# EVALUACIÓN DE MÉTODOS DE OBTENCIÓN DE AGUA PARA SU USO EN AGRICULTURA ALTERNATIVA EN EL CORREGIMIENTO DE CAMARONES, LA GUAJIRA.

**Alejandro Guzmán Pérez**

Universidad El Bosque
Facultad de Ingeniería
Programa Ingeniería Ambiental
Bogotá, 16 de octubre del 2019

# EVALUACIÓN DE MÉTODOS DE OBTENCIÓN DE AGUA PARA SU USO EN AGRICULTURA ALTERNATIVA EN EL CORREGIMIENTO DE CAMARONES, LA GUAJIRA.

**Alejandro Guzmán Pérez**

Trabajo de investigación presentado como requisito parcial para optar al título de:
**Ingeniero Ambiental**

Director (a):
Gustavo Andrés Contreras Hernández

Línea de Investigación:
Gestión para el desarrollo urbano y rural y mejoramiento de la calidad de vida

Universidad El Bosque
Facultad de Ingeniería
Programa Ingeniería Ambiental
Bogotá, Colombia
2019

**Nota de Salvedad de Responsabilidad Institucional**

La Universidad El Bosque, no se hace responsable de los conceptos emitidos por los investigadores en su trabajo, solo velara por el rigor científico, metodológico y ético del mismo en aras de la búsqueda de la verdad y la justicia.

Agradecimientos

El empeño que mis padres han puesto en mí y mi carrera ha sido el principal motivo para salir adelante con este trabajo, gracias a ellos por permitirme lograr lo que me propuse desde el inicio del primer semestre académico. Gracias a mi abuela por siempre confiar en mí y encomendarme a Dios con toda actividad que realicé en el pasado y que seguiré haciendo en el futuro. En general gracias a mi familia y amigos más allegados que siempre estuvieron atentos de mi proceso, alentándome cada día más para no desistir en el intento. Agradecer a mi director de tesis, quien dispuso de su tiempo para corregirme, motivarme y orientarme. Gracias a mi jefe inmediato de práctica empresarial y demás compañeros profesionales quienes aportaron un poco de su experiencia y conocimientos para agregar a la investigación desde su punto de vista como autoridad ambiental.

Tabla de contenidos

**1.** ..... **Resumen** **7**

**2.** ..... **Abstract** **7**

**3.** ..... **Introducción** **7**

**4.** ..... **Planteamiento del problema** **8**

**5.** ..... **Justificación** **9**

**6.** ..... **Objetivos generales y específicos** **10**

Objetivo general: ..... 10

Objetivos Específicos: ..... 10

**7.** ..... **Marco de referencia** **10**

*Estado del arte:* ..... 10

*Marco conceptual* ..... 13

*Marco teórico* ..... 14

*Marco Normativo* ..... 15

*Marco geográfico* ..... 15

*Marco institucional* ..... 16

**8.** ..... **Metodología** **17**

**9.** ..... **Plan de trabajo** **21**

**10.** ..... **Aspectos éticos** **22**

**11.** ..... **Resultados** **22**

**12.** ..... **Análisis y discusión de resultados** **28**

**13.** ..... **Conclusiones** **32**

**14.** ..... **Recomendaciones** **33**

**15.** ..... **Referencias Bibliográficas.** **34**

**16.** ..... **Anexos** **37**

**17.** ..... **Glosario de términos** **43**

Listado de gráficos

*Gráfico 1. Ubicación geográfica de la zona de estudio* ..... 16
*Gráfico 2. Metodología de la investigación* ..... 19
*Gráfico 3. Mapa ubicación aerodesalinizadores en La Guajira* ..... 22
Gráfico 4. Fotografía destilador solar utilizado experimentalmente ..... 29
*Gráfico 5. Estructura agrícola departamento de La Guajira* ..... 31

Listado de tablas

Tabla 1. Cuadro metodológico ..... 19
Tabla 2. Cronograma de actividades ..... 21
Tabla 3. Presupuesto general ..... 21
Tabla 4. Métodos de obtención de agua y su fundamento ..... 23

## 1. Resumen

El trabajo de investigación que se realiza busca evaluar y determinar la metodología más adecuada de suministro de agua dulce a partir de agua de mar para ser usada en procedimientos agrícolas alternativos en el corregimiento de Camarones, la Guajira. De acuerdo a lo anterior, se desea proponer el método viable a aplicar considerando aspectos ecológicos y de condiciones ambientales al examinar información pertinente y meritoria de indagar. Por lo tanto, es necesario hacer una búsqueda minuciosa en bases de datos en línea con el fin de encontrar los métodos más adecuados de obtención de agua dulce a partir de agua salobre, además, se debe verificar teóricamente las condiciones ambientales que afectan directamente la flora de la región y finalmente, para proponer alternativas de agricultura en la población de estudio, es importante sintetizar la información consultada de manera precisa contemplando la posibilidad de aplicar las propuestas realizadas.

Los resultados permiten evaluar los métodos más usados globalmente y se obtiene que el método de desalinización por destilación solar es el más viable para aplicar en la zona. Además, las condiciones ambientales como las bajas precipitaciones, una incidencia solar alta y un relieve plano permiten la realización de este tipo de proyectos. Al encontrar el mejor método de obtención de agua, se puede continuar el proyecto con la propuesta para realizar sistemas de agricultura alternativa con las huertas familiares sostenibles y así lograr un cambio en los hábitos de la población costera en Camarones, progresando en el tema de seguridad alimentaria.

*Palabras clave:* Obtención de agua, agricultura, condiciones ambientales, sostenibilidad.

## 2. Abstract

The research work carried out seeks to evaluate and determine the most appropriate methodology for the supply of fresh water from seawater to be used in alternative agricultural procedures in the village of Camarones, La Guajira. Hence, it is desired to propose the viable method to apply considering ecological aspects and environmental conditions when examining pertinent and meritorious information to investigate. Therefore, it is necessary to make a thorough search in online databases in order to find the most appropriate methods of obtaining fresh water from brackish water, in addition, it must theoretically verify the environmental conditions that directly affect the flora of the region and finally, to propose alternative agriculture in the population of study, it is important to synthesize the information consulted accurately contemplating the possibility of applying the proposals made.

The results allow to evaluate the most widely used methods globally and it is obtained that the method of desalination by solar distillation (solar still) is the most viable to apply in the area. In addition, environmental conditions such as low rainfall, a high solar incidence and a flat relief allow the realization of this type of projects. By finding the best method of obtaining water, the project can continue with the proposal for alternative agricultural systems with sustainable family gardens and thus achieve a change in the habits of the coastal population in Camarones, making progress on the issue of food security.

*Keywords:* Obtaining water, agriculture, environmental conditions and sustainability.

## 3. Introducción

Los cuerpos de agua dulce son cada día más escasos y contaminados; su tratamiento se vuelve difícil y costoso; innumerables acueductos en el invierno se colmatan y en el verano las cuencas reducen sus caudales y los reservorios se secan. Por esto se necesitará purificar fuentes de agua a costos razonables y sustentables (Borrero, Montoya, & González, 2013). Por tal motivo, ¿es posible obtener agua por métodos no convencionales para abastecer regiones de bajos recursos?

El siguiente trabajo de grado describe la evaluación que se realiza a los métodos de obtención de agua dulce a partir de agua de mar en una zona costera de bajos recursos. En este caso, se realiza el estudio para la comunidad del corregimiento de Camarones en el departamento de la Guajira para brindar una solución pronta a la escasez de agua, la demanda de productos agrícolas y la satisfacción alimentaria básica.

El proyecto se limita a que no se podrá abastecer a la comunidad completa con agua potable, ya que el principal objetivo es reconocer el método de obtención de agua para ser usado en agricultura alternativa. Debido a eso, el alcance del mismo es proponer un método adecuado como fuente de agua no salobre para disponer en un sistema agrícola no convencional con tal de que un poblador del corregimiento de Camarones lo pueda aplicar.

Se escogió la región de Camarones por pertenecer a una zona árida con bajas precipitaciones en donde se puede lograr un gran potencial con proyectos de carácter ingenieril para impactar a la población de manera benéfica. Por tal razón, la pregunta que orientó al investigador fue: ¿Qué método de obtención de agua dulce resulta factible en aplicación para agricultura alternativa en una zona costera de bajos recursos y qué condiciones ambientales afectan la propuesta de estas alternativas?

Se han buscado soluciones para aportar agua en un corto y mediano plazo, si bien no se puede obtener de forma directa; si por medio de tecnologías que el hombre ha diseñado, con la finalidad de darle solución al problema (Dévora Isiordia, 2012). Por tal razón la desalinización implica un gran avance que ha sido desarrollado durante muchos años y que de múltiples formas se puede aplicar.

Según Dévora (2012) el sistema de desalinización consiste en alimentar agua salobre a una planta desaladora, que tiene como función acondicionar y eliminar sales del agua, para obtener un producto y un rechazo o salmuera, existen diversas tecnologías desarrolladas actualmente para desalinizar el agua de mar y aunque tienen características distintas de acuerdo al tipo de energía, diseño y producción que requiere cada una, todas tienen el mismo objetivo, reducir la concentración de sales disueltas del agua de mar.

De acuerdo a lo anterior, estas tecnologías de desalinización permiten enriquecer proyectos que obligatoriamente requieren agua no salobre y que sirven de fuente de agua principal, en el caso de esta investigación, esos proyectos se enfocan en sistemas de agricultura alternativa para regiones áridas de la costa caribe Colombiana.

El fin del proyecto consiste en proponer una alternativa agrícola para el corregimiento de Camarones, pero primero es necesario evaluar esos métodos para recolectar agua y examinar las condiciones ambientales que pueden determinar la viabilidad de aplicación de los mismos.

## 4. Planteamiento del problema

La disponibilidad de agua es función de las infraestructuras hidráulicas disponibles en un cierto territorio (embalses, canales, pozos, galerías, conducciones, depósitos, plantas de tratamiento, etc.) y de cómo se gestionan (Custodio & Cabrera, 2002). Según la unidad de seguimiento y auditoría de regalías de la Contraloría General de la República (2019), el corregimiento de Camarones posee un acueducto que suministra agua a la comunidad pero sin cumplir el objetivo principal que es el de ser apta para el consumo humano, además, la ineficiencia en el manejo de la obra representa intermitencia en dicho suministro.

Es por eso que se aplican técnicas apropiadas y opcionales para obtener agua dulce en zonas costeras y así evitar la desertización. Según Lamela (2006), el proceso de desalinización para disminuir el contenido salino de las aguas salobres y de mar, para su posterior utilización, es un

medio complementario muy eficaz. Permite aumentar considerablemente los recursos de agua o mejorar su calidad de forma muy importante, y también resolver el problema de escasez cuando no es posible solucionarlo de manera total.

Otros medios de obtención de agua en estas zonas desérticas se pueden describir como en la tecnología para la recolección de agua niebla conocida también como atrapanieblas, permite la obtención de una fuente adicional de agua, de forma sostenible, y con un elevado potencial de autoconstrucción y autogestión. Son estructuras que se instalan a determinadas alturas en la costa o las montañas con el objetivo de captar las partículas de agua que posee la niebla, y poder aprovechar este recurso hídrico (Pascual, Naranjo, Payano, & Medrano, 2011).

Por lo tanto, el problema puntual que se tiene en cuenta para el desarrollo de este proyecto, es satisfacer la demanda de agua dulce en una zona costera de bajos recursos, específicamente en el corregimiento de Camarones, que se ven afectados por la sequía y la desertización para posteriormente ser usada en métodos de agricultura alternativa de viable aplicación.

Por tal razón, ¿de qué manera los métodos de obtención de agua se relacionan con las condiciones climáticas que afectan el corregimiento de Camarones en La Guajira?, es ahí donde se busca determinar la metodología más adecuada de suministro de agua para su uso en agricultura alternativa.

Para la implementación de estos métodos de obtención de agua dulce en zonas costeras de bajos recursos, es necesario aplicar incentivos financieros a estos proyectos, al igual que sucede con las energías renovables, apoyándolos con subvenciones y financiación pública a bajo tipo de interés (De la Cruz, 2006). El proyecto se atiene a la propuesta de agricultura alternativa, sustentada con el reconocimiento de una fuente de agua obtenida de manera no convencional y se limita a la metodología de investigación teórica correlacional.

## 5. Justificación

La realización de este proyecto sirve para reconocer el impacto que causa la desertización en los suelos que afecta directamente la agricultura en la zona del corregimiento de Camarones, además de contemplar los índices del limitado acceso al agua por sequía en regiones áridas, específicamente en sectores costeros. Según Barriendos & Dannecker (1999), la sequía es un riesgo climático frecuente en el ámbito costero que ocasiona un importante impacto social, especialmente un severo daño en las actividades agrarias y la afectación en hidratación de las comunidades.

De acuerdo a su relevancia científica y socioambiental, se busca recuperar el liderazgo a través del conocimiento en materia de metodologías de obtención de agua dulce. Para ello, es importante conocer lo que se está haciendo en otras partes del planeta, sus nuevos diseños así como sus resultados, que permita disponer de una visión más amplia para afrontar el futuro desarrollo tecnológico, así mismo satisfacer el crecimiento de la demanda de agua para consumo en zonas de bajos recursos (Alonso, 2017).

Los grupos que se benefician con este proyecto son los habitantes del corregimiento de Camarones en La Guajira, según Barriendos & Dannecker (1999), este tipo de comunidades de bajos recursos resultan más afectados porque una sociedad empobrecida en un breve periodo de tiempo debido a la escasez y carestía de los alimentos de primera necesidad, más los problemas

específicos de carácter social y político, podía sufrir de forma potenciada los efectos de una epidemia que afecte directamente la salud pública de la población.

El beneficio para la comunidad costera sería directo, se busca proporcionar agua dulce por medio de un método no convencional para satisfacer una necesidad básica como lo es la seguridad alimentaria mediante sistemas agrícolas alternativos. De igual manera, esos métodos específicamente de desalación se pueden hacer de varias maneras, pero el resultado es siempre el mismo: el agua dulce se produce a partir de agua de mar (Buros, 2000).

Por lo tanto, desde el ámbito de la ingeniería se realiza la investigación para proponer alternativas de agricultura en el corregimiento de Camarones analizando las condiciones ambientales que afectan la región y los métodos de obtención de agua dulce que conlleva al beneficio de la comunidad costera. Se integran las nuevas tecnologías y las ciencias para hacer frente a los requerimientos ambientales modernos, desarrollando sistemas que cumplan con las necesidades de la población para poder gestionar adecuadamente sus recursos presentes y futuros, haciendo énfasis en los principios del desarrollo sostenible.

Así mismo, al escoger el corregimiento de Camarones en la Guajira se tiene una gran ventaja, ya que a lo largo de los últimos años se han creado puentes de comunicación entre la Universidad El Bosque y esta comunidad debido a las múltiples salidas de campo realizadas por el programa.

## 6. Objetivos generales y específicos

*Objetivo general:*

Determinar la metodología más adecuada de suministro de agua para su uso en agricultura alternativa en el corregimiento de Camarones, La Guajira.

*Objetivos Específicos:*

1. Determinar las diferentes fuentes y métodos de obtención de agua apta para el uso en agricultura alternativa en el corregimiento de Camarones, La Guajira.
2. Analizar las condiciones ambientales de la zona que determinan la actividad agrícola actual.
3. Plantear alternativas de producción agrícola que puedan adoptar las comunidades en la zona de estudio

## 7. Marco de referencia

*Estado del arte*

Según Greenpeace (2010), la superficie de agua sobre el planeta supera abundantemente a la continental y más del 70% corresponde a mares y océanos, pero esta abundancia es relativa. El 97,5% del total existente en el planeta es agua salada, mientras que solo el 2,5% restante es agua dulce. Los recursos hídricos susceptibles de desalación pueden tener básicamente dos orígenes: agua de mar o agua subterránea salinizada; estas últimas pueden proceder de acuíferos costeros en contacto directo con el mar y de acuíferos aislados del mismo (López Geta & Mejías Moreno, S.f.).

La disponibilidad de agua es función de las infraestructuras hidráulicas disponibles en un cierto territorio (embalses, canales, pozos, galerías, conducciones, depósitos, plantas de tratamiento, etc.)

y de cómo se gestionan (Custodio & Cabrera, 2002). Es por eso que se aplican técnicas apropiadas para obtener agua potable en zonas costeras y así evitar la desertización. Según Lamela (2006), el proceso de desalinización para disminuir el contenido salino de las aguas salobres y de mar, para su posterior utilización, es un medio complementario muy eficaz. Permite aumentar considerablemente los recursos de agua o mejorar su calidad de forma muy importante, y también resolver el problema de escasez cuando no es posible solucionarlo de manera total.

En la década de 1950 se inician las primeras investigaciones sobre desalinización, con el objeto de construir grandes instalaciones de producción de agua dulce, y se obtienen resultados importantes como el sistema de destilación súbita (flash) en múltiples etapas en 1957 lo que permite construir la primera planta comercial en 1960. Actualmente, el agua desalada se utiliza para consumo humano, en procesos industriales y en forma muy limitada (invernaderos de alta rentabilidad) para riego agrícola, pues los costos de desalinizar agua son relativamente altos para usar este líquido con los métodos tradicionales de riego; resulta más económico importar los productos agrícolas de aquellos países que cuentan con las condiciones climatológicas adecuadas para producirlas (Arreguín & Martín, 2000).

Se deben tener en cuenta el total de sólidos disueltos del agua que se quiere desalinizar. Así mismo se realiza un pre tratamiento antes de entrar a la planta desalinizadora para finalmente realizar el post tratamiento que incluye ajuste y estabilización del pH. Los principales métodos de desalinización existentes son: Electrodiálisis, ósmosis inversa, proceso de congelamiento, intercambio iónico y destilación (Gutierrez, 1987).

El proceso de ósmosis inversa es quizá el método más sencillo para desalar, y el que parece acercarse a los mejores rendimientos energéticos, pues se basa en las propiedades de las membranas semipermeables de dejar pasar con más facilidad el agua dulce que la salada (Arreguín & Martín, 2000). La ósmosis inversa es la tecnología de membrana más difundida a nivel mundial, representando el 42 % todos los procesos de desalación instalados hasta el momento y 88 % de los sistemas de membrana existentes (Avila-Prats, Alesanco-García, & Veliz-Alonso, 2011). El uso de la ósmosis inversa ha resultado muy exitoso en aquellos proyectos en los que se ha empleado y que han sido evaluados hasta la fecha (Asano & Levine, 1995).

Los módulos o membranas de ósmosis inversa son el verdadero corazón de una planta de desalación. Si en el interior de un recipiente se separan mediante una membrana semipermeable, una solución salina y agua dulce, se verá que una parte del agua dulce pasará a la solución salina, elevando el nivel de esta. La presión estática correspondiente a esta diferencia de nivel es lo que se denomina “presión osmótica” de esa solución salina. Si se aplica sobre la superficie de la solución salina una presión mayor que la presión osmótica, el agua pasará de la solución salina a la dulce, a través de la membrana semi-permeable, produciendo un incremento del volumen del agua dulce. A este proceso se le denomina Ósmosis Inversa, y es el principio de funcionamiento de los módulos de ósmosis (Moya, 1997).

Dependiendo del tamaño de la planta y de las características físicas y biológicas del agua a desalinizar, la instalación de una planta de Osmosis Inversa será simple o más o menos compleja, ya que de ello dependerán los equipos auxiliares de tratamiento que se necesitan. El consumo energético en una planta de ósmosis inversa es netamente eléctrico, correspondiendo principalmente a la energía eléctrica consumida por motobombas de alta presión. Los equipos auxiliares suponen un consumo eléctrico adicional de bajos niveles (Moya, 1997).

Así mismo, Lechuga, Rodríguez, & Lloveras (2007), mencionan las ventajas del método de ósmosis inversa:

- El procedimiento es simple en términos generales.
- Los costos de instalación son bajos.
- Las plantas de producción emplean Ósmosis Inversa generalmente tienen una alta tasa de producción.
- El uso de energía para procesar agua salobre es del rango de 2 a 2.8 $\frac{Kwh}{m^3}$ de agua producida.
- Este proceso puede hacer uso de prácticamente cualquier tipo de agua sin importar su origen.
- Permite remover con cierta sencillez contaminantes orgánicos e inorgánicos.
- El impacto ambiental de este proceso es prácticamente mínimo

La posibilidad de desalar las aguas con altos niveles de sales existentes en la región presenta los siguientes beneficios dados por Luján, Garza-Alrnanza & Quevedo Urías (2005):

- Reducción en la tasa de consumo de agua dulce proveniente de única fuente de suministro actual de la comunidad.
- Reducción en los niveles de abatimiento del acuífero.
- Posibilidad de recargar los acuíferos locales.
- Prolongación de la vida útil del acuífero disponible.
- Menor dependencia extraterritorial para el suministro de agua de la región.
- Contribución económica debida a la construcción y operación de la planta.
- Incremento en el nivel de capacitación del personal operativo de la planta.

Contrario a lo anterior, Pascual, Naranjo, Payano, & Medrano (2011), hablan de las tecnologías para la recolección de agua niebla o conocida también como atrapanieblas, la cual permite la obtención de una fuente adicional de agua, de forma sostenible, y con un elevado potencial de autoconstrucción y autogestión. Los captadores de agua de la niebla o atrapanieblas, pueden ser definidos como estructuras que se instalan a determinadas alturas en la costa o las montañas con el objetivo de captar las partículas de agua que posee la niebla, y poder aprovechar este recurso hídrico.

La niebla es un hidrometeoro formado por un conjunto visible de gotitas de agua (o cristales de hielo), lo suficientemente pequeñas para mantenerse suspendidas en la atmósfera cerca de la superficie terrestre. Por lo general, la niebla reduce la visibilidad horizontal a menos de 1 kilómetro a nivel de la superficie terrestre y es un fenómeno meteorológico relativamente frecuente en las islas, montañas y zonas costeras (Marzol, 2006).

Históricamente, en el desierto de Atacama se recogía agua del rocío y la niebla mediante un montón de piedras, colocadas de tal manera que la condensación de las gotas de niebla se iban depositando dentro de la base del montón, donde quedaba protegida del sol diurno. Esta técnica se utilizaba también en el antiguo Egipto, donde se almacenaba el agua captada en acueductos subterráneos (Pascual, Naranjo, Payano, & Medrano, 2011).

Pascual et al (2011) han estudiado esta tecnología con experiencias en diferentes proyectos de captación de agua de niebla en el mundo para ver hacia dónde va la evolución de esa tecnología, se rescata que en el desierto de La Guajira la captación promedio de agua de niebla al día son 1,4 L/m2

Otra metodología para obtener agua dulce proviene de destiladores, Moya (1997) habla de dos tecnologías interesantes que pueden ser rescatadas en la modernidad:

Primero, la destilación en múltiple efecto consiste en obtener agua produciendo vapor y luego condensando el mismo. El evaporador es el elemento en el cual se produce el aporte energético al proceso, en forma de energía térmica, una parte del agua que se encuentra en él se evapora y pasa al condensador. Una vez en el condensador, este vapor se condensa gracias al agua de refrigeración que circula por su interior y se extrae en sistemas de captación (Moya, 1997).

Segundo, la destilación solar o sistemas de solar stills, son unos sistemas de desalinización mediante evaporación que operan con la energía disponible en la radiación solar. Especialmente diseñados para aprovechar de un modo pasivo la energía solar, haciendo uso del conocido "efecto invernadero" y se deriva sencillamente de una piscina o estanque y la cubierta (Moya, 1997).

En cuanto a las aplicaciones, Zarzo, Campos, & Terrero (2012) mencionan que las plantas de desalinización para la agricultura tiene algunos aspectos diferenciales a considerar en comparación a otras plantas de desalinización (potabilizadoras) como:

- Necesidades limitadas de personal, químicos y reemplazo de membranas
- Capacidad para regular la producción de agua de acuerdo a las tarifas de energía eléctrica a razón de producir agua a bajo costo de energía (particularmente para plantas desalinizadoras con grandes estanques de almacenamiento)
- Bajos requerimientos en la producción de agua desalinizada con post tratamiento
- Sencillez, reducción de las necesidades en materia de obras civiles, acumulación y medidas de seguridad para garantizar la producción.

Para la implementación de estos métodos de obtención de agua dulce en zonas costeras de bajos recursos, es necesario aplicar incentivos financieros a estos proyectos, al igual que sucede con las energías renovables, apoyándolos con subvenciones y financiación pública a bajo tipo de interés (De la Cruz, 2006).

*Marco conceptual*

El presente trabajo relaciona la desalación, explicada por Luján, Garza-Alrnanza, & Quevedo Urías (2005) como el proceso por medio del cual se eliminan las sales y minerales disueltos en el agua de mar o en aguas salobres, a fin de obtener agua dulce apta para el consumo de los seres vivos o para uso en procesos industriales, teniendo en cuenta que alternamente se mide el grado de salinidad que según Luján et al (2005), está determinado por la cantidad de Sólidos Disueltos Totales (SDT) que contiene, y se expresa en miligramos de sales por litro de agua o partes por millón. Así mismo, los sistemas de desalación retribuyen en evitar la desertización y Britannica (2009), explica que es el proceso que convierte las tierras fértiles en desiertos, debido a la disminución de las lluvias. Posteriormente se buscan las condiciones ambientales que influyen en la zona de estudio y la Secretaría Distrital de Planeación (2018) las describe como el conjunto de parámetros del entorno que caracterizan su ambiente. Finalmente, tomando en consideración lo anterior, esos sistemas de desalación que son influidos por las condiciones ecológicas permiten idear cambios en los sistemas agrícolas convencionales e implementar lo que actualmente se llama

agricultura alternativa, Parra (2016) la define como modelo agrícola donde no se requiere de grandes superficies de terreno para su implementación, es independiente, son adaptados a las condiciones edafoclimáticas del trópico y no requieren herbicidas para el control de malezas.

*Marco teórico*

- *Desalinización*

Naranjo (2007) lo define como un proceso de tratamiento que permite obtener agua potable a partir de agua salobre, marina o residual, que de otra forma no podría utilizarse. Esto se logra separando sales y otras sustancias del agua. El agua obtenida se puede utilizar en aplicaciones domésticas, municipales o industriales.

El proceso comenzó a desarrollarse por motivos bélicos en la Segunda Guerra Mundial, debido a que las tropas necesitaban agua pura en zonas donde no era fácil conseguirla o no existía del todo. Sin embargo, después se empezó a investigar su uso en aplicaciones civiles. Durante los años 60 y 70 se construyeron las primeras plantas desalinizadoras en Oriente Medio. En los años 80 la actividad se hizo completamente comercial y en los 90 el uso de esta tecnología se hizo extremadamente común. Entre los años 2000 y 2002, la cantidad de agua desalinizada a nivel mundial se duplicó (Naranjo González, 2007).

Actualmente, la razón principal para aplicar este proceso de desalinización es disminuir la sobreexplotación de ríos, lagos y acuíferos subterráneos en muchas zonas del mundo para abastecerse de agua potable (Naranjo González, 2007).

- *Metodología para el estudio teórico y experimental en la destilación solar*

Torchia (2013) en la "discusión sobre el modelado de la destilación solar: experimentos y teoría" menciona:

Los destiladores solares frecuentemente se utilizan en regiones áridas para abastecer de agua potable a comunidades apartadas, donde las instalaciones de agua potable no existen o son inadecuadas, generalmente cercanas a la costa. Con relación al modelado matemático en la destilación solar, la enorme mayoría de los trabajos se basa en el análisis realizado por Dunkle, cuya virtud es la simplificación de los coeficientes de transferencia de calor de cada uno de los modos que ocurren en el destilador, de manera que puede calcularse con facilidad la tasa de producción de destilado, entre otros parámetros relevantes. Dunkle llega a un balance de energía para la cubierta del vidrio cuya incógnita es la temperatura de este. A partir de ciertas suposiciones, encuentra el porcentaje de los modos de transferencia de calor dentro del colector: convección, evaporación, radiación y conducción, así como su eficiencia. Es importante mencionar que el análisis de Dunkle está hecho para un régimen permanente. A grandes rasgos, el modelado matemático en los destiladores solares consiste en establecer balances de energía para cada uno de los componentes del destilador, típicamente el colector, la masa de agua y la cubierta de vidrio.

- *Desarrollo de una bomba reciprocante de doble efecto para desalinización de agua por medio de ósmosis inversa:*

Ospina & Pinilla (2008) menciona en su teoría:

Desarrollo de un sistema de bombeo para desalinización con membranas de ósmosis inversa. El sistema debe cumplir con requerimientos de alta presión (4.8 MPa) y bajos caudales (3.78 L/min), para operar la membrana de ósmosis inversa en su rango de mínimo consumo energético. Para cumplir este objetivo se desarrolla un sistema de desplazamiento positivo de acción simple y doble efecto, impulsado con un motoreductor cicloidal. La bomba desarrollada es evaluada experimentalmente bajo condiciones de laboratorio. El análisis de los resultados evidencia altas eficiencias de conversión de energía a lo largo del ciclo de bombeo. Posteriormente, el sistema de bombeo es evaluado en conjunto con una membrana de ósmosis inversa, obteniéndose resultados satisfactorios en cuanto a tasas de flujo y concentraciones de permeado. El diseño cumple con los requisitos para sustituir sistemas de bombeo usados en la actualidad, tecnológicamente más complejos y al mismo tiempo más costosos.

*Marco Normativo*

**Resolución 330 de 2017 actualizada de resolución 1096 de 2000: Reglamento Técnico para el Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico – RAS:**

Cuando la fuente de agua superficial o subterránea tenga un contenido de cloruros superior al valor admisible de 250 mg/L, y no habiendo otra fuente económicamente disponible, deberá usarse la ósmosis inversa, la electrodiálisis (inversa) o la nanofiltración para remover los cloruros. Estos procesos de desalinización usuales para el tratamiento del agua de mar o agua salobre, deben utilizarse cuando previamente se haya demostrado que son los que presentan un menor costo de producción del agua potable respecto a otros sistemas (como evaporadores).

**Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD)**

Objetivos de Desarrollo Sostenible:

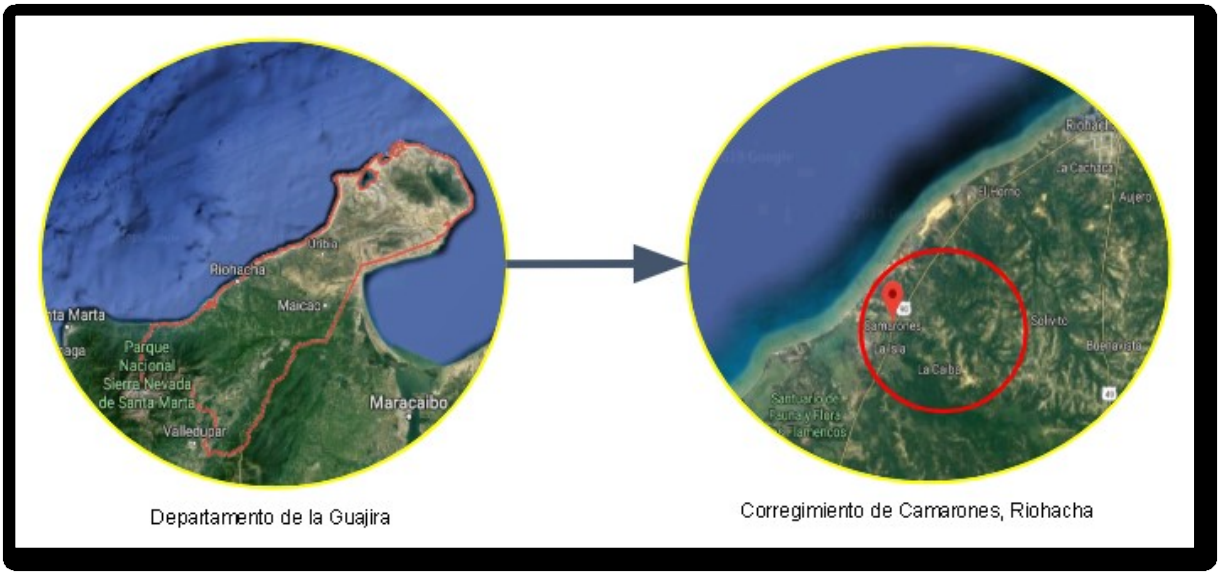
2. Hambre cero: Poner fin al hambre, lograr la seguridad alimentaria y la mejora de la nutrición y promover la agricultura sostenible.

6. Agua limpia y saneamiento: Garantizar la disponibilidad de agua y su gestión sostenible y el saneamiento para todos.

*Marco geográfico*

Zona de estudio: Corregimiento de Camarones en La Guajira, Colombia.

***Gráfico 1. Ubicación geográfica de la zona de estudio***




Fuente: El autor con apoyo de Google Earth Pro

Una de las regiones de más bajos recursos en Colombia está contemplada en la región caribe donde se pueden desarrollar todo tipo de proyectos en pro del avance de la zona hacia un futuro mejor. Este trabajo de investigación se enfoca en el **corregimiento de Camarones**, se encuentra 17 km al sur de la ciudad de Riohacha con un promedio de humedad del 74 % y una altura de 4 m.s.n.m. (Corporación Autónoma Regional de La Guajira, Plan de Gestión Ambiental Regional 2009 - 2019, 2010).

Según la Corporación Autónoma Regional de La Guajira (2010), la localidad se encuentra rodeada de un ecosistema xerofítico basal dentro del bosque seco subtropical, tiene un sitio de interés ambiental y turístico como el Santuario de Flora y Fauna los Flamencos donde se ubica la Laguna Navío Quebrado (estuario de alta producción biológica que presenta problemas de desecación) y se localiza el resguardo indígena Perratpu en sus inmediaciones.

La distribución general de la precipitación durante el año es de tipo bimodal, con dos períodos lluviosos bien definidos: el primero se extiende de abril a junio, y el segundo de agosto a noviembre. La estación Los Remedios a 10 m.s.n.m., representativa de la parte baja, registra 237 mm, en los meses de abril a junio correspondientes al 25.4% del total anual, y 551 mm, de agosto a noviembre, que representan el 59% de las lluvias totales. El período menos lluvioso va de diciembre a marzo (Corporación Autónoma Regional de La Guajira, 2010).

*Marco institucional*

Para Colombia:

*Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible:*

El Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible es el rector de la gestión del ambiente y de los recursos naturales renovables, encargado de orientar y regular el ordenamiento ambiental del territorio y de definir las políticas y regulaciones a las que se sujetarán la recuperación, conservación, protección, ordenamiento, manejo, uso y aprovechamiento sostenible de los recursos

naturales renovables y del ambiente de la nación, a fin de asegurar el desarrollo sostenible, sin perjuicio de las funciones asignadas a otros sectores.

Con la aprobación del reglamento operativo inició labores el Consejo Nacional del Agua, instancia de articulación y coordinación para la incorporación de la gestión integral del recurso hídrico en la planificación sectorial. El Consejo está conformado por los ministerios de Ambiente, Vivienda, Minas, Agricultura, Salud, el Departamento Nacional de Planeación y el IDEAM, como miembro permanente (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2018).

*Corporación Autónoma Regional de la Guajira (CORPOGUAJIRA):*

La máxima autoridad ambiental del departamento de la Guajira en la subdirección de programas y proyectos, con su programa VI (biodiversidad productiva), tiene como estrategia promover proyectos y esfuerzos de economías solidarias dirigidas a garantizar la seguridad alimentaria y a generar valor agregado a partir de la biodiversidad local. Así mismo, proyecta conservar, fortalecer y enriquecer los conocimientos sobre usos de especies promisorias, prácticas tradicionales y tecnologías alternativas asociadas a los sistemas de conservación y producción local y regional (Corporación Autónoma Regional de La Guajira, 2014)

## 8. Metodología

### *Enfoque de la investigación*

El proyecto de investigación que se ha venido realizando desde octavo semestre corresponde a un estudio de tipo descriptivo correlacional en el cual se aplica la técnica cualitativa en el desarrollo de la búsqueda de información para brindar una propuesta final. Se ha realizado la investigación en el campus de la Universidad El Bosque cumpliendo un requisito para el grado de ingeniería ambiental. Lo anterior, en busca de impactar a la comunidad de la Media Guajira con proyectos de carácter ingenieril, teniendo en cuenta que el universo de estudio se limita al corregimiento de Camarones. Según Arias (2006), la utilidad y el propósito principal de los estudios correlaciónales es saber cómo se puede comportar un concepto o variable conociendo el comportamiento de otras variables relacionadas. Es por eso que el enfoque general se atribuye a la correlación entre agricultura alternativa, variables climáticas y los métodos de obtención de agua

### *Alcance de la investigación*

Este trabajo de grado se ha enfocado en un método teórico de análisis y síntesis para lograr los objetivos propuestos que corresponden a la evaluación de métodos de obtención de agua dulce para su uso en agricultura alternativa analizando las condiciones ambientales que influyen en la zona de estudio y posteriormente, realizar una propuesta para la aplicación de este tipo de agricultura, antes mencionada, en la región.

### *Diseño de la investigación*

La investigación se clasifica dentro del diseño documental, el procedimiento fundamentalmente se basa en la búsqueda bibliográfica de documentos, artículos de revistas, libros en línea y páginas web utilizando un computador personal como único instrumento a utilizar en el proyecto. Debido a

ello, se prioriza la recolección de la información de bases de datos en línea como Google Académico, Web of Science y ProQuest Central para alcanzar el desarrollo de la investigación.

***Unidad de análisis***

El objeto de estudio se expone a partir de la hipótesis donde se dice que "se logra la adaptación de alternativas en agricultura por medio de la obtención de agua dulce a través de metodologías no convencionales para tratar la sequía que afecta la población costera del corregimiento de Camarones y así mismo, evitar la problemática en seguridad alimentaria que les afecta." Con esto, se focaliza el estudio en la evaluación de un método de obtención de agua cómo dispositivo que permita proponer un sistema de agricultura alternativa con sustento de esa nueva fuente de agua obtenida.

***Informantes y población***

La población a la cual se tiene en cuenta respecto a la función del trabajo de investigación corresponde a la comunidad del corregimiento de Camarones, perteneciente al municipio de Riohacha en el departamento de la Guajira. Según Arias (2006), se tiene una población accesible, porque es la porción finita de la población objetivo a la que realmente se tiene acceso y de la cual se extrae una muestra representativa, el tamaño de esta población depende del tiempo y de los recursos del investigador.

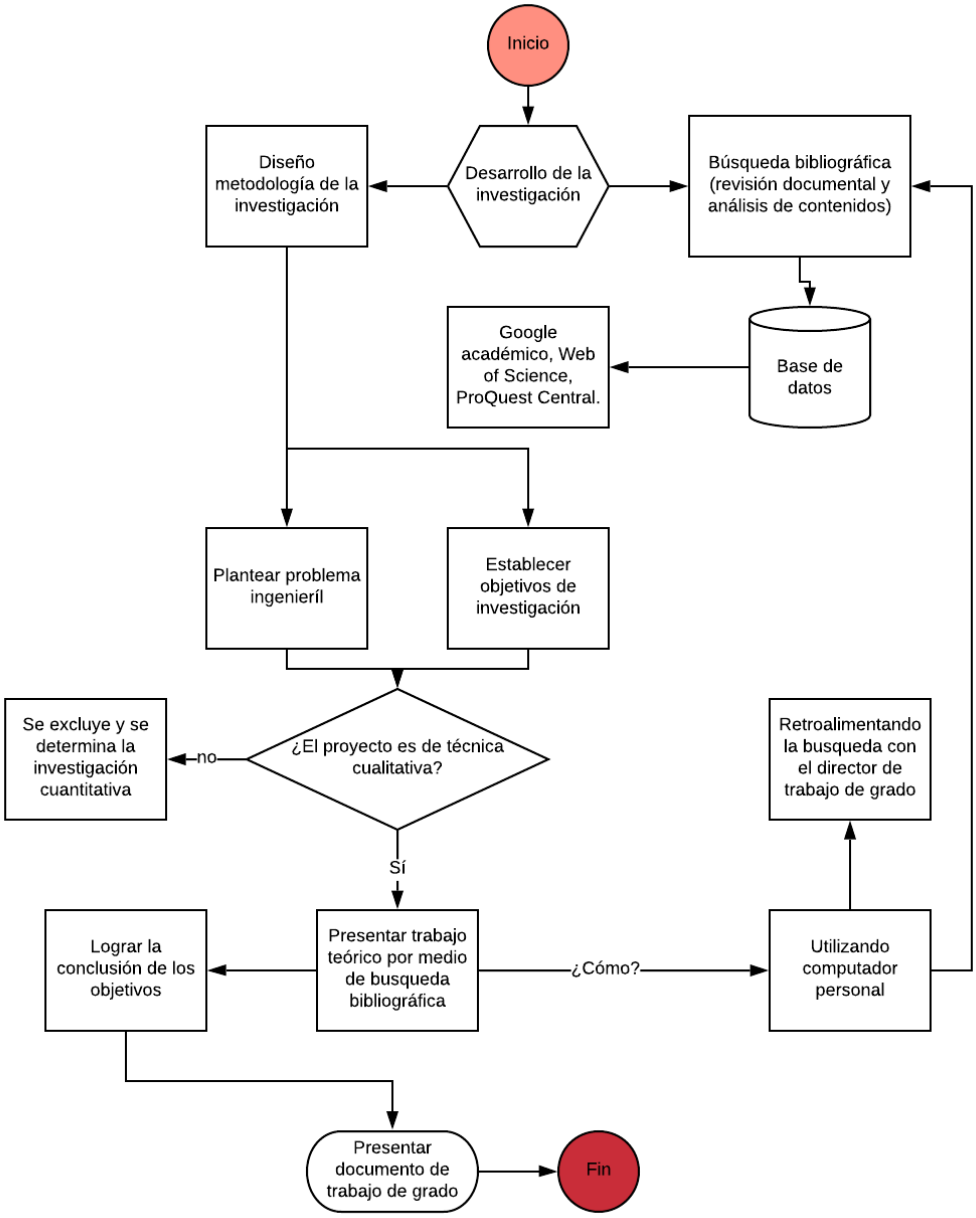
Así mismo, los informantes claves que por su relación con los involucrados en el trabajo de investigación corresponden a un poblador del corregimiento, el cual puede ser fuente de información importante para el documento. Este permite realizar un diagnóstico en tiempo real de la situación que se vive en ese espacio geográfico y colabora en la obtención de datos relevantes respecto a cualidades a estudiar.

***Técnicas e instrumentos para recolectar información***

Ya que el proyecto posee un enfoque cualitativo las principales técnicas que se llevan a cabo incluyen: revisión documental, análisis de contenidos, observación y entrevista. En correspondencia con los objetivos, es indispensable la revisión documental y la relación entre los métodos de obtención de agua dulce a partir de agua de mar para seleccionar el que obtenga un nivel muy alto de aceptabilidad, así mismo, es importante la relación e influencia de las variables climáticas o condiciones ecológicas que afectan la propuesta final que se pretende realizar. La observación y la entrevista se incluyen dentro de la investigación con apoyo del informante clave quien está dispuesto a contribuir con datos requeridos.

La aplicación de una técnica conduce a la obtención de información, la cual debe ser guardada en un medio material de manera que los datos puedan ser recuperados, procesados, analizados, e interpretados posteriormente (Arias, 2006). Por tal motivo los principales instrumentos de la investigación se limitan al uso de un computador personal y un dispositivo celular.

***Gráfico 2. Metodología de la investigación***




Fuente: El autor

***Cuadro metodológico que integre y articule objetivos, metodología y resultados esperados por objetivo***

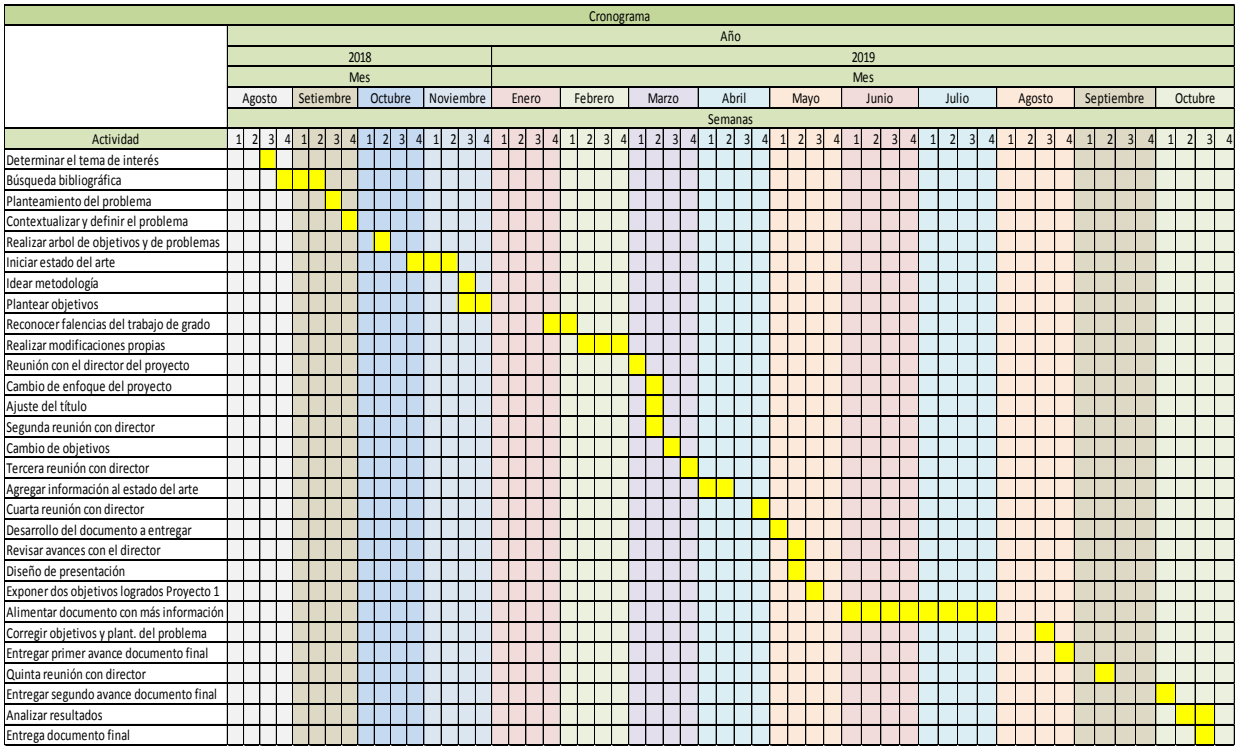
***Tabla 1. Cuadro metodológico***

| **Objetivo General:** Determinar la metodología más adecuada de suministro de agua para su uso en agricultura alternativa en el corregimiento de Camarones, La Guajira. | | | | |
|---|---|---|---|---|
| **Objetivos específicos** | **Técnica** | **Instrumentos** | **Actividad** | **Resultados esperado** |
| 1. Determinar las diferentes | Revisión documental | Computador personal | Buscar bibliografía | Se espera sintetizar la |

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| fuentes y métodos de obtención de agua apta para el uso en agricultura alternativa en el corregimiento de Camarones, La Guajira. | Análisis de contenidos | Bibliografía en línea | acerca de métodos de obtención de agua que se hayan aplicado<br><br>Analizar contenidos de documentos | información obtenida, de tal manera que se puedan evaluar las fuentes y métodos de obtención de agua dulce a partir de agua de mar |
| 2. Analizar las condiciones ambientales de la zona que determinan la actividad agrícola actual. | Revisión documental<br><br>Observación | Computador personal<br><br>Dispositivo móvil | Realizar búsqueda bibliográfica de las condiciones ambientales de la zona<br><br>Relacionar esas condiciones ambientales con la actividad agrícola. | Se espera encontrar la influencia de las condiciones climáticas y su afectación en la actividad agrícola actual y futura. |
| 3. Plantear alternativas de producción agrícola que puedan adoptar las comunidades en la zona de estudio | Revisión documental | Computador personal<br><br>Dispositivo movil | Desarrollar una propuesta de sistema agrícola alternativo<br><br>Conocer el nivel de aceptación de un habitante de la población | Se espera proponer alternativas de producción agrícola con un método de obtención de agua seleccionado, con el fin de que se beneficie la población si desea adaptarlo en su estilo de vida. |

## 9. Plan de trabajo

### *Tabla 2. Cronograma de actividades*




Para mayor resolución, ver Anexo 5.

### *Tabla 3. Presupuesto general*

| Evaluación de métodos de obtención de agua para su uso en agricultura alternativa en el corregimiento de Camarones, La Guajira. | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| **COSTOS ASOCIADOS** | | | | | |
| **ÍTEM** | **DESCRIPCIÓN** | **UNIDAD** | **CANTIDAD** | **VALOR UNITARIO** | **VALOR TOTAL** |
| **1** | **ETAPA 1. Equipos de uso personal** | | | | |
| 1.1 | Computador portátil personal | UND | 1 | $ 2,849,000 | $ 2,849,000 |
| **2** | **ETAPA 2. Recolección de información** | | | | |
| 2.1 | Búsqueda bibliográfica | UND | 1 | $ - | $ - |
| 2.2 | Reunión con el director | UND | 1 | $ - | $ - |
| **SUBTOTAL** | | | | | **$ 2,849,000.00** |
| | | | | | |
| **TOTAL** | | | | | **$ 2,849,000.00** |

## 10. Aspectos éticos

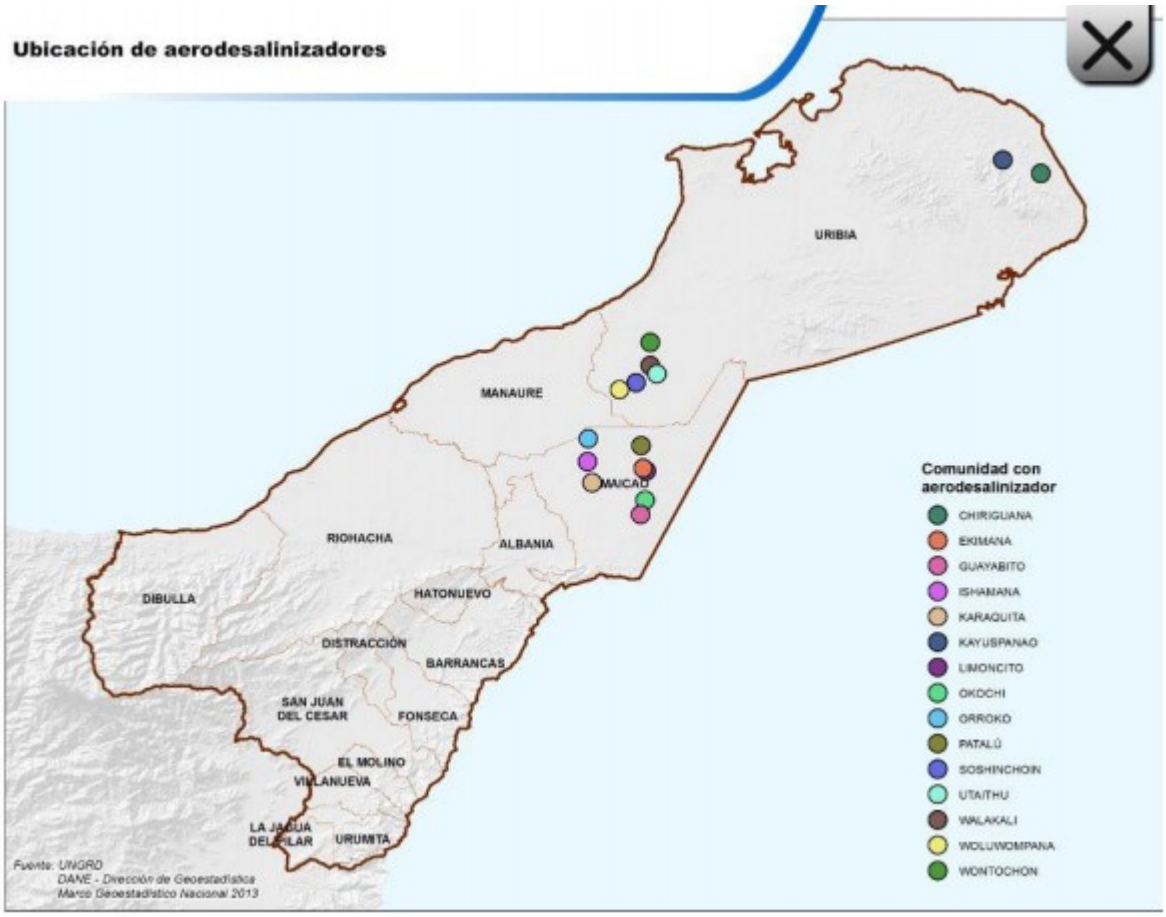
El proyecto no requiere un aval ético ya que es una investigación con riesgo mínimo inclinado hacia la valoración sin riesgo. No se requiere evaluación del comité de ética debido a que no se afecta una comunidad étnica que no apruebe el proyecto. Así mismo, se expone el trabajo con total autonomía y el investigador es competente para realizar este tipo de estudio.

Al momento de involucrar personas que implique el proyecto si es pertinente obtener un consentimiento informado de la aceptación del mismo, de lo contrario, no es necesario obtener ningún tipo de aprobación. Si se es afectada directamente la susceptibilidad de una persona por motivos referentes a la realización de este tipo de proyectos, se acude al comité de ética.

## 11. Resultados

El agua siempre ha sido escasa en la alta y media Guajira, una región caracterizada por paisajes áridos y desérticos. Aunque existen más de 1.200 pozos y molinos en el departamento, el 70% de estos se encuentran inoperantes por falta de mantenimiento (Ruge, 2015). Actualmente, la población de la península adquiere agua (potable o no potable) de pozos, jagüeyes, servicio de acueductos y últimamente se implementa un sistema de aerodesalinizadores ubicados en áreas remotas y dispersas del departamento.

***Gráfico 3. Mapa ubicación aerodesalinizadores en La Guajira***




Fuente: (DANE, 2015)

El sistema anteriormente mencionado está conformado por seis módulos: un molino de viento preinstalado; un tanque de concreto para almacenamiento de agua no tratada; los filtros, uno de confinamiento y uno de cartucho; el módulo de bombeo eólico; la cámara de ósmosis inversa; y el módulo de almacenamiento de agua potable (Borrero, Montoya, & González, 2013). Funciona en seis etapas para producir agua potable a partir del agua salobre, sin insumos químicos y sin electricidad:

1. Prebombeo
2. Almacenamiento temporal
3. Filtración dual y microfiltración
4. Bombeo a presión
5. Ósmosis inversa
6. Almacenamiento agua de salida

(Borrero, Montoya, & González, 2013)

En el marco del contexto anterior, el sistema de aerodesalinizadores es un proyecto a gran escala en el cual no todas las comunidades tienen alcance a este, como se puede observar en el gráfico 3, se desarrolla el trabajo de estas estructuras en los municipios de Maicao y Uribia. Por lo tanto, es necesario examinar diferentes métodos para obtener agua que tengan impacto en las comunidades costeras de bajos recursos.

Adelante se presenta una tabla mencionando los métodos de obtención de agua dulce a partir del agua salada para posteriormente ser analizada y así reconocer la técnica más efectiva que obtenga gran potencial de aplicación en la comunidad de Camarones.

***Tabla 4. Métodos de obtención de agua y su fundamento***

| Método | Fundamento |
|---|---|
| Desalinización por ósmosis inversa | El sistema toma su nombre por realizarse el paso de las soluciones en forma contraria a los procesos osmóticos normales. Es decir, las soluciones menos concentradas se desplazan, por diferencia de energía potencial, hacia las más concentradas a través de una membrana semipermeable sin necesidad de aplicar ninguna fuerza externa (Arreguín & Martín, 2000).<br><br>El proceso de ósmosis inversa se basa en las propiedades de las membranas semipermeables de dejar pasar con más facilidad el agua dulce que la salada, creándose así una diferencia de potencial hidráulico entre esos dos líquidos cuando cada uno se sitúa a un lado de la membrana. Aumentando convenientemente la presión en el lado del agua salada se puede hacer pasar al compartimento menos salino, dejando atrás parte de las sales (Arreguín & Martín, 2000). |

| | |
|---|---|
| | En otras palabras, si se aplica sobre la superficie de la solución salina una presión mayor que la presión osmótica, el agua pasará de la solución salina a la dulce, a través de la membrana semi-permeable, produciendo un incremento del volumen del agua dulce (Moya, 1997).<br><br>Este proceso debe ser llevado a cabo con un pre tratamiento básico del agua para evitar daños en el sistema. |
| Tecnologías para la recolección de agua niebla | Estos sistemas consisten en:<br><br>• Una malla colectora con una luz determinada, que deja pasar la niebla y sobre la cual condensan el contenido en agua de la misma. Las mallas atrapanieblas están hechas con hilos de polipropileno, similares al nylon; pero pueden utilizarse otros materiales (vida útil entre 3 y 10 años)<br>• Unos soportes que sirven de estructura para la malla colectora.<br>• Una canaleta recolectora sobre la cual, por gravedad, se recoge el agua condensada.<br>• Un depósito o recolector donde almacenar el agua acumulada y desde la cual se canaliza hasta el punto de consumo<br>(Pascual, Naranjo, Payano, & Medrano, 2011) |
| Desalinización por destilación en múltiple efecto | Para obtener agua destilada, es necesario producir vapor primero y condensarlo después. Los dos elementos básicos de esta planta son: el evaporador y el condensador (Moya, 1997).<br><br>El evaporador es el elemento en el cual se produce el aporte energético al proceso, en forma de energía térmica. Como consecuencia del aporte térmico que se realiza en el evaporador, una parte del agua que se encuentra en él se evapora y pasa al condensador. Una vez en el condensador, este vapor se condensa gracias al agua de refrigeración que circula por su interior. De este modo se disminuye la cantidad de calor que hay que aportar en el evaporador, debido a que el agua se precalienta antes de entrar en él (Moya, 1997). |

| | |
|---|---|
| | Tras atravesar el condensador, una parte del agua de alimentación se rechaza, utilizándose sólo una fracción de ella como agua de alimentación para el proceso. Así, se repite el proceso en múltiple efecto hasta tener un producto desalinizado y otro de desecho (salmuera) (Moya, 1997). |
| Desalinización por destilación solar | Este método se divide en dos fases instrumentales:<br><br>La piscina o estanque es el lugar donde se encuentra almacenada el agua salada que se pretende desalinizar, puede ser una cavidad o un hundimiento construido (Moya, 1997).<br><br>La cubierta consta de una superficie transparente (a base de plástico o vidrio) colocada encima del estanque, de modo que en su interior se consiguen temperaturas lo suficientemente elevadas como para producir la evaporación de una determinada cantidad de agua del estanque. Este vapor condensa al entrar en contacto con la cara interior de la cubierta, formando pequeñas gotas de agua destilada que terminan uniéndose entre sí y se deslizan siguiendo la pendiente de la cubierta, para finalizar siendo recogidas y canalizadas por los conductos colectores que terminan en los depósitos de almacenamiento de agua destilada (Moya, 1997).<br><br>La producción diaria de un Solar Still suele estar comprendida entre 1 y 4 litros de agua por cada m2 de superficie del estanque (Moya, 1997). |

En virtud de los antecedentes mostrados, se evidencia que:

Primero, en el proceso de ósmosis inversa se debe realizar la captación para luego implementar el pre-tratamiento, el cual consiste en recolectar el agua por medio de tuberías perforadas recubiertas por una malla geotextil permeable destinada a evitar el ingreso de materia orgánica o partículas sólidas. Después de eso, en el tanque de almacenamiento se debe aplicar hipoclorito de sodio y una solución de metalfisulfito de sodio mediante dosificador automático con el fin de eliminar la carga biológica y abatir los cloruros presentes para luego ser filtrada e ingresar al sistema de ósmosis (Soto & Soto, 2013).

Como resultado de lo anterior, se produce agua producto y agua de rechazo (salmuera) la cual es evacuada y vuelve al mar. El agua efectiva debe ser monitoreada (para Solidos Disueltos Totales) y posteriormente ser enviada al estanque de almacenamiento de agua potable para recibir una solución de hipoclorito de sodio (Soto & Soto, 2013)

Segundo, las tecnologías para la recolección de agua niebla pueden ser definidas como estructuras que se instalan a determinadas alturas en la costa o las montañas con el objetivo de captar las partículas de agua que posee la niebla, y poder aprovechar este recurso hídrico (Pascual, Naranjo, Payano, & Medrano, 2011).

En el proceso de la captación de agua de niebla intervienen factores topográficos, meteorológicos y estacionales que condicionan el potencial y aplicabilidad de esta tecnología. Para la instalación de un sistema de captación de agua de nieblas se deben considerar dos fases: 1) prospección de nieblas con neblinómetros y 2) la construcción, operación y mantenimiento de los atrapanieblas (Pascual, Naranjo, Payano, & Medrano, 2011).

Tercero, una planta de desalinización por destilación en múltiple efecto tiene varias etapas conectadas en serie a diferentes presiones de operación, esos efectos sucesivos tienen cada vez un punto de ebullición más bajo para el efecto de dicha presión. Esto permite que el agua que entra experimente multiples ebulliciones sin necesidad de recurrir a calor adicional a partir del primer efecto. El agua salada luego se transfiere al efecto siguiente para sufrir una evaporación y el ciclo se repite, utilizando el vapor generado en cada secuela. Un condensador final recoge el agua dulce en la última etapa, consumiendo una porción de energía destinada a la producción eléctrica (Romero Othón, 2009).

Cuarto, la desalinización por destilación solar debe ser operada de la siguiente manera: La energía solar penetra en la parte cerrada del destilador a través de la cubierta plástica transparente (ver Anexo 3.). Como la superficie del destilador debe ser de color negro, ésta es capaz de atraer la mayor cantidad de radiación. Las paredes internas deben tener una superficie de color blanco, la cual refleja la luz solar que reciben, lo que aumenta la concentración de calor dentro del agua acumulada en el fondo del destilador (Foster & Ojinaga, 2001).

El destilador debe ser llenado todas las mañanas, usando un volumen dos veces superior al que puede retener el destilador. El exceso sirve para limpiar diariamente la superficie del mismo. No se necesita cañerías especiales y el proceso es sencillo de aplicar (Foster & Ojinaga, 2001).

Kumar *et al* (2017) en referencia al uso de la desalinización para la agricultura en diferentes países para fines agrícolas, describe que: el volumen de agua desalada es bajo (sólo el 2-3%) en comparación con la producción mundial de agua. España es el país que más agua desalinizada utiliza para la agricultura con un 22%, Kuwait tiene alrededor del 13% de utilización de agua desalinizada para la agricultura. En Israel, la desaladora de agua de mar en Ashkelon, en la costa sur del Mediterráneo, tiene una capacidad de producción de 100.000.000 m3/año. Australia, Argelia, Libia, Chile, etc. están utilizando plantas desalinizadoras para uso agrícola.

La aplicación de estos métodos en la zona de estudio están determinados por las **condiciones ambientales** del entorno, además, la actividad agrícola actual también está influida por estas condiciones que no permiten su crecimiento con métodos tradicionales. Por lo tanto, es fundamental reconocer como interactúan los aspectos climáticos y vegetativos con las prácticas en agricultura convencional.

En las zonas áridas de La Guajira y, en general, del litoral Caribe Colombiano, se constituyen importantes áreas de diferenciación de la flora silvestre endémica, con elementos propios y característicos, y cuya distribución se restringe a la vegetación xerofítica y a rastrojos espinosos. La Media Guajira comprende la parte central del departamento, es una extensión plana y suavemente ondulada, formada por arenales y dunas, donde predomina el paisaje de aridez que cambia en las cortas épocas de lluvias y es la región de transición entre la baja y alta Guajira (Parques Nacionales Naturales de Colombia, S. f.). La cuenca del río Camarones se encuentra entre suelos formados en planicies marinas, planas a ligeramente onduladas y suelos desarrollados en áreas depresionales mal drenadas (ver Anexo 1.)

La región de interés presenta un alto grado de humedad sólo en el periodo de lluvia, siendo la mayor parte del año caracterizada por la ausencia de precipitación, que se evidencia por el desarrollo muy pobre de una vegetación semidesértica (Parques Nacionales Naturales de Colombia, S. f.).

El estudio realizado al Santuario de Fauna y Flora Los Flamencos, reitera que el comportamiento de las lluvias es claramente bimodal con dos periodos máximos entre septiembre y noviembre con algunas disminuciones sustanciales entre junio y Agosto, la época de mayor sequedad se manifiesta en diciembre y febrero. Ese comportamiento se divide en cuatro periodos:

- Período seco principal: enero-abril.
- Período lluvioso menor: abril-junio.
- Periodo seco menor: junio – septiembre.
- Periodo lluvioso principal: septiembre - enero.
  (Parques Nacionales Naturales de Colombia, S. f.)

La cuenca del río Camarones presenta un estado regular de conservación florística debido a los incrementos de la ganadería y agricultura de cultivos transitorios (tomate, maíz, yuca y patilla). La cobertura vegetal se caracteriza por la alta presencia de pastizales y zonas de cultivos limpios aún en áreas de alta pendiente, ofreciendo una baja protección al suelo; las pocas áreas cubiertas con bosque intervenido se localizan en áreas de alta pendiente y en zonas de nacimientos de quebradas (Parques Nacionales Naturales de Colombia, S. f.).

Gran parte de los suelos en el departamento ha sufrido degradación, algunos en forma irreversible, erosión acelerada, desertización, compactación, endurecimiento, salinización, disminución en el contenido de materia orgánica y en biodiversidad. Los suelos presentan textura y profundidad efectiva variable. Así mismo como son de tipo desértico, para la utilización en cultivos requiere de riego continuo (Parques Nacionales Naturales de Colombia, S. f.).

Uno de los sistemas agrícolas que obtiene gran eficiencia en su aplicación, es el huerto familiar sostenible alimentado por agua y compostaje. Según Jeavons & Cox (2007), la meta para obtener un ecosistema sano en un huerto familiar sustentable es que el área que se cultiva produzca alimentos al mismo tiempo que mantiene la fertilidad del suelo. Además, la composta mejora la estructura del suelo haciéndolo más fácil de trabajar, incrementa su capacidad para retener la humedad y el aire, y reduce la posibilidad de erosión, es así, que las semillas germinan más rápidamente en un suelo con composta.

El sistema anterior se basa en una porción de tierra que destina un grupo familiar en el cual implementan un huerto basado en compost producido con residuos orgánicos del hogar y jardín. Se requiere agua, luz solar y el material compostado. La siembra generalmente realizada implica

variedad de cultivos altos en calorías, como el fríjol, el maíz, las papas y los granos. Una dieta nutricional bien equilibrada debe incluir cantidades adecuadas de calorías: éste es el elemento nutritivo más importante y el que representa un mayor reto para cultivarse en un área pequeña (Jeavons & Cox, 2007).

## 12. Análisis y discusión de resultados

- Los resultados expuestos en el punto anterior permiten identificar los métodos de obtención de agua dulce ya sea que estén implementados o no. Teniendo en cuenta la pregunta de investigación, ¿Qué método de obtención de agua dulce resulta factible en aplicación para agricultura alternativa en zonas costeras de bajos recursos y qué condiciones ambientales afectan la propuesta de estas alternativas?, se puede inferir qué:

1. El método de ósmosis inversa a pesar de que es uno de los más usados en el mundo, requiere energía eléctrica y su estructura no es de fácil acceso para toda la población, por lo tanto se dispone de un costo económico muy elevado para ser implementado en zonas de bajos recursos. Además, el proceso requiere mínimo un pretratamiento del agua antes de iniciar el proceso en la membrana semipermeable para evitar percances en el sistema, esto acarrea un valor agregado el cual limita la posibilidad de ser implementado.

2. Las tecnologías para la recolección de agua niebla es una opción viable pero la consideración del tiempo y lugar específicos es un aspecto muy importante, las experiencias realizadas demuestran que para que el sistema funcione de manera eficiente, debe ubicarse en zonas altas, Cereda, Schemenauer, & Velasquez (1997) estudiaron el rendimiento de atrapanieblas en el Cerro El Tofo en la región de Coquimbo en Chile, a una altura de 700 m.s.n.m., el promedio de captación de agua de la niebla fue de 3,3 L/m2/día y Pascual et al (2011) menciona que en el desierto de La Guajira se captan aproximadamente 1,4 L/m2/día teniendo en cuenta que el relieve de la zona no supera los 100 m.s.n.m (ver Anexo 2.). Por lo tanto, este sistema podría ser eficiente a largo plazo y no ser adaptado por la comunidad.

3. La desalinización por destilación en múltiple efecto al requerir una estructura continua y cíclica para evaporar y condensar y así llegar al producto final, consume energía y su costo es notable. Este método es el menos apropiado en relación costo-beneficio, además de que la población de estudio no cuenta con recursos suficientes para este tipo de procedimientos.

4. La destilación solar puede lograr un impacto bastante amplio para la comunidad, el sistema es simple y requiere energía de la radiación solar. Foster & Ojinaga (2001) explican que la destilación solar del agua, es una réplica del mecanismo en que la naturaleza purifica el agua. La Energía del sol calienta el agua hasta su punto de evaporación, mediante este proceso, se remueven impurezas tales como sales y metales pesados, y a la vez, se destruyen o eliminan los microorganismos.

La eficiencia típica de un destilador solar de un solo compartimiento se acerca al 60%. La implementación de este método es sencillo, requiere la orientación del destilador frente al sol de mediodía (ver Anexo 3.), enjuagar todos los días el destilador y agregar agua salobre para después recolectar el resultado al final del día (Foster & Ojinaga, 2001).

La experiencia en la investigación a raíz del contexto anterior expone que la desalinización solar en combinación con invernaderos que ahorran agua es más adecuada para el cultivo con agua salina o agua salobre. Según el autor, el sistema demostró ser una opción eficaz para apoyar la producción agrícola en pequeña escala (ver Anexo 4) (Kumar, Ahmed, Bhadrachari, & Thomas, 2017).

Un estudio egipcio estima que la demanda de agua alcanzará un nivel de 130.000 millones de m3/año, de los cuales más del 80% se destinan a la agricultura, en comparación con los 73.000 millones de m3/año que tiene actualmente (Kumar, Ahmed, Bhadrachari, & Thomas, 2017).

En el norte de México, un destilador solar de 1.7 m2 produce alrededor de doce litros diarios de agua durante el verano y la mitad de eso en el invierno. La producción varía con el clima y está en condiciones óptimas en regiones soleadas (Foster & Ojinaga, 2001). De acuerdo a lo anterior, la capacidad para realizar esta técnica por comunidades como la de Camarones supera la expectativa y se considera el más viable en aplicación, es necesario contar con un espacio mínimo para instalar el montaje, hacer una inversión inicial y recibir información competente de la ejecución del proyecto para llevarlo a la práctica.

Es importante mencionar que por razones económicas, de conveniencia y funcionalidad, se debe utilizar un modelo de destilador solar fabricado con elementos ligeros, económicos y de sencillo empleo. Como ejemplo, para un destilador de cubierta de vidrio inclinado de menos de $1m^2$ experimentalmente (ver gráfico 4) se implementó en un estudio económico en Argentina. Se utilizó:

- Superficie impermeable rectangular plana de 1,17 metros de largo por 0,78 metros de ancho, lo que resulta en un área de calentamiento de 0, 91 $m^2$.
- Un bastidor o estructura construida por perfiles de madera de 4 cm de espesor, barnizados para evitar el efecto de deterioro por las condiciones climáticas (intemperie) a una altura de 50 cm
- Canaletas colectoras “cable canal” fijados y sellados con adhesivos.
- Válvulas y conexiones de PVC o manguera de polietileno.
- Vidrio de 5 mm de espesor.
- Mochilas flotantes de plástico para recolectar agua salobre

**Gráfico 4. Fotografía destilador solar utilizado experimentalmente**

Fuente: (Masini, Carletto, Rodrigo, & Rodrigo, 2012)

Para dar a conocer el costo aproximado de un destilador solar como el anterior, se realiza una búsqueda exhaustiva en sitios web oficiales de almacenes de cadena y/o tiendas que comercien productos relacionados a los materiales descritos y en su caso, los materiales individuales que se requieran para la construcción del mismo. Siendo así,

La batea en acero inoxidable de medidas 70 cm x 50 cm x 40 cm con patas en tubo de ½ pulgada calibre 18 de más de 50 cm posee un costo de 1'100.000 pesos

Canaleta de 25 mm x 25 mm x 2 m de largo con adhesivo acolchado cuesta 11.234 pesos

Recipiente plástico transparente de 10 L, con un precio de 49.256 pesos tanto para recolectar el agua como para almacenar la que ya ha sido destilada. Total de 98.512 pesos.

Vidrio de silicato sodocálcico templado, incoloro, de 5 mm de espesor, con material auxiliar para la colocación de vidrios a un costo de 87.151 pesos el $m^2$. Con un total de 174.302 pesos para 2 $m^2$ con el fin de revestir toda la estructura de manera que quede sellada a 4 márgenes.

Manguera Polietileno 1/2" x 50 m para conexiones, con un costo de 32.990 pesos.

Los valores anteriormente puntualizados en los materiales, son los más aproximados teniendo en cuenta un sistema de destilador solar de 1 $m^2$. Se aclara que los implementos allí expuestos son con fines de ejemplarizar el sistema experimental. Por lo tanto, el costo total corresponde a un valor de 1'417.038 pesos. Sin embargo, este se puede considerar un precio máximo ya que para la población estudio se plantea un sistema a bajo costo, por lo tanto, los materiales trazados pueden ser reemplazados por otros que consideren que cumplan la misma función y se consigan de una manera más asequible.

- En segundo lugar, considerando las condiciones ambientales, se entiende que esta región de La Guajira se encuentra en una zona árida con superficies de extensión plana y ondulada, presenta bajas precipitaciones a lo largo del año y la disponibilidad de agua potable se limita a ciertos métodos para obtenerla. A pesar de que el lugar de interés es indiferente para algunos, para este proyecto es un lugar de gran potencial para transformar la calidad de vida de sus habitantes implementando sistemas sostenibles para obtener agua.

Debido a la posición geográfica de la península, la mayor parte del año se encuentra sujeta a la acción de los vientos alisios del noreste, con gran influencia en la caracterización del clima y en el régimen de vida. La acción de esos vientos hacen que en la Alta y Media Guajira presenten condiciones de aridez, ya que las nubes cargadas de humedad son desplazadas hacia el suroeste y acumuladas en cierto punto de la Sierra Nevada de Santa Marta. Como velocidades promedio de los vientos se tienen valores entre 1.38 y 5.03 m/s. (Corporación Autónoma Regional de La Guajira, Plan de Gestión Ambiental Regional 2009 - 2019, 2010).

En este piso altitudinal subtropical, se cuenta con temperaturas medias anuales superiores a los 24°C. De acuerdo al Atlas de Radiación Solar, Ultravioleta y Ozono de Colombia del IDEAM, la distribución del brillo solar medio diario para la región de la media y alta Guajira aplicado a la zona del corregimiento de Camarones corresponde a valores de 7 a 8 horas (horas de sol al día)

Dadas las temperaturas elevadas, la evapotranspiración potencial excede a la precipitación, de ahí los requerimientos de agua para riego sí las tierras son utilizadas en actividad agropecuaria

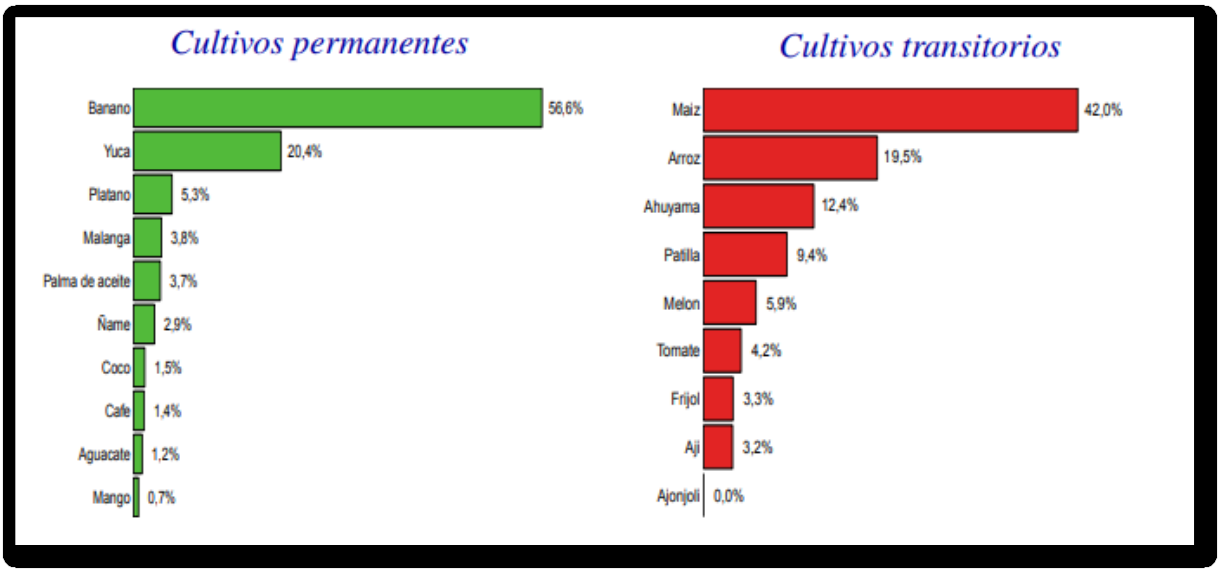
(Corporación Autónoma Regional de La Guajira, 2010). Por tal razón, el sistema de destilación solar se considera viable según la frase citada y expone la necesidad de ser implementado.

El suelo en formaciones de planicie, las texturas son gruesas y su estructura poco consistente. Su utilización es muy escasa. Generalmente presentan problemas de salinidad y sodicidad lo cual determina una vegetación muy pobre (Corporación Autónoma Regional de La Guajira, 2010).

- El subsector agrícola representa el 34,2%, es decir el 2,7% del PIB departamental. Los principales productos agrícolas del departamento de La Guajira según el área cosechada y la producción obtenida son: yuca, plátano, maíz tradicional, arroz riego y sorgo. Estos cinco productos representan el 71% del área cosechada y el 69,5% de la producción obtenida (Corporación Autónoma Regional de La Guajira, Plan de Gestión Ambiental Regional 2009 - 2019, 2010). Teniendo en cuenta el contexto anterior, si se genera un cambio de forma colectiva pero iniciando desde cada uno de los hogares del corregimiento, se puede lograr un aumento en la producción agrícola y se verá reflejado en los índices ya mencionados. El aspecto de innovación en este sector es la adaptación de la agricultura alternativa que genera gran potencial en la región.

Según el Plan Regional Competitividad. La Guajira: esquina suramericana de las oportunidades, la visión para el 2032 en el departamento, se encuentra en los proyectos e iniciativas de diversificación productiva y exportadora con base en productos orgánicos y agricultura sostenible (banano, cacao y café especiales) y energía renovable (eólica y biocombustibles).

***Gráfico 5. Estructura agrícola departamento de La Guajira***




Fuente: (Ministerio de Comercio, Industria y Turismo, 2019)

Según el gráfico 5, se expone que el banano es el cultivo permanente más representativo del departamento, así como el maíz en el sector de cultivos transitorios. Por tal motivo, es necesario incrementar la producción de los víveres menos figurativos dentro de la estructura agrícola del departamento como el frijol o el tomate.

Por otra parte, se estará encontrando una solución a la baja productividad agrícola de la población, ya que con el método de obtención de agua evaluado (destilación solar), se puede

implementar en opciones alternas a la agricultura convencional, es decir, se recolecta agua para producir alimentos.

Es por eso, que se propone ambiciosamente la posible implementación de un **huerto familiar sostenible**, el cual proyecte una mejora en la seguridad alimentaria de las familias de la región de Camarones. Obteniendo como fuente de agua principal, la que ha sido desalinizada por el destilador solar.

Según Jeavons & Cox (2007), se deben tener en cuenta ciertas referencias para realizar el proyecto de forma efectiva, como: reconocer los cultivos altos en calorías del cual se selecciona uno en especial para empezar el proceso, ubicar el lugar del huerto de acuerdo a la posición del sol, diseñar el lugar según la parcela disponible y disponer de las herramientas adecuadas para que la construcción del huerto sea más fácil y productivo.

El cultivo que se pretende desarrollar y principiar para la zona de estudio es el frijol. Los fríjoles pueden proveer muchas calorías por kilogramo, pero ocupan mucho espacio para cultivar lo suficiente para proveer todas o casi todas las calorías (Jeavons & Cox, 2007). Por tal motivo, es necesario que el espacio se adecúe inicialmente para un solo cultivo con el deseo de que la producción alimentaria sea eficaz en un corto tiempo.

De acuerdo a la necesidad hídrica, si el destilador solar supera el 60% de efectividad en la producción de agua no salobre, esta se dirige al sustento de la huerta familiar, según los módulos de consumo de agua establecidos para la cuenca del Río Ranchería adaptados en la Resolución 1270 de 2019 (CORPOGUAJIRA), el **requerimiento hídrico** para el cultivo de fríjol de diferentes variedades es de **0,132 L/s/ha**. Es decir, el consumo de agua que requiere un huerto no mayor a 1 m2 es de 0.0000132 L/s. Esto corresponde a un consumo no elevado de agua desalinizada para terrenos pequeños.

La implementación de estos huertos sostenibles han sido estudiados, analizados y diseñados en el libro de John Jeavons y Carol Cox denominado "El Huerto Sustentable. Cómo obtener suelos saludables, productos sanos y abundantes." el cual es una guía para los nuevos horticultores que se empapen en el asunto de la agricultura alternativa.

Por tal razón, se ha determinado la metodología más adecuada de suministro de agua para su uso en un sistema de agricultura alternativa en el corregimiento de Camarones, teniendo en cuenta factores medioambientales, agrícolas y de aprovechamiento de recursos. Mediante la correlación del destilador solar, la condición ambiental y el huerto familiar sostenible, se infiere que: se obtiene agua de una manera no convencional, utilizando agua de mar para ser desalinizada en un destilador solar o solar still a conveniencia de las condiciones en la que se encuentra la zona con respecto a temperatura, precipitaciones, radiación solar y disponibilidad de agua salobre. Luego, ya se obtiene la fuente de agua adecuada para sustentar un sistema de agricultura alternativa de pequeña envergadura el cual puede ser aplicado sin excesivos gastos en inversión.

## 13. Conclusiones

Al haber logrado el primer objetivo del proyecto, evaluando los diferentes métodos de obtención de agua, se obtuvo que la técnica más viable para su aplicación en el corregimiento de Camarones es el de destilación solar o *solar still*, ya que es el procedimiento más sencillo que un habitante de una zona costera de bajos recursos pueda realizar. Aunque no se comparó a nivel de costos con los

otros métodos, se infiere que este es el más económico en su relación costo-beneficio, además, no requiere condiciones especiales para su funcionamiento como consumo de energía eléctrica o consideraciones de relieve. Simplemente se debe disponer de un espacio para montar el diseño del destilador permitiendo así la recolección de agua dulce resultante del proceso.

Al analizar las condiciones ambientales, el potencial de la zona de estudio es el adecuado para la aplicación del método, pues la incidencia solar y la extensión plana de los suelos permiten que el destilador funcione correctamente. Posterior a eso, la precipitación media total anual de la cuenca del río Camarones no supera los 800 mm, el nivel de aridez de la zona se debe a la acción de los vientos alisios que llevan las nubes hacia el suroeste y la temperatura promedio es de 24°C. Esto indica que es necesario realizar este tipo de proyectos de carácter urgente para impactar a las comunidades de las zonas costeras de bajos recursos en Colombia, llevando a cabo la visión del Plan Regional Competitividad y lograr un cambio a nivel macro en los estilos de vida convencionales. Por otro lado, la Corporación Autónoma regional de la Guajira apoya este tipo de proyectos basados en los principios de sostenibilidad brindando acompañamiento y posibilitando la contribución y auxilio de recursos.

Finalmente, se propone implementar un sistema agrícola alternativo, el cual implica realizar un huerto familiar sostenible de acuerdo a la guía escrita por John Jeavons y Carol Cox de huertos sustentables, teniendo en cuenta que se debe delimitar un espacio para acoplar el sistema sustentado con agua, compost y semillas. Se debe dar inicio al proceso con la siembra de un solo cultivo, para el caso del corregimiento de Camarones se puede implementar la producción de frijol, ya que es uno de los cultivos que menos porcentaje de producción obtiene en la estructura agrícola del departamento. Así mismo, este cultivo aporta sustancialmente proteínas, vitaminas y minerales para el consumidor, impactando positivamente el avance en seguridad alimentaria de la región.

## 14. Recomendaciones

Es importante reconocer este tipo de trabajos de investigación para transformar el estilo de vida de las personas y lograr hábitos sostenibles. Se recomienda seguir adelante con el proyecto para continuar con la aplicación del método investigado y registrar resultados en la práctica.

La socialización de las guías agrícolas publicadas por diferentes autores promueven el desempeño de nuevos sistemas agrícolas sustentables que puedan ser implementados en las regiones que demanden producción alimentaria con métodos no convencionales.

Es necesario que las corporaciones autónomas regionales unifiquen un solo módulo de consumo de agua para los cultivos principales del país, la diferencia de cada consumo por cuencas hidrográficas no es adecuada para la armonización de la información.

Respecto a las metodologías de obtención de agua dulce a partir de agua salobre, se debe poner en práctica cualquiera de estas que ayuden en la solución del problema de sequía de las regiones costeras. Considerando que la demanda de agua es muy alta y la oferta es muy baja, la inversión se hace necesaria.

## 15. Referencias Bibliográficas.

Bibliografía

Alonso, J. (2017). El desarrollo tecnológico de la desalación de aguas. Retos y oportunidades en Canarias. *11ª FERIA INTERNACIONAL CANAGUA&ENERGÍA*, (pág. 14).

Arias, F. (2006). *El proyecto de investigación* (5 ed.). Caracas: Episteme.

Arreguín, F., & Martín, A. (2000). Desalinización del agua. *Ingeniería hidráulica en México*, 27-49.

Asano, T., & Levine, A. (1995). Wastewater reuse: a valuable link in water resources management. *Water Quality International*, 20-24.

Avila-Prats, D., Alesanco-García, R., & Veliz-Alonso, J. (2011). Sistemas híbridos con base en las energías renovables para el suministro de energía a plantas desaladoras. *Ingeniería Mecánica*, 22-30.

Barriendos, M., & Dannecker, A. (1999). *La sequía de 1812-1824 en la costa central catalana. Consideraciones climáticas e impacto social del evento.* Barcelona: Asociación Española de Climatología.

Borrero, J., Montoya, F., & González, L. (2013). Desarrollo de un sistema aerodesalinizador para la potabilización de acuíferos salobres con sistemas aerodesalinizadores en la Guajira colombiana. *Ingenium*, 11-18.

Britannica. (2009). *Gran Atlas de la Ciencia.* Barcelona: Encyclopaedia Britannica.

Buros, O. (2000). *The ABCs of Desalting.* Topsfield, Massachusetts.: International Desalination Association.

Cereda, P., Schemenauer, R., & Velasquez, F. (1997). Variación temporal de la niebla en El Tofo-Chungungo, Región de Coquimbo, Chile. *Norte Grande*(24), 103-111.

Contraloría General de la República. (2019). *Respuesta de fondo. Denuncia Ciudadana Expediente No. 2018-144651-80444-D.*

Corporación Autónoma Regional de La Guajira. (2010). *Plan de Gestión Ambiental Regional 2009 - 2019.* Obtenido de http://www.corpoguajira.gov.co/web/attachments_Joom/article/216/PGAR_CORPOGUAJIRA_2009-2019_Consejo_DirectivoII.pdf

Corporación Autónoma Regional de La Guajira. (2014). *Programas y Proyectos CORPOGUAJIRA*. Recuperado el 15 de Octubre de 2019, de http://corpoguajira.gov.co/wp/programas-y-proyectos/2007-2012/programa-6/

Custodio, E., & Cabrera, M. (2002). ¿Cómo convivir con la escasez de agua?. El caso de las Islas Canarias. 243-258.

DANE. (Agosto de 2015). *Avances alianza por el agua y la vida de La Guajira.* Recuperado el 11 de Mayo de 2019, de Dirección de Geoestadística: https://geoportal.dane.gov.co/v2/images/blog/guajira/Presentacion_La_Guajira.pdf

De la Cruz, C. (2006). *La desalinización de agua de mar mediante el empleo de energías renovables.* Fundación Alternativas.

Dévora Isiordia, G. (2012). Técnicas para desalinizar agua de mar y su desarrollo en México. *Ra Ximhai, 8*(2).

Foster, R., & Ojinaga, L. (2001). Experiencias en el uso de desrtiladores solares en San Luis potosí y Chihuahua. *XXV Semana Nacional de Energía Solar - ANES*, (págs. 1-7). San Luis Potosí.

Greenpeace. (2010). *Greenpeace Colombia*. Recuperado el 25 de Septiembre de 2018, de Agua: https://www.greenpeace.org/colombia/es/campanas/contaminacion/agua/

Gutierrez, A. (1987). *Cálculo y diseño preliminar de una planta para desalinización de agua de mar por el método flash para una capacidad de 960,000 galones/día.* Lima: Universidad Nacional de Ingeniería.

Jeavons, J., & Cox, C. (2007). *El huerto sustentable: Cómo obtener suelos saludables, productos sanos y abundantes.* Willits: Ten Speed Press - Phil Wood.

Kumar, R., Ahmed, M., Bhadrachari, G., & Thomas, J. (2017). Desalination for agriculture: water quality and plant chemistry, technologies and challenges. *Water Supply, 18*(5), 1505-1517.

Lamela, A. (2006). Desalinización (o desalación) de agua de mar. *Cuenta y Razón*, 1-13.

Lechuga, J., Rodríguez, M., & Lloveras, J. (2007). Análisis de los procesos para desalinización de agua de mar aplicando la inteligencia competitiva y tecnológica. *Ingeniería*, 11(3).

López Geta, J., & Mejías Moreno, M. (S.f.). *LAS AGUAS SALOBRES. UNA ALTERNATIVA AL ABASTECIMIENTO EN REGIONES SEMIÁRIDAS.* Madrid: Instituto Geológico y Minero España.

Luján, R., Garza-Alrnanza, V., & Quevedo Urías, H. (2005). Tecnologías alternas de desalinización del acuífero del bolsón del hueco para el abastecimiento de agua potable a ciudad juarez, chih., méxico. . *CULCyT*, 1-12.

Marzol, M. (2006). Reseña de "La captación del agua de la niebla en la isla de Tenerife". *Investigaciones Geográficas (Esp)*(41), 176-178.

Masini, O., Carletto, J., Rodrigo, L., & Rodrigo, V. (2012). *DISEÑO DE UN DESTILADOR SOLAR MODULAR DE AGUA, DE BAJO COSTO PARA LA FACULTAD DE INGENIERÍA Y CIENCIAS ECONÓMICO SOCIALES, VILLA MERCEDES, SAN LUIS, EVALUACIÓN DE RENDIMIENTO Y ALTERNATIVAS DE OPTIMIZACIÓN.* San Luis: Universidad Nacional de San Luis.

Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. (2018). *Objetivos y funciones del ministerio. Página web: Colombia.* Recuperado el 8 de Noviembre de 2018, de http://www.minambiente.gov.co/index.php/ministerio/objetivos-y-funciones

Ministerio de Comercio, Industria y Turismo. (2019). *Información: Perfiles Económicos Departamentales.* Recuperado el 14 de Octubre de 2019, de Oficina de Estudios Económicos: http://www.mincit.gov.co/CMSPages/GetFile.aspx?guid=4a894153-1d3e-4416-847c-5bfd304039fb

Moya, E. Z. (1997). *Desalinización del agua del mar mediante energías renovables. In Actas del I y II seminario del agua.* Instituto de Estudios Almerienses.

Naranjo González, M. (2007). La desalinización. *Biocenosis, 20*, 1-2.

Ospina, C., & Pinilla, A. (2008). Desarrollo de una bomba reciprocante de doble efecto para desalinización de agua por medio de ósmosis inversa. *Revista de Ingeniería*, 49-55.

OVH SAS. (2019). *Visualización y compartición de mapas topográficos gratuitos*. Recuperado el 14 de Octubre de 2019, de https://es-co.topographic-map.com/maps/6eg2/La-Guajira/

Parques Nacionales Naturales de Colombia. (S. f.). *Plan de Manejo: Santuario de Fauna y Flora Los Flamencos.* Recuperado el 7 de Mayo de 2019, de http://www.parquesnacionales.gov.co/portal/wp-content/uploads/2013/12/Flamencos.pdf

Parra, R. J. (2016). La agricultura alternativa: una estrategia para la producción de alimentos con enfoques agroecológicos, basado en el modelo de ecodesarrollo. *Desarrollo Local Sostenible*(26).

Pascual, J., Naranjo, M., Payano, R., & Medrano, O. (2011). Tecnología para la recolección de Agua de Niebla. *IV Simposio Internacional Tecnohistoria.* Chiapas, México.

RAE. (2005). *Diccionario de la Lengua Española.* Madrid: Espasa-Calpe.

Rodriguez, G., & Londoño, A. C. (2002). *MAPA GEOLÓGICO DEL DEPARTAMENTO DE LA GUAJIRA.* Medellín: INGEOMINAS.

Romero Othón, M. (2009). *Propuesta de planta desaladora de agua de mar para la región agrícola de Caborca, Sonora.* Sonora: Universidad de Sonora, División de Ingeniería.

Ruge, M. C. (2015). *El sueño del agua en la alta Guajira.* Recuperado el 11 de Mayo de 2019, de Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo: http://www.co.undp.org/content/colombia/es/home/presscenter/articles/2015/04/23/el-sue-o-del-agua-en-la-alta-guajira-.html

Secretaría Distrital de Planeación. (2018). *Información de interés Secretaría Distrital de Planeación*. Recuperado el 10 de Mayo de 2018, de http://www.sdp.gov.co/transparencia/informacion-interes/glosario/condiciones-ambientales

Soto, G., & Soto, M. (2013). *Desalación de agua de mar mediante sistema Osmosis Inversa y Energía Fotovoltaica para provisión de agua potable en Isla Damas, Región de Coquimbo.* Coquimbo: UNESCO: Programa Hidrológico Internacional para América Latina y el Caribe (PHI-LAC).

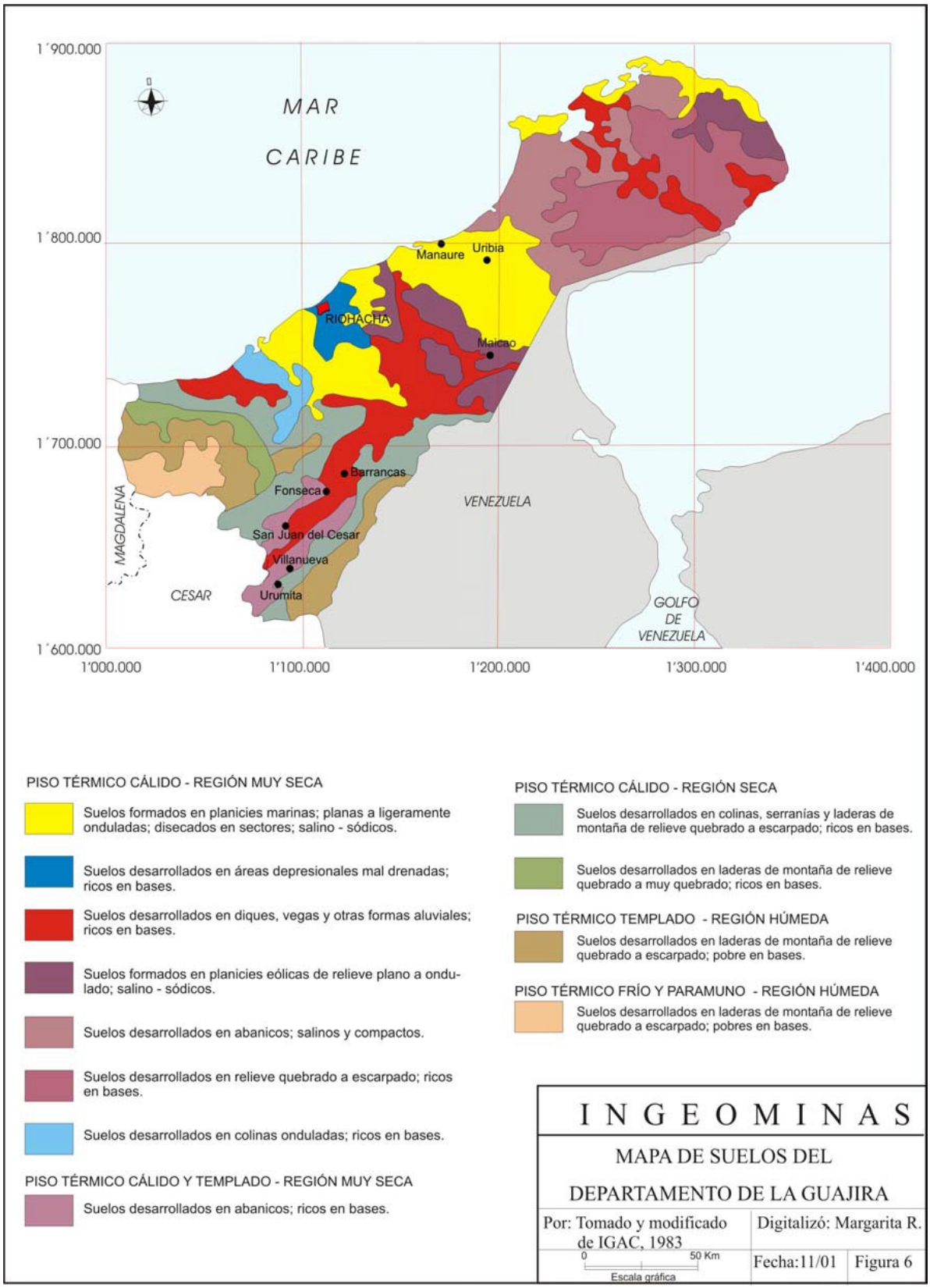
Torchia, J. (2013). Discusión sobre el modelado de la destilación solar: experimentos y teoría. *Tecnología en marcha, 26*(4), 100-108.

UNESCO. (2013). *Desalación de agua de mar mediante sistema Osmosis Inversa y Energía Fotovoltaica para provisión de agua potable en Isla Damas.* Coquimbo: Documentos Técnicos del PHI-LAC.

Zarzo, D., Campos, E., & Terrero, P. (2012). Spanish experience in desalination for agriculture. *Desalination and water treatment, 51*(1), 1-14.

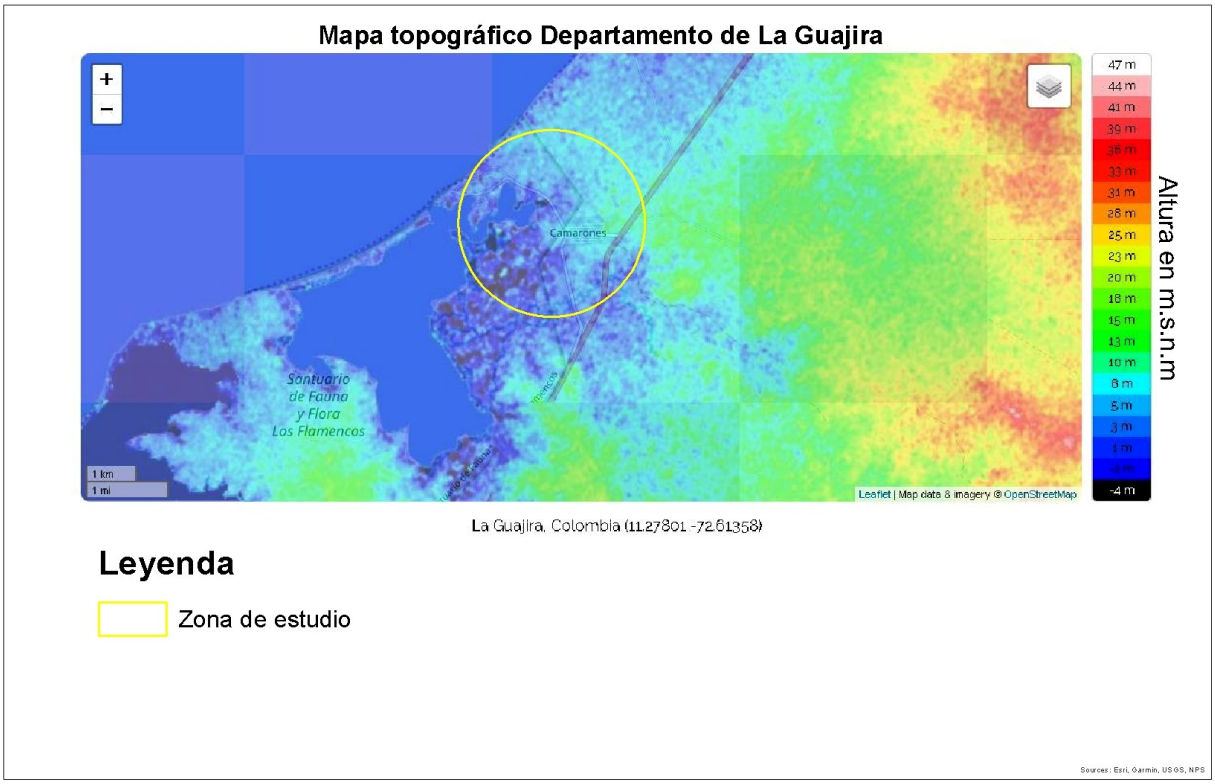
# 16. Anexos

**Anexo 1. Mapa de suelos Departamento de La Guajira**



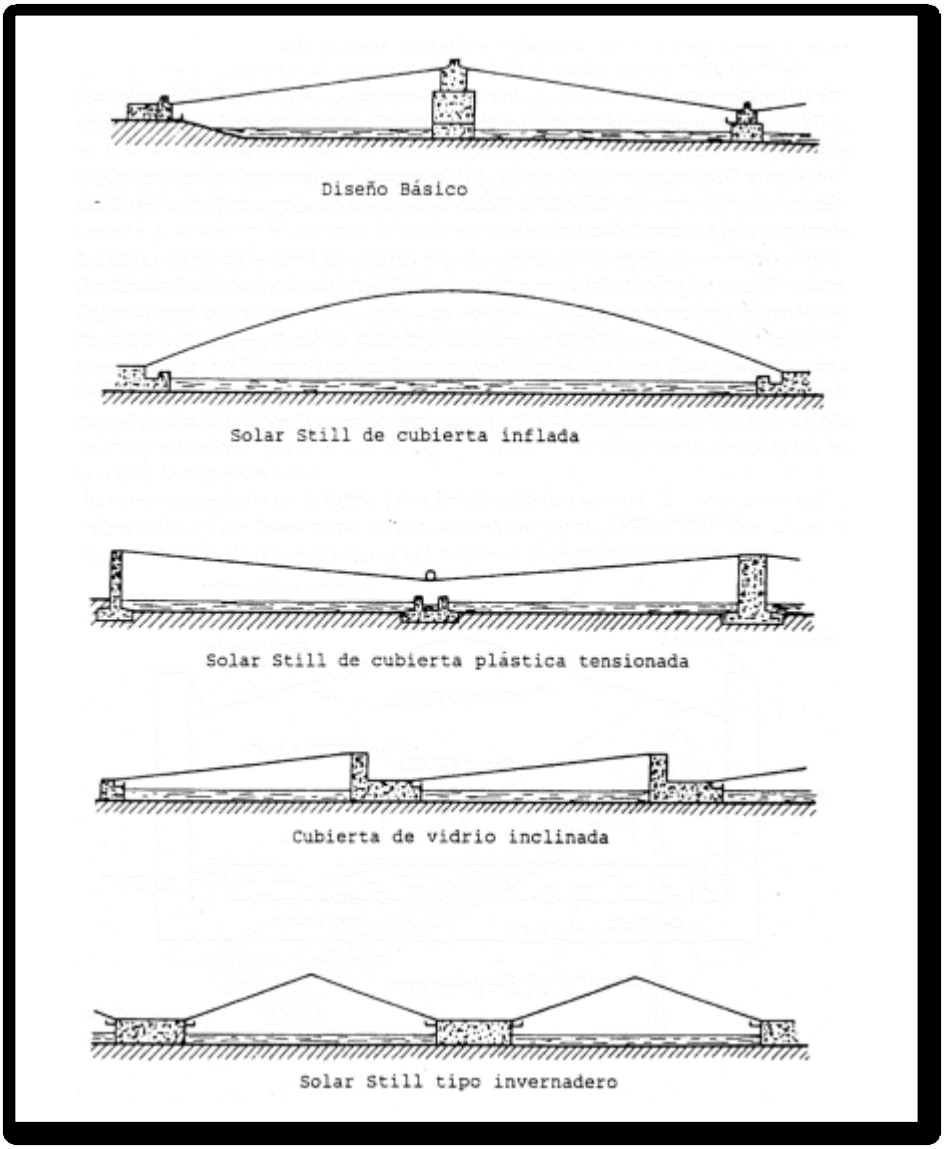

Fuente: (Rodriguez & Londoño, 2002)

## Anexo 2. Mapa topográfico en la Región de Camarones



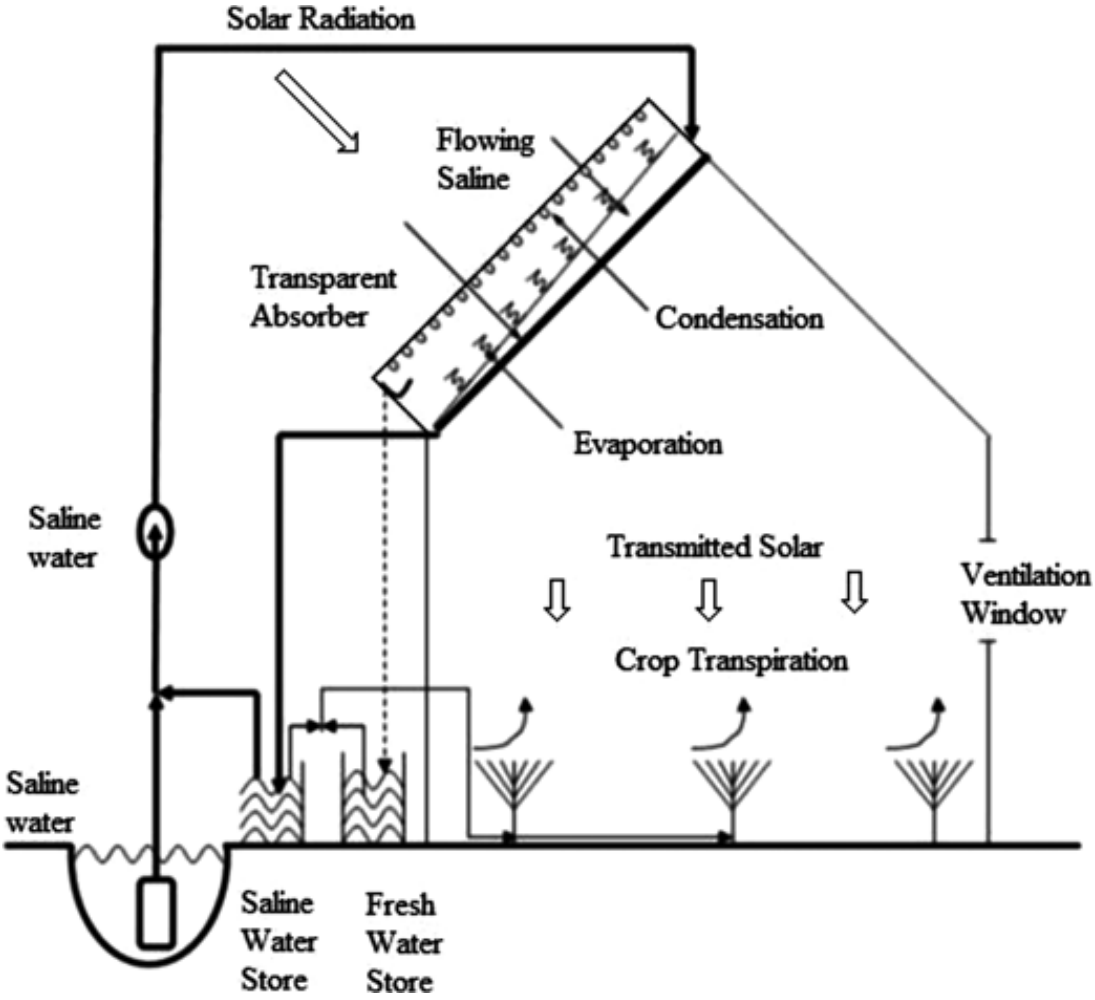

Fuente: (OVH SAS, 2019)

## Anexo 3. Diseños de Solar Still



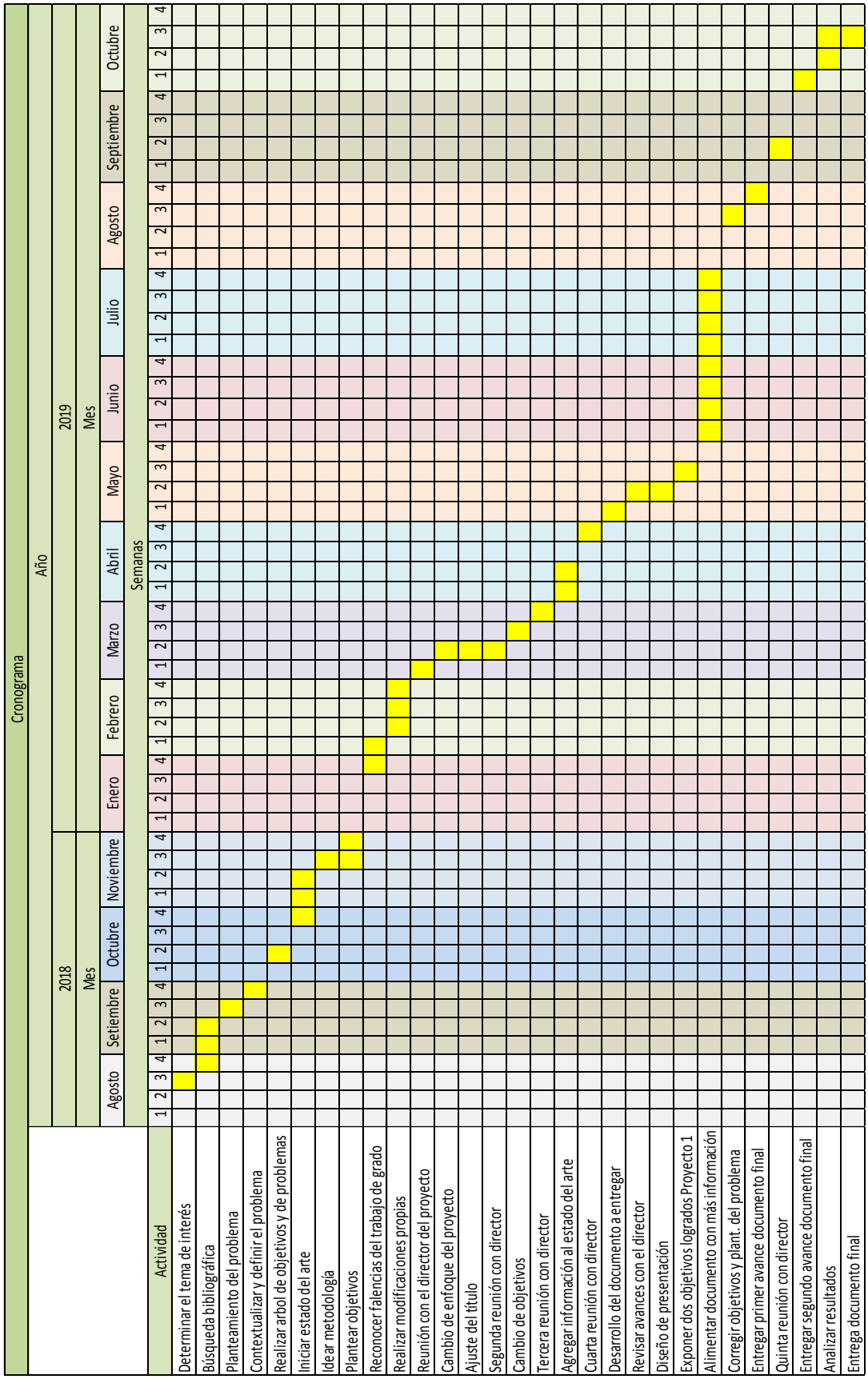

Fuente: (Moya, 1997)

**Anexo 4. Presentación esquemática de la desalación de agua integrada en la cubierta de un invernadero**




Fuente: Jones *et al.,* 2016 citado por (Kumar, Ahmed, Bhadrachari, & Thomas, 2017)

## Anexo 5. Cronograma de trabajo




Fuente: Autor

## 17. Glosario de términos

**Agricultura alternativa:** Son modelos agrícolas donde no se requiere de grandes superficies de terreno para su implementación, es independiente, son adaptados a las condiciones edafoclimáticas del trópico y no requieren herbicidas para el control de malezas (Parra, 2016).

**Condiciones ambientales:** Conjunto de parámetros del entorno que caracterizan su ambiente (Secretaría Distrital de Planeación, 2018)

**Desalación:** es el proceso por medio del cual se eliminan las sales y minerales disueltos en el agua de mar o en aguas salobres, a fin de obtener agua dulce apta para el consumo de los seres vivos o para uso en procesos industriales (Luján, Garza-Alrnanza, & Quevedo Urías, 2005).

**Desertización:** Proceso que convierte las tierras fértiles en desiertos, debido a la disminución de las lluvias (Britannica, 2009).

**Escasez:** Carencia de lo necesario para cubrir las necesidades vitales, pobreza (RAE, 2005).

**Grado de salinidad:** está determinado por la cantidad de Sólidos Disueltos Totales (SDT) que contiene, y se expresa en miligramos de sales por litro de agua o partes por millón (Luján, Garza-Alrnanza, & Quevedo Urías, 2005).

**Huerto:** Área que se cultiva para producir alimentos al mismo tiempo que mantiene la fertilidad del suelo (Jeavons & Cox, 2007).

**Jagüey:** Balsa, pozo o zanja llena de agua, ya sea artificialmente o por filtraciones naturales del terreno (RAE, 2005).

**Ósmosis:** Intercambio de sustancias líquidas a través de una membrana semipermeable (UNESCO, 2013).

**Sequía:** Largo periodo de tiempo seco (RAE, 2005).

**Tratamiento:** Acción y resultado de tratar (RAE, 2005).