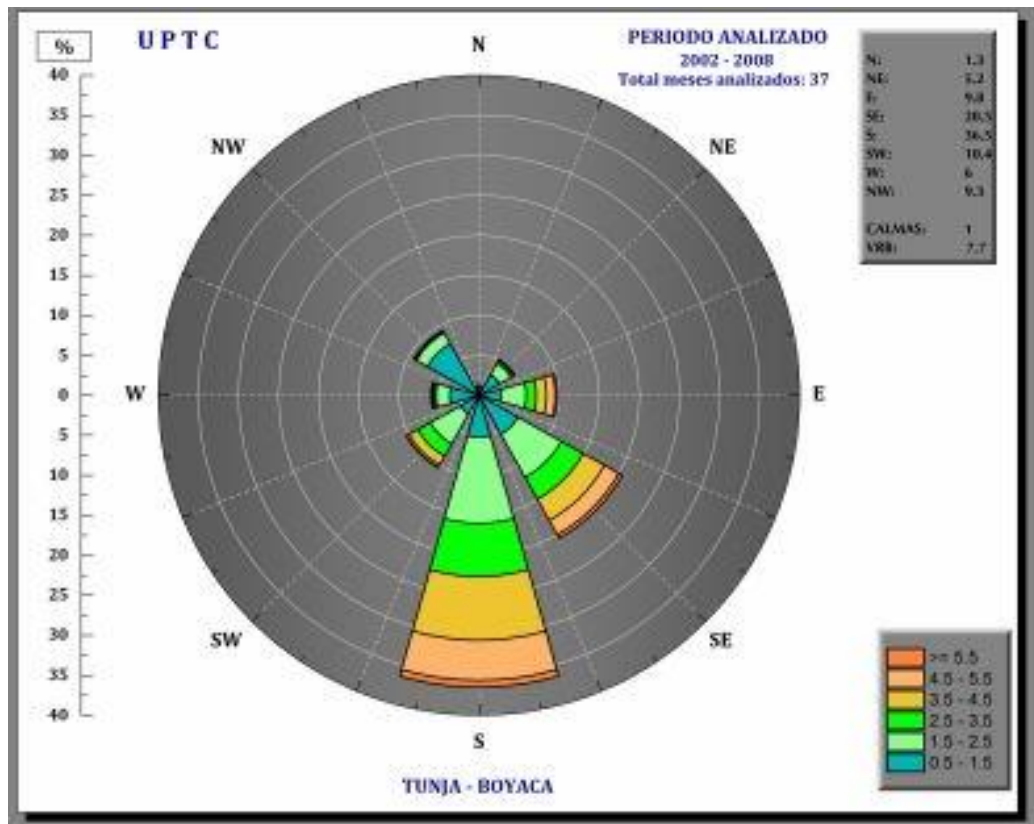
**Gráfica 2. Hidrograma de la Precipitación Promedio de la Estación Hidroclimatológica UTPC-Tunja.**



Fuente: Autor, 2016

- **Vientos:** La velocidad del viento alcanza un tope máximo entre junio 2,7 m/seg a 3,1 m/seg. En agosto los vientos Alisios que soplan hacia la Zona de Convergencia Intertropical, representan un fenómeno típico durante la época seca. Esta época seca es conocida localmente como verano aunque en realidad coincide con el período de sol bajo, o invierno en el sentido astronómico. La importancia del estudio del viento en trabajos de esta naturaleza radica, por una parte, en el efecto que éste pueda tener, en el hecho de que el viento actúa desfavorablemente para el desarrollo de las plantas a si mismo del transporte y propagación de agentes contaminantes del medioambiente, como son: partículas en suspensión, ruido, gases, malos olores, etc. (IDEAM,2008) (*ver Gráfica 3*)

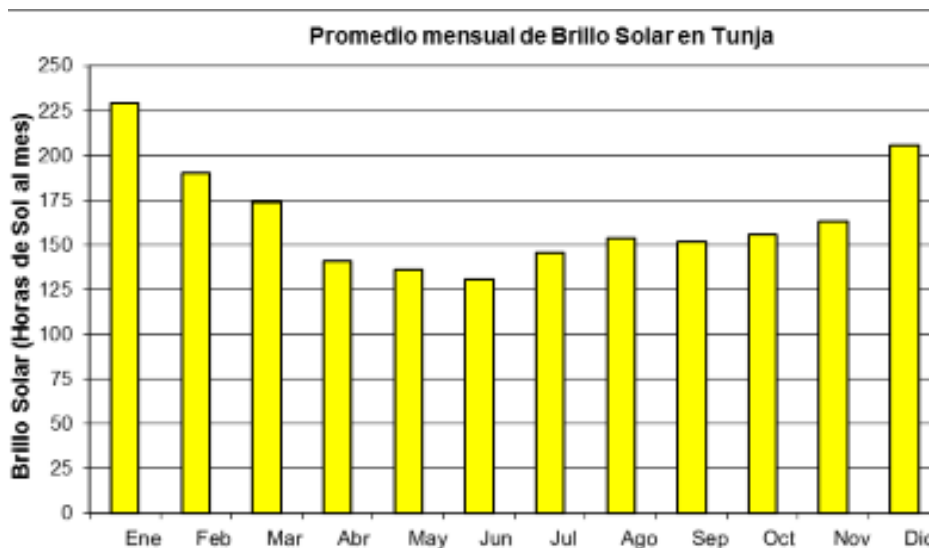
***Gráfica 3. Velocidad Promedio del Viento a 10 Metros de Altura en Tunja-Boyacá.***



Fuente: <http://atlas.ideam.gov.co/visorAtlasVientos.html>.

- **Brillo Solar:** El promedio de lluvia total anual es de 645 mm. Las lluvias tienen un comportamiento bimodal, mostrando dos picos importantes de precipitación en los meses de abril-mayo y octubre-noviembre. Durante el año las lluvias se distribuyen en dos temporadas secas y dos temporadas lluviosas. La temporada seca principal se registra en los meses de diciembre, enero y febrero; en los meses de julio y agosto, se registra una temporada seca de menor intensidad. Las temporadas de lluvia se extienden desde finales de marzo hasta principios de junio y desde finales de septiembre hasta principios de diciembre. En los meses secos de principios y final de año, llueve alrededor de 5 a 10 días/mes; en los meses de mayores lluvias del primero y segundo semestre, así como en la temporada seca de mitad de año, puede llover entre 17 y 19 días/mes. (IDEAM, 2016) (ver **Gráfica 4** )

**Gráfica 4. Promedio Mensual de Brillo Solar en Tunja, Boyacá.**



Fuente: <http://atlas.ideam.gov.co/visorAtlasRadiacion.html>

- **Humedad Relativa:** Este parámetro hace referencia a la humedad presente en la atmósfera. La humedad relativa es alta sobre los 3.200 m.s.n.m., alcanzando un 89% como valor máximo y un 82% como valor

mínimo; sobre los 2.600 m.s.n.m., la Humedad Relativa disminuye, alcanzando valores mínimos de un 71% y aumenta gradualmente hasta el máximo de un 91%. Para el caso del Páramo de Motavita, zona de Sote hacia municipio de Chiquiza y Combita la humedad relativa presente es del 70 a 89%. Los valores mínimos se presentan en junio, y valores máximos en época de verano como los meses de enero, febrero, noviembre y diciembre. (IDEAM, 1999)

- **Características Geológicas De Tunja:**

Las siguientes características básicas Geológicas tales como Depósitos Cuaternarios y formaciones pertenecientes al municipio de Boyacá, como se muestran a continuación:

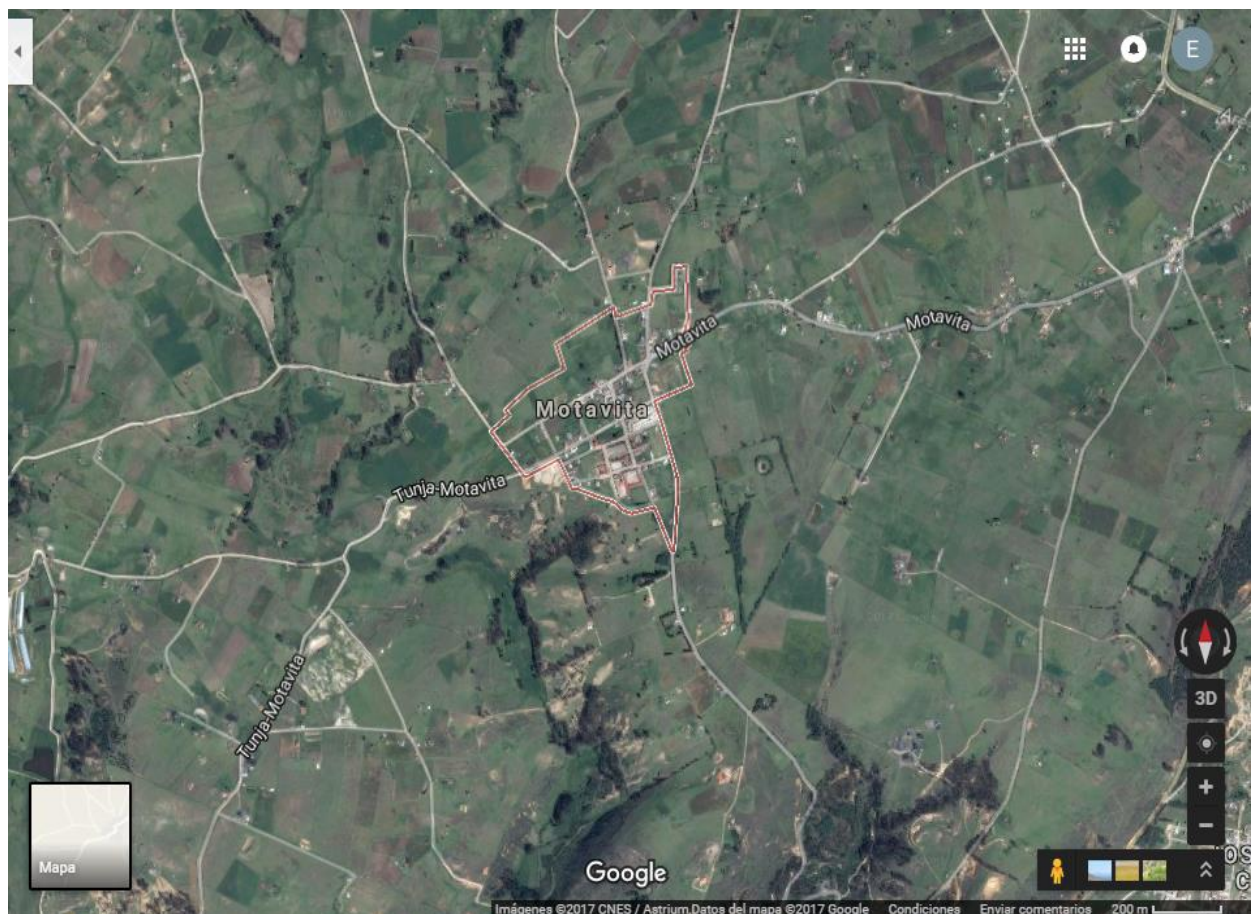
- **Depósitos Cuaternarios:** Los depósitos cuaternarios principales que componen la geología del municipio de Tunja son: Coluvial, Fluvio-Lacustre, Lacustre (Alcaldía Tunja-Boyacá, 2012).
- **Formaciones:** Las formaciones geológicas más comunes encontradas en el municipio de Tunja, según la información brindada por la Alcaldía de Tunja son: Tilatá, Bogotá, Cacho, Guaduas, Grupo Guadalupe, Labor y Tierna, Grupo Guadalupe Planners, Conejo. (Alcaldía Tunja-Boyacá, 2012).

**Características Del Área Rural Situada En El Nororiente De Tunja, Boyacá: Municipio Motavita:**

- **Clasificación Climática:** De acuerdo al sitio web [Climatedata.org](http://Climatedata.org), consultado en noviembre del 2017, indica que “El clima de perteneciente al municipio de Motavita es suave, y generalmente cálido y templado. En Motavita la temperatura media anual se encuentra a 12.1 °C. Posee una precipitación media aproximada es de 993 mm/año” (Merkel , 2016).

- **Precipitación:** “La precipitación es mínima en el mes de enero, con un promedio de 26 mm; sin embargo, en el mes de octubre, la precipitación alcanza su pico, con un promedio de 139 mm” (Merkel , 2016).
- **Temperatura:** “A una temperatura media de 13.0 ° C, marzo es el mes más caluroso del año. A 11.3 ° C en promedio, julio es el mes más frío del año”. (Merkel , 2016)

**Mapa 4. Municipio de Motavita- Boyacá**



Fuente: Google Maps, 2017.

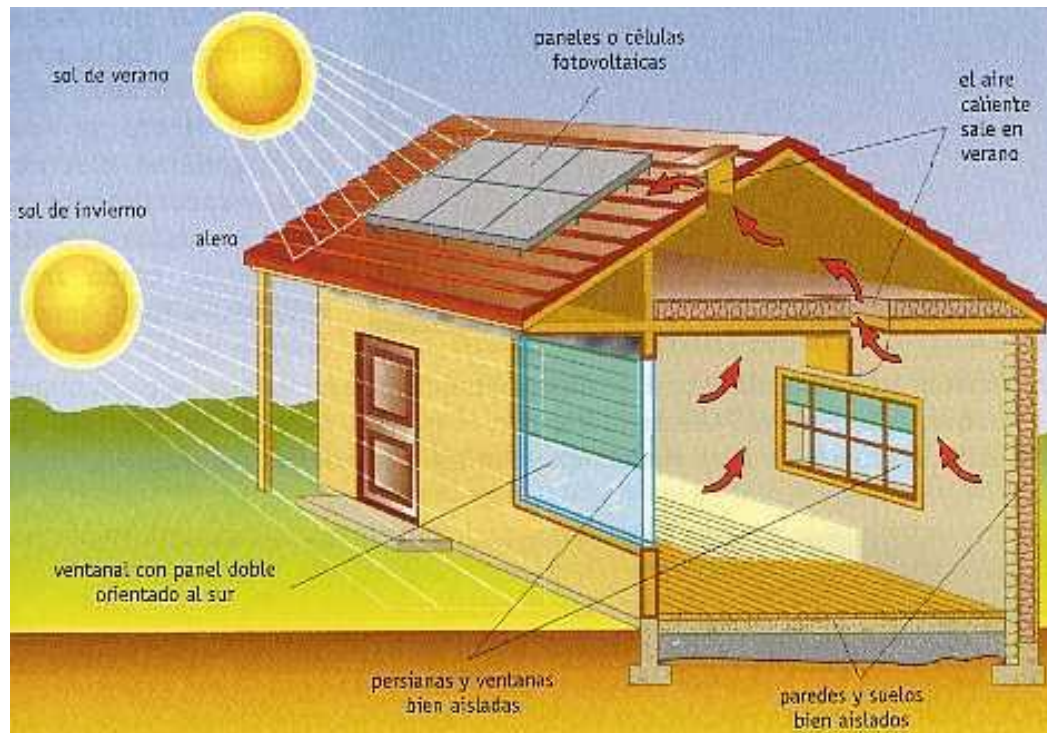
## **7.2. MARCO TEÓRICO**

Las alternativas sostenibles a analizar que suplen las necesidades propuestas por el proyecto, enfocadas a reducción de los costos de los servicios públicos: energía y agua; cumpliendo una función adicional de reducir el impacto ambiental producido por el consumo de estos recursos, aplicando las teorías, características y normativa relacionada a la construcción sostenible como se muestra a continuación:

### **7.2.1. CARACTERÍSTICAS Y DEFINICIONES DE LAS CONSTRUCCIONES SOSTENIBLES APLICADAS AL PROYECTO.**

La construcción sostenible como indica la siguiente definición. “La práctica de Diseñar, construir y operar proyectos integrales de construcción, que generen un impacto positivo al medioambiente y a los usuarios de la comunidad” (Medina, 2011). Para el caso de aplicación referente al proyecto, la implementación de sistemas generadores de energía y sistemas captadores, utilices para suplir las necesidades relacionadas a la reducción de los servicios públicos básicos para vivienda rural propuestas por el autor.

## Esquema1: Esquema De Vivienda Con Paneles Solares.



Fuente: Erenobable.com (2016)

Los elementos que hacen una bioconstrucción y entiéndase el termino como “Modo armónico las aplicaciones tecnológicas, los aspectos funcionales y estéticos, y la vinculación con el entorno natural o urbano de la vivienda; con el objetivo de lograr hábitats que respondan a las necesidades humanas en condiciones saludables, sostenibles e integradoras” (BIOHAUS, 2008).

Las bioconstrucciones, aplicadas a viviendas, son de interés gracias a las características ambientales del proyecto, respecto a los componentes sostenibles que brindan, tales como, el aprovechamiento de la cantidad de brillo solar, dirección de vientos y orientación, los cuales pueden ser empleados para suplir necesidades energéticas o de confort para la vivienda rurales de una manera autónoma o auto suficiente, sin necesidad de inversiones futuras, en aparatos o electrodomésticos que podrían generar sobre costos, o impactos ambientales como calentadores, o uso de chimeneas.

### **7.2.2. CRITERIOS DE LA NORMA LEED APLICADOS FRECUENTEMENTE POR EL CCCS.**

En el mundo han existido varios sistemas de evaluación de construcciones sostenibles a través del tiempo y comenzando como a finales del siglo pasado, expresa la asesora legal de AIDA “despertar de la conciencia ambiental en los años 60” (Ortúzar, 2014). Donde las 4 normas ambientales y constructivas, más importantes a nivel mundial son:

CASBEE (2001), LEED (1993), BREEAM (1990) y VERDE (1996). Dentro de ellas es destacada la normativa LEED. Para la evaluación de las estrategias sostenibles de interés en este proyecto, la normativa que más se acopla a las necesidades ambientales y alternativas sostenibles relativas al proyecto, es la normativa “LEED HOME”. La normativa LEED (*ver Esquema 2*), es comparada con otros sistemas de evaluación para construcciones sostenibles, como muestra el artículo “Métodos de evaluación sostenible de la vivienda: Análisis comparativo de cinco métodos internacionales” (Susunga, 2014), en el que se analizan, cada una de las especificidades de cada una de las 4 normativas mencionadas anteriormente, y prestando especial atención variables importantes a evaluar como son: “Energía y medioambiente”, “Ambiente” y posteriormente “Agua”.

## Esquema 2. Logotipo Y Categorías De Evaluación De La Normativa Ambiental LEED

### LEED Credit Categories



Fuente: <https://www.igbc.ie/certification/leed/>

LEED-HOME: Es un sistema que promueve el diseño y construcción de alto rendimiento ambiental para viviendas y las características de importancia, respecto a recursos naturales, agua, donde se usa menor energía, y es más comfortable para los habitantes ocupantes.

Este sistema promueve el diseño y construcción de alto rendimiento verde para viviendas. Una casa verde usa menos energía, agua y recursos naturales, genera menos residuos, y es más saludable y comfortable para los ocupantes. Los beneficios de una casa certificada LEED incluyen una reducción de las emisiones

de gases de invernadero y una menor exposición a los hongos, moho y otras toxinas en el interior (Susunga, 2014).

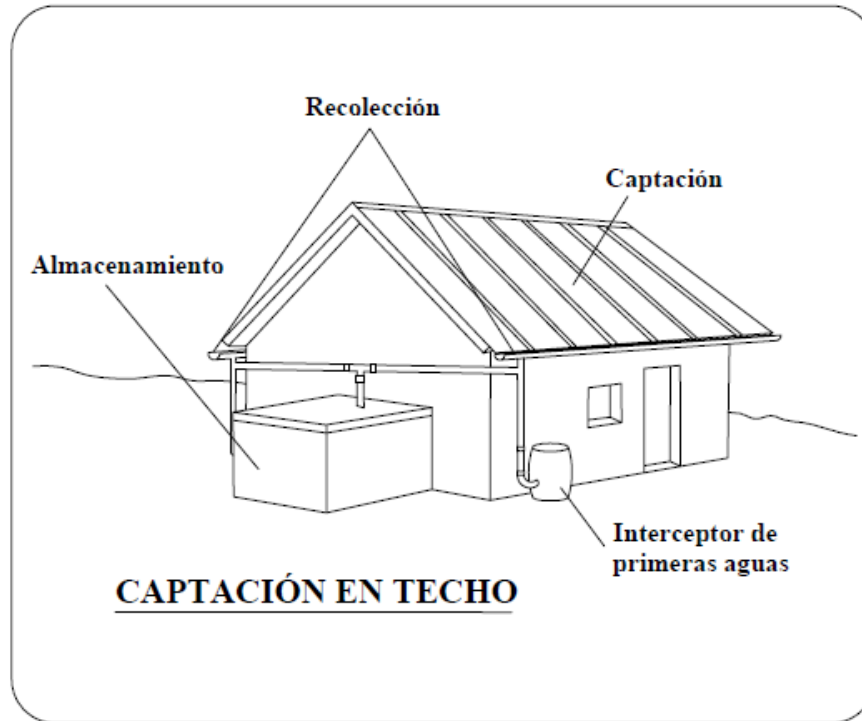
#### **i. DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA DE CAPTACION DE AGUA LLUVIA.**

Teniendo en cuenta, las características requeridas para las necesidades de instalación y correcto funcionamiento del sistema de reducción del consumo del recurso hídrico, para viviendas debe cumplir y de fácil utilización por los habitantes son las siguientes especificaciones:

- Brindad un fácil funcionamiento e instalación.
- Debe ocupar un espacio reducido de operación.
- Bajos costos de instalación y mantenimientos.

El sistema de captación de agua lluvia, que mejor se acopla a las necesidades del proyecto es Sistema de Captación de Agua Pluvial en techos (SCAPT), como muestra su definición el manual de la OPS: SCAPT (sistema de captación de agua pluvial en techos): Es un modelo utilizado para la captación de aguas domésticas, donde se utilizan los tejados como área de captación. A su vez, “Este modelo tiene un beneficio adicional y es que además de su ubicación minimiza la contaminación del agua” (Organización Panamericana de la Salud, 2004).

### Esquema 3. Sistema De Captación De Agua Pluvial En Viviendas Rurales (SCAPT)



Fuente: (Organización Panamericana de la Salud, 2004)

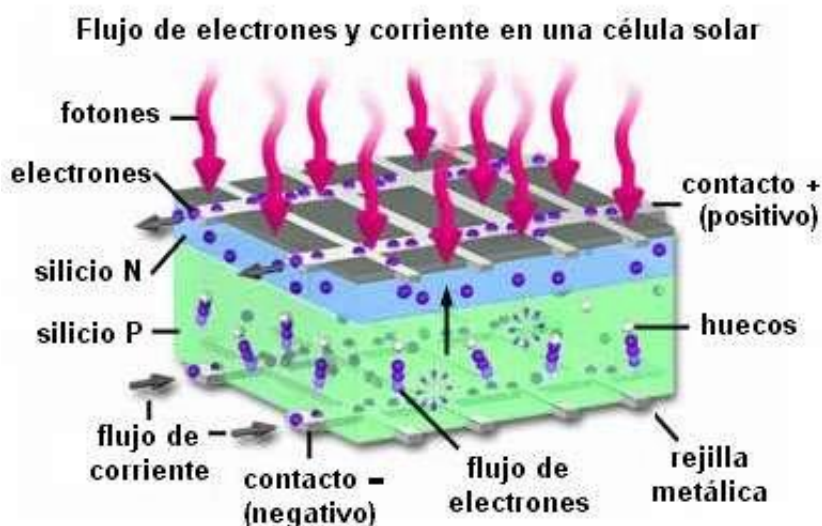
Los sistemas de captación de agua lluvia se basan en un principio de funcionamiento, que aborda características como: “Área de captación, Sistema de conducción, Filtración y tratamiento, Infraestructura de almacenamiento” (Organización Panamericana de la Salud, 2004, pág. 4) (ver *Esquema 3*).

#### ii. BASES DEL FUNCIONAMIENTO DE LAS CÉLULAS FOTOVOLTAICAS.

Un sistema fotovoltaico es la conversión a nivel atómico de luz en electricidad. Existen materiales semiconductores como el silicio, el cual, se usa en la fabricación de las células solares (paneles solares), ya que posee una

propiedad denominada efecto fotoeléctrico, el cual permite que los fotones de luz sean absorbidos y a su vez, emitan electrones, donde puede ser usado para alimentar un sistema de circuitos como se muestra en el siguiente *Esquema 4*.

#### Esquema 4. Flujo De Electrones Y Corriente En Una Célula Solar



FUENTE: (CELDASFOTOVOLTAICAS.BLOGSPOT, 2011)

Cuando los fotones golpean una célula solar, pueden ser absorbidos o reflejados. Solo la luz absorbida, la cual contiene fotones, es convertida en electrones que circulan para formar una corriente eléctrica, generando así electricidad.

#### iii. GENERALIDADES Y PRINCIPIO DE GENERACIÓN DEL BIOGÁS

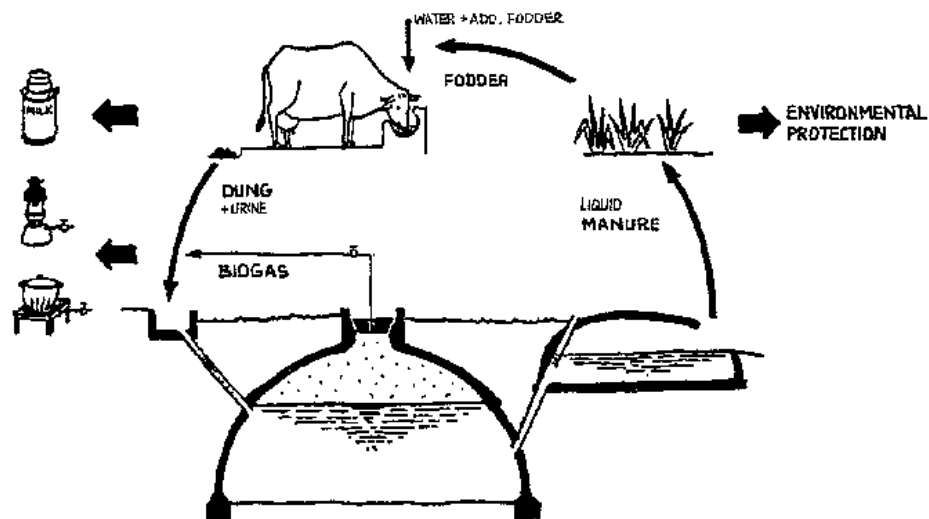
El biogás es un gas compuesto por cerca de 60 % de metano ( $\text{CH}_4$ ) y 40 % de bióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ). Contiene mínimas cantidades de otros gases, entre ellos 1 % de ácido sulfhídrico ( $\text{H}_2\text{S}$ ). Es un poco más liviano que el aire,

posee una temperatura de inflamación de 700 °C y su llama alcanza una temperatura de 860°c.

Con un contenido de metano mucho menor de 50 %, el biogás es inflamable. El poder calórico promedio de un metro cúbico de biogás es de cinco mil kilocalorías, lo que permite generar entre 1,3-1,6 kWh, lo cual equivale a medio litro de petróleo, aproximadamente.

El biogás es producido por bacterias de fermentación que se encargan de descomponer el residual orgánico, a lo que se le denomina proceso de fermentación anaeróbica, ya que se produce en ausencia de oxígeno. (Guardado Chacón J. , 2013).

### Esquema 5. Esquema Del Proceso De Generación De Biogás Y Tratamiento De Materia Orgánica Residual.



Fuente: Improved Biogás Unit for Developing Countries (GTZ, 1988).

El proceso de fermentación se compone de dos fases principales: la ácida y la metanogénica. En la primera, se forma los aminoácidos, ácidos grasos y alcoholes, a partir de las proteínas, grasas e hidratos de carbono disueltos en el residual. En la segunda se forman el metano, el bióxido de carbono y el amoníaco, entre otros (Guardado Chacón J. A., 2010).

#### **iv. ANÁLISIS COSTO-BENEFICIO.**

Cada vez que se desee ejecutar un proyecto ingenieril, es importante reconocer las alternativas necesarias para sacar el mejor provecho del proyecto a realizar, y es de suma importancia elegir la mejor opción, respecto al deseo de contratante, pues a que el capital destinado al proyecto, es limitado. “Fundamentalmente la ingeniería económica implica formular, estimar y evaluar los resultados económicos cuando existan alternativas disponibles para llevar a cabo un propósito definido” (Lebrand Blank, 2006). De lo anterior, la teoría de la ingeniería económica, brinda una respuesta que demuestre matemáticamente la mejor opción en la toma de decisiones.

La ingeniería económica como una de las formas de calcular la mejor opción en la toma de la mejor decisión un proyecto, propone un análisis económico, como hace referencia el autor. “Para realizar un análisis económico, si se consideran los costos (inicial y anual) los beneficios positivos y los contra beneficios deberán estimarse con tanta exactitud como sea posible en unidades monetarias”. (Lebrand blank, 2006). He aquí donde viene el nombre del método “Costo-beneficio”, el cual puede aplicarse para conocer qué tan efectiva es la ejecución del proyecto, mostrando un resultado que tan benéfica es la ejecución de este.

El autor Garcia Leyton propone un análisis Costo-Beneficio, aplicado a la evaluación de impacto ambiental, respetando las variables de la teoría de la Ingeniería Económica. “En un análisis costos-beneficios, los costos se sitúan en oposición a los beneficios. Aunque este concepto posee elementos engañosos, ya que el contrario de los beneficios son los “*des-beneficios*” (Garcia Leyton, 2004). El procedimiento costos-beneficios supone un intercambio a dos bandas cuando en la realidad es un trato a tres bandas. Los des beneficios, como tercer elemento, han estado claramente

desvinculados de este proceso de análisis. La industrialización dio a este proceso un ímpetu sin precedentes.

Es esta una de las razones de la problemática ambiental a la cual nos enfrentamos. Como el papel de los *des-beneficios* no se consideró en el proceso, no se le incluyó en las cuentas. La pérdida de calidad ambiental y de diversidad tampoco se tuvo presente” (Leyton, 2004, pág. 63).

El método, permite evaluar por medio de tres (3) fases:

- “Evaluación del daño y su significado: En este caso, el consumo de recurso hídrico y energía.
- Principales posibilidades de rehabilitación: Alternativas de ahorro.
- Posibilidades de rehabilitación compensatoria: Consumo con alternativas sostenibles” (Leyton, 2004, pág. 63).

### **7.3. MARCO CONCEPTUAL**

A continuación, se evidenciarán los conceptos claves para el correcto entendimiento del proyecto.

#### **7.3.1. CONTRUCCION SOSTENIBLE, DEFINICION Y GENERALIDADES.**

La construcción sostenible Según el CCCS, es definida como: “La práctica de Diseñar, construir y operar proyectos integrales de construcción, que generen un impacto positivo al medioambiente y a los usuarios de la comunidad.” (Medina, 2011, pág. 11).

## Esquema 6. Logo del Consejo Colombiano de Construcción Sostenible.



Fuente: <https://www.cccs.org.co/wp/>

La construcción sostenible cada día toma más fuerza, y es indispensable que Colombia siga jugando un papel importante en el asunto. Al respecto señala el CCCS, que: “Sudamérica es una de las regiones con mayor potencial: este porcentaje aumentaría de 9% a 34% en 2013” (Medina, 2011, pág. 10).

El CCCS se constituye como la entidad colombiana encargada, por excelencia, de dar pautas en el sector de la construcción para mejorar el entorno del medioambiente y respetando la calidad de vida de los colombianos.

### **7.3.2. CARACTERÍSTICAS Y QUE POSEEN LAS CONSTRUCCIONES SOSTENIBLES**

Las siguientes características constituyen los caracteres esenciales, ya la vez los objetivos de los proyectos sostenibles para mitigar el impacto ambiental y brindar bienestar de calidad a sus habitantes, según el Ingeniero Jorge Susunaga, (Susunaga, 2014):

- Gestión del ciclo de vida, tanto de las edificaciones como de los materiales y componentes utilizados.
- Mayor calidad de la relación de la edificación con el entorno y el desarrollo urbano.
- Uso eficiente y racional de la energía.
- Conservación, ahorro y reutilización del agua.
- Utilización de recursos reciclables y renovables en la construcción y en la operación, y prevención de residuos y emisiones.
- Selección de insumos y materiales derivados de procesos de extracción y producción limpia.
- Mayor eficiencia en las técnicas de construcción.
- Creación de un ambiente saludable y no tóxico en los edificios.

### **7.3.3. BENEFICIOS DE LA CONSTRUCCIÓN SOSTENIBLE.**

Los principales beneficios de la construcción sostenible incluyen (Susunaga, 2014):

- Menor consumo de energía.
- Menores emisiones de carbono.
- Mejor consumo de agua.
- Reducción de los costos de operación
- Incremento en el retorno de la inversión.
- Aumento en el valor de la edificación.

#### **7.3.4. ENERGÍAS RENOVABLES**

Las energías renovables son: “la energía que se obtiene de fuentes naturales virtualmente inagotables, unas por la inmensa cantidad de energía que contienen, y otras porque son capaces de regenerarse por medios naturales.” (Construmatica, 2016).

La idea de la utilización de energías renovables ya que son energías que colaboran a la disminución de contaminantes en tanto que son empleadas para generar energía eléctrica, y se constituyen como fuentes ideales capaces de alcanzar un uso casi infinito, como en este caso es el sol.

#### **7.3.5. ADECUACIÓN DE PLANOS**

Las definiciones más pertinentes son los conceptos planteados por el diccionario de Real Academia de la Lengua Española (RAE) adecuación es: “Adaptar algo a las necesidades o condiciones de una persona o de una cosa” Y la definición de planos “Representación esquemática, en dos dimensiones y a determinada escala, de un terreno, una población, una máquina, una construcción” así que la adecuación de planos, es la adaptación del diseño de viviendas rurales aplicando en este caso, alternativas sostenibles relativas a la reducción de costos en los servicios públicos (agua, gas, electricidad).

#### **7.3.6. VIVIENDA RURAL.**

Según el Decreto 1133 de 2000 “Se entiende por Vivienda de Interés Social Rural aislada, la vivienda ubicada en un terreno de uso agropecuario, forestal o pesquero de tamaño menor o igual a una Unidad Agrícola Familiar, UAF, definida según la Ley 505 de 1999.”

### **7.3.7. ENERGÍA SOLAR**

La energía solar, es la energía que proviene del sol a la tierra. A su vez, “La energía solar se transforma en la naturaleza en otras formas de energía, como biomasa y energía eólica, pero también se puede transformar a otras formas de energía como calor y electricidad.” (Murcia, 2009).

### **7.3.8. SISTEMAS GENERADORES DE ENERGÍA, A PARTIR DE LA RADIACIÓN SOLAR.**

Los sistemas foto voltaicos son: “un conjunto de dispositivos que aprovechan la energía producida por el sol y la convierten en energía eléctrica” (Quiminet, 2011). Estos sistemas tienen un carácter fundamental ya que su uso, y la evolución de su tecnología se ha desarrollado desde hace mucho tiempo, brindando un sistema más barato y óptimo para su uso comercial.

### **Esquema 7. Paneles Solares, Energía Eléctrica Renovable.**

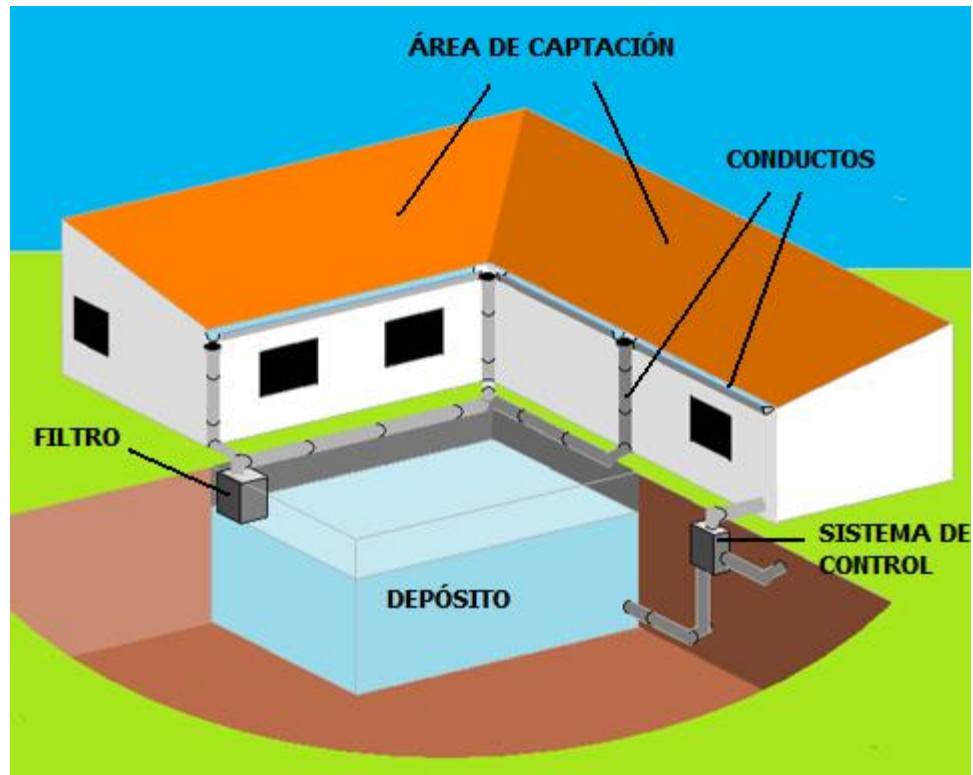


Fuente: <http://www.ener16.otalca.cl/>

#### **7.3.9. SISTEMAS DE CAPTACIÓN DE AGUA LLUVIA**

Son estructuras capaces de conducir, filtrar y almacenar, agua lluvia, para un posterior uso, como lo evidencia el siguiente esquema (ver *Esquema 8*).

**Esquema 8. Sistema de Captación de Agua Lluvia en Techos.**

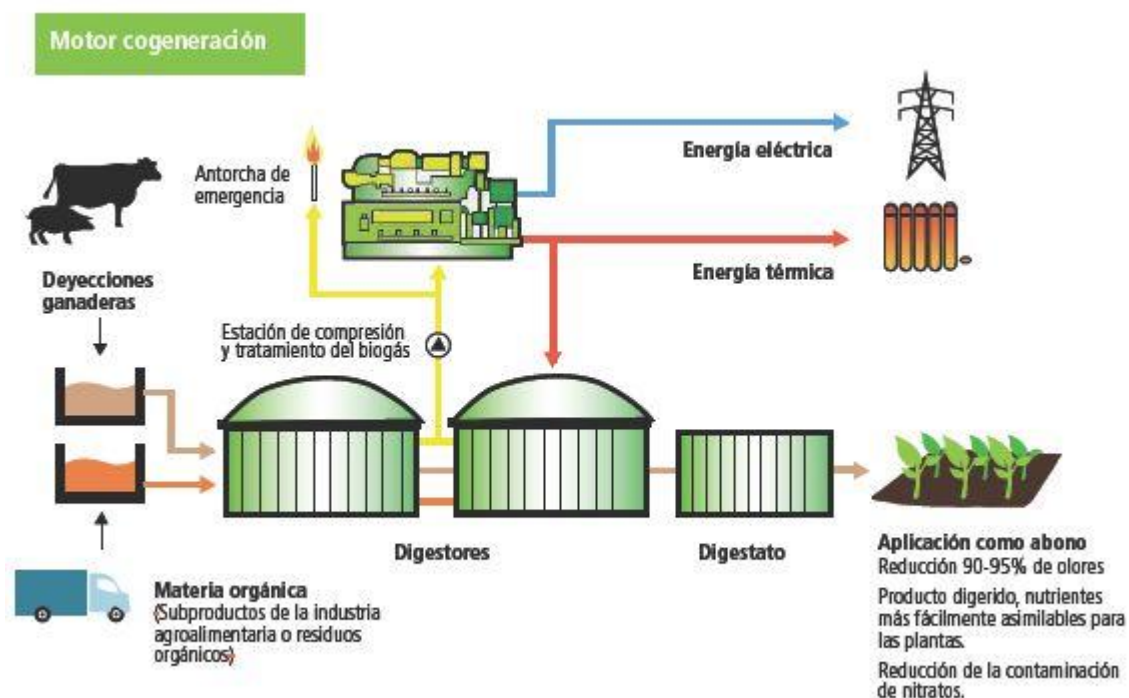


Fuente: <http://www.sitiosolar.com/los-sistemas-de-recoleccion-de-agua-de-lluvia/>

### **7.3.10. GENERACIÓN DE BIOGÁS**

Método por el cual, los desechos sólidos, animales y vegetales, son descompuestos por bacterias, utilizando un método de denominado digestión, en un tanque anaerobio, generando gas metano y otros compuestos resultantes como amónico, nitrógeno, dióxido de carbono, entre otros.

## Esquema 9. Sistema de Generación de Biogás.



Fuente: <http://www.redagricola.com/reportajes/energia/lo-basico-para-entender-el-biogas>

### 7.3.11. ANÁLISIS COSTO-BENEFICIO

“Un análisis costo beneficio, puede permitir valorar un problema ambiental mediante una comparación de los costos por daños frente a los costos para evitarlos. Cuando existen datos, este sistema analítico, de tipo económico, puede ser usado para comparar opciones alternativas.” (Leyton, 2004, pág. 63).

## 8. NORMATIVIDAD APLICABLE.

A continuación, en la siguiente tabla (ver **Tabla 1. Normativa Aplicable.**), se encuentra la normativa que aplica cada con su respectiva aplicación para la correcta ejecución del proyecto:

**Tabla 1. Normativa Aplicable.**

Normativa Aplicable	Características	Justificación
<b>Requerimientos ambientales</b>		
Resolución MinAmbiente 1312 de 11 agosto de 2016	Por la cual se adoptan los términos de referencia para la elaboración del Estudio de Impacto Ambiental – EIA, requerido para el trámite de la licencia ambiental de proyectos de uso de fuentes de energía eólica continental y se toman otras determinaciones	Aplica ya que son todas las normativas referentes al cuidado ambiental relacionados con cuidados de las zonas donde se ejecutaran entre otras cosas obras civiles.
Resolución MinAmbiente 1283 de 8 agosto de 2016	Por la cual se establece el procedimiento y requisitos para la expedición de la certificación de beneficio ambiental por nuevas INVERSIONES en proyectos de fuentes no convencionales de energías renovables - FNCER y gestión eficiente de la energía, para obtener los beneficios tributarios de que tratan los artículos 11, 12, 13 y 14 de la Ley 1715 de 2014 y se adoptan otras determinaciones	Aplica ya que la normativa da a conocer las características básicas para la certificaciones ambientales de las obras civiles en general.

Energías no convencionales Y sostenibles		
Resolución UPME 0281 de 2015	Por la cual se define el límite máximo de potencia de la autogeneración a pequeña escala	Aplica ya que muestra las restricciones que deben tener los sistemas generadores de energía a pequeña escala (viviendas)
Decreto 1623 de 2015	Por el cual se modifica y adiciona el Decreto 1073 de 2015, en lo que respecta al establecimiento de los lineamientos de política para la expansión de la cobertura del servicio de energía eléctrica en el Sistema Interconectado Nacional y en las Zonas No Interconectadas	Aplica ya que la ley incentiva con ayudas económicas, a la utilización de energías renovables, para viviendas, especialmente en zonas rurales.
Decreto 2143 de 2015	Por el cual se adiciona el Decreto Único Reglamentario del Sector Administrativo de Minas y Energía, 1073 de 2015, en lo relacionado con la definición de los lineamientos para la aplicación de los incentivos establecidos en el Capítulo III de la Ley 1715 de 2014	
Ley 1715 del 17 mayo del 2014:	Por la cual se regula la integración de las energías renovables no convencionales al sistema energético nacional.	

Ley 697 de 2001:	Mediante la cual se fomenta el uso racional y eficiente de la energía, se promueve la utilización de energías alternativas y se dictan otras disposiciones.	Aplica ya que el gobierno brinda auxilios económicos, a la disminución del consumo de los servicios públicos y uso eficiente de los mismos
Ley de reforma tributaria:	Por la cual se establecen normas tributarias, aduaneras, fiscales y de control para estimular el crecimiento económico y el saneamiento de las finanzas públicas.	Aplica ya que el gobierno colombiano, incentiva a los habitantes a vivir en áreas rurales, brindando beneficios económicos
Decreto No. 3683 de 2003:	La Constitución el objetivo del presente decreto es reglamentar el uso racional y eficiente de la energía, de tal manera que se tenga la mayor eficiencia energética para asegurar el abastecimiento energético pleno y oportuno, la competitividad del mercado energético colombiano, la protección al consumidor y la promoción de fuentes no convencionales de energía, dentro del marco del desarrollo sostenible y respetando la normatividad vigente sobre medio ambiente y los recursos naturales renovables. Política de 1991 en su artículo 80, establece que el Estado planificará el manejo y aprovechamiento de los recursos naturales, para garantizar su desarrollo sostenible, su conservación, restauración o sustitución.	Aplica ya que el Gobierno permite la implementación de energías no convencionales, sostenibles y fuentes generadoras de energías, que cumplan con la ley y ayuden al abastecimiento energético del país

<p>Resolución No.18-919 de 2010</p>	<p>Por la cual se adopta el plan de acción indicativo 2010-2015 para desarrollar el programa de uso racional y eficiente de la energía y demás formas de energía no convencionales, PROURE, se definen sus objetivos y subprogramas y se adoptan otras disposiciones al respecto.</p>	<p>Aplica ya que el Gobierno permite la implementación de energías no convencionales, sostenibles y fuentes generadoras de energías, que cumplan con la ley y ayuden al abastecimiento energético del país</p>
<p>Normativa Para energía Solar</p>		
<p>Solar fotovoltaica sistema ntc 1736</p>	<p>Instituto colombiano de normas técnicas y certificación mecánica. Energía solar. Definiciones y nomenclatura.</p>	<p>Aplica ya que son las certificaciones, información pertinente y definiciones claves, para la comprensión y funcionamiento de los sistemas fotovoltaicos en Colombia</p>
<p>Solar fotovoltaica sistema ntc 2775</p>	<p>Instituto colombiano de normas técnicas y certificación energía fotovoltaica. Terminología y definiciones.</p>	
<p>Solar fotovoltaica sistema ntc 4405</p>	<p>Instituto colombiano de normas técnicas y certificación.</p>	

Biogás		
Decreto 2492 de 2014	Por el cual se adoptan disposiciones en materia de implementación de mecanismos de respuesta de la demanda	Aplica que ya se , los mecanismos requeridos para la eliminación de materia en este caso orgánica, su disposición final y posibles usos
Decreto 2469 de 2014	Por el cual se establecen los lineamientos de política energética en materia de entrega de excedentes de autogeneración	
Resolución No. 135 de 2012	Por la cual se adoptan normas aplicables al servicio público domiciliario de gas combustible con Biogás. Energía Solar térmica.	Aplica ya que indica las características que deben poseer los sistemas generadores de energía no convencional como el biogás

Fuente: Autor, 2017

## 9. METODOLOGÍA

En el presente acápite se procederá a abordar los mecanismos empleados para reducir los costos en los servicios públicos para viviendas rurales haciendo uso de estrategias sostenibles, como lo son la implementación de sistemas de producción de energías renovables y estructura de captación de aguas lluvias.

En la actualidad existen diferentes alternativas sostenibles que pueden ser empleadas con el fin de generar ahorro en los servicios públicos y mitigar el impacto ambiental. Estas alternativas derivarán en la disminución de costos para los habitantes de dichas viviendas, según Greenpeace se ejecutarán las siguientes: “Ahorro energético, Impulso a la energía solar, Menos agua, ríos más limpios” (Greenpeace, 2010).

La norma LEED, brinda métodos de evaluación que podrían indicar un panorama alentador a variables que deben ser tenidas en cuenta, como mejores estrategias sostenibles para lograr reducir costos en los servicios públicos, tales como:

- Eficiencia en el Uso del Agua (11 puntos): Incentiva a utilizar el recurso agua del modo más eficiente, a través de la disminución del agua de riego, con la adecuada selección de especies y la utilización de artefactos sanitarios de bajo consumo.
- Energía y Atmosfera (33 puntos): Debe cumplir con los requerimientos mínimos del Standard ASHRAE 90.1-2007 para un uso eficiente de la energía, para esto se debe demostrar un porcentaje de ahorro energético (que va desde el 12% al 48% o más) en comparación con los casos base que solo cumplen con el estándar. Además, se debe asegurar en esta categoría un adecuado comportamiento de los sistemas del edificio a largo plazo (Monroy, 2014, pág. 25).

## **9.2. FASE I: ANÁLISIS DE ENERGÍAS SOSTENIBLES PARA INTERVENCIÓN DE PLANOS.**

En este aparte se presentan las Metodologías para establecer los criterios que abordan los procesos ingenieriles y estrategias sostenibles, planteadas para la reducción del consumo en los servicios públicos en las viviendas rurales.

### **9.2.1. ANÁLISIS FOTO VOLTAICO: VARIABLES A CONSIDERAR Y OBTENCIÓN DE DATOS PARA ABORDAR LAS NECESIDADES REQUERIDAS.**

Para el cálculo de cuantos paneles o celdas fotovoltaicas necesarias para suplir las necesidades de consumo nombradas a continuación, se recurrió a la empresa “TESOLCO” (Tecnología Solar en Colombia), para establecer la cantidad de energía generada en watts por día, apta para suplir las necesidades básicas que exige una vivienda rural; La empresa TESOLCO tomó el histórico de radiación directa e indirecta de la ciudad de Tunja, de los últimos 20 años y estos datos se relacionaron con la capacidad de generación de energía del panel. La información de generación junto a los costos, se proporcionó la información en forma de cotización, para las necesidades que exige este proyecto teniendo en cuenta el siguiente inventario eléctrico que posee la vivienda rural, con las dimensiones respectivas de cada uno de los cuartos consta:

Dimensiones e Inventario eléctrico de la vivienda:

- Lámpara- interruptor: 7
- Toma doble: 5
- Caja de circuitos 4 salidas- 3 out.

Dimensiones de la vivienda en planta:

- Área Total: 45,68 m<sup>2</sup>

- Área 1: alcoba 1, Hall de acceso, zona social, y comedor: 22,78m<sup>2</sup>
- Área 2: alcoba2 baño y alcobas3: 22,13 m<sup>2</sup>
- Área 3: Chimenea 0,77m<sup>2</sup>.

**9.2.2. ANÁLISIS DE SISTEMA DE CAPTACIÓN DE AGUAS LLUVIA:  
SISTEMA DE CAPTACIÓN DE AGUA PLUVIAL EN TECHOS,  
VARIABLES A EVALUAR, DISEÑO Y OBTENCIÓN DE  
RESULTADOS.**

La captación de agua en techos, es el método que se utilizó para el sistema de captación de agua lluvia, según la literatura guía en el manual de Captación de agua lluvia y almacenamiento en ferrocemento: “El sistema de captación de agua de lluvia puede ser tan sencillo como generalmente se emplea en países en desarrollo” (Rivera, 2006), ya que es capaz de brindar un sistema de fácil instalación y bajos costos.

- **Sistema de Captación Pluvial en Techos (SCART).**

La Organización Panamericana de la Salud (OPS) en su “Guía De Diseño Para Captación De Agua Lluvia”, cuya metodología se acopla de manera pertinente a las necesidades requeridas para el proyecto, hace énfasis en unas importantes consideraciones que debe tener el sistema para su diseño, para que su funcionamiento pueda ser ejecutado de manera óptima, y teniendo en

cuenta las siguientes consideraciones y limitaciones propuesta para el autor como se pueden apreciar en el siguiente aparte:

Para el diseño del Sistema de captación de agua pluvial en techos es necesario conocer los datos de las precipitaciones multianual, los cuales fueron relativos a la estación hidroclimatológica de la Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia (UPTC) de la ciudad de Tunja, Boyacá. Para el cálculo de las dimensiones del tanque se tuvo en cuenta la población promedio en una vivienda rural equivalente a 5 adultos, además de que el uso del agua captada, es solo para necesidades básicas, como uso limpieza del hogar.

#### **9.2.2.1. Bases del diseño del sistema de captación de agua lluvia o (SCAPT).**

Antes de emprender el diseño de un sistema de captación de agua pluvial, es necesario tener en cuenta los siguientes aspectos propuestos por la OPS en el *Manual de Referencia* (Organización Panamericana de la Salud, 2004):

- Precipitación en la zona. Se debe conocer los datos pluviométricos mensuales de por lo menos los últimos 10 años, e idealmente de los últimos 15 años, La información relacionada la precipitación mensual de la zona fue recolectada, por la estación hidroclimatológica de la Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia en adelante (UPTC) en la ciudad de Tunja, Boyacá, Los datos parten desde el año 2000 al año actual 2015 (*Ver Tabla 2*).
- Tipo de material del que está o va a estar construida la superficie de captación: El material a trabajar es Asbesto Cemento, respetando el material de la cubierta propuesto en los planos originales; el cual posee coeficiente de escorrentía de: 0,85 (The Clean Water Team Guidance Compendium for Watershed Monitoring and Assessment, 2009)

- Número de personas beneficiadas: para el análisis, se supone un núcleo familiar común de 5 integrantes adultos.
- Demanda de agua: La demanda de agua, es la cantidad de agua que se consume por persona, según la organización mundial de la salud (WHO), el mínimo de consumo es equivalente a 40 litros para lo relacionado con el lavado de ropa, ya que la tendencia promedio del lavado de ropa de los colombianos es una vez por semana (World Health Organization, 2013), para el caso de análisis se supone un consumo 10 Litros/persona\*día.

Según por lo establecido en el *Manual Referencia*, el paso a seguir es el cálculo de la “Precipitación Promedio Mensual Multianual”, a partir de los datos tomados de la estación hidroclimatológica de la UPTC en la ciudad de Tunja, Boyacá (ver *Tabla 2*).

**Tabla 2. Promedio precipitación mensual de cada año.<sup>2</sup>**

	Pp (mm/mes)															
Año/mes	2000	2001	2002	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016
enero	5,1	2,2	13,5	13,3	22,8	93,7	5,1	15,2	40,1	0	7,5	36,4	1,7	1,1	32,4	4,1
febrero	26,1	26,1	15,1	24,3	29,5	8,2	5,1	8,4	29,6	24,6	128,1	20	48,5	29,4	32,7	3,1
marzo	61,2	37,6	69,6	40,9	10,9	106	36,6	37,2	54,5	21,8	125,5	50	27,7	76,5	46,7	11,4
abril	46,9	7,8	87,2	138,6	70,2	147,7	108	72,6	100,7	174	269,1	308,3	57,2	47,1	29,1	96,2
mayo	75	87,6	131,6	140,8	87,7	33,2	59	115,1	66,1	137,2	163,4	35,2	85,2	62,3	28,9	66,3
junio	65,1	54,9	57,7	35,3	34,3	101,4	37,5	35,9	66,9	65,1	42,7	27,2	34,5	29,6	47,5	22,9
julio	59,1	34,4	40,2	50,9	33,6	40,2	42,1	50,7	25,2	165,8	85,4	67,8	52,1	19,6	42,3	32
agosto	50,8	22,2	46,7	24,8	43,8	17,2	65,1	96,2	29,6	31	23,8	31,2	40,3	8,6	32,3	
septiembre	79,2	60,5	67,2	52,9	29,1	51,3	28,9	36,2	35,6	40,7	56,1	15,4	29,8	15,1	14,4	
octubre	65,1	31,8	82	106,1	97,5	113	142	65,8	81,3	111,1	135,1	46,8	72,4	47,1	22	
noviembre	62,6	81,3	48,3	76	120	89	82,7	153,1	40,8	121,7	180,9	23,4	91	79,8	43,5	
diciembre	32,8	39,8	16,3	30,1	24,5	61,4	45,5	36,5	8,1	109,9	99	18,6	44,5	42,2	8	

Fuente: adaptación del Autor a partir de registros de precipitación en la estación UPTC, 2016

La tabla anterior es la recopilación de todos los datos recolectados provenientes de la estación hidroclimatológica de la UPTC en Tunja, Boyacá, promediada (media

<sup>2</sup> Para ver con mayor claridad la Tabla: “Promedio precipitación mensual de cada año” ver el Anexo A “Tabla: Promedio precipitación mensual de cada año”

aritmética) y Aplicados a la ecuación (ver Ecuación 1) de la literatura (Organización Panamericana de la Salud, 2004):

**Ecuación 1. Precipitación Promedio Mensual, según OPS, 2004**

**Ecuacion1: Precipitación Promedio Mensual.**

$$P_{pi} = \frac{\sum_{i=1}^{i=n} P_i}{n}$$

n: número de años evaluados.

Pi: Valor de precipitación mensual del mes “i” (mm).

Ppi: Precipitación promedio mensual del mes “i” de todos los años evaluados.

**Tabla 3. Cálculo de Precipitación de Precipitación Promedio Mensual**

Precipitación Promedio Mensual (mm/mes)	
Mes	Presipitacion
Enero	18,39
Febrero	28,68
Marzo	50,88
Abril	110,04
Mayo	85,91
Junio	47,41
Julio	52,59
Agosto	37,57
Septiembre	40,83
Octubre	81,27
Noviembre	86,27
Diciembre	41,15

Fuente: Autor, 2016

A continuación, se determina de la demanda; como se establece en la sección “*Determinación de la demanda*” del *Manual de Referencia* (ver Ecuación 2). A partir de la dotación asumida por persona se calcula la cantidad de agua necesaria para atender las necesidades de la familia o familias a ser beneficiadas en cada uno de los meses.

**Ecuación 2. Estimación de la Demanda Mensual de Precipitación, según (OPS, 2004)**

**Demanda Mensual**

$$Di = \frac{NuxNdxDot}{1000}$$

Nu: Número de usuarios que se benefician del sistema

Nd: Número de días del mes analizado.

Dot: Dotación (L /personas x día)

Di: Demanda mensual (m<sup>3</sup>)

Para el uso de la ecuación, se asumió que los meses que tienen 31 días tales como: Enero, marzo, mayo, julio, agosto, octubre y diciembre; 30: Abril, Junio, Septiembre y Noviembre; y para Febrero teniendo en cuenta los años bisiestos, por facilidad de cálculo, se supuso que tenía 29 días (años bisiestos) (Ver Tabla 4).

**Tabla 4. Valores Demanda Para Cada Mes Del Año.**

Demanda mensual (m3)	
Diene=	1,55
Difeb=	1,45
Dimar=	1,55
Diabr=	1,5
Dimay=	1,55
Dijun=	1,5
Dijul=	1,55
DiAgo=	1,55
Disep=	1,5
Dioc=	1,55
Dinov=	1,5
Didic=	1,55

Fuente: Autor, 2016

La “*Determinación del volumen del tanque de abastecimiento se realizó teniendo en cuenta las recomendaciones del manual*” (Organización Panamericana de la Salud, 2004) (ver **Ecuación 3. Oferta de Agua en el Mes según (OPS, 2004)**Ecuación 3); para lo cual se emplearon los promedios mensuales multianuales de precipitaciones de todos los años evaluados, el material del techo y el coeficiente de escorrentía. Con esta información se procede a determinar la cantidad de agua captada para diferentes áreas de techo y por mes (ver *Tabla 5*).

**Ecuación 3. Oferta de Agua en el Mes según (OPS, 2004)**

**Oferta de Agua en el Mes**

$$A_i = \frac{P_{pi} C_e A_c}{1000}$$

P<sub>pi</sub>: Precipitación promedio mensual (litros/m<sup>2</sup>).

C<sub>e</sub>: Coeficiente de escorrentía.

A<sub>c</sub>: Área de captación (m<sup>2</sup>)

A<sub>i</sub>: Oferta de aguas en el mes “i” (m<sup>3</sup>).

**Tabla 5. Oferta De Aguas En El Mes A Evaluar Para Un Área De Cubierta= 50m<sup>2</sup>**

Oferta de Agua en el Mes	
Aiene=	0,78
Aifeb=	1,22
Aimar=	2,16
Aiabr=	4,68
Aimay=	3,65
Aijun=	2,01
Aijul=	2,23
Aiago=	1,60
Aisep=	1,74
Aioct=	3,45
Ainov=	3,67
Aidic=	1,75

Fuente: Autor, 2016

Donde el Área de captación ( $A_c$ ,  $m^2$ ) es el área de la cubierta o techos de las viviendas, en este caso su valor es  $A_c = 50m^2$ , ya que está pre establecido en los planos arquitectónicos.

Finalmente con el dato obtenido, se procede a calcular el volumen del tanque con la siguiente ecuación (ver Ecuación 4):

#### Ecuación 4. Volumen Del Tanque (OPS, 2004):

**Volumen del tanque de almacenamiento.**  $V_i = A_i(m^3) - D(m^3)$

Para cada uno de los meses del año, donde se elige el mes con mayor necesidad de volumen, el cual es (ver Tabla 6):

**Tabla 6. Volumen Cada Mes.**

Volumen para cada mes (m3)	
Viene=	-0,7685
Vfeb=	-0,2313
Vimar=	0,6125
Viabr=	3,1769
Vimay=	2,1013
Vijun=	0,5148
Vijul=	0,6850
Viago=	0,0469
Visep=	0,2351
Vioct=	1,9041
Vinov=	2,1666
Vidic=	0,1987

Fuente: Autor, 2016

El volumen mayor se aproxima al entero siguiente, para facilidad de construcción, y con factor de seguridad, en este caso  $4 \text{ m}^3$ .

### 9.2.3. ANÁLISIS DE GENERACIÓN DE BIOGÁS: VARIABLES A EVALUAR, DISEÑO DEL TANQUE ANAEROBIO (BIODIGESTOR DE CAMPANA FIJA).

Gracias a que en las zonas rurales no es tan común ver un sistema de alcantarillado las viviendas pertenecientes a estas zonas (rurales), así que se debe adoptar un sistema de tratamiento de aguas para la disposición final de los desechos generados por la vivienda rural, el cual está compuesto por: trampa de grasas, tanque séptico, tanque anaerobio y pozo de absorción; la materia orgánica que es depositada en el tanque anaerobio es depositada y durante su proceso de descomposición, genera componentes propios del biogás (gas metano y Dióxido de

---

<sup>3\*</sup> Observar dibujo del sistema en el ANEXO B: PLANTA CON MODIFICACIONES.

carbono). Para aprovechar y reducir los contaminantes que genera este gas en la atmosfera, se calculará cuanto biogás es generado por estos residuos y si es conveniente, buscar implementar un sistema donde el gas contaminante pueda ser convertido o reciclado, con el fin de generar energía útil en preparación de alimentos o para la calefacción de estas viviendas, reduciendo los costos en el servicio de gas.

Para lograr dicho análisis, debe modificar en la parte del procedimiento de tratamiento, de aguas residuales, el tanque “Anaerobio”, remplazándolo por un *tanque biodigestor de campana fija*, el cual también es un tanque anaerobio cumpliendo el la misma función del tratamiento y donde es capaz de generar CH<sub>4</sub> (gas metano) también llamado Biogás, ya que de lo contrario, el tanque como está planteado en el proceso de tratamiento, no cumple las condiciones o variables tales como, el tiempo de retención, zona de almacenamiento del gas, entre otras, propicias para la generación de este gas.

### **9.2.3.1. Diseño de Biodigestor de Campana Fija**

#### **Consideraciones:**

Para calcular la producción del Biogás, con origen en los desechos humanos, para facilidad de cálculo se asumió un porcentaje de CH<sub>4</sub> (gas metano), 65% referente a la literatura y manuales (Olaya Arboleda & González, 2006)]; para la población a analizar, se supuso 8 personas, por la cuestión de la existencia de posible población flotante para que no sea saturado el sistema.

#### **Diseño.**

Las variables para poder diseñar bajo este método son las siguientes:

El diseño propio del Biodigestor, requiere de los siguientes pasos (Olaya Arboleda & González, 2006):

- Posible carga orgánica (biomasa).
- Cantidad de mezcla de agua (Ma).

- Determinación del tiempo de retención (Tr).
- Determinación de las dimensiones del biodigestor.
- Dimensionamiento del tanque de compensación (Vc) y almacenamiento del gas (Vg).

Partiendo que fuentes pueden proveer el estimado teórico de cuanto Biogás produce el estiércol humano el cual es de Biogás humano=  $m^3/kg$  0.020 - 0.028 (Miembros de la Mesa Biogás, 2019), y por consiguiente se procede a calcular La posible carga orgánica, la cual muestra la teoría (Olaya Arboleda & González, 2006), Mediante la siguiente tabla (ver Tabla 7):

**Tabla 7. Estimación de posible carga orgánica o biomasa**

Especie	Cantidad Q	Edad (años)	Peso Vivo promedio (Kg) PV	Pv total para cada calsificación Q x Pv	Estimado (2% PV)(Kg/día) $Ma=0,02 \times Q \times PV$
Humanos	8	20a35	65	520	10,4

Fuente: Autor, 2016.

Donde el supuesto es de 8 personas, en casos especiales que existan visitas de familiares, o gente que dure más de 8 días en la vivienda, personas adultas, se tiene como resultado el Total de estiércol diario = 10 kg/día (aproximando al entero más cercano).

- El paso a seguir es la “**Estimación de la cantidad de mezcla de agua (Ma)**: La cantidad de mezcla de agua es calculada a partir del sólido total (st). El total de estiércol es estimado como un 16% del total de estiércol diario y la mezcla de agua se estima con un 8% del sólido total. El sólido total está definido como la suma del total del estiércol diario y la cantidad de mezcla de agua.”; Con estas consideraciones se prosigue a calcular mediante la ecuación (ver Ecuación 5):

### **Ecuación 5. Estimación de la cantidad de mezcla de agua (OPS, 2004)**

$$\text{Estimación de la cantidad de mezcla de agua.} \quad 0,08 = \frac{0,16 * \text{totaldeestiercoldiario}}{\text{Totaldeestiercoldiario} + \text{Ma}}$$

Donde esta ecuación permite despejar el Valor de “Ma” gracias a la igualdad y de las condiciones planteadas, el valor de **Ma= 10,4**.

Remplazando el valor ya obtenido de **Ma** en la **Ecuación 5**, se obtiene una Mezcla de Agua = 0,010374065 kg/día.

Para la estimación de Biomasa diaria siguiendo *El Manual de referencia* (Olaya Arboleda & Gonzáles Salcedo, Fundamentos Para El Diseño De Biodigestores, 2009, pág. 21) (*ver Ecuación 6*).

**Ecuación 6. Estimación de la biomasa diaria: La biomasa diaria es calculada como el total de estiércol diario y mezcla de agua** (Olaya Arboleda & Gonzáles Salcedo, *FUNDAMENTOS PARA EL DISEÑO DE BIODIGESTORES*, 2009)

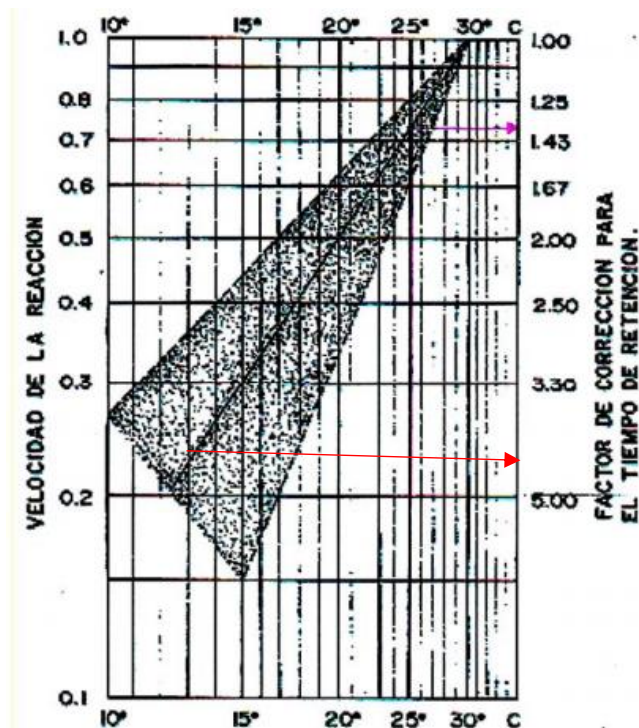
$$\text{Estimación de la Biomasa diaria.} \quad \text{Biomasa diaria} = \text{Total estiércol diario} + \text{Cantidad de mezcla de agua}$$

Biomasa Diaria= 21 kg/día o 0,013866667 m<sup>3</sup>/día (densidad de heces humanas = 1500 kg/m<sup>3</sup>).

- El paso a seguir es el “Dimensionamiento inicial del biodigestor, a partir del volumen de diseño para almacenamiento de la biomasa durante el tiempo de retención” (Olaya Arboleda & González Salcedo, 2006), donde es calculado

un tiempo de retención ( $T_r$ ) para hallar el volumen de diseño ( $V_d$ ), donde el tiempo de retorno se calcula a partir del tiempo de retención ideal, afectado por un factor de corrección de una figura (Citar figura), acorde a la temperatura promedio del sitio de estudio  $13,44\text{ }^\circ\text{C}$  y es tomado el tiempo ideal de retorno igual a 20 días como lo muestra el siguiente esquema (ver *Esquema 10*) :

**Esquema 10. Factor De Corrección Para El Tiempo De Retención (Olaya Arboleda & González Salcedo, 2006).**



**Fuente:** *Fundamentos de Diseño de Biodigestores* (Olaya Arboleda & González Salcedo, *FUNDAMENTOS PARA EL DISEÑO DE BIODIGESTORES*, 2009).

El Factor de Corrección con temperatura de 13,4 °C es 4,50 aproximadamente.

**Ecuación 7. Tiempo de Retención (Tr)** (Olaya Arboleda & Gonzáles Salcedo, *FUNDAMENTOS PARA EL DISEÑO DE BIODIGESTORES*, 2009)

**Tiempo de Retención (Tr)** (Olaya Arboleda & Gonzáles Salcedo, *FUNDAMENTOS PARA EL DISEÑO DE BIODIGESTORES*, 2009)

**Tiempo de Retención (Tr)**  $Tr = 20 * \text{factordecorreccion.}$

**Ecuación 8. Volumen necesario**  $\text{Volumenneecesario} = \text{biomasadiaria} * Tr$

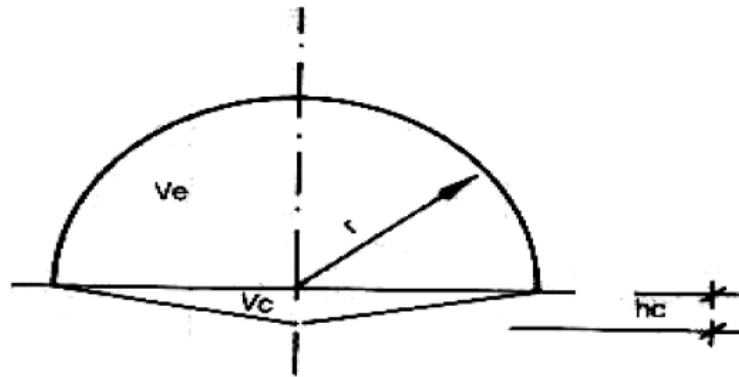
Obteniendo:

$$Tr = 90 \text{ dias}$$

$$Vd = 1,248 \text{ m}^3$$

- **Dimensionamiento del biodigestor:** El dimensionamiento del biodigestor comprende el cálculo del volumen de compensación (Vc), el volumen de la cúpula o campana (Ve) y el volumen de almacenamiento de gas (Vg) (ver *Esquema 11*).

**Esquema 11. Variables Involucradas En El Dimensionamiento De Un Biodigestor** (Olaya Arboleda & Gonzáles Salcedo, *FUNDAMENTOS PARA EL DISEÑO DE BIODIGESTORES*, 2009).



Fuente: Fundamentos de Diseño de Biodigestores (Olaya Arboleda & González Salcedo, FUNDAMENTOS PARA EL DISEÑO DE BIODIGESTORES, 2009)

$r$  = radio de la cúpula

$H_c$  = altura del volumen complementario

$V_e$  = Volumen de la campana

$V_c$  = Volumen de compensación

Se ha establecido una relación del volumen de la campana al volumen complementario de 10 a 1, así como un volumen total del biodigestor de un 4% adicional del volumen de diseño, al considerarse por razones de construcción (al construirse con mampostería o ladrillos) el espesor del repello que lo cubra internamente (también se recomendaría aislar la cara externa de las paredes del biodigestor, del contacto con el suelo, para evitar la corrosión, humedades y deterioro de la estructura). Lo anteriormente descrito, puede formularse como (ver *Ecuación 9*): (Olaya Arboleda & González Salcedo, 2006)

**Ecuación 9. Despeje para Hallar las Dimensiones de la Campana** (Olaya Arboleda & Gonzáles Salcedo, *FUNDAMENTOS PARA EL DISEÑO DE BIODIGESTORES*, 2009)

$$\frac{V_e}{V_c} = \frac{1}{10}$$

$$V_e + V_c = 1,04V_d$$

Se obtiene:

**Despeje para hallar el valor  $V_c$  Y respectivamente las otras incógnitas.**

$$11V_c = 1,04V_d$$

Del despeje de la igualdad anterior son hallados los valores para  $V_c$  y  $V_e$  respectivamente, como se muestra a continuación:

$$V_c = 0,11799273$$

$$V_e = 1,17992727$$

Para calcular el radio ( $r$ ) se denota por las siguientes ecuaciones (ver *Ecuación 10* y *Ecuación 11*):

**Ecuación 10. Radio** (Olaya Arboleda & Gonzáles Salcedo, *FUNDAMENTOS PARA EL DISEÑO DE BIODIGESTORES*, 2009).

**Ecuación 11. Altura del Volumen (Hc)** (Olaya Arboleda & Gonzáles Salcedo, *FUNDAMENTOS PARA EL DISEÑO DE BIODIGESTORES*, 2009)

**Radio.**

$$r = \sqrt[3]{\frac{3}{2 * \pi} * Ve}$$

**Altura del Volumen (Hc)**

$$Hc = \frac{r}{5}$$

Y como resultado de remplazar en ambas ecuaciones se obtiene:

$$r = 0,826 \text{ m}$$

$$Hc = 6,05$$

Se procede a calcular el volumen del gas Teniendo en cuenta la esquema 12 (ver *Esquema 12*), es remplazado en la siguiente ecuación (ver *Ecuación 12*):

**Ecuación 12. Volumen del gas (Vg)** (Olaya Arboleda & Gonzáles Salcedo, *FUNDAMENTOS PARA EL DISEÑO DE BIODIGESTORES*, 2009)

**Volumen del gas (Vg)** 
$$Vg = \frac{\pi h}{6} + [3a^2 + 3b^2 + h^2]$$

**Donde**

$$h = \frac{2r}{5} - \text{Bordelibre}$$

Borde libre = 0.12m, haciendo una relación con el radio (r).

Teniendo en cuenta el resultado relacionado al Borde libre, se prosigue a hallar los valores de a y b (ver Ecuación 13); respectivamente siguiendo la proporción de la (Esquema 11)

**Ecuación 13. Para a y b respectivamente** (Olaya Arboleda & Gonzáles Salcedo, *FUNDAMENTOS PARA EL DISEÑO DE BIODIGESTORES*, 2009)

**Para a y b** 
$$a = \frac{4r}{5}$$

$$b = \frac{r}{2}$$

Remplazando en las ecuaciones anteriores en función del radio, obteniendo los siguientes resultados:

$$a = 0,661m$$

$$b = 0,413m$$

Y los valores para h:

$$h = 0,213m$$

Y finalmente hayamos el volumen del gas (Vg):

$$Vg = 0,077m^3$$

Para la realización del diseño, se procede con los siguientes valores, para calcular la producción de biogás es necesario conocer el porcentaje de sólidos totales (%ST) y el porcentaje de sólidos volátiles del desecho (%SV) dados por la literatura en la siguiente tabla (ver Tabla 8).

**Tabla 8. Valores del porcentaje de sólidos totales y sólidos volátiles (Olaya Arboleda & Gonzáles Salcedo, FUNDAMENTOS PARA EL DISEÑO DE BIODIGESTORES, 2009).**

Material (residuos secos)	% Humedad (H)	% Sólidos totales (%ST)	% Nitrógeno (N)	% Carbono (C)	% Sólidos volátiles (%SV)	C/N
Gallinaza	65.0	35.0	6.3	94.5	65.0	15.0
Bovinaza	86.0	14.0	1.7	30.8	80.0	18.0
Porquinaza	87.0	13.0	3.8	76.0	85.0	20.0
Basura de mercado	1.0	99.0	3.0	54.7	77.0	18.0
Papel periódico	7.0	93.0	0.1	5.0	97.1	813.0
Desechos agrícolas	7.2	37.0	1.2	90.0	63.0	75.0
Humanaza	73.0	27.0	6.0	50.0	92.0	8.0
Orina	94.0	6.0	18.0	14.0	75.0	0.8

Fuente: Fundamentos de Diseño de Biodigestores (Olaya Arboleda & Gonzáles Salcedo, FUNDAMENTOS PARA EL DISEÑO DE BIODIGESTORES, 2009).

Donde se reemplaza los datos en la siguiente ecuación (ver Ecuación 14):

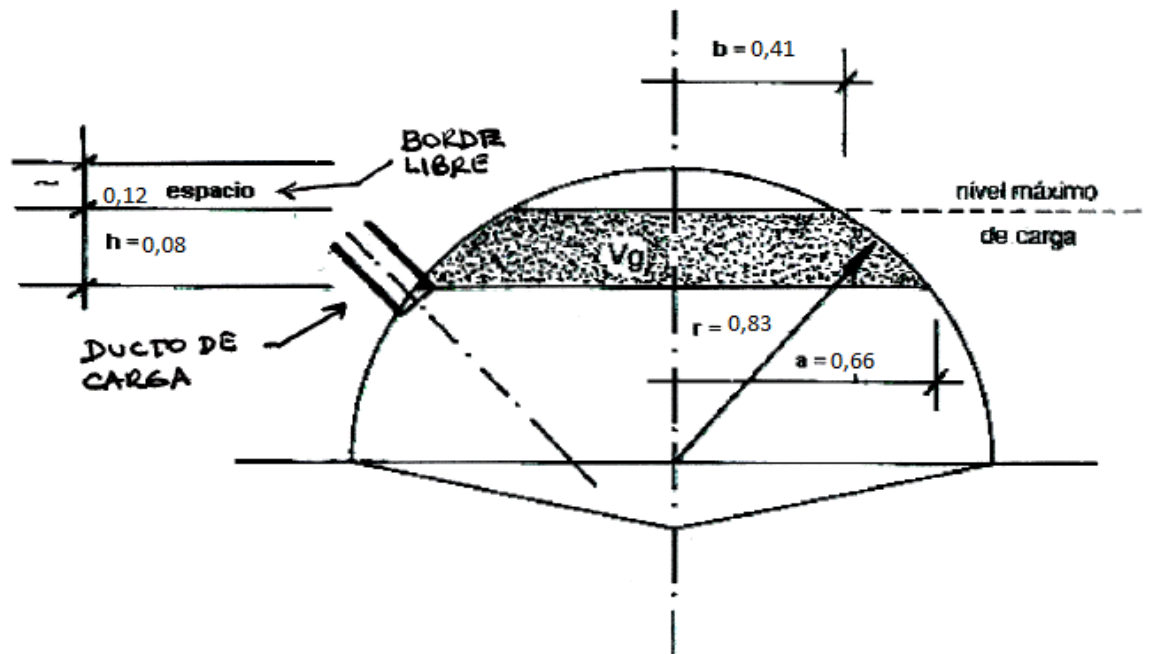
**Ecuación 14. Producción del biogás en Relación con Gas metano CH<sub>4</sub>** (Olaya Arboleda & Gonzáles Salcedo, FUNDAMENTOS PARA EL DISEÑO DE BIODIGESTORES, 2009)

$$\frac{\text{Producción del biogás en relación con gas metano CH}_4}{\text{Kg de secho}} = \frac{\text{Vol gas m}^3}{100} \cdot \frac{\%ST}{100} \cdot \frac{\%ST}{100} \cdot \text{m}^3 \text{ de biogas} \cdot \%CH_4$$

Y el para un CH<sub>4</sub> asumido equivalente a 65% se tiene:

$$\frac{\text{Volumen de gas m}^3 \text{ CH}_4}{\text{kg de desecho}} = 0,32292$$

**Esquema 12. Dimensionamiento Del Tanque Biodigestor De Campana Fija** (Olaya Arboleda & Gonzáles Salcedo, FUNDAMENTOS PARA EL DISEÑO DE BIODIGESTORES, 2009).



Fuente: **Fundamentos de Diseño de Biodigestores** (Olaya Arboleda & Gonzáles Salcedo, FUNDAMENTOS PARA EL DISEÑO DE BIODIGESTORES, 2009).

### **9.3. FASE II: ADECUACIÓN DEL PLANO DE VIVIENDA: SUGERENCIA Y VISTA PRELIMINAR DE LA UBICACIÓN DE LOS SISTEMAS SOSTENIBLES SELECCIONADOS PARA LAS NECESIDADES DEL PROYECTO.**

Los planos adecuados de plano de viviendas rurales, los cuales se modificaron agregando el paso anterior: la implementación de energías renovables de bajo costo y el método de captación de agua lluvia generando un diseño modelo, que se adapta a las necesidades constructivas o de ejecución del proyecto que lo requiera (ver Anexo b de este documento). Se pueden evidenciar, las localizaciones propuestas con respecto a la vivienda tipo de este proyecto, teniendo en cuenta, ocupar la menor cantidad de espacio requerido y brindando una facilidad de acceso y posibles

mantenimientos a los usuarios, que manipulen los sistemas propuestos, los cuales constan para cada caso en específico como muestra a continuación:

- **Sistema Generador de Energía Solar:** ubicación del *panel solar*.
- **Sistema de Captación de Agua Pluvial en Techos:** Ubicación de las canaletas y bajantes, que conducen *al tanque de almacenamiento subterráneo*.
- **Sistema Generador de Biogás:** la ubicación del *tanque biodigestor de campana fija*, el cual estará enterrado, teniendo en cuenta una distancia mínima respecto a la vivienda.

#### **9.4. FASE III: RECOLECCIÓN Y ANÁLISIS DE DATOS DE AHORRO ECONÓMICO EN LA IMPLEMENTACIÓN LOS SISTEMAS SOSTENIBLES**

Luego de la intervención del plano y con la recolección de información de las alternativas sostenibles empleadas para la reducción del costo en servicios públicos, se procedió a analizar el ahorro con la implementación de dichas alternativas a largo plazo:

##### **9.4.1. ANÁLISIS ECONÓMICO DEL SISTEMA GENERADOR DE ENERGÍA SOLAR: (ENERGÍA SOLAR)**

La siguiente tabla (*ver Tabla 9*), muestra la cotización, solicitada a la empresa “TESOCOL”, donde las variables mencionadas anteriormente “*ANÁLISIS FOTO VOLTAICO: VARIABLES A CONSIDERAR Y OBTENCIÓN DE DATOS PARA ABORDAR LAS NECESIDADES REQUERIDAS.*”; con el consumo promedio y el panel necesario para suplir las necesidades básicas de la vivienda rural:

**Tabla 9. Cotización Panel Solar para Vivienda Rural.**

DESCRIPCION	TIPO	CANT	PRECIO PARCIAL	PRECIO TOTAL
PANEL SOLAR FOTOVOLTAICO TRINA SOLAR	250W-24VDC POL	2	\$ 850.000	\$ 1.700.000
INVERSOR ONDA PURA	600W/24VDC	1	\$ 745.260	\$ 745.260
CONTROLADOR DE CARGA PWM VICTRON ENERGY	20A-12-24VDC	1	\$ 231.410	\$ 231.410
BATERÍA SELLADA TIPO GEL	250AH-12VDC	2	\$ 1.560.500	\$ 3.121.000
SOPORTERÍA PARA PANELES	GALVANIZADA	2	\$ 100.000	\$ 200.000
MATERIAL ELÉCTRICO, BREAKERS, CANALETA, CABLES	5 BOMBILLOS LED 7W	1	\$ 250.000	\$ 250.000
INSTALACIÓN Y PUESTA EN MARCHA		1	\$ 800.000	\$ 800.000
<b>ELECTRODOMÉSTICOS ( Consumo día).</b>				
1 NEVERA CLASE AAA 70W 24 HORAS AL DÍA.				
1 TV LED 32" 70W 5 HORAS AL DÍA.				
1 CELULARES, LICUADORA,				
5 BOMBILLOS LED 7W 5 HORAS AL DÍA				
GARANTÍA PANELES 10 AÑOS				
GARANTÍA BATERÍAS , INVERSOR Y REGULADOR 1 AÑO.				\$ -
<b>Subtotal</b>			\$	<b>7.047.670</b>
<b>IVA</b>			\$	<b>1.127.627</b>
<b>TOTAL</b>			\$	<b>8.175.297</b>

Fuente: TESOCOL, Palmira-Valle, 2016

En la tabla anterior, se puede apreciar cuánto es el costo de la implementación de dichos paneles, la empresa a su vez se encarga de la instalación de los mismos.

La Empresa de Energía de Boyacá S.A EBSA, no discrimina si la vivienda se encuentra en zona rural, por consiguiente, el análisis del consumo es el mismo si se encuentran en la ciudad, sin embargo, a los estratos 1,2 y 3, si el consumo energético es menor a 130 kW por mes, se ofrece un subsidio del 44%, al valor total, finalmente el precio por 1 kW es \$ 435.

En promedio según Empresas públicas de Medellín (EPM) en su página web, el “consumo de una persona al mes es de 38 kW/mes y para una familia de 4 personas sería equivalente a 152 kW/mes” (Empresas Públicas de Medellín, 2016), los

paneles solares que adoptamos producen 2250 W/día, y al mes sería 67,5 kW/mes, por lo cual la cantidad de energía a satisfacer por otras fuentes es de 84,5 kW/mes. Esta energía tendría un valor en pesos colombianos de \$36.757, no obstante, teniendo en cuenta el estrato social de estas viviendas es 3, aplicaría el subsidio de descuento del 44% restado al valor total, dando un valor de consumo mensual total de \$ 16.173. Estos resultados se presentan en la (ver *Tabla 10*)

**Tabla 10. Costo del consumo de energía de la vivienda rural:**

Caso 1			
Consumo vivienda rural			
Habitantes	Consumo	Valor	Costo
# personas	Kw/mes*persona	1kw= \$	Pesos \$
1	38	435	16530
4	152	435	264480
		<b>TOTAL</b>	<b>264480</b>

Fuente: Autor, 2016

La anterior tabla hace referencia al costo en el recibo mensual en el consumo, en este caso a pesar que la vivienda es estrato 3, no aplica el consumo para 4 personas ya que supera la condición del 130 kW/mes consumidos.

**Tabla 9: Costo del consumo de energía de la vivienda rural con implementación de paneles solares.**

Caso 2				
Consumo vivienda rural + panel solar				
Habitantes	Consumo	Valor	Panel solar	Costos
# personas	Kw/mes*persona	1kw=\$	kw/mes	Pesos \$
1	-29,5	435	67,5	-12832,5
4	84,5	435	67,5	36757,5
			<b>TOTAL</b>	<b>16173,3</b>

Fuente: Autor, 2016.

Dando como resultado de la vivienda con el panel solar tiene ahorro \$248.307 pesos equivalentes al 93,88%,

Para el caso de la vivienda rural con paneles solares, según la ficha técnica de este, puede generar 67,5 kW/mes, los cuales fueron restados al consumo en el recibo de energía, ya que es un sistema alterno al suministrado por la EBSA, debido que el consumo es menor 130 kW/mes, aplica el subsidio de 44% de descuento de acuerdo a la norma. Esto genera año un ahorro de \$2'979.680,4 con lo cual se recupera la inversión de los paneles a los 33 meses.

#### **9.4.1. ANÁLISIS ECONÓMICO DEL SISTEMA DE CAPTACIÓN DE AGUA PLUVIAL EN TECHOS**

Para el análisis de los costos es necesario conocer el sistema de cobro que tiene la empresa prestadora del servicio, en este caso: *Proactiva Tunja*; la información suministrada por la empresa "Proactiva S.A". El recibo de pago tiene unas condiciones, las cuales se cobran dos tarifas fijas de acueducto y alcantarillado, donde cada una tiene su método de cálculo, relativo a ciertas variables como:

- Estrato social.
- Cantidad de agua consumida en metros cúbicos (m<sup>3</sup>).

Como se muestra a continuación (ver *Tabla 11* **Tablas 11. Tarifas a Aplicar a partir del Periodo Enero 2016 Servicio Público de Acueducto.**):

**Tabla 11. Tarifas a Aplicar a partir del Periodo Enero 2016 Servicio Público de Acueducto.**

TARIFAS A APLICAR A PARTIR DEL PERIODO ENERO 2016 SERVICIO PÚBLICO DE ACUEDUCTO					
USO	ESTRATO	CARGO FIJO	CONSUMO BÁSICO m <sup>3</sup>	CONSUMO COMPLEM.	CONSUMO SUNTUARIO
RESIDENCIAL	1	\$5.836,91	\$829,21	\$1.658,42	\$1.658,42
RESIDENCIAL	2	\$8.431,10	\$1.127,73	\$1.658,42	\$1.658,42
RESIDENCIAL	3	\$11.025,28	\$1.459,41	\$1.658,42	\$1.658,42
RESIDENCIAL	4	\$12.970,92	\$1.658,42	\$1.658,42	\$1.658,42
RESIDENCIAL	5	\$23.347,66	\$3.151,00	\$3.151,00	\$3.151,00

Fuente: Proactiva, 2016

Donde el “consumo básico” hace referencia a un consumo de 0-17 m<sup>3</sup>; el “consumo complementario” de 18-40m<sup>3</sup> de consumo; y el “consumo suntuario”, mayor de 40m<sup>3</sup> (Proactiva, 2016).

Teniendo en cuenta el consumo promedio por usuarios del servicio es de 3-4 m<sup>3</sup>/persona (Proactiva, 2016) (ver *Tabla 12*).

**Tabla 12. Consumo promedio de una Familia Mensual acueducto**

Consumo de Una familia promedio mensual Acueducto			Total (\$)
Consumo/ persona (m <sup>3</sup> /persona)	# de personas	Tarifa por m <sup>3</sup> Pesos \$	
4	5	1657,42	33148,4

Fuente: Propia.

Donde el consumo total de la vivienda es de: 20 m<sup>3</sup>

Para el cálculo del consumo del sistema de alcantarillado para viviendas de estrato 3 se guía por la siguiente tabla (ver *Tabla 13*):

**Tabla 13. Tarifas Alcantarillado A Partir Del Periodo De Enero De 2016**

<b>TARIFAS ALCANTARILLADO A PARTIR DEL PERIODO DE ENERO DE 2016</b>				
USO / ESTRATO	CARGO FIJO \$	CONSUMO BÁSICO \$	CONSUMO COMPLEMENTARIO \$	CONSUMO SUNTUARIO \$
RESIDENCIAL 1	\$1.945,64	\$402,82	\$895,16	\$895,16
RESIDENCIAL 2	\$3.891,28	\$555,00	\$895,16	\$895,16
RESIDENCIAL 3	\$5.512,64	\$769,84	\$895,16	\$895,16
RESIDENCIAL 4	\$6.485,46	\$895,16	\$895,16	\$895,16
RESIDENCIAL 5	\$10.376,74	\$1.521,78	\$1.521,78	\$1.521,78

Fuente: Proactiva, 2016

Como se puede inferir, la tarifa de alcantarillado y el consumo, es la mitad de lo consumido en acueducto, por lo tanto, el valor total para el costo de alcantarillado es de \$16.574,2.

Las siguientes tablas (ver *Tabla 14* y *Tabla 15*) de subsidios para viviendas de los estratos 1,2 y 3, para cada uno de los casos (acueducto y alcantarillado):

**Tabla 14. Subsidios en Acueductos**

<b>PORCENTAJE DE SUBSIDIOS Y CONTRIBUCIONES ACUEDUCTO</b>				
USO / ESTRATO	CARGO FIJO ACUEDUCTO	CONSUMO BÁSICO	CONSUMO COMPLEMENTARIO	CONSUMO SUNTUARIO
RESIDENCIAL 1	-55%	-50%	0%	0%
RESIDENCIAL 2	-35%	-32%	0%	0%
RESIDENCIAL 3	-15%	-12%	0%	0%

Fuente: Proactiva, 2016

**Tabla 15. Subsidios en Alcantarillado.**

PORCENTAJE DE SUBSIDIOS				
USO / ESTRATO	CARGO FIJO ACUEDUCTO	CONSUMO BÁSICO	CONSUMO COMPLEMENTARIO	CONSUMO SUNTUARIO
RESIDENCIAL 1	-55%	-50%	0%	0%
RESIDENCIAL 2	-35%	-32%	0%	0%
RESIDENCIAL 3	-15%	-12%	0%	0%

Fuente: Proactiva, 2016

Con las *Tabla 14* y *Tabla 15*, se procede a calcular el costo en la siguiente tabla (*ver Tabla 16*):

**Tabla 16. Costo Total.**

COSTO TOTAL				
Valor (\$)		Subsidio		
Fijo	Consumo en \$	Fijo %	basico %	
11025,28	\$24.080,27	0,15	0	
5512,64	12040,1325	0,15	0,14	

Fuente: Autor, 2016

Ya que el consumo del Acueducto es de 20m<sup>3</sup> y supera la tarifa “Consumo Básico”, no aplica el subsidio de -15%, dando como resultado un costo total mensual igual a: \$53.187,65

Repitiendo, el paso a paso pero con el sistema de captación de agua lluvia, teniendo en cuenta las lo ahorrado, por el sistema se tiene que (*ver Tabla 17*):

**Tabla 17. Consumo Promedio Con sistema de captación en el Acueducto**

Consumo de Una familia promedio con sistema de captación mensual Acueducto				
Consumo/ persona (m3/persona)	# de personas	Sistema de captación (m3)	Tarifa por m3 Pesos \$	Total (\$)
4	5	3,5	1459,41	24080,265

Fuente: Autor, 2016.

La tarifa por m<sup>3</sup> del sistema redujo gracias a que el aporte de captación de agua lluvia, disminuye el consumo mensual de 20 m<sup>3</sup>/mes a 16,5 m<sup>3</sup>/mes, por ende, está dentro del rango del consumo básico 0-17m<sup>3</sup>/mes como se puede apreciar en la Tabla 13.

Y para el valor del costo total, teniendo en cuenta aplica el descuento de consumo mínimo por el aporte al sistema que genera el sistema de captación de agua lluvia, se calcula como (ver Tabla 18):

**Tabla 18. Costo total con sistema de captación de agua lluvia.**

COSTO TOTAL			
Valor (\$)		Subsidio	
Fijo	Consumo en \$	Fijo %	basico %
11025,28	\$24.080,27	0,15	0,12
5512,64	12040,1325	0,15	0,14

Fuente: Autor, 2016.

El costo total del sistema es de: \$45.602,38 consiguiendo un ahorro del 14,26%, al ahorro del consumo mensual equivalente a \$7585 pesos.

El Sistema de Captación de Agua lluvia por tejado, aunque genere una reducción del 14% en el costo del servicio, es de vital importancia que las viviendas tengan un sistema de captación como este, gracias que el sistema ocupa poco espacio, su mantenimiento y limpieza son muy simples, además de sus costos constructivos supuestos, no superan los \$4'200.000 pesos; Ya que empresa de agua en Tunja, Proactiva, normalmente no presta el servicio de Acueducto, fuera del perímetro urbano, es de vital importancia utilizar este método como sistema complementario, al sistema de abastecimiento de agua que tengan este tipo de viviendas.

#### 9.4.2. ANÁLISIS ECONÓMICO DEL SISTEMA GENERADOR DE BIOGÁS

El consumo de una estufa de gas en metros cúbicos (m<sup>3</sup>), es dado por la siguiente ecuación (ver Ecuación 15):

##### **Ecuación 15. Consumo de una Estufa de gas (HACEB, 2016)**

**Consumo de una estufa de gas.**

$$V = \frac{P * t}{P_{ci}}$$

Para efectos de cálculo, se utilizó la estufa de referencia ESTUFA 50 V EEGRT GN PL\* marca HACEB. Esta estufa posee 4 quemadores (uno de 1.15 kW y 1.65 kW), asumiendo un tiempo de trabajo de **2 horas** al día con máxima capacidad y con un  $P_{ci} = 9.275 \text{ kWh/m}^3$  se tiene un volumen consumido de 0,54 m<sup>3</sup>/día, lo cual es equivalente a 17,95 m<sup>3</sup>/mes. El costo de este volumen de gas se determinó asumiendo los valores aportados por la Empresa de Gas Natural Cundiboyacense para el último mes, el cual equivale a \$ 1.418 pesos por m<sup>3</sup> o **\$ 25.455 pesos mensuales.**

El biogás generado por el tratamiento de las heces humanas en el tanque biodigestor de campana fija puede generar 3,35 m<sup>3</sup>/d para 8 personas. Pero para el caso de este cálculo se estima una producción de 1,6 m<sup>3</sup>/d o 48 m<sup>3</sup>/mes de gas, lo cual equivale a la producción para 4 personas. El biogás producido es apto para ser utilizado cubriendo las necesidades básicas en el hogar, tales como preparación de alimentos, además de ser re utilizado para otros usos como calefacción.

El biodigestor de campana fija, puede generar 48 m<sup>3</sup>/mes, lo cual es capaz de suplir completamente la demanda de la requerida para la vivienda rural asumida en el estudio y destinar el sobrante a otros usos. Esto produce un ahorro anual de **\$275.659 pesos al año** y un ahorro a **5 años de \$1'527.312 pesos** aproximadamente.

## **9.5. FASE IV: ANÁLISIS POR EL MÉTODO COSTO-BENEFICIO DE IMPACTO AMBIENTAL PARA DEMOSTRAR LOS BENEFICIOS DE LOS SISTEMAS PROPUESTOS**

Busca evaluar y comparar la inversión en la obra de las alternativas sostenibles para mitigar impacto ambiental y la reducción de costos en la vivienda:

### **8.4.1. Análisis Costo beneficio**

Para el análisis de impacto ambiental, los sistemas propuestos en tales como: *sistema generador de energía solar, sistema de captación de agua lluvia y sistema generador de biogás con los sistemas*, en relación con los sistemas tradicionales que son usados normalmente en las viviendas rurales para suplir las necesidades básicas del hogar tales como, luz, energía, gas y agua, se aplicó un método subjetivo para valorar la cantidad de impacto, adaptando la metodología utilizada en la matriz de Leopold. En esta metodología para medir la magnitud del impacto según lo expresado en la teoría entendiéndose como magnitud a:

“Magnitud: valoración del impacto o de la alteración potencial a ser provocada; grado, extensión o escala (...) hace referencia a la intensidad, a la dimensión del impacto en sí mismo y se califica del 1 a 10 de menor a mayor” (García Leyton, Aplicación del Análisis Multicriterio en la Evaluación de Impactos Ambientales, 2004)

De igual manera se recomienda, para un análisis más específico a las necesidades del proyecto que se quiera implementar, es necesario cuantificar el daño o impacto ambiental mediante un método de Evaluación de Impacto ambiental, que se adapte mejor a los requerimientos del proyecto.

Los siguientes sistemas a evaluar, la cuantificación del daño, se hizo de manera subjetiva teniendo en cuenta la siguiente escala que va de 1 a 10 propuesta para este ejercicio, de menor a mayor, la información suministrada en las siguientes tablas donde se evaluó el impacto ambiental, fue proporcionada por la evaluación subjetiva de *Oscar García PHD en hidrología ambiental e ingeniería hidráulica*.

### 9.5.1. ANÁLISIS DEL IMPACTO GENERADO POR LA IMPLEMENTACIÓN DE LOS SISTEMAS, QUE SUMINISTRAN EL SERVICIO PÚBLICO A EVALUAR EN LAS VIVIENDAS RURALES.

Los valores se promediarán por cada una de las variables analizadas, habiendo concluido así, la existencia o gravedad del impacto mediante la metodología propuesta para este análisis:

#### 1. Gas

**Tabla 19. Evaluación de la Magnitud del Daño Mediante el Método Propuesto para Gas.**

Gas:	Puntaje:
<b>Gas Natural Cundiboyacense:</b>	
Limpieza de la obra	3
Excavaciones	5
Rellenos	4
Maquinaria	4
Total:	16
Promedio:	4
<b>Implementación de cilindros de Gas Propano</b>	
Transporte	6
Explotación de Recurso	4
Total:	10
Promedio:	5
<b>Tanque Biodigestor de Campana fija</b>	
Excavación	3
Transporte	3
Limpieza de la Zona de la Obra	4
Maquinaria	4
Total:	14
Promedio:	3,5

Fuente: Oscar García PhD en hidrología ambiental e ingeniería hidráulica.

Los anteriores resultados mostrados en la tabla, están por debajo de un daño irreparable, sin embargo, sistemas que mayor puntuación tienen, son el tanque biodigestor de campana fija y la utilización de los cilindros de gas propano.

No obstante, todos los sistemas tienen que hacer una inversión monetaria para reducir el impacto ambiental que ha hecho el sistema, excepto el biodigestor de campana fija, puesto a que es un elemento necesario para el tratamiento de las aguas grises y negras de la vivienda, gracias al no existir un sistema de alcantarillado, este tratamiento es necesario para el funcionamiento de la vivienda, y debido a que reutiliza los un desecho líquidos, generando así el biogás, el cual puede suplir la necesidad, de cocina, de esta manera mitiga el daño ambiental, causado por los desechos líquidos de los hogares, y no tener que instalar, o invertir a largo plazo en los otros sistemas, que a pesar que su impacto es menor, a largo plazo, va a ser mucho más grande.

- **Posibilidades de rehabilitación compensatoria.**

La implementación del re uso de desechos para así crear biogás, es la mejor opción a largo plazo y para reducir el impacto a corto plazo, ya que en este proyecto, contempla la adaptación de una parte del sistema destinado al tratamiento de agua aguas negras y grises, para que así cumpliendo la misma función el tanque biodigestor de campana fija, que tenía principalmente el tanque anaerobio, tenga el tanque adaptado (biodigestor de campana fija) la capacidad adicional de generar el biogás, destinado a suplir la necesidad del consumo del recurso publico relativo al gas. Es necesario hacer un inventario del posible daño ambiental que se hace a la construcción e instaurar soluciones para cada caso en particular, ya que las características que se desee adaptar este proyecto, seguramente vayan a variar, causando así la adaptación algunas características para las necesidades del nuevo proyecto a ejecutar.

## 2. Luz/Energía:

**Tabla 20. Evaluación de la Magnitud del Daño Mediante el Método Propuesto para Luz/Energía.**

Luz/Energía :	Puntaje
<b>Instalación de la red eléctrica de la empresa EBSA</b>	
Transporte	3
Construcción del Sistema	3
Excavación	2
Maquinaria	3
Limpieza de la zona	3
Total:	14
Promedio:	2,8
<b>Sistema Generador de Energía Solar:</b>	
Transporte	2
Instalación del sistema	2
Total:	4
Promedio:	2

Fuente: *Oscar García-Cabrejo PHD en hidrología ambiental e ingeniería hidráulica.*

Todos los anteriores sistemas están por debajo de un daño irreparable, los sin embargo el sistema de mayor puntuación es la instalación de la red eléctrica de la empresa EBSA.

Hay que hacer una inversión monetaria para mitigar, o contribuir a la reparación del posible impacto ambiental causado, pero para el sistema de generador de energía solar, hace un aporte al daño puesto que el sistema emplea como materia prima un recurso renovable, la energía solar, y gracias a esto hace una contribución ahorrando consumo a las hidroeléctricas del país, causando un gran beneficio ambiental específicamente, en temporadas de sequía, donde la producción de energía de las hidroeléctricas disminuye.

- **Posibilidades de rehabilitación compensatoria:**

Para evitar el daño causado por el consumo del recurso público luz/Energía, es recomendable aplicar medidas de ahorro, como la implementación de bombillos ahorradores, desconectar los aparatos eléctricos que estén conectados cuando no se está haciendo un uso de los mismos y solo utilizar las luces o iluminación del hogar de noche hasta las 11 pm, y solo ser encendidas cuando sea obligatoriamente necesario.

Aplicar las medidas establecidas por el Decreto Único Reglamentario del Sector Administrativo de Minas y Energía, 1073 de 2015, ya que es una medida aplicada por el gobierno para incentivar la reducción del consumo del recurso público.

### 3. Agua.

**Tabla 21. Evaluación de la Magnitud del Daño Mediante el Método Propuesto para el Agua.**

Agua	Puntaje:
Extracción en pozos subterráneos	
Excavación	3
Obra de Captación	3
Total:	6
Promedio:	3
Extracción de Cuerpos de agua (Rios, lagos)	
Transporte	4
Sistema de extracción	3
Maquinaria	5
Total:	12
Promedio:	4
Sistema de captación de agua lluvia	
Transporte	3
Obra de extracción	2
Excavación:	2
Maquinaria	3
Total:	10
Promedio:	2,5

Fuente: Oscar García PHD en hidrología ambiental e ingeniería hidráulica.

Todos los sistemas anteriores están por debajo de un daño irreparable, los sin embargo el sistema con mayor impacto es el sistema de captación de agua lluvia. La extracción del recurso hídrico para cada uno de los sistemas, no representa un mayor impacto ambiental, puesto a que la extracción de este recurso, si no es en cantidades industriales, no es muy relevante para el ecosistema. No obstante, el sistema de captación de agua lluvia, funciona sistema suplementario y sobre todo para épocas de sequía. En estas épocas es donde se incrementa la extracción de los cuerpos de agua por lo cual, impacto debido a la reducción de sus caudales,

provocando escasez en el recurso y en muchos casos no puede suplir las necesidades de los habitantes.

Posibilidades de Rehabilitación de Impacto:

- Hacer uso eficiente del recurso.
- Evitar la tala de árboles (en qué lugar así sea obvio).
- Proteger y restaurar la flora y fauna de la zona.
- Emplear sistemas auxiliares, como los sistemas de captación de agua lluvia.

#### **9.6. FASE V: SOLUCIÓN TÉCNICA, FINANCIERA Y AMBIENTAL.**

Finalmente, con los resultados recogidos en cada uno de los pasos anteriores como producto último, se tienen los planos modificados de diseño de viviendas, donde en manera de Esquema, se podrá evidenciar un modelo sugerido de los sistemas implementados propuesto en los pasos anteriores:

Los sistemas propuestos adaptados a los planos de las viviendas, habiendo dejado evidencia de la mejor instalación considerada subjetivamente por el autor, para este caso en particular: ***Ver Anexo b: PROYECTO CONSTRUCCIÓN DE VIVIENDA NUEVA/ Techos dignos (cortes); PROYECTO CONSTRUCCIÓN DE VIVIENDA NUEVA/ Techos dignos (fachadas); y PROYECTO CONSTRUCCIÓN DE VIVIENDA NUEVA/ Techos dignos (Planta con Modificaciones)***; donde se puede evidenciar las pequeñas modificaciones tales como, la instalación del panel solar en la cubierta de la vivienda, el nuevo tanque que suplanta el tanque anaerobio el tanque biodigestor de campana fija y la instalación de canaletas, bajantes que captan el agua resultante de la precipitación pluvial (agua lluvia), a el tanque de almacenamiento subterráneo.

Aunque las mejoras o adaptaciones de estos sistemas, no son significativos a la estructura de la construcción, es recomendable hablar con el encargado del cálculo estructural y el arquitecto del proyecto.

La información proporcionada en los anteriores *pasos: 3 y 4 de la metodología*, como la mejor opción propuesta para ahorro, en el consumo de los servicios como se muestra continuación:

En el *“tercer Paso: Recolección y Estudio de Datos de Ahorro en la implementación del sistema”* y *“Cuarto Paso: Análisis por el método Costo-Beneficio de evaluación de impacto ambiental”* haciendo el comparativo de los costos de cada uno de los sistemas implementados, enfrentado con el consumo promedio para una vivienda rural y el consumo de las viviendas rurales con la implementación de los sistemas propuestos, tales como: *el sistema generador de energía solar, el sistema captador de agua lluvia y el sistema generador de biogás.*

El producto ultimo de cada uno de los sistemas mencionados anteriormente en el paso 3 muestra las características y los aportes que hacen cada uno de los sistemas, referente a los servicios públicos, como se evidencia a continuación:

#### **9.5.1. Sistema Foto Voltaico (Energía Solar).**

El sistema fotovoltaico (panel) o generadora de energía solar es capaz de generar un ahorro como se evidencia en las tablas: 8 y 9, donde se muestra el valor del costo de la energía consumida en el mes para una familia de 4 personas, teniendo un ahorro mensual de \$ 248.306,70 pesos.

- ***Como solución ambiental*** este sistema permite un beneficio ambiental, reduciendo el impacto, sin tener que hacer una inversión monetaria, adicional a lo invertido al sistema, gracias a que su fuente de generación de energía, es un recurso demasiado abundante y en teoría inagotable, que es la Energía Solar, y ya que no tiene que hacerse excavaciones para su instalación, o la necesidad de una obra para su instalación, el impacto ambiental es muy poco, a pesar que el sistema de generación de energía, debe ser un sistema auxiliar, su beneficio económico y ambiental es sumamente considerable, teniendo las temporadas de verano que pueden afectar las cuentas, o demás cuerpos de agua, necesarios para la producción de energía, en el país, esta

alternativa mitiga y aporta una solución de peso para posibles razonamientos energéticos que pueden existir en estas temporadas.

### **9.6.2. Sistema de Captación de Agua Pluvial en Techos.**

El sistema de captación de agua pluvial en techos, tiene una capacidad de generar un ahorro mensual de \$7.585 pesos, como muestran las tablas 15 y 17 en “Análisis de Sistema Captación de Agua Pluvial en Techos”.

El sistema a pesar que brinde un ahorro pequeño frente a los sistemas estudiados, los métodos de captación dependen mucho del área de captación, así que para un sistema de captación que ocupe un espacio reducido no es óptimo para suplir las necesidades básicas de las personas, en cuanto a consumo, como aseo, mantenimiento, del hogar y las personas.

- ***Como solución ambiental se recomienda***, en el caso de la vivienda rural que tenga bastante espacio para construir, usar un sistema que tenga un haría de captación mucho más grande que la usada para este modelo; también se recomienda aplicar un sistema de tratamiento de aguas grises para poder ser re usadas posteriormente y así reducir costos considerables y ambientales.

### **9.6.3. Sistema Generador de Biogás.**

El sistema Generador de Biogás, en el tanque Biodigestor de Chapana Fija, es capaz de generar un ahorro mensual de \$25.445 pesos como se puede ver en la sección 8. *Metodología, tercer paso: Análisis del Sistema Generador de Biogás*, supliendo la necesidad de consumo que genera la estufa de gas, y sí es requerido puede el gas remanente puede complementar otros sistemas, que consuman gas, ya sean calentadores de agua, o para la calefacción del hogar.

- ***Como solución ambiental se recomienda***, el tanque biodigestor, ya que es parte necesaria para el tratamiento de aguas negras y grises de la vivienda, puesto a que en las viviendas en las zonas rurales normalmente, no poseen

sistema de alcantarillado, es requerimiento contar con el sistema de tratamiento de agua, el tanque anaerobio adaptado a el tanque Biodigestor de campana fija, puede suplir la necesidad de tratamiento y adicionalmente generar el biogás, así que es la mejor alternativa para aprovechar los residuos sólidos provenientes de la vivienda, para suplir la necesidad de gas requerida para labores del hogar, y bienestar de los habitantes.

De acuerdo con lo presentado a lo largo del proyecto y explicado pasó a paso en la sección de la Metodología, las alternativas sostenibles propuestas amigables con el medioambiente, que generan un ahorro optimizando el uso de los servicios públicos tales como: La luz/energía, Agua y Gas; son los sistemas de generación de energía solar, captación de agua pluvial y generación de biogás, los cuales aprovechan los recursos naturales renovables (Radiación Solar), residuos reciclados (Agua lluvia y desechos sólidos), logrando así optimizar los costos en el consumo de servicios públicos, los cuales fueron evaluados en cada caso en particular.

## **10. ANÁLISIS DE RESULTADOS.**

A partir del desarrollo de esta investigación es posible constatar que los diferentes proyectos relacionados con construcción sostenible, los cuales se enfocan en sistemas que generan un impacto ambiental y económico reducido. A ello se suma la intención de que el funcionamiento y mantenimiento no sea complicado para los usuarios que manipulen los siguientes sistemas auxiliares (MinVivienda ley sistema auxiliar), aplicados en este caso, teniendo en cuenta a las viviendas del sector rural, los cuales son:

- Sistema de Generación de energía eléctrica por medio de la Energía Solar (Paneles Solares),
- Sistema de Captación de Agua Pluvial en Techos y
- Sistema Generador de Biogás.

Cada una de estos sistemas utiliza elementos renovables y reciclables de la naturaleza, tales Como *La Radiación Solar, Las Aguas Resultantes De La Precipitación Pluvial Y La Descomposición De Materia Orgánica*, proveniente de los baños (heces fecales) (ver 9. **METODOLOGÍA**) para suplir las necesidades básicas de un hogar, como lo son, luz/Energía, Agua y gas. Cumple con la función esperada de reducir costos en los servicios públicos como demuestra cada sistema en particular:

#### **10.6. PANEL SOLAR.**

El sistema sostenible que fue elegido para suplir la necesidad de reducción en el consumo del servicio público relacionado con la luz y energía, utilizando como recurso renovable la captación de radiación solar, por medio de *paneles solares*, para facilidad del cálculo correspondiente para este proyecto, se pidió una cotización a la empresa colombiana “TESOCOL”, para las necesidades energéticas básicas del proyecto, como se puede observar en la metodología, ver “*ANÁLISIS FOTO VOLTAICO: VARIABLES A CONSIDERAR Y OBTENCIÓN DE DATOS PARA ABORDAR LAS NECESIDADES REQUERIDAS.*”, el sistema ofrecido suple las necesidades básicas del hogar.

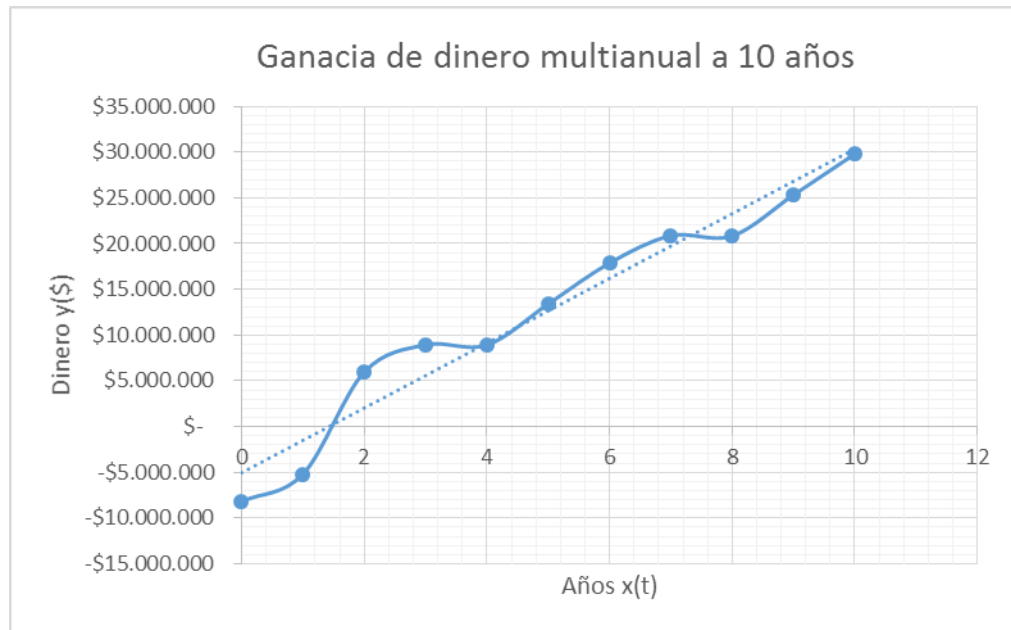
La siguiente tabla (ver **Tabla 22**) evidencia el costo en pesos, promedio mensual de los usuarios de una vivienda rural con el sistema auxiliar de paneles solares y el sistema eléctrico tradicional.

**Tabla 22. Resultados De Los Gastos Y Ganancias De Los Multianuales  
Supuestos Del Sistema**

Resultados De Los Gastos Y Ganancias De Los Multianuales Del Sistema						
año	gastos	gasto acom	ahorro (año)	ahorro acom	ganacias	ganacias acom y gastos acom
0	-\$ 8.175.297	\$ -	\$ -	\$ -	-\$ 8.175.297	-\$ 8.175.297
1	\$ -	-\$ 8.175.297	\$ 2.979.680	\$ 2.979.680	\$ 2.979.680	-\$ 5.195.617
2	\$ -	\$ -	\$ 5.959.361	\$ 8.939.041	\$ 5.959.361	\$ 5.959.361
3	\$ -	\$ -	\$ 8.939.041	\$ 14.898.402	\$ 8.939.041	\$ 8.939.041
4	-\$ 1.500.000	-\$ 1.500.000	\$ 11.918.722	\$ 20.857.763	\$ 10.418.722	\$ 8.918.722
5	\$ -	-\$ 1.500.000	\$ 14.898.402	\$ 26.817.124	\$ 14.898.402	\$ 13.398.402
6	\$ -	\$ -	\$ 17.878.082	\$ 32.776.484	\$ 17.878.082	\$ 17.878.082
7	\$ -	\$ -	\$ 20.857.763	\$ 38.735.845	\$ 20.857.763	\$ 20.857.763
8	-\$ 1.500.000	-\$ 1.500.000	\$ 23.837.443	\$ 44.695.206	\$ 22.337.443	\$ 20.837.443
9	\$ -	-\$ 1.500.000	\$ 26.817.124	\$ 50.654.567	\$ 26.817.124	\$ 25.317.124
10	\$ -	\$ -	\$ 29.796.804	\$ 56.613.928	\$ 29.796.804	\$ 29.796.804

*Fuente: Autor, 2017*

**Gráfica 5. Ganancia Del Sistema Fotovoltaico Multianual Acumulada.**

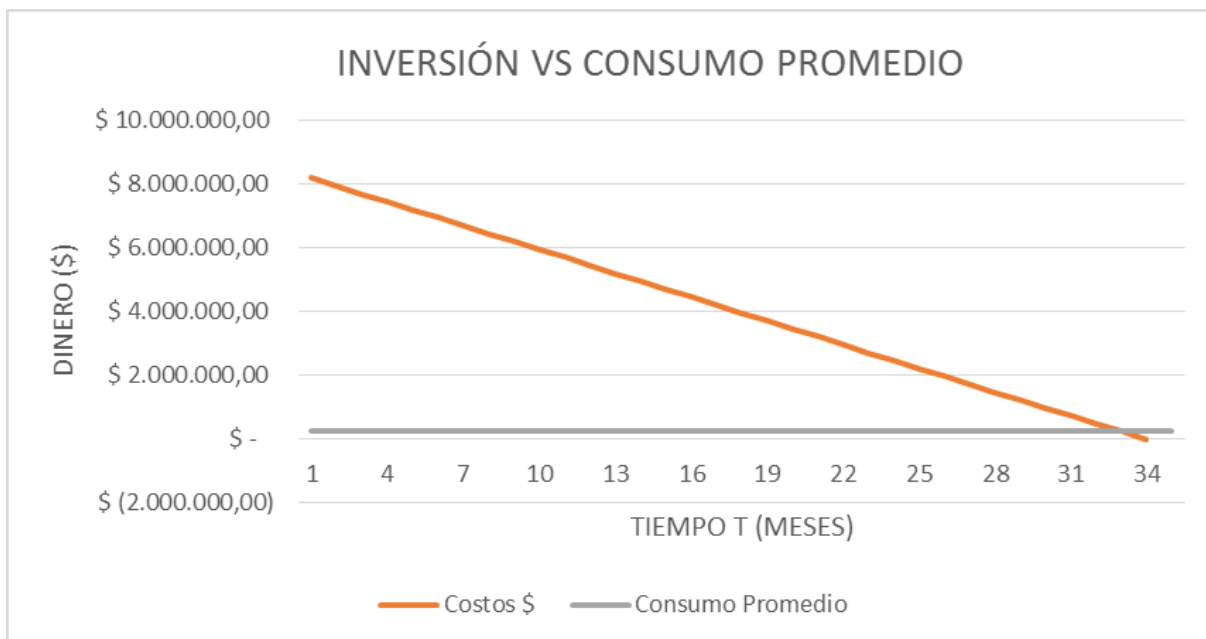


*Fuente: Autor, 2016*

De la anterior Gráfica (ver **Gráfica 5**) tiene una tendencia promedio lineal de crecimiento positiva, se puede deducir que el *sistema de paneles solares*, genera un ahorro anual de **\$2.979.680** pesos donde es posible deducir que el sistema genera ganancias debido a que, el valor del año “0” donde se hizo la inversión inicial mayor a 8 millones de pesos y adicionalmente de los mantenimientos supuestos en el mes 4 y un mantenimiento significativo supuesto como a un daño físico del panel en el mes 8, como se señala en la *Tabla 22* en la columna de “gastos”, el sistema aún es rentable; reduciendo así el consumo promedio equivalente a una familia de 4 personas de **152 kW/mes a 84,5 kW/mes**. Ya que el costo mensual promedio para una *vivienda rural de 4 personas* es de **\$264.480** (equivalente a 152 kW/mes), y el costo de la misma *vivienda rural con los Paneles solares*, posee un costo mensual promedio **\$16.173,3 pesos**, esto gracias a que el sistema de paneles solares tiene una capacidad de generar 67,4 kW/mes de energía, reduciendo el consumo a 84,5 kW/mes y aplicando los descuentos por los subsidios que aporta el gobierno colombiano, explicados anteriormente, en la metodología.

En relación con la inversión del sistema, la gráfica que se verá a continuación **Gráfica 6**, hace referencia a la inversión que se hace, añadiendo el sistema de *paneles solares*, en relación del consumo promedio mensual de los usuarios:

**Gráfica 6. Inversión Vs Consumo Promedio En Sistema Foto Voltaico.**



Fuente: Autor, 2016.

Con respecto a la gráfica anterior, la gráfica degastos (color rojo) muestra un aumento en el dinero invertido en el sistema en el mes 1, gracias a los beneficios que brinda la implementación de *paneles solares*, habiendo generado así una reducción en el consumo del servicio público (luz/energía), debido a que los gastos graficados (color rojo) que muestra una inclinación hasta unir con la gráfica del consumo promedio (color gris) y llegando valores de 0 a números negativos; la inversión suministrada por la cotización de la empresa “TESOCOL”, equivalente a \$ 8.175.297 pesos, obteniendo causando que dos gráficas mencionadas anteriormente, lleguen a un punto de equilibrio, como lo expresa la teoría: “El **Punto de Equilibrio** es aquel punto de actividad en el cual los ingresos totales son exactamente equivalentes a los costos totales asociados con la venta o creación de un producto. Es decir, es aquel punto de actividad en el cual no existe utilidad, ni pérdida” (Salazar López , 2016), en el punto la línea que representa el gastos en pesos (Color rojo), al punto cero, significa que la inversión del sistema ya fue, soportada, generando así, en un periodo de tiempo relativamente corto; no obstante,

la línea de ahorro (Color rojo) y la línea de consumo promedio (color gris), chocan en 33 meses, a partir de este punto el sistema, empieza a generar ganancias, cumpliendo de manera óptima el objetivo esperado.

El impacto ambiental generado por el sistema es benéfico, gracias a que el sistema utiliza como fuente para generar energía, la radiación solar considerada un recurso infinito o renovable, el uso de la misma representa una reducción a la contaminación atmosférica y al aire, ya que reduce el consumo de combustibles fósiles, puesto que en Colombia, se utiliza varias fuentes de energía para suplir el consumo de las personas tales como “67.4% corresponde a generación hidráulica, 20.4% térmica con gas natural; 7.3% generación térmica con carbón, y el restante 5.0% lo constituían plantas de cogeneración, fuel oil y eólicas.” (Ministerio de Minas y Energía & UPME - Unidad de Planeación Minero Energética, 2010, pág. 47), ya que las fuentes térmicas, fuel oil, generan gases de invernadero, causando una fuerte contaminación ambiental.

El impacto ambiental asociado a este sistema es reducido, ya que el panel solar es capaz de reducir el costo requerido para la instalación y uso del mismo, no exige grandes áreas de terreno, posibles excavaciones, o grandes estructuras que lo soporte, ya que la mejor opción respecto a la ubicación del panel es en techos o cubiertas capaces de resistir su peso de 50 kg.

Como expresa el artículo titulado “*Proyecto De Implementación De Paneles Solares En Haciendas Alejadas De La Fuente De Energía Convencional*” donde el autor hace énfasis en el beneficio ambiental y económico, explicado en la siguiente cita:

El análisis costo/beneficio de aplicar estos sistemas energéticos (Paneles Solares) en zonas rurales y mejoramiento de calidad de vida de los habitantes, es en el fondo la meta principal por la cual se desarrollan este tipo de proyectos, con lo cual se estaría cubriendo una gran demanda energética por parte de un sector de la población con dificultades de conexión convencional a la red nacional

de electricidad, y lo mejor del caso es que se lo realizaría de una manera limpia y con menores costos de producción. (Constantino, 2009)

El beneficio respecto al sistema en épocas donde pasan largas temporadas de verano, donde la precipitación de la zona es baja, como lo son los años que presentan fenómeno de el Niño o la Niña, en el ENSO, suple energía para posibles racionamientos de energéticos, sin afectar la calidad de vida de los habitantes de las viviendas rurales, ya que el panel genera energía, mediante la radiación solar (directa), que puede ser recibida, con mayor facilidad gracias a la ausencia de nubes, o cielos despejados.

El sistema posee unas limitaciones las cual se deben tener en cuenta como:

- Debe ser utilizado como un sistema auxiliar, es decir el sistema a un sistema principal como la red de energía publica suministre el recurso a la zona del país que se esté trabajando
- Según las recomendaciones que proporcionan los fabricantes los paneles tiene una garantía de 20 años.
- Las baterías tienen una vida útil de 5 años y tienen que hacerse mantenimientos cada año.

La **Tabla 22** muestra el resumen el consumo en pesos promedio anual de los usuarios del servicio público con el sistema tradicional y el sistema tradicional más los paneles solares.

## **10.7. SISTEMA DE CAPTACIÓN DE AGUA PLUVIAL EN TECHOS**

La alternativa sostenible utilizada para optimizar los costos del recurso público, agua, es el *sistema de captación de agua pluvial en techos*. Para el diseño de este sistema fue utilizada la información de precipitación colectada en la estación Hidroclimatológica, de la Universidad Pedagógica y Tecnológica de Tunja (UPTC).

El diseño del sistema como se puede ver en la sección de “ANÁLISIS DE SISTEMA DE CAPTACIÓN DE AGUAS LLUVIA: SISTEMA DE CAPTACIÓN DE AGUA PLUVIAL EN TECHOS, VARIABLES A EVALUAR, DISEÑO Y OBTENCIÓN DE RESULTADOS.”, implementado como sistema auxiliar y destinado las demandas de higiene del hogar, de 10 L por persona, ya que para el diseño del tanque de almacenamiento, se tuvo en cuenta, que el agua resultante de la precipitación pluvial, había pasado por un examen físico y químico, para concluir si era apta para el consumo humano, se asumió dicho consumo diario.

La siguiente tabla (ver **Tabla 23**) evidencia el comparativo respecto al consumo en pesos mes a mes del sistema tradicional y el sistema tradicional en conjunto con el sistema de captación de aguas lluvias:

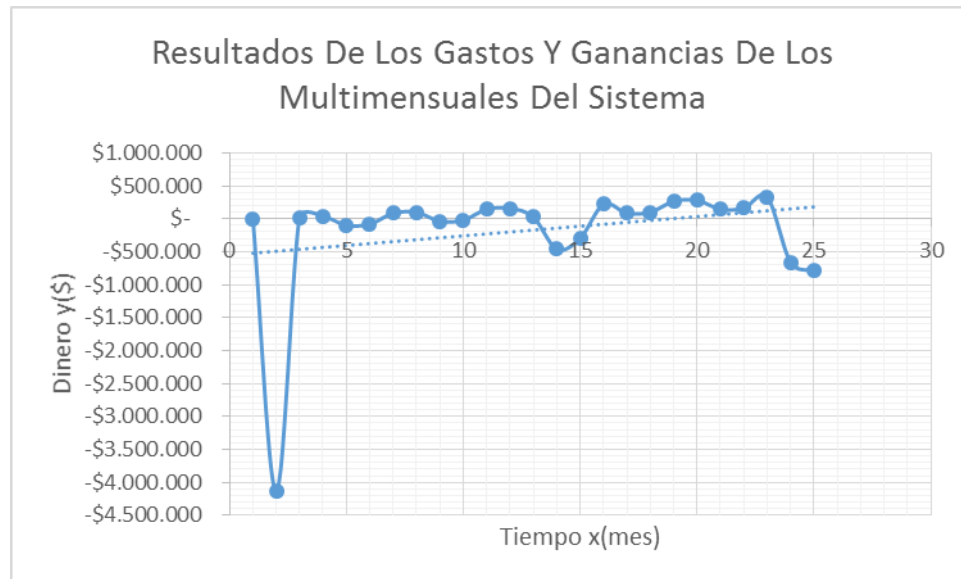
**Tabla 23. Resumen Consumo Multimensual del Sistema Captación de Agua Lluvia.**

Resultados De Los Gastos Y Ganancias De Los Multimensuales Del Sistema Sistema de Captacion Agua Lluvia						
mes	gastos (\$)	gasto acom	ahorro (mes)	ahorro acom	ganacias (\$)	ganacias acom y gastos acom
0	-\$ 4.141.235	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
1	\$ -	-\$ 4.141.235	\$ 7.585	\$ 7.585	\$ 7.585	-\$ 4.133.650
2	\$ -	\$ -	\$ 15.171	\$ 22.756	\$ 15.171	\$ 22.756
3	\$ -	\$ -	\$ 22.756	\$ 37.926	\$ 22.756	\$ 37.926
4	-\$ 150.000	-\$ 150.000	\$ 30.341	\$ 53.097	-\$ 119.659	-\$ 96.903
5	\$ -	-\$ 150.000	\$ 37.926	\$ 68.267	\$ 37.926	-\$ 81.733
6	\$ -	\$ -	\$ 45.512	\$ 83.438	\$ 45.512	\$ 83.438
7	\$ -	\$ -	\$ 53.097	\$ 98.609	\$ 53.097	\$ 98.609
8	-\$ 150.000	-\$ 150.000	\$ 60.682	\$ 113.779	-\$ 89.318	-\$ 36.221
9	\$ -	-\$ 150.000	\$ 68.267	\$ 128.950	\$ 68.267	-\$ 21.050
10	\$ -	\$ -	\$ 75.853	\$ 144.120	\$ 75.853	\$ 144.120
11	\$ -	\$ -	\$ 83.438	\$ 159.291	\$ 83.438	\$ 159.291
12	-\$ 150.000	-\$ 150.000	\$ 91.023	\$ 174.461	-\$ 58.977	\$ 24.461
13	-\$ 500.000	-\$ 650.000	\$ 98.609	\$ 189.632	-\$ 401.391	-\$ 460.368
14	\$ -	-\$ 500.000	\$ 106.194	\$ 204.802	\$ 106.194	-\$ 295.198
15	\$ -	\$ -	\$ 113.779	\$ 219.973	\$ 113.779	\$ 219.973
16	-\$ 150.000	-\$ 150.000	\$ 121.364	\$ 235.143	-\$ 28.636	\$ 85.143
17	\$ -	-\$ 150.000	\$ 128.950	\$ 250.314	\$ 128.950	\$ 100.314
18	\$ -	\$ -	\$ 136.535	\$ 265.484	\$ 136.535	\$ 265.484
19	\$ -	\$ -	\$ 144.120	\$ 280.655	\$ 144.120	\$ 280.655
20	-\$ 150.000	-\$ 150.000	\$ 151.705	\$ 295.826	\$ 1.705	\$ 145.826
21	\$ -	-\$ 150.000	\$ 159.291	\$ 310.996	\$ 159.291	\$ 160.996
22	\$ -	\$ -	\$ 166.876	\$ 326.167	\$ 166.876	\$ 326.167
23	-\$ 1.000.000	-\$ 1.000.000	\$ 174.461	\$ 341.337	-\$ 825.539	-\$ 658.663
24	-\$ 150.000	-\$ 1.150.000	\$ 182.046	\$ 356.508	\$ 32.046	-\$ 793.492

Fuente: Autor, 2017

Teniendo en cuenta el siguiente gráfico (ver **Gráfica 7**), del Consumo Acumulado Mensual generado por los usuarios del sistema:

**Gráfica 7. Ganancia Del Sistema De Captación De Agua Lluvia Muntimensual Acumulada**



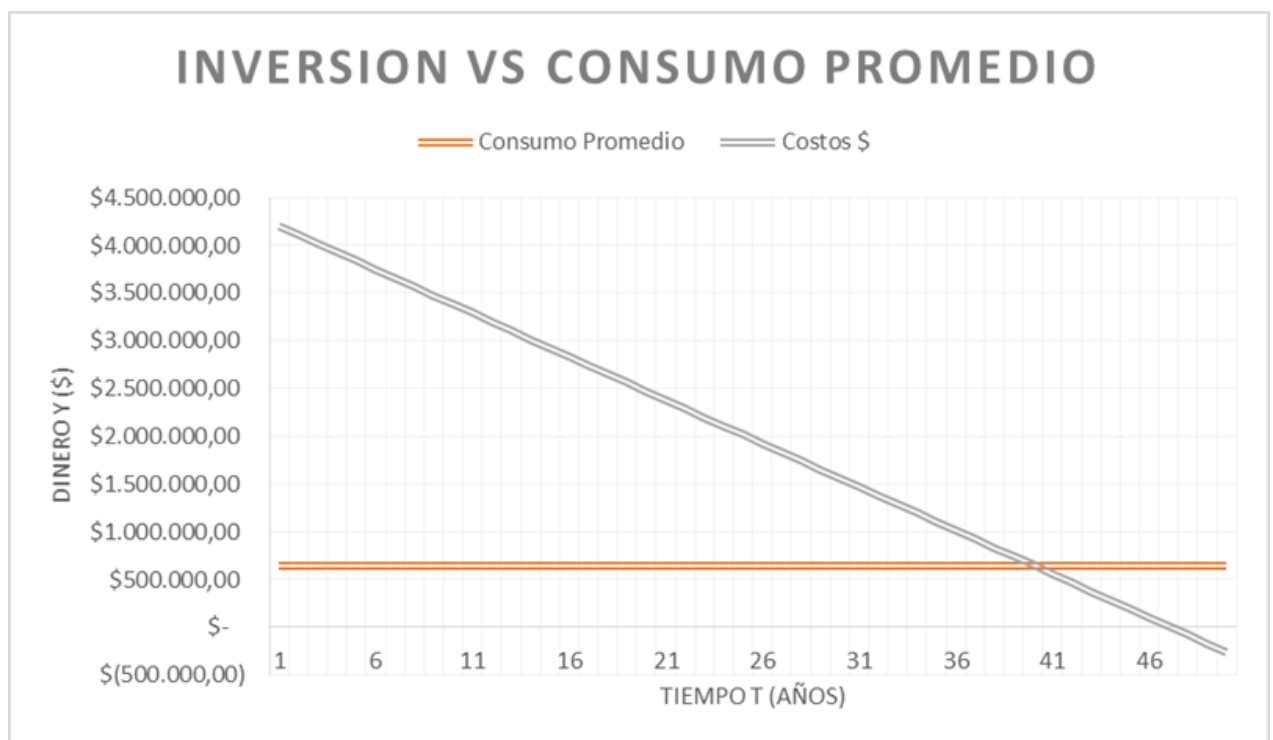
Fuente: Autor, 2016

La anterior Grafica tiene comportamiento promedio lineal, donde evidencia los beneficios económicos, relacionados con el ahorro en el recurso hídrico mensual, equivalente a **\$7.585** pesos. En el mes 0 existe una inversión supuesta mayor a 4 millones y unos mantenimientos supuestos del sistema cada 4 meses donde el grafico en estos puntos pasa a ser valor negativo, esto quiere decir que las ganancias proporcionadas por el sistema son inferiores a los gastos de mantenimientos y mucho menos a un gasto considerable como la ruptura de una canal o un daño de mayor gravedad, como demuestra en la *Gráfica 7* en el *mes 23*. El consumo promedio en una *vivienda rural para 4 personas con el sistema convencional es \$53.187 pesos/mes* equivalente a un consumo de 20 m<sup>3</sup>/mes y en la misma *vivienda rural con el sistema de captación de agua pluvial es de*

**\$45.602,38 pesos/mes** equivalente a 16 m<sup>3</sup>/mes, obteniendo el valor del consumo acumulado promedio anual es de **\$ 638.251,80 pesos**.

La siguiente Gráfica (ver **Gráfica 8**) muestra la inversión y el ahorro que genera implementa el sistema de captación de agua, respecto al consumo acumulado, a largo plazo:

**Gráfica 8. Inversión Contra Consumo Promedio En El Sistema De Captación De Agua Lluvia.**



Fuente: Autor, 2016.

De lo anterior, se puede analizar, teniendo en cuenta el comportamiento de los costos (color gris) y el promedio de consumo (Color rojo), los costos muestran un comportamiento decreciente, al transcurrir de los años causando debido a la inversión hecha en el año 1 o el primer año a evaluar, correspondiente a \$ 4'200.000 pesos (supuesto para este ejercicio), la cual sumando los ahorros anuales del sistema en pesos (\$), donde el punto de intersección entre el gráfico de cotos (gris)

es interceptada con el eje x, al plazo **47 años**, donde se obtiene el “payback” o “recuperación del dinero” invertido en el primer año, por otra parte, el sistema empieza a generar ganancia, en el punto que se los dos ejes de “Ahorro” (color gris) y consumo promedio de la vivienda rural (color rojo) se cruza, como expresa la teoría del punto de equilibrio, mencionada anteriormente, respecto al consumo promedio y la los ahorros proporcionados por el sistema captador de aguas lluvia, cercano a los 40 años y de este tiempo en adelante, la inversión generará ganancias al sistema.

Teniendo en cuenta los estudios del Artículo del “International Journal of Water Resources Development”, los sistemas de captación de lluvia, poseen un beneficio ambiental, mayor a su beneficio económico, debido a que es necesario un periodo de tiempo importante para recuperar la inversión inicial, y como lo explica la siguiente Cita:

*The high-end initial cost (USD 4740) between 2028 and 2029. Therefore, the payback period is 15–18 years without any subsidy. This study assumed that all expenditures for an RWHS will be paid in the first year, the simplest form of cost-effectiveness analysis. If the cost is distributed by homeowners over 10 or more years, as would be the case if systems are tied into the home mortgage, then inflation rates, interest rates and other factors should also be considered. ( Woo Kim, Li, Kim, & Kyung L, 2015).*

El beneficio ambiental de sistema de captación de agua lluvias, contribuyen a la conservación de mantos acuíferos, como es mencionado en artículos como “Beneficios Ambientales Derivados De La Captación De Agua De Lluvia En Tanques Elevados Y Optimización Del Tamaño De Los Tanques” (Hernández León, Robles Martínez, & Del Río Galván, 2014), de igual manera cuidando el impacto generado por la extracción de cuerpos de agua como ríos o pozos, subterráneos.

El sistema de captación de agua lluvia, gracias a que utiliza un recurso renovable, reciclando las aguas resultantes de las lluvias, genera un aporte, como sistema

auxiliar a los cuerpos de agua donde se extrae el agua, brindando una respuesta a los posibles racionamientos que pueden ser presentados en la zona.

En el impacto referente al ENSO, fue demasiado notorio, puesto a que los meses de a partir de abril del 2009, paso una temporada fuerte de sequía, y pasando a temporada niña en para el año del 2010, hubo una cantidad importante de lluvia para los meses de abril a septiembre; noviembre y diciembre, según la información proporcionada por el IDEAM (IDEAM, 2011, pág. 19). De lo anterior se puede concluir que en los años en los cuales se presentó el ENSO, en el fenómeno de “El Niño”, es necesario que sistemas auxiliares de agua, ya que es una temporada de sequía, ya que es muy variable la duración de esta, debido a que su tiempo de duración oscila de 8 a 10 meses; pero gracias a este mismo fenómeno, se recomienda aprovechar las temporadas relativas a los denominados años “Niña”, donde podría generar una captación significativa para el sistema propuesto de captación de agua lluvia.

El ahorro con el sistema de captación de agua pluvial, es pequeño equivalente a **\$7.585,27**, (ver **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**) contra a la inversión que se supone para el sistema equivalente a **\$ 4.141.235 pesos**, a pesar de lo esperado para este proyecto y teniendo en cuenta el pensamiento popular de la región, el sistema de captación de agua pluvial por techo, no es una solución considerable, aunque podría funcionar una solución para suplir a una persona, pero no para una familia; ya que el éxito de los sistemas de captación de aguas pluviales o lluvia, depende en gran medida el *área de captación*, como una variable que debe tenerse en consideración que mucho más grande a la utilizada en este proyecto.

No obstante, si se requiere una precisión mayor en los datos de la precipitación multianual, se recomienda tomar mínimo 3 estaciones y aplicar algún método hidrológico para el cálculo multianual, como el método de las isoyetas o mapas de precipitación de la zona entre otros.

Se recomienda, implementar un sistema de purificación de aguas grises, y reutilización de estas, ya que puede brindar un mayor ahorro adicional y hacer más atractiva la implementación del sistema. Esta implementación adicional implicaría realizar cambios en la red hidrosanitaria de la edificación, así como la fabricación del sistema de purificación, lo cual debería ser analizado en futuros estudios.

#### **10.8. SISTEMA GENERADOR DE BIOGÁS**

Sistema generador amigable con el medio ambiente utilizado para la generación de Biogás, es el *tanque biodigestor de campana fija* ver ANÁLISIS DE GENERACIÓN DE BIOGÁS: VARIABLES A EVALUAR, DISEÑO DEL TANQUE ANAEROBIO (BIODIGESTOR DE CAMPANA FIJA). Para el correcto funcionamiento de este se debe tener en cuenta la composición de la materia orgánica que va a entrar en el sistema, ya que a diferencia entre las animales heces y las heces de los seres humanos varían en composición, gracias a la comida que consumen diariamente. Para los cálculos de diseño se supuso los valores que proporciona el manual y el porcentaje de gas metano (%CH<sub>4</sub>) implementado para el cálculo fue del valor de las heces del único animal omnívoro referente a la literatura (Porquinaza) (Olaya & Gonzáles, 2009).

La empresa prestadora del servicio público para Tunja GAS NATURAL CUNDIBOYACENSE S.A, no posee promedio de consumo mensual para las especificaciones referentes al consumo mensual del recurso público. Por lo tanto, este valor se calculó por medio del consumo de la estufa de gas ESTUFA 50 V GAS EEGRT GN PL\* marca HACEB, para la cocción y preparación de alimentos, y los resultados del diseño de este sistema son específicos para este tipo de dispositivo. Esto es de vital importancia, ya que con toda seguridad existen diferentes marcas de estufas de gas que son usadas en el área rural del municipio de Tunja y por lo tanto un diseño as apropiado para las condiciones de esta población requiere el inventario o censo de estos dispositivos. Esta información no se encuentra disponible y su adquisición representaría una inversión económica grande, por lo

cual se recomienda considerarlo en futuros estudios relacionados con el uso del biogás.

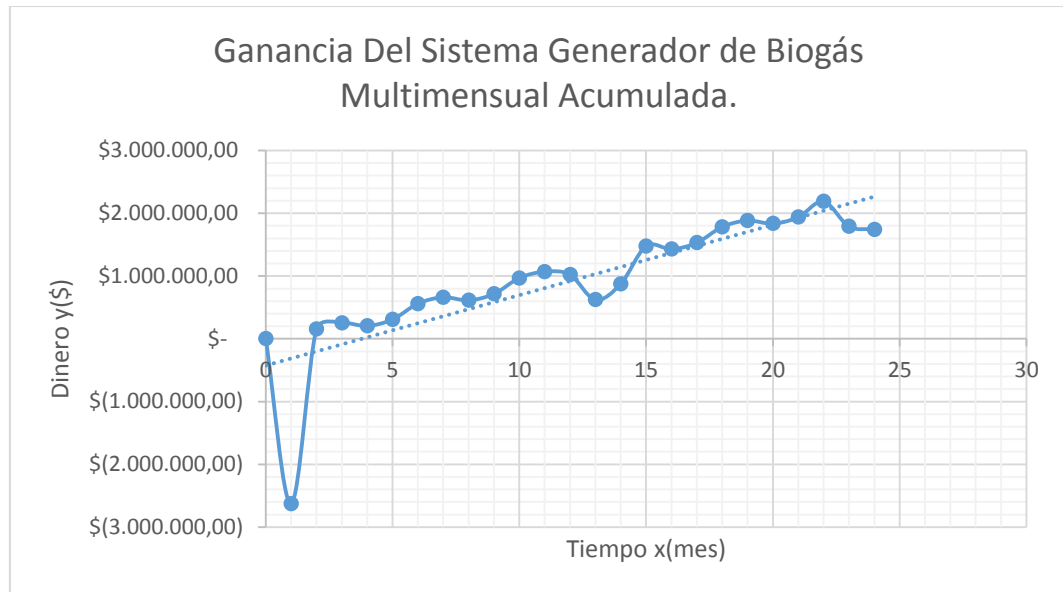
En la **Gráfica 9** se puede observar el Consumo Promedio Acumulado de las actividades relacionadas con la cocción de alimentos (uso de la estufa), para una familia de 4 personas:

**Tabla 24.** Resultados De Los Gastos Y Ganancias De Los Multimensuales Del Sistema Generador de Biogás.

Resultados De Los Gastos Y Ganancias De Los Multimensuales Del Sistema Generador de Biogás						
mes	gastos (\$)	gasto acom	ahorro (mes)	ahorro acom	ganacias (\$)	ganacias acom y gastos acom
0	-\$2.677.715,43	\$ -	\$ -	\$ -	-\$2.677.715,43	\$ -
1	\$ -	-\$2.677.715,43	\$ 50.910,00	\$ 50.910,00	\$ 50.910,00	-\$ 2.626.805,43
2	\$ -	\$ -	\$ 101.820,00	\$ 152.730,00	\$ 101.820,00	\$ 152.730,00
3	\$ -	\$ -	\$ 152.730,00	\$ 254.550,00	\$ 152.730,00	\$ 254.550,00
4	-\$ 150.000,00	-\$ 150.000,00	\$ 203.640,00	\$ 356.370,00	\$ 53.640,00	\$ 206.370,00
5	\$ -	-\$ 150.000,00	\$ 254.550,00	\$ 458.190,00	\$ 254.550,00	\$ 308.190,00
6	\$ -	\$ -	\$ 305.460,00	\$ 560.010,00	\$ 305.460,00	\$ 560.010,00
7	\$ -	\$ -	\$ 356.370,00	\$ 661.830,00	\$ 356.370,00	\$ 661.830,00
8	-\$ 150.000,00	-\$ 150.000,00	\$ 407.280,00	\$ 763.650,00	\$ 257.280,00	\$ 613.650,00
9	\$ -	-\$ 150.000,00	\$ 458.190,00	\$ 865.470,00	\$ 458.190,00	\$ 715.470,00
10	\$ -	\$ -	\$ 509.100,00	\$ 967.290,00	\$ 509.100,00	\$ 967.290,00
11	\$ -	\$ -	\$ 560.010,00	\$1.069.110,00	\$ 560.010,00	\$ 1.069.110,00
12	-\$ 150.000,00	-\$ 150.000,00	\$ 610.920,00	\$1.170.930,00	\$ 460.920,00	\$ 1.020.930,00
13	-\$ 500.000,00	-\$ 650.000,00	\$ 661.830,00	\$1.272.750,00	\$ 161.830,00	\$ 622.750,00
14	\$ -	-\$ 500.000,00	\$ 712.740,00	\$1.374.570,00	\$ 712.740,00	\$ 874.570,00
15	\$ -	\$ -	\$ 763.650,00	\$1.476.390,00	\$ 763.650,00	\$ 1.476.390,00
16	-\$ 150.000,00	-\$ 150.000,00	\$ 814.560,00	\$1.578.210,00	\$ 664.560,00	\$ 1.428.210,00
17	\$ -	-\$ 150.000,00	\$ 865.470,00	\$1.680.030,00	\$ 865.470,00	\$ 1.530.030,00
18	\$ -	\$ -	\$ 916.380,00	\$1.781.850,00	\$ 916.380,00	\$ 1.781.850,00
19	\$ -	\$ -	\$ 967.290,00	\$1.883.670,00	\$ 967.290,00	\$ 1.883.670,00
20	-\$ 150.000,00	-\$ 150.000,00	\$1.018.200,00	\$1.985.490,00	\$ 868.200,00	\$ 1.835.490,00
21	\$ -	-\$ 150.000,00	\$1.069.110,00	\$2.087.310,00	\$1.069.110,00	\$ 1.937.310,00
22	\$ -	\$ -	\$1.120.020,00	\$2.189.130,00	\$1.120.020,00	\$ 2.189.130,00
23	-\$ 500.000,00	-\$ 500.000,00	\$1.170.930,00	\$2.290.950,00	\$ 670.930,00	\$ 1.790.950,00
24	-\$ 150.000,00	-\$ 650.000,00	\$1.221.840,00	\$2.392.770,00	\$1.071.840,00	\$ 1.742.770,00

Fuente: Autor, 2017

**Gráfica 9. Consumo Acumulado Del Sistema Generador De Biogás.**



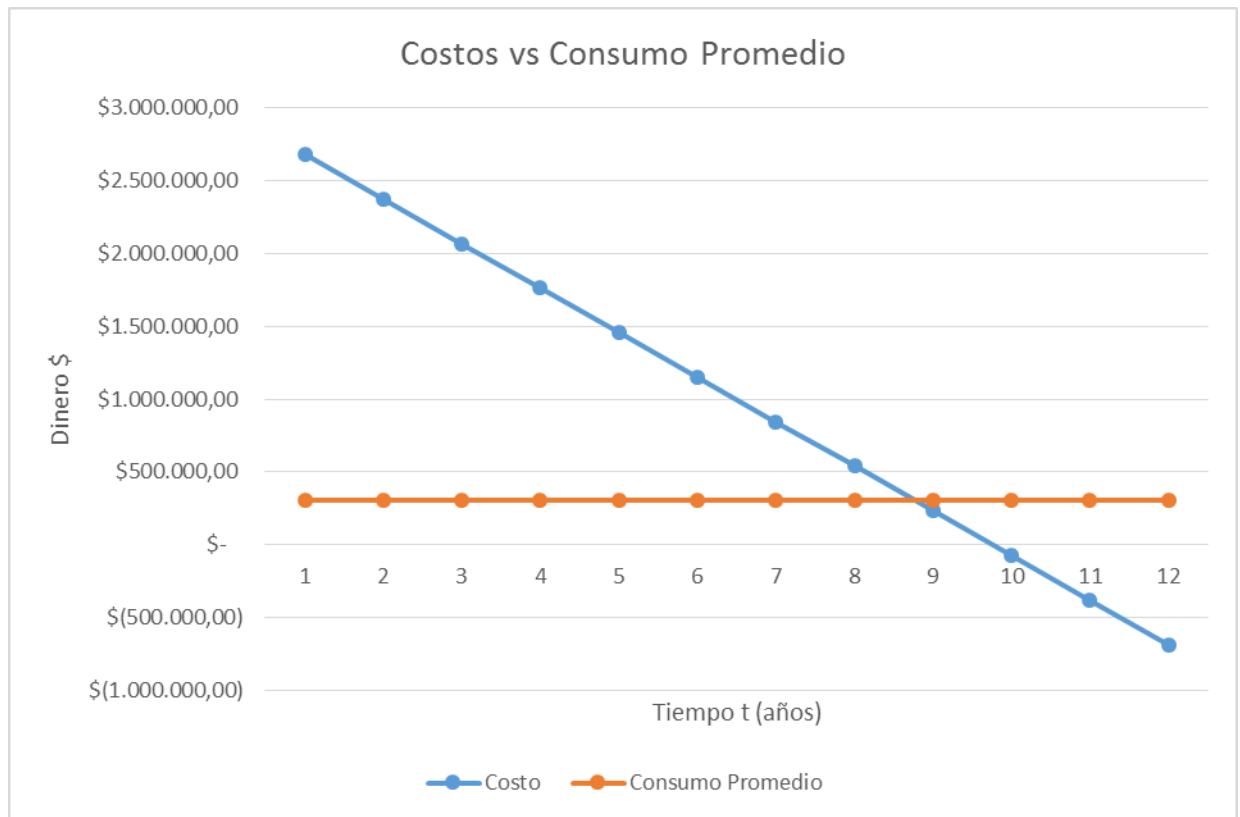
Fuente: Autor, 2016

La anterior gráfica tiene un comportamiento promedio lineal positivo, que denota que la inversión genera ganancias en el tiempo, existe una variación del comportamiento de la gráfica en el “mes 0” evidenciando la inversión; aunque los mantemientos supuestos cada 4 meses, generan un gasto, en la inversión supuesta en los meses 13 y 23 donde pudo existir un daño al sistema, demuestra que las ganancias de la implementación del biodigestor de campana fija es un negocio rentable, el beneficio económico de la utilización del sistema es alto, ya que la cantidad de biogás producido suple la demanda propuesta para el proyecto, como se expresa en la gráfica de *consumo promedio mes* la cual tiene un comportamiento lineal creciente, deduciendo el consumo mensual es equivalente a **\$25.455 pesos** generando. Al año se consume más de **\$300 mil pesos**.

La **Gráfica 10. Costos Vs Consumo Promedio** Gráfica 10 muestra la inversión realizada en el sistema para la generación de biogás, adaptando el tanque

Anaerobio, al Tanque biodigestor de campana fija, contra el consumo promedio anual de la vivienda rural:

**Gráfica 10. Costos Vs Consumo Promedio Del Sistema Generador de Biogás.**



Fuente: Autor, 2016

De lo observado en el gráfico anterior, el gráfico de costos (color azul), muestra un comportamiento decreciente, a diferencia del gráfico del consumo promedio (color naranja), que tiene un comportamiento constante, esto quiere decir que, la inversión en el nuevo tanque, está generando ganancias y en el momento que el gráfico de costos, se una con el eje x la inversión del sistema está soportada, tal como es expresado en la teoría del punto de equilibrio, mencionado anteriormente, se puede observar esto sucede a finales del año 9; además el punto donde se interceptan los

gráficos de *Costos contra Consumo Promedio*, a finales del año 8, el sistema empieza a generar ganancias.

Adicionalmente el sistema genera con un remanente de gas que puede ser utilizado para suplir otras necesidades como, calefacción de la vivienda o calentamiento del agua, puesto a que el remanente del gas, puede cubrir la **demanda de 2,5 estufas a gas**, equivalente a **17,95 m<sup>3</sup>/mes\*estufa** de las mismas especificaciones mencionadas anteriormente, a máxima capacidad de uso, puesto a que el biogás generado por el sistema es de **48,3 m<sup>3</sup>/ mes**.

El beneficio ambiental del este sistema, reduciendo la emisión de gases de invernadero (gas carbónico CO<sub>2</sub> y gas metano CH<sub>4</sub>), puesto a zonas rurales, donde no tienen servicio público de Gas, y donde el transporte de cilindros de gas es complicado, debido a zonas montañosas donde no existen caminos aptos para el transporte de estos, los habitantes pueden optar por utilizar leña de los bosques, para suplir las necesidades referentes a cocina, como las estufas a carbón.

El artículo titulado “Energías renovables y desarrollo sostenible en zonas rurales de Colombia.” donde realizando un comparativo de sistemas productores de energía sostenible, que entre otros menciona el sistema generador de biogás, como sistemas para alimentar sistemas de bombeo. “La mitigación se realiza en la transformación del metano en CO<sub>2</sub>, en el momento de su combustión durante la producción de energía mecánica para el bombeo de agua” (Pinto Siabato, 2006). Aplicado al caso de este proyecto de es importante que los resultados obtenidos para suplir la necesidad de cocción de alimentos.

El sistema de biogás aporta al benéficamente al medioambiente, reduciendo la tala de árboles, o la extracción de gas subterráneo, que de esta manera hace un aporte benéfico al cuidado de las cuencas y de los bosques, ya que su generación es resultante a la fermentación de materia fecal, mediante un proceso anaerobio, el cual hace parte del proceso de tratamiento de las aguas residuales propuesto, en los planos de diseño.

Se recomienda un estudio previo para ver la calidad y la cantidad de biogás se puede generar para un proyecto en específico, con el fin de estimar las constantes de producción de gas para materia fecal humana y animal en el área de estudio. Además, se debe tener en cuenta la cantidad de personas que pueden estar en el hogar por más de 8 días, ya que esto puede afectar a la producción del sistema y se debe contar con un sistema auxiliar en caso de mantenimiento que reciba el material orgánico, o no depositar material orgánico al sistema, mientras se hacen se termina con estos.

A continuación se muestra el ahorro acumulado que genera los 3 sistemas al plazo de 10 años es expresado por la siguiente tabla (ver **Tabla 25**):

**Tabla 25. Ahorro De Cada Uno De Los Sistemas Sostenibles A 10 Años.**

Sistemas Sostenibles	Ahorros de los sistemas a 10 años en \$
Panel Solar	\$ 29.796.804,00
Captacion de agua lluvia	\$ 910.232,40
Generacion de Biogás	\$ 3.054.624,26
Total	\$ 33.761.660,66

Fuente: Autor, 2016

Finalmente se denota, que el sistema de mayor beneficio económico final, es el Sistema Generador de Energía Solar (Panel solar) con un ahorro superior a los \$ 29 millones de pesos, seguido por el Sistema Generador de Biogás, con un ahorro superior a los \$3 millones de pesos, que de igual manera podría generar un poco más del doble, si se utiliza el Biogás restante que puede generar el sistema, y por último el *sistema de captación de aguas lluvia*, generando un ahorro menor a \$1 millón de pesos.

El proyecto posee una gran importancia, a razón de que es la primera vez donde se aplica un análisis sobre la aplicación de alternativas sostenibles a construcciones en el área rural de Tunja, en el departamento de Boyacá, para mejorar la calidad de

las construcciones, para los habitantes del sector rural, y es de vital importancia ya que esta, causa un impacto benéfico a la calidad de vida de este grupo poblacional; quienes a su vez son un elemento crítico para la producción de bienes de primera necesidad para las comunidades de los departamentos de Boyacá, Cundinamarca y Bogotá. Proponer estrategias para mejorar la calidad de vida de la población vulnerable como estos son aún más importante en la etapa del post-conflicto, en donde toda la población colombiana espera que se den mejores condiciones para un desarrollo económico sostenible que permita la entrada de nuestro país a una verdadera era de modernidad.

## 11. CONCLUSIONES

- Los sistemas sostenibles propuestos para este proyecto tales como: El sistema generador de energía solar, el sistema de captación de agua pluvial en techo y el sistema generador de Biogás, cumplieron con el objetivo de reducir los costos de los servicios públicos, generando un ahorro a largo plazo, teniendo en cuenta que el sistema que mayor beneficio, económico, ambiental y monetario, es el *sistema de captación de energía solar*, seguido por el sistema que logró suplir el consumo mensual propuesto para el proyecto el cual fue el consumo de la estufa, el *sistema generador de biogás* y finalmente el sistema que logró un ahorro pero poco satisfactorio, en los factores económicos y ambientales fue el sistema de captación de agua lluvia.
- Las alternativas sostenibles propuestas para este proyecto, como los sistemas generadores utilizando recursos renovables y reciclables como la energía solar y reutilizando los residuos orgánicos, tales como: El sistema generador de energía solar y el sistema generador de biogás, obtuvieron un resultado satisfactorio reduciendo

considerablemente el consumo de servicios públicos como la Luz/Energía y el gas.

- El Sistema Captador de Agua Pluvial en Techos, a pesar de generar ahorros, no es recomendado para este caso, puesto a su inversión, con relación a su ahorro, el impacto ambiental y el beneficio obtenido, no es significativo, sin embargo, en los sistemas de captación de agua lluvia, una de las variables de mayor peso, es *el área de recolección*, se recomienda utilizar un sistema, que utilice un área de captación mayor, para mejor aprovechamiento de este, siempre y cuando las especificaciones del proyecto deseado lo permitan.
- A diferencia de lo que el pensamiento popular de los habitantes de la ciudad de Tunja, Boyacá, que pronosticaban para el sistema de captación solar, el sistema cumple una eficiente función, que podría ser de utilidad para las viviendas de pertenecientes a la zona urbana.
- La intervención en los planos de diseño, muestra como sugerencia la ubicación de los sistemas, que para este proyecto fue más conveniente, facilitando el cálculo de las dimensiones y teniendo en cuenta ocupar la menor cantidad de área requerida.
- La aplicación sistemas que utilicen energías renovables y aprovechando los desechos, generan una excelente alternativa, no solo hace un aporte en la reducción del impacto ambiental, sino que son métodos fáciles de aplicar que no requieren un extremo cuidado o una inversión poco fructífera del dinero.

## **12. RECOMENDACIONES**

- Las alternativas sostenibles implementadas para la reducción de costos en los servicios públicos mencionadas en el transcurso de proyecto, tales como

Sistema generador de *energía solar*, *sistema generado de biogás* y *sistema de captación de agua lluvia*, deben ser sistemas auxiliares, complementarios de los sistemas principales, de las empresas prestadoras de los servicios públicos de la zona donde se desea implementar el modelo tratado en este proyecto, en este caso, Proactiva S.A para el servicio del agua, Gas Natural Cundiboyacense para el servicio del gas y EPSA para el servicio de las luz/energía.

- Para el sistema de captación de energía solar, es necesario capacitar a los usuarios de los servicios, teniendo en cuenta, las recomendaciones de uso eficiente de energía, citados y mencionados en el transcurso del documento.
- Para el sistema de captación de agua lluvia, si el agua captada se desea utilizar para consumo de los usuarios, es necesario un análisis físico, químico y microbiológico para determinar, si es necesario un tratamiento previo.
- Para los sistemas de captación de aguas lluvias y generador de biogás, es necesario hacer mantenimientos periódicos, cada año o cada vez que se crea conveniente.
- Para un mayor ahorro del recurso hídrico, se recomienda estudiar dividir las aguas grises y las aguas negras que generan las viviendas, utilizando inodoros separadores, para así, aplicar un tratamiento a las aguas grises, y ser reutilizadas, para reducir en mayor medida el consumo de recurso hídrico.
- El sistema de generador de energía a través de energía solar, es necesario hacer mantenimiento de limpieza a los paneles 1 vez cada 3 meses, para su óptimo funcionamiento y reemplazar las baterías cada 5 a 10 años, según se crea conveniente, o lo establezca cada catálogo para cada caso en general.
- Para un mejor funcionamiento del tanque anaerobio, implementar el inodoro separador, para que las heces, se dispongan en el tanque, con menor contenido de oxígeno, para que la producción de biogás sea más eficiente.
- Es necesario hacer un análisis previo a la composición química de las heces, ya que las heces humanas que serán dispuestas y conducidas por el tanque

anaerobio, para poder tener valores confiables, para la generación de biogás en el tanque biodigestor de campana fija.

- Ajustar la posición de cada sistema, para ser adaptado a las necesidades de nuevos proyectos.
- La intervención de los planos, como el cálculo de los sistemas ya que es un modelo general, adaptable a las condiciones que se requieran, los datos como la precipitación multianual o la intensidad de la radiación solar directa e indirecta solar, deben ser de las estaciones hidroclimatológicas de la zona que se quiere adaptar el proyecto.

### 13. ANEXOS.

#### 13.6. **Anexo A:** “Promedio Precipitación Mensual De Cada Año”

<https://drive.google.com/drive/u/1/folders/0BzbnmjDluKHLTVBSNW1HTHFmU0U>

#### 13.7. **Anexo B:** “Nuevos Planos”: C:\Users\MI

<https://drive.google.com/drive/u/1/folders/0BzbnmjDluKHLUkZiNzJtWUxES00>

#### 13.8. **Anexo C:** “Datos Hidroclimatológicas de la Estación UPTC-Tunja”

<https://drive.google.com/drive/u/1/folders/0BzbnmjDluKHLZGVwUGN4UTFxZkE>

## 14. BIBLIOGRAFÍA

Álvarez Álvarez, C. A., & Serna Alzate, F. J. (2012). Normatividad sobre Energía Solar Térmica y Fotovoltaica. Medellín .

Alcandía de Tunja, Boyacá. (26 de Noviembre de 2013). <http://www.tunja-boyaca.gov.co/>. Obtenido de <http://www.tunja-boyaca.gov.co/>: <http://www.tunja-boyaca.gov.co/noticias.shtml?apc=ccx-1-&x=7644>

Ambiente, C. P., & Ambiente, O. P. (2003). *ESPECIFICACIONES TÉCNICAS CAPTACIÓN DE AGUA LLUVIA PARA CONSUM HUMANO*. Lima: OPS.

Arango Escobar, Nathalie Arango; Florez Cacrdona, Juliana;. (2012). Sistema de recolección, almacenamiento y conservación de aguas lluvias para el abastecimiento de agua potable a los habitantes del Pacífico Colombiano en zona rurales de difícil acceso con ausencia o deficiencia del recurso. *Universidad Icesi*.

Blu Radio . (14 de Octubre de 2014). <http://www.bluradio.com/>. Obtenido de <http://www.bluradio.com/>: <http://www.bluradio.com/79461/el-75-de-los-campesinos-gana-menos-de-un-salario-minimo-planeacion-nacional>.

Boyacá Informa. (14 de Octubre de 2016). [oyacainforma.com](http://oyacainforma.com). Obtenido de [oyacainforma.com](http://oyacainforma.com): <http://oyacainforma.com/municipio/tunja>

- Cárdenas Morenoa, P. R., González Cruz, R., Núñez Espinoza, J. F., Colomer Mendoza, F. J., & Robles Martínez, F. (2012). Cálculo del biogás generado en los sitios de disposición final de residuos. *Instituto Politécnico Nacional*.
- Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Medio; Organización Panamericana de la Salud y Ambiente. (2003). *ESPECIFICACIONES TÉCNICAS CAPTACIÓN DE AGUA LLUVIA PARA CONSUMO HUMANO*. Lima: OPS.
- Constantino. (2009). Proyecto De Implementación De Paneles Solares En Haciendas Alejadas De La Fuente De Energía Convencional. *Escuela Superior Politécnica Del Litoral Centro De Investigación Científica Y Tecnológica*.
- Corrales Castrillo, A., & Acevedo Moreno, Y. P. (2010). Diseño Del Programa De Ahorro Y Uso Eficiente Del Agua En La Escuela De Cadetes De Policía General Francisco de Paula Santander Bogotá D.C. *Universidad Manuela Beltrán*.
- Cortés Cortés, M, Borroto Nordelo, A., & Álvarez Bravo, C. (2012). *APLICACIONES DE LOS MODELOS*. Cuba: Universidad de Cienfuegos.
- Caracol Radio. (23 de Marzo de 2012). [www.caracol.com.co](http://caracol.com.co/radio/2012/03/23/regional/1332479640_659032.html). Obtenido de [http://caracol.com.co/radio/2012/03/23/regional/1332479640\\_659032.html](http://caracol.com.co/radio/2012/03/23/regional/1332479640_659032.html)
- Clavijo Parrado, J. G. (2015). *Los Escenarios Deseables Del Futuro De La Investigación En Ingeniería Civil*. Bogotá: Universidad Santo Tomás.
- Consejo Colombiano de Construcción Sostenible. (11 de Octubre de 2012). [www.cccs.org.co](http://www.cccs.org.co). Obtenido de [www.cccs.org.co](http://www.cccs.org.co): <https://www.cccs.org.co/wp/acerca-del-cccs/>

- Construmatica*. (15 de Septiembre de 2016). Obtenido de [http://www.construmatica.com/construpedia/Energ%C3%ADas\\_Renovables\\_en\\_la\\_Construcci%C3%B3n](http://www.construmatica.com/construpedia/Energ%C3%ADas_Renovables_en_la_Construcci%C3%B3n)
- Cortés Cortés, M., Borroto Nordelo, A., & Álvarez Bravo, C. (2012). *APLICACIONES DE LOS MODELOS MULTICRITERIALES A LA ENERGÍA*. Universidad de Cienfuegos.
- DANE. (27 de Noviembre de 2016). *www.dane.gov.co*. Obtenido de <http://www.dane.gov.co/reloj/>
- Empresas Publicas de Medellin. (11 de Noviembre de 2016). *Tips para uso inteligente*. Obtenido de *www.emp.com.co*: [http://www.epm.com.co/site/clientes\\_usuarios/Clientesyusuarios/Empresas/Energ%C3%ADa/Grandesempresas/Tipsparaelusointeligente.aspx](http://www.epm.com.co/site/clientes_usuarios/Clientesyusuarios/Empresas/Energ%C3%ADa/Grandesempresas/Tipsparaelusointeligente.aspx)
- Gaviria, S. (2014). El 75 % de los campesinos gana menos de un salario mínimo: Planeación Nacional. *Blu radio*, 1.
- Greenpeace. (5 de junio de 2010). *greenpeace españa*. Obtenido de *greenpeace.org*: <http://www.greenpeace.org/espana/es/news/2010/November/5-de-junio-d-a-mundial-del-me/>.
- García Leyton, L. A. (2004). *Aplicación del Análisis Multicriterio en la Evaluación de Impactos Ambientales*. Barcelona: UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE CATALUÑA.
- Guardado Chacón, J. A. (2010). *Tecnología del biogás*. Obtenido de <http://www.cubasolar.cu/>: <http://www.cubasolar.cu/>
- Guía De Diseño Para Captación Del Agua Lluvia*. (2004). Lima, Perú: Organización Panamericana de la Salud.

- Hernández León, R. C., Robles Martínez, F., & Del Río Galván, C. P. (2014). *BENEFICIOS AMBIENTALES DERIVADOS DE*. REVISTA AIDIS de Ingeniería y Ciencias Ambientales.
- IDEAM. (2011). *ANÁLISIS DEL IMPACTO DEL FENÓMENO “LA NIÑA” 2010-2011 EN LA HIDROCLIMATOLOGÍA DEL PAÍS* . IDEAM.
- Leyton, L. A. (Mayo de 2004). Aplicación del Análisis Multicriterio en la Evaluación de. *UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE CATALUÑA*, 63.
- López, B. (4 de Julio de 2016). *ingenieriaindustrialonline.com*. Obtenido de *ingenieriaindustrialonline.com*:  
<https://www.ingenieriaindustrialonline.com/herramientas-para-el-ingeniero-industrial/producci%C3%B3n/an%C3%A1lisis-del-punto-de-equilibrio/>
- Lebrand Blank. (2006). *Ingeniería económica*. MexicoD:F: Subsidiary ofThe McGraw-Hill Companies, Inc.
- Murcia, H. R. (15 de enero de 2009). Desarrollo de la energía solar en Colombia y. *Desarrollo de la energía solar en Colombia y*. Bogotá, Colombia.
- Martin, C., Campillo, G., Meirovich, H., & Meirovich, J. (2013). Mitigación y adaptación al cambio climático a través de la vivienda pública. *Banco Internacional del Desarrollo*.
- Media, M. d. (2011). *Construcciones Sostenibles en Colombia*. Bogotá: Febrero.
- Medina. (2011). *Construcciones Sostenibles En Bogotá*. Bogotá.
- Ministerio de Educación & Universidad de Antioquia. (30 de Noviembre de 2016). *www.ministeriodeeducacion.gov.co*. Obtenido de <http://www.mineducacion.gov.co/cvn/1665/article-117028.html>
- Ministerio de Minas y energía & upme - Unidad de Planeación Minero Energética. (2010). *Proyección de Demanda de Energía en Colombia*. UPME.

Ministerio De Vivienda de Colombia. (08 de Septiembre de 2016).

[www.mindevivienda.gov.co](http://www.mindevivienda.gov.co). Obtenido de

<http://www.minvivienda.gov.co/viceministerios/viceministerio-de-vivienda/vis-y-vip>

Minvivienda. (1 de Enero de 2017). <http://www.minvivienda.gov.co/>. Obtenido de

<http://www.minvivienda.gov.co/>:

<http://www.minvivienda.gov.co/viceministerios/viceministerio-de-vivienda/subsidio-rural>

Monroy, J. M. (2014). *CONSTRUCCIÓN SOSTENIBLE, UNA ALTERNATIVA PARA LA EDIFICACIÓN DE VIVIENDAS DE INTERES SOCIAL Y PRIORITARIO. CONSTRUCCIÓN SOSTENIBLE, UNA ALTERNATIVA PARA LA EDIFICACIÓN DE VIVIENDAS DE INTERES SOCIAL Y PRIORITARIO*. Bogotá, Cundinamarca, Colombia: UNIVERSIDAD CATÓLICA DE COLOMBIA.

Miembros de la Mesa Biogas. (16 de Septiembre de 2019). *Sector del Biogas Agroindustrial en España*. Obtenido de Engineeringdesknates.com:

[http://engineeringdesknates.com/Digestion/4\\_1\\_Digestion\\_tipos\\_sustrato.html](http://engineeringdesknates.com/Digestion/4_1_Digestion_tipos_sustrato.html)

Olaya Arboleda, Y. O., & Gonzáles Salcedo, L. O. (2009). *Fundamentos Para El Diseño De Biodigestores. UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA SEDE PALMIRA*.

Organización Panamericana de la Salud. (2004). *GUÍA DE DISEÑO PARA CAPTACIÓN DEL AGUA LLUVIA*. Lima, Perú: Organización Panamericana de la Salud.

Ortúzar, F. (21 de Abril de 2014). *aida-americas.org*. Obtenido de aida-americas.org: <http://www.aida-americas.org/es/blog/el-derecho-internacional-ambiental-historia-e-hitos>.

Oscar García PHD (Octubre 2016) en *hidrología ambiental e ingeniería hidráulica Evaluación de la Magnitud del Daño Mediante el Método Propuesto*.

Pinto Siabato, F. (2006). Energías renovables y desarrollo sostenible rurales en Colombia.

Proactiva. (1 de julio de 2016). <http://www.proactiva.com.co/>. Obtenido de <http://www.proactiva.com.co/>: <http://www.proactiva.com.co/tunja/tarifas-de-servicio/>

Quiminet. (16 de Noviembre de 2011). *www.quiminet.com*. Obtenido de <https://www.quiminet.com/articulos/que-es-un-sistema-fotovoltaico-2638847.htm>

Rivera, D. J. (2006). *Captación de agua lluvia y Almacenamiento en tanques de ferrocemento Manual tecnico*. Mexico DF: INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL.

Salazar López , B. (4 de Junio de 2016). *ingenieria industrial online*. Obtenido de ingenieria industrial online: <https://www.ingenieriaindustrialonline.com/herramientas-para-el-ingeniero-industrial/producci%C3%B3n/an%C3%A1lisis-del-punto-de-equilibrio/>

Sanabria Cala, J. A., & Perez Garcia , F. A. (2012). Diseño de un Sistema de Captación de Aguas Lluvias para la Utilización Eficiente del Recurso, en el Estadio 1° de Marzo de la Universidad Industrial de Santander. *Universidad Industrial de Santander*.

Sito solar. (11 de febrero de 2010). *www.sitosolar.com*. Obtenido de <http://www.sitosolar.com/paneles%20fotovoltaicas.htm>

Susunaga Monroy, J. M. (2014). CONSTRUCCIÓN SOSTENIBLE, UNA ALTERNATIVA PARA LA EDIFICACIÓN DE VIVIENDAS DE INTERES SOCIAL Y PRIORITARIO. *UNIVERSIDAD CATÓLICA DE COLOMBIA*.

Susunaga Monroy, J. M. (2014). CONSTRUCCIÓN SOSTENIBLE, UNA ALTERNATIVA PARA LA EDIFICACIÓN DE VIVIENDAS DE INTERES SOCIAL Y PRIORITARIO. *UNIVERSIDAD CATÓLICA DE COLOMBIA*.

The Clean Water Team Guidance Compendium for Watershed Monitoring and Assessment. (19 de Noviembre de 2009). *Values of Runoff Coefficient (C) for Rational Formula*.

World Health Organization. (2013). TECHNICAL NOTES ON DRINKING-WATER, SANITATION AND HYGIENE IN EMERGENCIAS. *Wold Health Organization*, 1.

Woo Kim, H., Li, M.-H., Kim, H., & Kyung L, H. (2015). Cost-benefit analysis and equitable cost allocationfor a residential rainwater harvesting system in the city of Austin, Texas. *International Journal of Water Resources Development*.

