

Metodología para el uso de captadores de rocío. Una aproximación a una solución sostenible para el recurso hídrico en Maicao, La Guajira.

Methodology for the use of dew collectors. An approach to a sustainable solution for water resources in Maicao, La Guajira

Laura Daniela Acosta Cubides, estudiante de ingeniería industrial. Solangel Herrera Quintero,
estudiante de ingeniería industrial

Resumen

Debido a la preocupación por el desabastecimiento de agua dulce en el mundo, especialmente en las zonas áridas y semiáridas del planeta, en donde la principal afectada es la comunidad, se busca un proyecto que permita un acercamiento a captadores de rocío en el Municipio de Maicao, La Guajira. Los cuales son una alternativa no convencional que consiste en la captación de humedad, específicamente del fenómeno del rocío. El proyecto se desarrolló inicialmente un diagnóstico inicial para determinar la situación actual del recurso hídrico en Maicao, llegando a la conclusión de que el municipio presenta escasez de agua. Por otra parte se analizaron las alternativas estudiadas y aplicadas alrededor del mundo para determinar cuales son los factores críticos a tener en cuenta para realizar un condensado. De igual manera se estudiaron los impactos sociales, ambientales y económicos que el proyecto trae al municipio, basados principalmente en la agenda 2030, enfocados en la comunidad. Por último se planteó la metodología que permita desarrollar los captadores en Maicao, teniendo como base los estudios y análisis previamente realizados, en primer lugar, se estableció las características del terreno, seguido de la selección de proveedores y materiales y por último, se realizó un modelo para facilitar la ubicación de los captadores.

Abstract

Due to the concern about the shortage of fresh water in the world, especially in arid and semi-arid areas of the planet, where the main concern is the community, a project is being sought that allows an approach to dew collectors in the Municipality of Maicao, La Guajira. Which are an unconventional alternative that consists of capturing humidity, specifically the phenomenon of dew. The project developed an initial diagnosis to determine the current situation of the water

resource in Maicao, reaching the conclusion that the municipality has a shortage of water. On the other hand, the alternatives studied and applied around the world were analyzed to determine which are the critical factors to take into account to carry out a condensate. In the same way, the social, environmental and economic impacts that the project brings to the municipality were studied, based mainly on the 2030 agenda, focused on the community. Finally, the methodology that will allow the development of the collectors in Maicao was proposed, based on the studies and analyzes previously carried out, firstly, the characteristics of the land were established, followed by the selection of suppliers and materials and finally, a model to facilitate the location of the collectors.

I. INTRODUCCIÓN

En los últimos años ha incrementado la preocupación por el cambio climático, es por esto que se han realizado diversos estudios que permitan determinar los principales factores que afectan este fenómeno y las consecuencias que el mismo puede conllevar en caso de no tomar medidas correspondientes para frenar los efectos e implicaciones que se generan para la comunidad y su entorno.

Uno de los pilares de dichas investigaciones está basado en el agua, cabe recalcar que el recurso hídrico es fundamental para el sostenimiento y reproducción de la vida, es por esto por lo que en los últimos años ha crecido el interés por el abastecimiento y distribución de agua dulce en el mundo, máxime cuando esta representa el 2.5% en el planeta. Por esto es necesario analizar alternativas, especialmente en las zonas de principal afectación como lo son las áridas semiáridas del planeta; esto se debe a las características que presentan dichas regiones como la humedad alta, pocos vientos, sequías frecuentes, altas temperaturas, bajas precipitaciones, entre otros.

Debido a esto se ha estado en la búsqueda constante de alternativas para la recolección y captación de agua, dichas herramientas se han desarrollado a lo largo de la historia de acuerdo con el ciclo de vida del agua, en donde el agua

captada es tratada para el consumo. Existen diversos métodos para la captación del agua dentro de los cuales se encuentran las plantas residuales, las cuales funcionan por medio de los alcantarillados las cuales son llevadas a la planta y tratada para salir potabilizada, este medio requiere de gran inversión e infraestructura para su funcionamiento. Otro método usado comúnmente son las plantas desalinizadoras las cuales potabilizan el recurso hídrico del mar la cual se realiza por medio de dos procesos, destilación y osmosis inversa siendo la primera la preferida, pero requiere de gran presupuesto, apoyo de entes gubernamentales e infraestructura rodeada de alcantarillado. Existen de igual manera procesos no convencionales como lo es la captación de agua subterránea que recoge el recurso hídrico de pozos, aljibes y manantiales sin embargo esta agua es limitada y se ha presentado ilegalidad en su recolección. En algunos lugares se ha optado por la recolección de agua lluvia para uso en las actividades diarias y, por último, se ha estudiado la recolección de humedad por medio de la niebla o el rocío en zonas de difícil acceso.

De igual manera en Colombia el agua esta decretado como un derecho fundamental en la constitución política de 1991, desempeñando un papel vital en diversas actividades económicas como la agricultura, industriales, ganadería, recreación, entre otras. Pese a esto las cifras de la encuesta nacional de calidad de vida del DANE para el año 2016 indica que cerca de 3.9 millones de personas no cuentan con un

adecuado sistema de alcantarillado, en este sentido se concluyó que solo el 23% de los municipios del país recibe agua apta para el consumo, en caso de no tomar acciones que frenen la situación se determinó que para el año 2025 el 69% de la población puede estar en riesgo de desabastecimiento en condiciones hidrológicas secas. [1]

Basado en lo anterior, se seleccionó el municipio de Maicao ubicado en el departamento de la Guajira, Colombia. La selección se realizó por las características climatológicas de la zona junto con el abastecimiento y distribución del agua, de acuerdo con un estudio realizado por el IDEAM se estableció que el municipio presenta vulnerabilidad por el agua muy alta basado en la demanda y oferta anual. [2]. Como se puede observar en la figura 1, la zona de estudio presenta características de zonas áridas como su precipitación mensual baja y su temperatura media alta, junto con información socioeconómica que ha prevalecido en los últimos años en donde se muestra la vulnerabilidad de la comunidad en la región, sus problemáticas se ven desde la corrupción que presenta esta zona, la desnutrición infantil, problemas sociales con las comunidades indígenas y se puede observar que una problemática que es transversal a todas estas es la captación y distribución del agua.

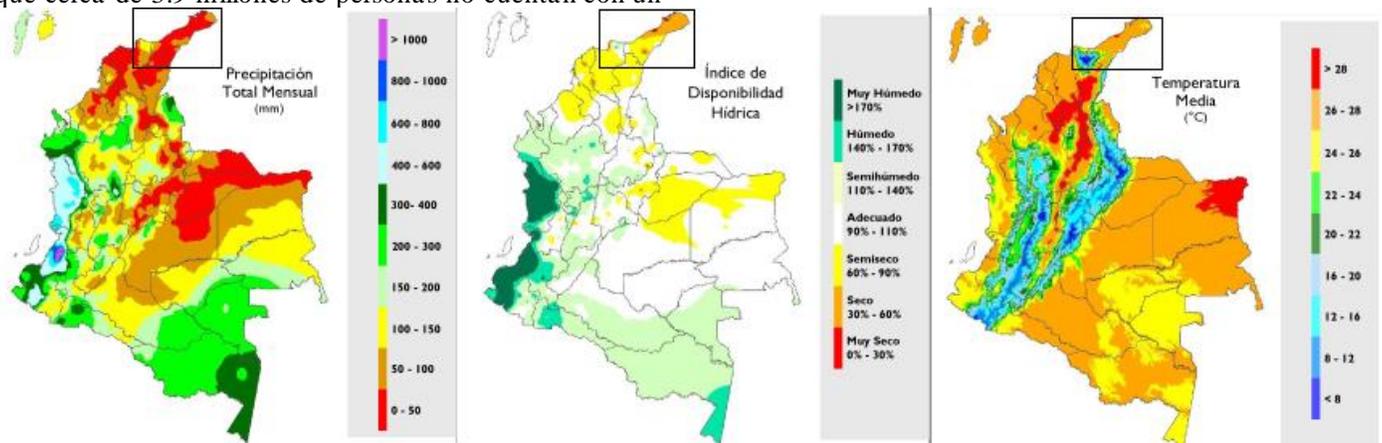


Fig. 1. Mapas de las condiciones climatológicas características de la zona

Por lo anterior se analizan las opciones para determinar cuál es la mejor alternativa para Maicao, se tiene en cuenta sus características llegando a la conclusión de estudiar un método no convencional el cual requiera de una inversión baja. Es por esto por lo que, el estudio está orientado a los captadores de rocío.

Para esto es necesario recordar la literatura que habla de dos fenómenos presentados en la humedad del aire: la niebla y el rocío, en donde este último es un fenómeno físico y meteorológico que se produce cuando el aire alcanza el punto de saturación, es decir, cuando se supera la capacidad máxima para contener vapor de agua, por lo tanto, se empiezan a formar gotas que se depositan en las superficies de la naturaleza. Es característico en las noches con vientos húmedos en zonas áridas debido a los cielos despejados.

Los captadores de rocío están enfocados principalmente en las zonas áridas en donde el agua dulce escasea. Es por esto que se han estudiado diferentes prototipos para la captación de humedad, uno de ellos es un modelo basado en la captación de las superficies de los automóviles, este fenómeno se presenta en el amanecer, principalmente en tres partes del auto: Techo, para brisas y ventanas, teniendo en cuenta esto se considera la inclinación, siendo uno de los factores más importantes para la generación del rocío; De la misma forma, se ha iniciado una investigación para la construcción de un invernadero captador de rocío en Etiopía en forma de pirámide teniendo en cuenta este mismo principio de inclinación y estudio de materia les junto con tamaño para mayor eficiencia.

Así mismo se ha buscado una alternativa para tratar el agua industrialmente a partir de rocío; El agua extraída pasivamente de la humedad puede ser más barata que la de la osmosis inversa y no contamina el medio ambiente, resaltando el

recurso del rocío suplementario de agua potable en entornos áridos y semiáridos. En el presente estudio se evaluarán a fondo las alternativas junto con sus metodologías para determinar la mejor opción para el municipio de Maicao.

II. METODOLOGÍA

1. TIPO DE INVESTIGACIÓN

La metodología mediante la cual se va a desarrollar la presente investigación es de tipología científica de carácter cualitativo, con alcance descriptivo mediante un acercamiento de los captadores en el municipio de Maicao, es por esto que se divide en cuatro componentes basados en los objetivos del proyecto: A. Realizar un diagnóstico de la situación del recurso hídrico y condiciones atmosféricas B. Analizar las alternativas de captadores de rocío C Identificar los impactos sociales, económicos y ambiental de los captadores D. diseñar una metodología donde se analice el uso del prototipo de captador de rocío. A continuación, se describirá la metodología implementada en cada objetivo para el desarrollo del proyecto, por medio de fases secuenciales.

De acuerdo con lo anterior se propone una metodología que genere el desarrollo de estrategias las cuales permita captar o generar otro tipo de fuentes hídricas para su posterior distribución y acceso, en donde el primer paso es la recopilación de información por medio de artículos los cuales fueron recuperados de Scopus, su búsqueda se basó en la información relevante del recurso hídrico en La Guajira, complementado con datos relevantes meteorológicos y climáticos del IDEAM en el municipio de Maicao, una vez recuperados estos datos se procedió a la construcción de un diagrama de árbol el cual evidencia la relación causal del recurso hídrico y los efectos que tienen en su distribución actual analizando como afecta a la comunidad. De acuerdo con lo anterior se procedió a la identificación de los principales factores que afectan la situación del recurso hídrico en Maicao con el fin de determinar mejor alternativa de herramientas que mejoren la captación del agua para los habitantes del municipio. Caracterizando los resultados obtenidos del diagrama por medio de una matriz Vester, la cual muestra gráficamente las causas, efectos y problema centrar.

Por otra parte, para el análisis de alternativas, se realizó por medio de los estudios más importantes desarrollados a alrededor del mundo y publicados por la Organización internacional por la utilización del rocío, para identificar los componentes teóricos y experimentales realizados en cada uno para determinar las características del condensador ideal.

De igual manera, por medio de un análisis entre el plan de desarrollo municipal enfocado a los objetivos de desarrollo sostenible para la agenda 2030, se describirán los impactos que el proyecto tendrá en el aspecto económico, social y ambiental.

Por ultimo se realiza la metodología, la cual tiene como base las tres fases anteriores, su fundamento principal viene de las

alternativas previamente analizadas, así como las características encontradas en el diagnóstico, enfocadas en un impacto positivo para la comunidad. Por esto se diseñan tres etapas, en donde se describirán los procesos para el cumplimiento de cada uno.

III. RESULTADOS

De acuerdo con el árbol del problema realizado se pudo observar que la problemática del proyecto radica en el acceso limitado al recurso hídrico y la no satisfacción de las necesidades básicas de la comunidad, de igual manera cabe recalcar que el municipio es uno de los principales motores económicos debido a que en la zona se presenta la extracción de carbón en el Cerrejón generando contaminación a la poca reserva hídrica para el consumo y uso de la población [3]. Para ello es necesario realizar un diagnóstico que permita identificar la situación y su distribución actual del recurso hídrico con el fin de encontrar una alternativa para lograr el abastecimiento a la mayor cantidad de habitantes al municipio a estudiar.

A. Diagnóstico

De acuerdo con lo anterior, se presentan las causas y efectos partiendo de que en los últimos años ha incrementado la preocupación por la disponibilidad del recurso hídrico debido al calentamiento global, cabe resaltar que una de las principales causas de este fenómeno son los gases del efecto invernadero, en donde dichas emisiones vienen de los sistemas naturales como sismos, incendios, volcanes, entre otros y las actividades humanas relacionadas con la producción de energía, actividades industriales y el uso de la tierra; como consecuencia se ha observado un incremento anual de 1,5% de dióxido de carbono, metano, óxido nítrico y gases fluorados en la última década, [4] es por esto, que se categoriza como una de las principales razones del aumento de la temperatura, la cual se ha estudiado desde 1851 a 2010 en donde se evidencio un incremento en un rango de 0,5°C a 1,3°C, con una tendencia al alta esperando que de no haber cambios significativos para disminuir el cambio climático, no se podrá revertir esta situación, como consecuencia ha observado la disminución de recursos hídricos en las zonas más vulnerables como lo son las áridas y semiárida [3], su afectación se debe a las condiciones y características en donde los factores determinantes son: sus altas temperaturas, bajas precipitaciones y zonas desérticas; de igual manera se debe recalcar que la principal afectada es la comunidad que reside en estas zonas pues como se mencionó anteriormente es fundamental para su bienestar.

Es por esto que se procede a realizar un análisis, el cual permite caracterizar la zona en la que se encuentra el municipio y así determinar las particularidades fundamentales para el presente estudio, cabe resaltar que Maicao pertenece al departamento de La Guajira la cual está dividida en tres grandes regiones de noreste a sureste, correspondientes a la alta Guajira donde se encuentra ubicada la península al extremo nororiental de Colombia y noroccidental de

Venezuela la cual caracteriza por ser una zona semidesértica de grandes extensiones, con inmensas dunas y de escasa vegetación, la media guajira abarca la parte central de relieve plano y ondulado está clasificada como semiárida y la baja Guajira caracterizada por ser más húmeda, de suelos cultivables y posee todos los pisos térmicos. El estudio se centra en la primera que está catalogada como árida, en donde los principales factores a tener en cuenta son las precipitaciones en el municipio las cuales en promedio al año son de 500 a 1000 mm, junto con temperaturas medias promedio entre 26°C y 28°C, lo que conlleva a sequías frecuentes en la zona, ausencia de cuerpos superficiales hídricos y baja proliferación de pozos; [IDEAM] esto se ve reflejado en la comunidad afectando principalmente la calidad de vida de sus habitantes.

Conforme con lo anterior un factor influyente en cuanto al acceso limitado del recurso hídrico es la extracción minera que se presenta en el departamento, donde se encuentra ubicada la principal mina que es el Cerrejón, es considerada una de las minas a cielo abierto más grande del mundo, poniendo a Colombia como cuarto exportador a nivel mundial de carbón y el 90% de esta producción pertenece a ella, por lo que afecta el recurso hídrico de la región debido al consumo de agua que requiere, los cuales son aproximadamente 17 millones de litros diarios de agua para su funcionamiento, a diferencia de una persona promedio que tienen acceso a 0,7 litros al día. [5]

Por tanto, la explotación minera y explotación de los suelos para fines energéticos ha disminuido drásticamente el acceso de agua apta para el consumo humano en estas zonas; Afectando de esta manera a la población, generando conflictos socioambientales debido al desplazamiento, destrucción de los terrenos, contaminación de suelos agrícolas, alteración del estilo de vida de las comunidades, pérdida de costumbres y tradiciones. Es por esto por lo que el estado y diferentes organizaciones han velado porque se lleve a cabo una minería responsable con el medio ambiente y la sociedad generando proyectos de sostenibilidad, sin embargo, estos no son suficientes para el daño que se ha causado a esta región.

A partir de lo anterior, en las actividades mineras del cerrejón se han identificado incendios en las vetas de producción de carbón durante algunos años en su operación; dichos incendios según estudios se producen como consecuencia de fenómenos de combustión espontánea, esta ocurre naturalmente durante la oxidación del carbón cuando se expone a condiciones atmosféricas específicas; Es considerado un gran problema a nivel mundial en la industria minera y a que genera emisiones de gases contaminantes a la atmósfera como dióxido de carbono, dióxido de azufre, gas metano y vapor de mercurio, que es un riesgo potencial para la salud humana, estas combustiones también emiten elementos volátiles como el arsénico, el flúor, mercurio y el selenio los cuales pueden ser inhalados o absorbidos en cultivos, alimentos, ganado, aves y peces, además de los elementos mencionados anteriormente el selenio, arsénico, plomo, estaño y bismuto se condensan creando emisiones gaseosas calientes que al entrar en contacto con el aire forman capas que pueden lixiviar con el agua de lluvia y contaminar los cuerpos y

cauces hídricos proporcionando otra vía de exposición a estos. [6]

Otro factor relacionado con la exploración y explotación de los suelos, es la presencia de hidrocarburos sobre suelos urbanos del Municipio de Maicao, donde se llevan a cabo actividades de distribución, almacenamiento, comercialización y consumo de este, debido al manejo inadecuado se han vertido en el suelo generado situaciones de riesgo en el medio ambiente y la alteración de la calidad y propiedades del suelo como: Ph, Retención de humedad, conductividad eléctrica, potencial de absorción, o incremento en el contenido de CO del suelo (500%), agregación y estabilidad de agregados (200%) reducción de sus capacidades y posibles usos. Teniendo en cuenta estos resultados señalan la vulnerabilidad de los suelos dentro del casco urbano ante la contaminación por TPH y la exposición de la población humana a estos contaminantes. Es importante resaltar para la investigación que se observó una reducción en la retención de humedad del suelo en la primera capa equivalente a 23,25% y en la segunda una reducción del 2,8%, circunstancia que incrementa la vulnerabilidad de estos suelos al tensor ambiental sequía.

En ese sentido, dicha zona presenta cuerpos de agua superficiales y caudales escasos donde el acceso a esta para el consumo humano es restringido, además los recursos hídricos de la región en su mayoría pozos subterráneos son no renovables. [7] Se han realizado estudios para determinar la contaminación presente en los cauces por metales y concentración de organismos coliformes, se realizó un estudio en el río Ranchería, un importante caudal para el abastecimiento de agua en el departamento de la Guajira por su extensión, sus resultados revelaron que este recurso no debe usarse sin un tratamiento previo de potabilización debido a que puede generar morbilidad en la comunidad y daños en sus actividades económicas primarias. [8]

Para caracterizar los problemas evidenciados en el árbol del problema anterior, se realizó la construcción de una matriz Vester que permita clasificar cada uno de los ítems para proceder a una comparación entre ambas diagramas y tener mayor fiabilidad de los datos.

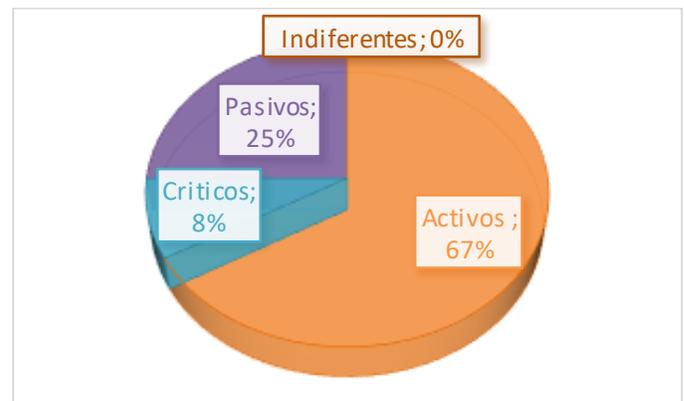


Fig.2. Resultado de la matriz Vester

Con el resultado obtenido en la figura 2, se puede verificar que

la mayoría de sus ítems son activos, es decir, son las causas presentadas en el árbol del problema en donde se encuentran la contaminación, el aumento de la temperatura, la ubicación del municipio y su principal actividad económica de extracción; llevando así a un problema central el cual se ubica en la matriz como crítico que pertenece a la escasez de agua en el municipio. Trayendo consigo los efectos ubicados en la matriz como pasivos, en donde se encuentran las sequías frecuentes, reducción del recurso hídrico y baja calidad en los cuerpos de agua presentes, teniendo como principal afectada a la comunidad.

Luego del diagnóstico realizado al municipio, se procede con la identificación de alternativas existentes de captación de rocío alrededor del planeta, identificando los aspectos más relevantes para tener en cuenta.

B. Análisis de alternativas

En primer lugar, cabe resaltar que existe una organización por la utilización del rocío (OPUR), la cual coopera con diferentes países y empresas que tienen como principal característica atacar las problemáticas en regiones con vulnerabilidad y escasez de agua. Por medio de su página web recopila las investigaciones relevantes realizadas alrededor de la captación del rocío estudiando diversos diseños junto a las características físicas, climatológicas y meteorológicas para el rendimiento de estos equipos, así mismo, han realizado condensadores ideales para la captación de rocío que van desde los 120 a 4900 EUROS. El modelo CRQ-1 es una superficie sobre una armadura metálica inclinada 30 grados con una superficie de 1m² ha sido usado en países como Croacia, Israel, India, Etiopía y Marruecos, para larga duración y con un costo aproximado de 750 euros, por otra parte, el modelo CRSQ-0.25 es una superficie de 0,25m², ligero y portable, es destinado para una corta duración y estudios de sitios; tiene un costo aproximado de 120 euros. Otra alternativa es el Modelo CRQ-0.30 Es una superficie metálica de 0,30m² inclinada 15 grados es usado para recolectar muestras y tiene un costo aproximado de 450 euros. Por último, se encuentra el Modelo CRQ-30 una superficie de 30m² inclinada 30 grados sobre una estructura metálica anclada al suelo, produce importantes volúmenes de rocío y se encuentra en servicio en Vignola (Córcega), tiene un costo aproximado de 4900 euros. Así mismo, menciona otras alternativas viables como la instalación de techos radiativos y hojas radiativas. [9]

De igual manera, se realizó un estudio que permita medir el rendimiento del rocío en todo el mundo, este requiere de mediciones sistemáticas y particularidades del colector; para la investigación se plantea una fórmula analítica simple para prototipos planos de captadores de rocío, a partir de la recopilación de datos como la velocidad del viento, aire, temperatura y evaporación. Su fundamento teórico parte de las ecuaciones de calor sensible y latente, principalmente basado en el balance energético principalmente en el enfriamiento por radiación entre la superficie y la atmósfera, que viene de las pérdidas de calor por convección y el coeficiente de aplacamiento térmico, así mismo, se realiza la investigación en 10 lugares alrededor del mundo, donde se encuentra Francia, Etiopía, Croacia, India, Marruecos y la Polinesia

Francesa con diferentes características meteorológicas, como: Zonas semiáridas, húmedas costeras, áridas costeras e Isla tropical. Por último, un experimento realizado en laboratorio en una lámina plana que pretende determinar la mejor inclinación y material. En donde se obtiene como resultado en el estudio de laboratorio y componente teórico que existe una relación lineal entre el rendimiento de rocío, el poder enfriamiento y la temperatura del aire, lo que quiere decir que, el rocío está limitado principalmente por las pérdidas de calor por convección, con este modelo se puede trabajar a través de unos datos meteorológicos comúnmente disponibles, como cobertura de las nubes, velocidad del viento, temperatura del aire y del punto de rocío, elevación del sitio, evidenciado su veracidad con los 10 experimentos realizados en los diferentes puntos del mundo. [10]

Así mismo, se realizó un estudio por medio de un método simple que permite determinar la obtención del rocío de cualquier entorno, se basó en la observación del fenómeno en las mañanitas en automóviles. Se sabe que existen factores determinantes para el rendimiento del rocío como los datos atmosféricos locales, como la apertura del cielo. En este estudio los condensadores fueron los coches debido a las características similares con los artefactos planos pasivos. Las partes del auto se estudiaron así:

- Parabrisa: tiene inclinación y no se encuentra aislado
- Ventanas laterales
- Azotea del auto la cual está pintada y aislada

De acuerdo con lo anterior, se debe tener en cuenta que la emisividad del vidrio es alta, así como la de las pinturas, las medidas en el techo del automóvil no dependen de la dirección del viento y respecto a las ventanas laterales, el efecto se promedia en dos direcciones del viento, así como el parabrisa y ventanas traseras varían la inclinación de acuerdo con el modelo del carro. Como conclusión se sabe que la captación varía en rendimiento en base con las características de cada sustrato.

El estudio se realizó durante 3 meses El rocío se recoge en la azotea con un tejido de 0,25 m², que luego se pesa con una balanza electrónica de 0,1 g de precisión. En donde por medio de observación, se llega a la conclusión de que la inclinación debe ser 30° respecto a la horizontal, adicionando que, es un método que no requiere de mayor inversión y se puede analizar por medio de [11]

Así mismo, la investigación en campo realizada más grande se realizó en India, la zona de estudio tiene características de regiones áridas, en donde la escasez de agua potable es crónica, en el año 2002 se observó durante 103 noches entre los meses de octubre y abril, recolectando rocío diariamente en un techo plástico tipo invernadero; allí se recogió 1191 litros al compararlo con la precipitación representa 10mm, por lo tanto, no parece significativo, sin embargo una persona requiere de 1200 litros; el recurso recolectado se estudió para determinar si era potable debido a los contaminantes bacteriólogos agregados por el aire, se concluyó que se podía pasteurizar de forma segura, por lo tanto, era potable. En promedio se recolectaba 0,8 mm/día, esto basado en la potencia de enfriamiento disponible (25-100W), respecto al calor latente de condensación (2,26 KJ/g), el material usado

fue polietileno transparente, lo que permite concluir que, un material mejor elabrado podría rendir más, es por esto, que se inició un estudio para desarrollar un captador eficiente y asequible.

Para el anterior propósito el estudio tuvo una duración de 3 a 4 años, en donde se recopilaron los datos por medio de mediciones y se probaron diversos prototipos, como resultado inicialmente, se determinó que el condensador ideal debería ser similar a las plantas, es decir, una lámina ligera, térmicamente aislada del suelo, ubicada en un espacio abierto en donde los vientos no sean fuertes y el rocío se presente frecuentemente, la humedad del sitio debe ser lo suficientemente alta y el material debe ser emisivo y con baja masa térmica.

Así mismo, se debe tener en cuenta que las condiciones atmosféricas no se podrían cambiar, lo que se debía buscar era una mayor eficiencia en la recolección, basándose en la idea de que un radiador con cero reflectancias lograra una superficie más fría, así como búsqueda de materiales no tóxicos, duraderos, rentables a un bajo costo. Por esto se seleccionaron tres materiales de fácil obtención, todos se estudiaron en un tamaño de 1mx1m:

- Película de PETB polietileno mezclado con 5% de TiO₂ y 2% de BaSO₄: emisividad 0,83, espesor 0,3mm
- Chapa de hierro galvanizado GI: nueva emisividad 0,23 espesor 1,5mm
- Hoja de aluminio: emisividad 0,09, espesor 1,5 mm

El condensador se basa en tres partes A. panel, B. marco, C. canalón de recolección y accesorios, el primero está hecho de dos hojas separadas laminadas junto con adhesivo, en donde la tabla inferior está aislada con espuma de estireno, se montaron a 30° de la horizontal, con accesorios como una canal y botella sujetos al marco, el extremo del panel está a 1,5m del suelo.

Se fabricaron 12 unidades con cuatro de cada material, tres mirando al sur, tres al norte, tres al este y tres al oeste. Se registraba hora, ambiente temperatura, velocidad del viento, humedad relativa y temperatura del condensador. Se agruparon los datos durante un periodo de dos años, se produjo rocío durante el lapso de octubre a abril.

Se determinó que se difería en pequeña medida con la orientación de la medición, teniendo como mayor ventaja a las orientadas al oeste y norte llegando a la conclusión que era porque en este sentido no estaban expuestas a la iluminación en la mañana como las otras permitiendo la deposición del rocío un poco más de tiempo. El mejor material fue el PETB seguido del GI y por último el aluminio, por esto se eliminó este material, los otros dos se usaron las minas corrugadas y el piloto de PETB se construyó sobre el suelo formado por dos módulos de 3x3m siendo esta la que más rindió desde el oeste siendo la mejor opción el aislamiento del condensador. [12]

Así mismo, el rocío ha tenido lugar desde hace mucho tiempo atrás, sin embargo, se considera que se ha practicado incorrectamente, se cree antigua puesto que a bastecida de agua a la ciudad de Ucrania. Es por esto por lo que en las últimas dos décadas se han realizado estudios para tener una mejor comprensión de la física y termodinámica asociada, en donde se ha determinado que el rendimiento es pequeño, pero no

despreciable, en especial para regiones áridas y semiáridas. En donde se ha determinado que las principales variables para tener en cuenta son: Temperatura ambiente, temperatura de la superficie del condensador, temperatura del cielo, temperatura de derretimiento, humedad relativa, velocidad del viento, dirección del viento, presión atmosférica, cubierto de nubes, precipitación, humedad de la hoja, elevación del sitio.

La mayoría de las investigaciones se han basado en proyectos piloto que usan condensadores planos, pueden coleccionar agua lluvia y rocío, siendo los más adecuados para regiones en desarrollo. En estos estudios se ha determinado que un punto para tener en cuenta es la superficie del condensador, el polietileno puede lograr un mayor enfriamiento radiativo, sin embargo, su vida útil es limitada. Por otra parte, el hierro galvanizado dura más, pero requiere de pintura especial para mejorar el enfriamiento y produce menos volúmenes de rocío. La frecuencia y duración del fenómeno dependerá de las condiciones atmosféricas y las propiedades del sustrato de condensación.

Se recomienda que el condensador este aislado del suelo, que tenga una inclinación de 30° respecto a la horizontal, pueden tener mayor recolección los que estén en suelo natural, a pesar de que el condensador simple plano ha presentado resultados favorables en la recolección, se han evaluado otras formas como las cónicas y biconicas que aumentan el rendimiento, pese a esto, su costo es más elevado.

La calidad del agua recolectada se puede ver afectada por la presencia de microorganismos, metales pesados y sustancias orgánicas que se acumulan en la condensación, es por esto por lo que se debe realizar un estudio previo para determinar si es potable.

El enfriamiento relativo es el proceso en el cual está basado el fenómeno del rocío, el cual, es pasivo y permite que un cuerpo pierda calor térmico, en este caso el condensador interactúa con la atmósfera circundante emitiendo y recibiendo calor. En la noche cuando se presenta el fenómeno hay un intercambio de calor sensible con el aire y calor latente en la condensación. Debido a la convección natural y forzada, el condensador se enfría primero desde la temperatura ambiente hasta el punto de rocío debido a la pérdida de calor sensible, permitiendo perder calor latente para el enfriamiento radiativo. El cielo frío actúa como sumidero, el cual es benéfico para los sistemas pasivos. [13]

Por último, se analiza un proyecto realizado en Khotara la India, el cual tiene como objetivo realizar una planta de captación de rocío que tiene por objetivo recolectar 500L diarios, en los captadores el soporte está en hierro, sujeto al extremo y deben tener un borde en M del mismo material. Su ubicación fue de tipo paneles solares, en 15 hileras en donde cada una tiene nueve captadores de 1mx1m, la canaleta divide las filas de captadores en una distancia de 0,225cm, de igual manera para poner en marcha su funcionamiento se evaluó la calidad del rocío que se captó para determinar si podía ser potable, por otra parte, se evaluaron los datos meteorológicos como en los anteriores estudios, puesto que sus bases teóricas están basadas en dichos proyectos, sin embargo, una de sus mayores preocupaciones fue la velocidad y orientación de los vientos por esto por medio de simulaciones determinaron cual sería la mejor ubicación. [14]

Por consiguiente, se realizó una tabla en Excel, que permita identificar a simple vista los puntos de congruencia entre los estudios observados, de tal manera, que permita plantear la metodología para el municipio de Maicao

	Inclinación 30°	Aislado térmicamente	Evaluación de materiales	Condiciones meteorológicas	Forma plana
OPUR	Sí	No	Sí	Sí	Sí
Rocio en automoviles	Sí	Sí	No	Sí	Sí
Rendimiento del rocío en todo el mundo	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí
Revisión crítica del rocío	Sí	Sí	Sí	Sí	No
Rocío en la India	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí
Planta de Rocío	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí

Tabla 1. Congruencia entre artículos

Se evaluaron los principales aspectos que se repetían en cada estudio, con el fin de recordar la importancia de este para el desarrollo de la metodología.

C. Impactos del proyecto

Para dar continuidad con el desarrollo de la investigación, se realiza un análisis partiendo del plan de desarrollo municipal, dictado por la alcaldía como ruta estratégica para el mandato de 2020-2023.

En primer lugar, se analizará el aspecto económico, en donde, un indicador relevante a considerar es el PIB, el cual para el departamento de La Guajira a 2019 de US\$4336, así como importaciones de US\$173.8 y exportaciones de US\$734.3 al año 2020. [15], pese a esto, de acuerdo con un estudio realizado por la cámara de comercio de la Guajira en el 2016, el Índice de Pobreza Multidimensional (IPM) para el municipio de Maicao es del 84,9%, junto con la inflación se puede concluir que los más afectados son las personas y hogares con bajos niveles de ingresos ubicados principalmente en zonas rurales. [16]

De acuerdo con lo anterior, el plan de desarrollo del municipio busca impactar en el pilar económico por medio de 6 puntos, los cuales son: Logística portuaria e internacionalización, Comercio seguro, Trabajo: protección y promoción del empleo, Turismo, Agricultura y desarrollo rural, a continuación, se explicará los puntos en donde el proyecto impacta, apoyando las metas trazadas en este plan

1. Trabajo: protección y promoción del empleo: De acuerdo con el plan de desarrollo este pilar se divide en ejes fundamentales, siendo los más relevantes para el proyecto:

1.1 Plan de desarrollo municipal:

Fortalecer el programa de mi primer empleo para aquellos jóvenes entre 18 y 28 años, por medio de empleos formales o emprendimiento que impacten positivamente la vinculación laboral. Donde los principales entes de la empleabilidad en el departamento son: Universidad de la Guajira, la alcaldía, SENA, cámara de comercio y comfaguajira.

1.2 Impacto del proyecto: Para la implementación de los captadores en el

municipio, se puede desarrollar junto con la alcaldía la promoción de empleos para la construcción y estudio inicial del proyecto, en donde los principales beneficiarios sean recién egresados o en sus últimos periodos académicos, de programas acorde al proyecto.

1.3 Plan de desarrollo municipal: Ciencia, tecnología e innovación, los retos de CTI se realizarán por medio de alianza estratégica entre nación y regiones para adaptarse a los retos de la economía dinámica, reduciendo las brechas en investigación entre municipios

1.4 Impacto del proyecto: El estudio se presenta en un marco innovador tanto para el municipio como para departamento, de tener una buena acogida por parte de un ente gubernamental o privado, se puede generar interés de otras regiones para apoyo y reconocimiento del proyecto

2. Agricultura y desarrollo rural: De acuerdo con el plan de desarrollo este pilar se divide en ejes fundamentales, siendo el más relevante para el proyecto:

2.1 Plan de desarrollo municipal: el sector agrícola en el municipio tiene registradas 183.902 hectáreas que realizar actividades agropecuarias como cultivos agrícolas, pasto y rastrojo. Una de las principales zonas agrícolas UMATA, se han sembrado 1800 hectáreas de maíz, frijol, patilla, melón, hortalizas y yuca. Se fortalecerá por medio de programas que promuevan el cuidado de los recursos naturales, apoyar programas que garanticen la disponibilidad de agua, establecer un banco de maquinaria y equipos agrícolas, fomentar la educación en estas áreas, entre otros.

2.2 Impacto del proyecto: Los captadores tienen un impacto indirecto con el sector agrícola, puede proporcionar agua para el riego lo que permitirá así una mayor eficiencia en los cultivos y la posibilidad de expansión para mayor inversión en el proyecto.

3. Estrategia: el verdadero cambio para el desarrollo económico: El plan de desarrollo municipal quiere impactar 7 objetivos de desarrollo sostenible, en donde el proyecto impacta en el objetivo número dos, poner fin a la hambre, lograr la seguridad alimentaria y la mejora de la nutrición y promover la agricultura sostenible. El objetivo número ocho promover el

1. Laura Daniela Acosta Cubides. Email: laura.acosta3@estudiantes.uamerica.edu.co

2. Solangel Herrera Quintero. Email: solangel.herrera@estudiantes.uamerica.edu.co

crecimiento económico sostenido, inclusivo y sostenible, el empleo pleno y productivo y el trabajo decente para todos. Y por último el objetivo nueve construir infraestructuras resilientes, promover la industrialización inclusiva y sostenible y fomentar la innovación.

En segundo lugar, se hablará del aspecto social, en donde, uno de los pilares para tener en cuenta son las condiciones de vivienda y servicios públicos que impactan directamente en la calidad de vida de la comunidad. En Maicao el 61,9% de las personas no tienen acceso a fuentes de agua mejorada, así mismo el 72,1% no cuentan con una adecuada eliminación de las excretas y el 25,6% se encuentra en hacinamiento crítico. De igual manera existe una brecha alta entre la comunidad rural y urbana, el porcentaje de miseria es de 51,44% en la primera y 17,88% en la segunda, lo que presenta una brecha del 33,56%, en donde se debe resaltar, que un alto porcentaje de la población rural pertenece a la comunidad indígena Wayuu.

El agua potable es un servicio público domiciliario, siendo uno de los más importantes para el cierre de brechas sociales, cuenta con una red de alcantarillado de red menor y red primaria, en donde esta última está construida en es Asbesto Cemento, la cual depende de la captación que se haga en los caudales.

La población requiere aproximadamente de 26 millones de litros de agua al día, sin embargo se ve afectado por las sequías constantes en el municipio, así mismo, 19886 hogares no cuentan con el servicio de alcantarillado; este problema radica principalmente la zona rural en donde no hay operador del servicio, ni existencia de fuentes subterráneas aptas para el consumo, la estrategia llamada “Guajira Azul”, consiste en aumentar la cobertura y calidad del agua potable en el departamento, para el municipio de construirán dos módulos, sin embargo, uno de ellos debía estar construido para finales del 2020 y no se cumplió con los tiempos.

Es por esto por lo que, el municipio le apuesta a la búsqueda de nuevas fuentes como alternativas de solución, buscando proyectos encaminados a garantizar el servicio en calidad, permanencia y cobertura tanto en el área urbana como rural. Es por esto por lo que los captadores de rocío son una gran oportunidad para la comunidad del municipio, es una alternativa no convencional que permite un acercamiento a la recolección de agua para mejorar la calidad de vida de la población, impactando principalmente en las zonas rurales y rurales dispersas, en donde por el campo abierto se logra una mayor captación.

Por último, se hablará del aspecto ambiental, El municipio de Maicao es uno de los afectados en cuanto a contaminación en cauces cercanos por la extracción y exploración minera y petrolera, lo cual ha afectado no solo las capas del suelo sino también la presencia de metales pesados, lo cual vulnera uno de los derechos estipulados en la constitución de Colombia de 1991, declara el agua potable y saneamiento como un derecho humano fundamental. Además de esto el Objetivo de Desarrollo Sostenible número 6, Agua limpia y saneamiento; que como finalidad garantizar la disponibilidad de agua y su

gestión sostenible el saneamiento para todos los colombianos, puesto que, es de vital importancia el “acceso al agua potable y saneamiento básico” siendo este uno de los instrumentos más importantes para garantizar calidad de vida a la población.

De acuerdo con lo anterior de evidencia que Maicao cuenta con acueducto, planta de tratamiento de agua y tanques de almacenamiento, algunos de estos se encuentran en malas condiciones por lo cual la infraestructura y material empleado se convierte en desechos y contaminación, pérdida de recursos, limitación de terrenos para siembra y desabastecimiento de agua. Esto obliga a las comunidades a extraer agua para consumo humano de pozos subterráneos no renovables generando así grandes huecos en la tierra afectando los terrenos y disminuyendo la disponibilidad de agua de estos pozos sin control alguno por entes públicos.

En base a esto se desarrolla el plan de desarrollo del municipio, donde trata un tema fundamental como lo es el medio ambiente y gestión de riesgos, donde se quiere resaltar estos puntos:

4. Disponibilidad de agua superficial y subterránea:

Si bien el municipio de Maicao En cuanto a fuentes de agua superficial, el Río Carraipía es la fuente hídrica más importante, su recorrido y afluentes abastece a la zona agropecuaria más productiva, este representa a amenaza por inundación y deslizamiento causando inundaciones y deslizamientos principalmente porque sus laderas se encuentran deforestadas, además de esto el río disminuye significativamente su caudal en tiempos de baja lluvia.

4.1 Plan de desarrollo municipal: Con el objetivo de realizar una planeación del uso y manejo sostenible de los recursos naturales renovables, el Municipio de Maicao y la Corporación Autónoma Regional de la Guajira CORPOGUAJIRA plantea conservar, proteger y prevenir el deterioro de la cuenca hidrográfica del municipio, realizando proyectos de reforestación y búsqueda de arroyos que puedan servir de apoyo para el abastecimiento del recurso.

4.2 Impacto del proyecto: La captación de rocío como fuente alternativa de abastecimiento de agua apta para el consumo humano como proyecto tendría un impacto fundamental en este objetivo de preservar las cuencas hidrográficas de la zona ya que no genera un impacto en ríos y cauces evitando así secar estas cuencas, y aportando a la conservación del agua dulce, beneficiando a la población vulnerable dando acceso al recurso hídrico.

5. **Plan de Gestión Integral de Residuos Sólidos:** La producción de residuos sólidos no biodegradables se ha incrementado no solo a nivel mundial si no también en cada zona del país, la contingencia actual lleva a que las personas utilicen elementos de protección como tapabocas, caretas, gafas, y demás para protegerse y evitar el contagio del virus covid-19, esto no es ajeno a el municipio de Maicao que además de esto, también encontramos la mina el cerrejón que produce diferentes tipos de residuos sólidos que deben ser recogidos, clasificados y realizar su gestión para una posible reutilización.

5.1 Plan de desarrollo municipal: se hace necesario que el municipio de Maicao implemente el Plan de Gestión Integral de Residuos Sólidos (PGIRS) con el objetivo de realizar un buen manejo de los residuos sólidos, minimizar el impacto ambiental y dar cumplimiento a la normatividad vigente. Ante la contingencia actual sea incrementado la producción de residuos plásticos no biodegradables para la protección de la salud.

5.2 Impacto del proyecto: Este proyecto se basa principalmente en tratar una problemática de escases del recurso hídrico, pero uno de los factores importantes es que esta alternativa de captador de rocío en contraste a otras posibles soluciones para el abastecimiento de agua apta para el consumo humano como acueducto y plantas de tratamiento, este tiene un menor impacto en los suelos y reduce los residuos en la construcción y armado, contribuyendo a este plan de Gestión de Residuos solidos [17]

D. Diseño de la metodología

Para realizar una metodología exitosa, esta debe partir de los tres puntos anteriores, es por esto, que una de las bases fundamentales para dicha propuesta, son los datos meteorológicos del municipio, los cuales se estudiaron a profundidad en el diagnóstico debido a que de ellos depende la eficiencia del captador.

Por lo anterior, se realizó una búsqueda en el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM), de las principales variables que afectan el rendimiento del condensador, se tomaron los datos históricos desde el 01/01/2013 hasta el 31/12/2020, a continuación, en la tabla se muestra el promedio por año de cada variable.

Año	Temperatura (°c)	Precipitación (mm)	Humedad R. (%)
2013	31.964	1.585	75.124
2014	32.257	1.780	72.726
2015	32.124	0.764	71.215
2016	32.407	2.967	77.463
2017	31.556	2.497	76.421
2018	31.602	1.428	76.016
2019	31.827	1.842	76.828
2020	31.874	2.079	73.960

Tabla 2. Histórico de datos meteorológicos en Maicao.

Reiterando así, nuevamente que el municipio cumple con la características para el desarrollo del proyecto, las temperaturas medias son superiores a 30°C y la precipitación analizada en día pluviométrico, el cual hace referencia a las precipitaciones ocurridas durante un día, revelando así las sequías a las que se enfrenta el municipio. Por otra parte, la humedad relativa, es un factor fundamental puesto que hace parte del cálculo de la temperatura del rocío. [18]

La metodología se dividirá en tres etapas fundamentales que permitirán un acercamiento al desarrollo de captadores de rocío en Maicao. De acuerdo con Daniel Beysens, presidente de la OPUR, recalca en su conferencia que uno de los principales puntos para tener en cuenta para el desarrollo del captador ideal son los materiales, así como la ubicación del sitio y la orientación de los captadores.

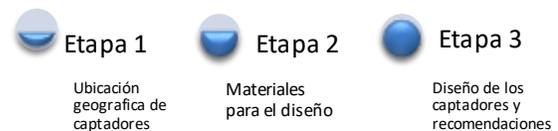


Fig.3. Etapas de la metodología

Por lo anterior, la primera etapa para el desarrollo de la metodología es determinar la ubicación del captador, es decir, en que área del municipio se ubicara el proyecto. Maicao cuenta con áreas rurales y urbanas, sin embargo, en ambas se pueden observar terrenos vacíos en donde se pueden ubicar los captadores.

De acuerdo con las alternativas previamente analizadas, se determinó que los lugares despejados son ideales debido a las características meteorológicas que se presentan en la noche, es decir, el rocío se forma especialmente en las madrugadas, en donde requiere de un enfriamiento para que se desarrolle el fenómeno, en ciudades o regiones con edificios no es recomendable debido a que, se forma un ambiente cubierto que no permite el enfriamiento adecuado, lo que afecta directamente la eficiencia del captador.



Fig.4. Terreno apto en zona rural de Maicao



Fig.5. Terreno apto en zona urbana de Maicao

Por lo anterior, el terreno para realizar el estudio debe ser a campo abierto; para la preparación y adecuado funcionamiento, Luego de seleccionar el terreno, se debe realizar una adecuación por medio de un podado en el terreno

y fumigación de ser necesario, por último se debe realizar una limpieza, recordando que el ambiente en donde se encuentren los captadores puede afectar el recurso recolectado, es decir, si cerca de él existe un foco de residuos, debe ser retirado, evitando así la contaminación por medio de gases. Así mismo informar a la comunidad del proyecto que se va a realizar, enfatizando en el beneficio que trae para todos, de esta manera, se crea conciencia para cuidar y respetar el campo de estudio. En la figura 6 se muestra el resumen de las características de la primera etapa.

UBICACIÓN GEOGRÁFICA DE LOS CAPTADORES



Fig.6. Ubicación geográfica de los captadores

De igual manera, una parte fundamental para el desarrollo del proyecto es la selección de materiales y proveedores. Es por esto por lo que se procede a un análisis, en las alternativas previamente estudiadas se habla constantemente de tres materiales representativos:

1. Película de polietileno

2. Lamina de aluminio
3. Lamina de vidrio

Como se puede observar en la figura 7, se detalla como fue el proceso de selección de materiales y proveedores por medio de un diagrama para su fácil entendimiento.

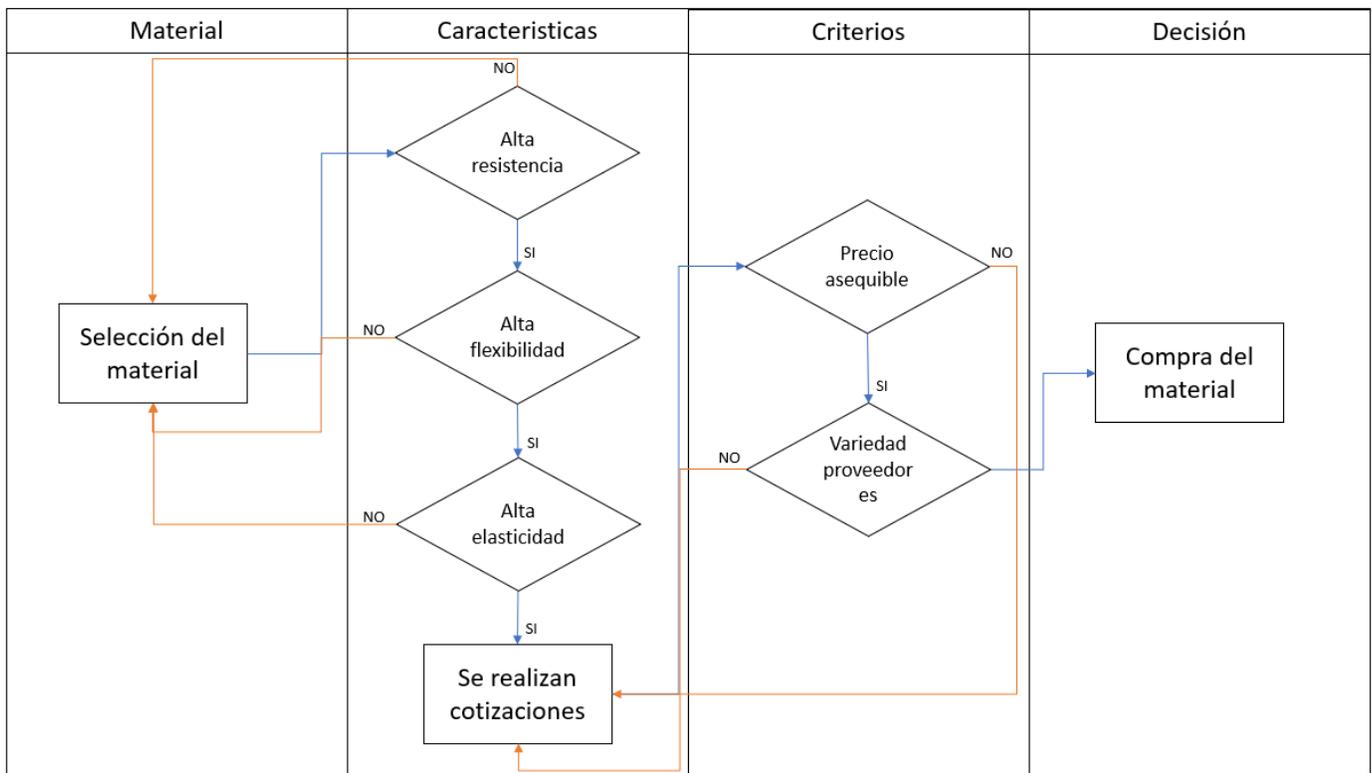


Fig.7. Selección de materiales y proveedores.

Los tres materiales mostraron resultados positivos en los proyectos previamente analizados, es por esto, que se realiza un estudio del material idóneo para el acercamiento a los captadores. Para el proyecto se seleccionaron las 3 ciudades más cercanas a Maicao, dentro de las cuales están Barranquilla, Valledupar y Santa Marta; el factor de selección se basa principalmente en la facilidad de encontrar diversos proveedores en las distancias más cortas. Se busco por medio de una herramienta que promedia los precios existentes en el mercado de los materiales [19], en la ferretería CALYPSO que cuenta con sede en Barranquilla y Valledupar, por último, se confirmaron los precios en plataformas de venta como Mercado libre, para las 3 ciudades de los materiales correspondientes.

En la tabla 3 se muestra una comparación de precios en las ciudades, recordando que el envío debe tener un costo adicional hasta el municipio.

	Polietileno		Aluminio (1mx1m)		Vidrio	
	Medida	Precio	Calibre	Precio	Medida	Precio
Barranquilla	3mx1m	\$ 6,000	3mm	\$ 15,000	1mx1m	\$ 51,000
Valledupar	2.3mx1m	\$ 3,100	0,5 mm	\$ 30,000	1mx1m	\$ 51,000
Santa Marta	3mx1m	\$ 6,000	3mm	\$ 29,000	1mx1m	\$ 51,000

Tabla 3. Histórico de datos meteorológicos en Maicao.

De acuerdo con la tabla anterior, se puede determinar que el material más económico es el polietileno, así como la durabilidad de este es mayor en comparación a los otros, debido a que, el vidrio tiene mayor riesgo de rompimiento por cualquier suceso ajeno a la captación, por otra parte, la lámina de aluminio no permite un moldeamiento idóneo, lo que dificulta su adaptación en la canaleta y se puede generar un

rompimiento en el material. Con base a esto, se selecciona la película o rollo de polietileno como material para el desarrollo del proyecto, fundamentado en los estudios realizados y los resultados efectivos presentados con este material que requiere de una baja inversión.

Por otra parte, para el soporte del captador se analizan diferentes alternativas como la madera de aglomerado, madera sintética y bambú; la principal característica que une estos materiales, es el aislamiento térmico, recordando la importancia que se le dio en los estudios al material aislado térmicamente [12], recordando que la madera y el bambú no son conductores térmicos, a pesar de encontrar mayor economía en la madera, se selecciona el bambú, puesto que en estudios de captadores de rocío, captadores de niebla y otros estudios para recolección de agua por métodos no alternativos se ha seleccionado este material por su durabilidad, adaptación a las características meteorológicas, se encontraron dos proveedores nacionales sus precios van desde los COP\$5000 a \$30000 por guadua de bambú, cabe recalcar que el costo extra está en el envío de la mercancía, sin embargo, se puede llegar a un acuerdo con el proveedor puesto que se necesita el material para el soporte y uno de un espesor mas bajo para el marco.

Por ultimo las grapas para sujetar el condensador al soporte y la canaleta se recomienda comprarla junto con el rollo de polietileno, permitiendo así un acuerdo con el proveedor en cuanto a medios de pago y envío. El material de esta no influye debido a que se recubrirá de igual manera con el plástico.

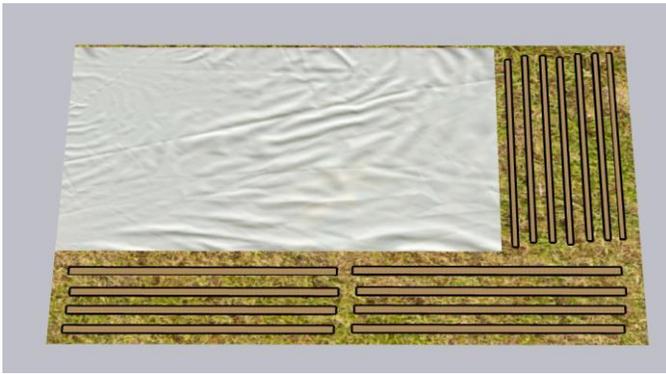


Fig.8. Materiales en el terreno adecuado

Dando continuidad a metodología, el diseño de los captadores es la etapa de finalización. Luego de tener el lugar y los materiales seleccionados, se procede a la ubicación en el campo de los captadores. De acuerdo al estudio realizado en La India [12], los captadores planos demostraron dar una eficiencia aceptable para el proyecto, sin embargo, en una conferencia de Daniel Beynes [20], estudios más recientes han demostrado que aquellos diseños que cuenten con puntas como una cubeta de huevos tendrán más eficiencia, debido a que el rocío tiene mayor recolección en los bordes de la plataforma, pese a esto, la inversión incrementaría por encontrar un captador de este tipo con los materiales previamente estudiados, de acuerdo con el análisis realizado en el diagnóstico del proyecto se evidencio, que la población tiene vulnerabilidad económica. Es por esto por lo que se analizaron alternativas económicas, en donde su eje viene del condensador plano.

El captador se divide en dos ejes fundamentales:

- Soportes y accesorios del condensador: El soporte es la parte que resistirá el condensador, su importancia viene del aislamiento térmico que debe tener del suelo para que permita un adecuado enfriamiento del material, este debe estar anclado al suelo para favorecer la captación. Por otra parte, requiere de una canaleta que transportara el agua recolectada, está por su parte debe estar recubierto por el material seleccionado para el captador, la función de esta es transportar el recurso hídrico hasta un recipiente para almacenar el agua, este último puede ser elegido por la comunidad de acuerdo con el fin que le darán al agua captada.
- Condensador: Es la parte encargada de la captación del agua, el material seleccionado se sujeta por medio de grapas a los bordes del soporte, debe quedar templado para favorecer la recolección.

En la figura 6 se puede observar un diseño de los captadores, recordando que en las alternativas previamente estudiadas las medidas del condensador es de 1mx1m basado en el estudio realizado para una planta de captación de rocío. [14] Para mayor eficiencia los captadores deberán estar juntos en dos hileras, así como enfrentados, lo que permitirá que compartan una canaleta. En la imagen se puede observar que es un captador grande, sin embargo, se recomienda realizarlos por separados debido a la eficiencia en los bordes de cada uno.

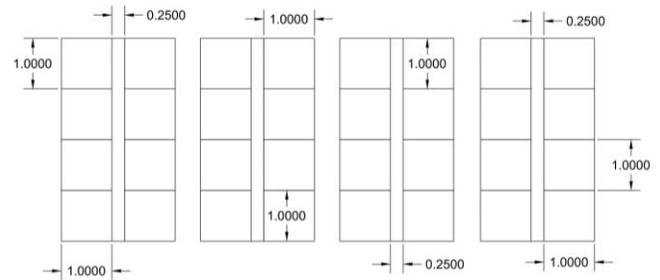


Fig.9. Plano del diseño de captadores

Por otra parte, en las figuras 7 y 8, se realizó un modelo render simple, que permite un acercamiento a los captadores. Se puede observar como se deben ubicar en el campo, esta posición favorecerá la recolección.



Fig.10. Diseño de captadores, vista lateral

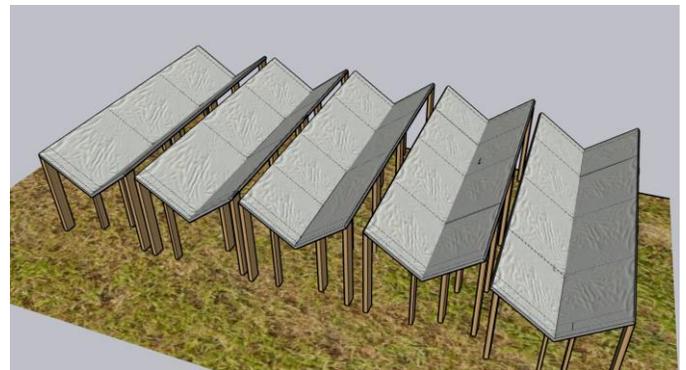


Fig.11. Diseño de captadores, vista superior

De acuerdo con lo anterior, en la figura 11 se puede observar un diagrama que resume las 3 etapas para mayor entendimiento del desarrollo de la metodología, muestra los principales factores para tener en cuenta, las características críticas para el adecuado funcionamiento de los captadores en el municipio de Maicao. Llevando así a una solución alternativa para la escasez que vive el municipio, como se mostró en el diagnóstico, las condiciones de vulnerabilidad con las que vive la comunidad, especialmente en la zona rural son altas, y el impacto que tendría para este como previamente se explicó sería en beneficio del municipio.



Fig.12. Descripción de las etapas de la metodología.

IV. CONCLUSIONES

Se realizó un análisis por medio de las herramientas árbol del problema y matriz Vester en donde se desarrolla la caracterización y priorización de los principales factores que afectan las importantes fuentes de recurso hídrico de la zona, llevando a cabo un diagnóstico en donde se determinó que el municipio de Maicao presenta escasez de agua para satisfacer las necesidades de la comunidad, de igual manera las fuentes disponibles del recurso hídrico están contaminadas por lo tanto generan morbilidad a la comunidad y altera las actividades económicas del municipio como la agricultura y ganadería generando la extracción de carbón como fuente de economía del departamento posicionando a Colombia como cuarto exportador del mundo, perjudica no solo cauces y caudales si no también el aire y suelo, esto junto con la explotación de hidrocarburos hace que para el municipio sean no viables las formas de abastecimiento y distribución de agua tradicionales. Determinando así que la mejor alternativa para la captación del agua es un método no convencional que capte el fenómeno llamado rocío.

Por medio de una recolección de alternativas previamente aplicadas y estudiadas alrededor del mundo, en donde se determinó que las principales características a tener en cuenta para un captador ideal en regiones catalogadas como áridas y semiáridas que presentan problemáticas y vulnerabilidad frente a la escasez de agua, es principalmente un captador plano por la fácil adquisición de láminas de los materiales a utilizar, siendo estos últimos evaluados en diferentes fuentes y por costo beneficio los recomendados son el aluminio y polietileno. Así mismo, para un adecuado enfriamiento radiativo recordando que es una de las características primordiales para la eficiencia del captador, comprobada teórica y experimentalmente, el condensador debe estar

aislado térmicamente del suelo, de igual manera, existen condiciones meteorológicas fundamentales para el desarrollo del captador, teniendo en cuenta las características de la zona se sabe de temperatura y precipitaciones, adicionales a estas la emisividad del cielo, humedad relativa, presión atmosférica, velocidad del viento y dirección del viento; en donde las últimas dos tienen influencia en la inclinación del dispositivo que debe ser de 30° respecto a la horizontal.

De acuerdo con un análisis realizado, para determinar los impactos que el proyecto dejara enfocado principalmente a la comunidad, en este se pudo concluir, que afectan en 3 aspectos fundamentales en el plan de desarrollo municipal. El primero de ellos es el económico, a pesar de ser, uno de los municipios con mayor rendimiento económico del departamento después de Riohacha, presenta afectaciones de empleabilidad formal, si el proyecto puede tener un apoyo gubernamental o privado, este puede ayudar principalmente en trabajo para jóvenes que buscan un primer acercamiento al ámbito laboral, los cuales estén interesados en la investigación, de tal manera que permita mejorar la eficiencia de los captadores, y en este sentido, aportaría a otro indicador importante para la alcaldía que es el fomento de la innovación, debido a la ausencia de proyectos similares en la región. Así mismo, puede apoyar al campo agrícola, puesto que el agua recolectada puede ser utilizada como recurso para el riego.

Por otra parte, el aspecto social se centra en la calidad de vida de la comunidad, siendo un factor directo a este indicador la disponibilidad del recurso hídrico. Los captadores de rocío son una alternativa no convencional que permitirá mejorar la calidad de vida, así mismo, será un tema de interés para entes gubernamentales, puesto que está en búsqueda de nuevos proyectos para captación de agua.

Así mismo, en el aspecto ambiental, principalmente el proyecto reducirá los impactos que tiene la extracción de pozos subterráneos, protegiendo las cuencas y así mismo ayudando a las propiedades del suelo para que se recuperen por sí mismas y de esta manera, ayudar a la revitalización del recurso.

En el planteamiento de la metodología, para la etapa uno se llega a la conclusión de que el terreno en el cual se debe desarrollar el proyecto debe ser a campo abierto, esta es la principal característica a tener en cuenta, es decir, no deben estar edificios o torres alrededor de él que no permitan el adecuado enfriamiento del condensador, luego de la selección de dicha superficie, se procede a la adecuación de esta, de ser necesario se podara y fumigara para evitar focos de infección, de igual manera si existen residuos en el lugar se procede a realizar una jornada de limpieza, recordando que los residuos emiten gases que pueden afectar la humedad captada. Así mismo, se recalca la importancia de incluir a la comunidad en el proyecto puesto que se genera un sentido de pertenencia al explicarle el impacto positivo que tendría para ellos.

Para la elección de proveedores y materiales, se seleccionaron las tres ciudades con distancias más cortas a Maicao, las cuales fueron: Barranquilla, Santa Marta y Valledupar, al ser ciudades centrales, se tiene oportunidad de buscar proveedores y negociar en cuanto a métodos y plazos de pago, así como

descuentos. Se estudiaron los materiales recomendados en las alternativas analizadas en donde, el material seleccionado para el condensador es la película o rollo de polietileno por su adaptabilidad, durabilidad, resistencia y precio; lo que resulta coherente con los análisis previamente analizados, la situación económica en Maicao requiere de alternativas económicas, en el estudio realizado se pudo observar que la inversión es baja en comparación a los otros dos materiales. Para el soporte del captador, el criterio de decisión se basó en la durabilidad de este, es por esto, que se seleccionó el bambú, este material se ha usado en otros estudios previamente analizados, Colombia cuenta con grandes distribuidores en la región del Valle del Cauca. Por último, las grapas y canaleta se recomienda negociarlas con los proveedores del plástico para descuentos. La última etapa, el diseño de los captadores, da la finalización de la metodología, se realizó un modelo en render en donde muestra la orientación ideal de los captadores, recordando que cada condensador debe medir 1mx1m y la canaleta se recomienda sea de 0.25m, la altura del soporte se podrá dejar a preferencia, sin embargo, es vital que el ángulo respecto a la horizontal del marco sea de 30°. Las guadas de bambú deberán ir incrustadas en el piso, el marco deberá ser sujetado con grapas especializadas al soporte y el condensador deberá ser amarrado por medio de grapas. La posición de los captadores deberá ser en fila y enfrentados entre ellos, esto favorecerá la captación y optimizará una canaleta para toda la línea, es importante que los captadores se realicen individualmente, puesto que los bordes favorecen la captación y de realizar uno solo se perderá agua, por último la comunidad decidirá en que recipiente desea recolectar el agua, el recurso recolectado se usará para fines agrícolas puesto que no se ha realizado un estudio en campo que permita determinar la calidad del agua captada, teniendo factores en cuenta como la lluvia ácida.

V. REFERENCIAS

- [1] C. S. Ruíz Rupíz, D. Chaves Martínez y J. A. Fuentes Mejía, «Gestión y resultados del sector de agua potable y saneamiento básico con énfasis en los recursos del sistema general de participaciones 1994-2017,» Contraloría, 2018.
- [2] IDEAM, «Estudio nacional del agua,» IDEAM, 2000.
- [3] J. E. Ospina Noreña, C. A. Domínguez Ramírez, E. E. Vega Rodríguez, A. E. Darghan Contreras y L. E. Rodríguez Molano, «Analysis of the water balance under regional scenarios of climate change for,» *Atmósfera*, vol. 30, n° 1, pp. 63-76, 2017.
- [4] S. Fawzy, A. Osman, J. Doran y D. Rooney, «Strategies for mitigation of climate change: a review,» *Environmental Chemistry Letters*, vol. 18, n° 6, pp. 2069-2094, 2020.
- [5] N. Healy, J. Stephens y S. Malin, «Embodied energy injustices: Unveiling and politicizing the transboundary,» *Energy research & social science*, vol. 48, pp. 219-234, 2019.
- [6] P. Bustamante, M. Bustamante y D. Alan, «Optimization of techniques for the extinction and prevention of coal fires produced in endwalls as a result of spontaneous combustion in the Cerrejon mine-Colombia,» *Environmental science and pollution research*, 2018.
- [7] E. A. Dominguez Calle, J. A. Moreno Miranda, M. H. Olaya Rodríguez, J. F. Martínez, C. A. Ruiz Agudelo, L. F. Madriñan, J. Burbano Girón y S. E. Lozano Baez, «Objective assessment of ecosystem hydrological services in tropical,» *Ambiente y agua*, vol. 12, n° 3, 2017.
- [8] P. Jhonny, N. Andrea y G. Andres, «Análisis Comparativo de Índices de Calidad del Agua Aplicados al Río Ranchería- La Guajira,» *Información tecnológica*, vol. 29, n° 3, 2018.
- [9] OPUR, «International Organization For Dew Utilization,» [En línea]. Available: <https://www.opur.fr/>. [Último acceso: 25/03/2021].
- [10] D. Beysens, «Estimating dew yield worldwide from a few meteorological data,» *Atmospheric research*, n° 167, pp. 146-155, 2016.
- [11] D. Beysens, V. Pruvost y B. Pruvost, «Dew observed on cars as a proxy for quantitative measurements,» *Arid Environmentalists*, n° 135, pp. 90-95, 2016.
- [12] G. Sharan, «Harvesting Dew with Radiation Cooled Condensers to Supplement Drinking Water Supply in Semi-arid Coastal Northwest India,» *International Journal for Service Learning in Engineering Humanitarian Engineering and Social Entrepreneurship*, vol. 6, n° 1, pp. 132-152, 2011.
- [13] M. Tomaszewicz, M. Najm, D. Beysens y I. Alameddine, «Dew as a sustainable non-conventional water resource: a critical review,» *Environmental Reviews*, 2015.
- [14] A. Roy, L. Royon, A. Mongruel y D. Beysens, «Dew plant for bottling water,» *Journal of cleaner production*, n° 155, pp. 83-92, 2016.
- [15] Ministerio de comercio, «Información: Perfiles económicos departamentales,» 2021.
- [16] Cámara de comercio de la Guajira, «Informe económico 2016 departamento de la Guajira,» 2016.
- [17] Alcaldía municipal de Maicao, «Plan de desarrollo municipal,» Maicao, 2020.
- [18] IDEAM, *Recopilación de datos históricos*, Maicao, La Guajira, 2013-2020.
- [19] CYPE, «CYPE,» [En línea]. Available: <http://generadorprecios.cype.es/>. [Último acceso: 15 Mayo 2021].
- [20] D. Beysens, *Dew and dew harvesting*, 2019.