

# Planta desalinizadora: diseño y potenciales beneficios socioambientales en la aplicación de riego en La Guajira

María José Valdivieso Hernández  
Universidad Pontificia Javeriana  
Maestría en Energía y Sostenibilidad  
Trabajo de profundización  
mjosevaldiviesoh@javeriana.edu.co

*Resumen - A lo largo de este documento se propone el procedimiento para el diseño de una planta desalinizadora, la incorporación con energías alternativas y la evaluación ambiental que la implementación causaría. En el dimensionamiento de este proyecto se utilizan diferentes técnicas y medios bibliográficos con el fin de conocer el área seleccionada, de manera tal que se pueda tener en cuenta la mayor cantidad de factores en la elección de cada uno de los ítems, haciendo que el modelo final sea adecuado y coherente para las circunstancias presentadas en dicho territorio.*

*Abstract - Throughout this document the procedure for the design of a desalination plant, the incorporation with alternative energies and the environmental evaluation that the implementation for the irrigation of this would cause is proposed. In the sizing of this project, different techniques and bibliographic means are used in order to know the selected area, in such a way that the greatest number of factors can be taken into account in the choice of each of the items, making the model final is adequate and consistent for the circumstances presented in said territory.*

## 1. INTRODUCCIÓN

El mundo de las energías renovables se está haciendo cada vez más grande y van tomando más impulso, esto debido a la nueva conciencia verde que existe en esta generación.

Con este proyecto se busca ayudar a la solución de 3 grandes problemáticas, la primera se basa en un concepto global, que es el uso de energías fósiles, hasta el momento han sido las protagonistas en lo relacionado con el funcionamiento de desalinizadores; el segundo es un problema local, que se presenta específicamente en La Guajira – Colombia, la falta de agua dulce que afecta las siembras, lo que nos lleva a la tercera problemática; la desnutrición que en el mismo sector se ve cerca

de un 24% más que en el resto del país, debido a la dieta desbalanceada que se lleva por la falta de alimentos [1].

El departamento de La Guajira en los últimos años ha registrado el menor volumen de lluvias, específicamente en el municipio de Uribía se registran alrededor de 300 mm al año, lo que generan sequias y claramente imposibilita la siembra [2]. La Erosión en este departamento se ha visto claramente con el paso de los años [3], no solo debido a la escasez hídrica, también se ve por factores antropogénicos como: los cultivos, la minería, la ampliación de infraestructura, los procesos de deforestación, y tránsito de maquinaria [4].

Teniendo estas problemáticas, sumada al incumplimiento de las promesas por parte del gobierno como lo menciona José Ramón Molina Peláez, el presidente de Asoranchería. El gremio de agricultores del departamento ha pedido que solucionen sus dificultades ya sea con la culminación de su megaproyecto de la represa “El Cercado” o con la implementación de nuevos proyectos [5] Conociendo el deterioro que se ha generado en La Guajira, tanto en la calidad del suelo, como en la calidad de vida de la población, se propone contribuir con este proyecto..

## 2. ESPECIFICACIONES GEOGRÁFICAS

En este capítulo se presentan las consideraciones teóricas de los aspectos relevantes para el diseño de la planta desalinizadora, respecto a las condiciones geográficas del lugar que sea elegido. Esto con el fin de entender cuáles son las necesidades y condiciones meteorológicas, marítimas y socioambientales de esta área, para así poder iniciar

con un diseño que sea coherente con dichas especificaciones, en la implementación conceptual de la planta desalinizadora

Uribí en el 2016 fue catalogado como el municipio con mayores necesidades básicas insatisfechas (NBI), con un 96% según la ONS, siendo uno de los niveles más altos en el país [6].

El municipio de Uribí cuenta con la mayor superficie en el norte de Colombia, tiene una extensión de 7.904 Km<sup>2</sup> (DNP, 2017), su centro urbano se encuentra a 90 kilómetros de Riohacha. En este territorio hay una precipitación anual entre 0 y 500 mm de agua al año, siendo este el departamento más seco de Colombia [7], cuenta con una población aproximada de 163.462 personas [8].

Para la elección de la ubicación geográfica en la que se quiere realizar la implementación del proyecto se tiene en cuenta principalmente la cercanía al mar, esto se debe a que es el factor predominante para el correcto funcionamiento de la planta. Teniendo en cuenta lo anterior se decide realizar el estudio específicamente en el Cabo de la Vela.

El cabo de la vela o el también llamado Jepira, por lo Wayúu se encuentra con unas temperaturas que oscilan entre los 22 y los 30°C, Cuenta con buenas playas, por lo cual tiene un gran atractivo turístico, principalmente por el pilón de Azúcar, La playa Dorada y el ojo de Agua.

Sin embargo, pese a su incremento en el sector turismo, la desnutrición y pobreza en este sector es una característica predominante, según un estudio que se realizó en La Guajira por el Unicef, 4 de los 22 niños que fueron valorados sufría de desnutrición (unicef, 2014)

A continuación, en la siguiente figura 1 se puede observar en el punto 1 (circulo azul) el lugar en el cual se plantea instalar la planta desalinizadora, este punto se encuentra a más o menos 180m del lugar de captación, de la misma manera se puede observar el punto 2 (circulo verde), que se encuentra a 43,8 m de la planta, este punto, hace referencia al lugar en el cual se plantea tener la cosecha, dando un total de 223,8 m como se muestra a continuación.



Figura 1 Ubicación geográfica planta

Conociendo el requerimiento hídrico de la siembra y el factor de riesgo, se puede conocer cuánta agua debe desalinizar la planta. Es decir, la corriente del permeado.

$$\begin{aligned} \text{Cantidad de agua dulce} &= \frac{46,7 \text{ m}^3 * 300 \text{ m}^2}{10000 \text{ m}^2} * 1,4811 \\ &= 2,075 \text{ m}^3 = 2075L \end{aligned}$$

### 3. DISEÑO

Con el fin de comprender lo realizado a lo largo del documento, se muestra un diagrama PFD el esquema 1, es decir una representación del flujo de proceso de flujo de proceso, en el que se muestran los equipos utilizados en la planta desalinizadora, los flujos, las temperaturas y la presión que se maneja en cada corriente, también en la parte

superior hay unos cajetines, en los cuales se muestran las características de cada equipo.

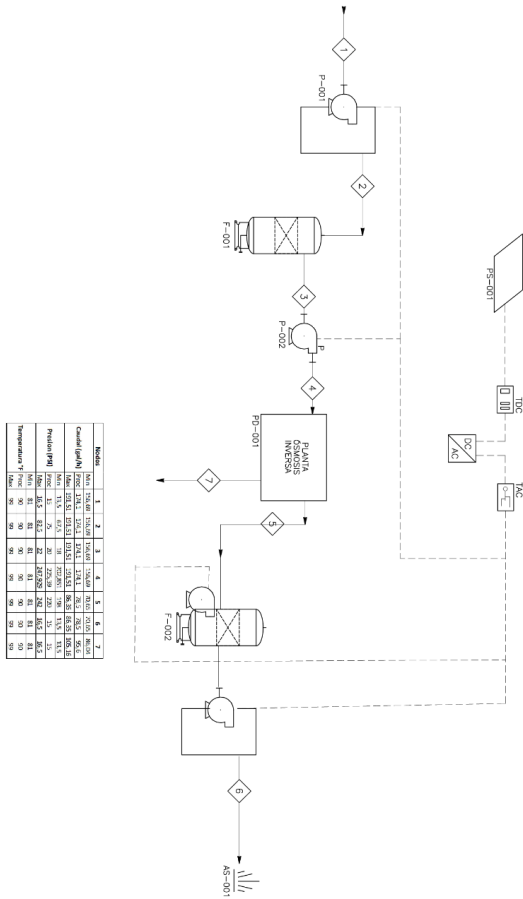


Figura 2 PFD planta desalinizadora

Revisando la bibliografía, acerca de las diferentes tecnologías se encontró que todas ellas cuentan con ventajas y desventajas, sin embargo, para la zona descrita anteriormente y tomando en cuenta sus precarias condiciones de infraestructura, hay unas tecnologías que por diferentes factores fueron descartadas. Teniendo en cuenta todo lo explicado, se realiza una tabla de decisión, en la cual se le asigna un valor a cada una de las variables (Consumo de energía, costo de la instalación, capacidad de producción, fracción de agua recuperada, mantenimiento, impacto en el medio ambiente y pérdida de energía), según la información conseguida, donde cada número tiene un significado (1 = malo, 2 = regular y 3 = bueno) y se ve multiplicada por la importancia que se le ha dado a cada aspecto.

Variable	Tecnología										
	%	MSF	ED	RO	MED	HDH					
Consumo de energía	15%	1	0,15	3	0,45	3	0,45	1	0,15	2	0,3
Costo de la instalación	19%	1	0,19	2	0,38	3	0,57	1	0,19	1	0,19
Capacidad de producción	9%	2	0,18	2	0,18	3	0,27	2	0,18	1	0,09
Fracción de agua recuperada	9%	1	0,09	3	0,27	2	0,18	2	0,18	2	0,18
Mantenimiento	18%	1	0,18	2	0,36	2	0,36	1	0,18	3	0,54
Impacto en el medio ambiente	20%	1	0,2	2	0,4	2	0,4	1	0,2	3	0,6
Pérdida de energía	10%	1	0,1	2	0,2	2	0,2	1	0,1	2	0,2
Total	100%		1,09		2,24		2,43		1,18		2,1

Tabla 1 Matriz de decisión

Tal como se muestra en la tabla anterior, teniendo en cuenta cada variable y sus ventajas y desventajas, se selecciona la tecnología de osmosis inversa, ya que fue la que mayor valor obtuvo, esto se traduce diciendo que es la técnica que más se ajusta a las condiciones del corregimiento de Taparajin, al presupuesto y las posibilidades de hacer mantenimiento.

Con el fin de encontrar el caudal de entrada y de tener una desalinización constante en la que se aprovechen las horas sol con valores que oscilan entre 6 y 8 horas [9], para mantener almacenada el agua dulce por el tiempo restante, se conoce que la cantidad de agua dulce neta que espera como resultado el proceso es de 2075 L/día, esta cantidad se divide en las horas que la máquina espera trabajar, es decir 7 horas al día, ahora bien, la eficiencia en la recuperación del proceso con ósmosis inversa se encuentra entre el 45 y el 60% de eficiencia, por lo que se utiliza la siguiente ecuación [10].

$$Q_f = \frac{Q_p}{\eta} = \frac{2075 \frac{L}{\text{día}} * \frac{1 \text{ día}}{7 \text{ h}}}{0,45} = 659 \frac{L}{h}$$

$$Q_r = Q_f - Q_p = 659 \frac{L}{h} - 297 \frac{L}{h} = 362 \frac{L}{h}$$

Donde

- Qf = caudal de alimentación o agua bruta.
- Qp = caudal de permeado o caudal producto.
- Qr = Caudal de rechazo
- η = Conversión o recuperación general del sistema.

Para la selección de la membrana se tendrán en cuenta 2 documentos encontrados durante la

búsqueda bibliográfica: “Desalinización de agua para aplicaciones de potabilización mediante el desarrollo de tecnología solar sustentable” del Ingeniero Omar Guadalupe Claudio Gómez, para la obtención de grado como Maestro en opto mecatrónica [11] e “Introducción a la Desalación por ósmosis inversa. Conceptos Básicos” Del Ingeniero Carlos tejedor [12]

La concentración es la proporción de soluto que hay en un solvente que puede estar en cualquier estado, la concentración se ve reflejada en la literatura como  $[\ ]$ . Con ayuda de las siguientes ecuaciones tendremos la información de esta variable que la desalinizadora manejará a lo largo del proceso, las de entradas brindadas por la fuente bibliográfica y las de rechazo y permeables calculadas una vez se conocen las características de la membrana, donde:

- R: Coeficiente de rechazo
- $\eta$ : Coeficiente de recuperación del sistema
- $C_{fi}$  = Caudal de alimentación o agua bruta.
- $C_{pi}$  = Caudal de permeado o caudal producto.
- $C_{ri}$  = Caudal de rechazo o salmuera
- $Q_p$  = Caudal permeado
- $Q_r$  = Caudal de rechazo

$$C_{ri} = \frac{R * C_{fi}}{1 - \eta} = \frac{0,998 * 0,0037 \frac{mg}{L}}{1 - 0,45} = 0,0067 \frac{mg}{L}$$

$$C_{pi} = \frac{C_{fi} * Q_{fi} - C_{ri} * Q_{ri}}{Q_p} = \frac{0,0377 \frac{mg}{L} * 659 \frac{L}{h} - 0,068408364 \frac{mg}{L} * 297 \frac{L}{h}}{362 \frac{L}{h}} = 0,0012505569 \frac{mg}{L}$$

Dando como resultado la siguiente tabla

Elemento	$[\ ]_o$	$[\ ]$ Rechazo	$[\ ]$ Permeado	Unidad
Nitratos	0,0037	0,006840836	0,001250557	mg/L
Fosfatos	0,0027	0,004899273	0,000895624	mg/L
Amonio	0,2	0,362909091	0,066342541	mg/L
Bario	0,1	0,181454545	0,033171271	mg/L

Elemento	$[\ ]_o$	$[\ ]$ Rechazo	$[\ ]$ Permeado	Unidad
Bicarbonato	189	342,9490909	62,69370166	mg/L
Boro	0	0	0	mg/L
Calcio	420	762,1090909	139,319337	mg/L
Flúor	0	0	0	mg/L
Magnesio	1368	2482,298182	453,7829834	mg/L
Nitrito	0	0	0	mg/L
Potasio	391	709,4872727	129,6996685	mg/L
Sílice	0	0	0	mg/L
Estroncio	0	0	0	mg/L
Sulfato	2786	5055,323636	924,1516022	mg/L
Sodio	12190	22119,30909	4043,577901	mg/L

Tabla 2 Concentraciones

Para conocer la presión osmótica, es necesario hallar la molaridad de cada elemento para conocer el total, este procedimiento se realiza teniendo los datos de cuantos mg hay en un mol, es decir con el peso atómico de los elementos, luego se divide la concentración que se conoce de la tabla anterior y así con estos datos, ya se puede conocer la presión osmótica

Elemento	mg/mol	$[\ ]_o$ molar	$[\ ]_r$ molar	$[\ ]_p$ molar	Unidades
Nitratos	62004,9	5,9673E-08	1,10327E-07	2,017E-08	mol/L
Fosfatos	94971,4	2,843E-08	5,159E-08	9,4305E-09	mol/L
Amonio	17030	1,174E-05	2,131E-05	3,896E-06	mol/L
Bario	137327	7,282E-07	1,32133E-06	2,415E-07	mol/L
Bicarbonato	61016,8	0,0030975	0,005620568	0,0010275	mol/L
Boro	10811	0	0	0	mol/L
Calcio	40078	0,0104796	0,019015647	0,0034762	mol/L
Flúor	18998,403	0	0	0	mol/L
Magnesio	24305	0,0562847	0,102131174	0,0186704	mol/L
Nitrito	46005	0	0	0	mol/L
Potasio	39098,3	0,0100004	0,018146244	0,0033173	mol/L
Sílice	60080	0	0	0	mol/L
Estroncio	87620	0	0	0	mol/L
Sulfato	96060	0,0290027	0,05262673	0,0096206	mol/L
Sodio	22989,769	0,5302359	0,962137075	0,175886	mol/L
Total		0,639113352	1,15970023	0,212002021	mol/L

Tabla 3 Molaridades

Ahora con estos datos ya es posible obtener la presión osmótica

Corriente	Presión osmótica (bar)	Presión osmótica (psi)
Alimentación	15,54	225,39
Rechazo	28,21	409,15
Permeable	5,16	74.84

Tabla 4 Presión osmótica

$$P_0 = 0,0809 \frac{L * \text{Bar}}{\text{mol K}} * (27,5 + 273,15)K * 0,6391 \frac{\text{mol}}{L} = 15,54 \text{ Bar}$$

Para calcular el número de membranas que se debe emplear, se utiliza la siguiente ecuación, el caudal permeado se divide entre el área de la membrana que está dada en las especificaciones de la elegida y el flujo específico [13]. El flujo específico se toma con base en la guía de diseños de FILMTEC, para elementos de 8 pulgadas, finalmente se escoge 10 gfd

$$N_e = \frac{Q_p}{f * A} = \frac{1883 \frac{\text{gal}}{\text{día}}}{10 \frac{\text{gal}}{\text{d} * \text{ft}^2} * 440 \text{ft}^2} = 0,4279$$

Donde:

- $N_e$  = número de membranas
- $Q_p$  = Caudal permeado
- $f$  = Flujo específico
- $A$  = Área de la membrana

En este caso según el fabricante, el flujo máximo permitido para los tubos de presión es de 10gfd, la permeabilidad específica de la membrana es de  $0,0282 \frac{\text{gfd}}{\text{lb/in}^2}$  y esto se encuentra descrito en [14]

$$P_m = \frac{10 \text{ gfd}}{0,0282 \frac{\text{gfd}}{\text{psi}}} + |225,39 - 409,15| \text{psi} = 552,45 \text{psi} = 38,1 \text{Bar}$$

Bomba almacenadora y con presión constante para el riego.

Para determinar la potencia de las bombas necesarias, a lo largo de este ítem, se registrará por las

siguientes 2 ecuaciones, que fueron tomadas del libro Mecánica de fluidos aplicada [15]

$$\text{Pot} = H_b * \rho * g * Q$$

Donde:

- Pot: Potencia
- $H_b$ : Carga de trabajo o altura dinámica
- $\rho$ : Densidad del agua –  $1030 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^3}$
- $g$ : Gravedad  $9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$
- $Q$ : Caudal que debe suministrar la bomba

$$H_p = \frac{\text{Pot}}{\eta}$$

Donde:

- Pot: Potencia
- $\eta$ : Eficiencia de la bomba se debe encontrar entre 55 y 85%, que por criterios de autor se toma 70%

Para tener en cuenta el diseño se realiza con tubería de material PRFV, que cuenta con un factor de fricción de 0,02, se suministra este dato, para dar paso a las ecuaciones se hace referencia a las pérdidas por longitud y por accesorios respectivamente.

$$h_{fL} = \frac{f * L * v^2}{2gD}$$

$$h_{f_{acc}} = k \frac{v^2}{2g}$$

Donde

- $K$ : Coeficiente de fricción de accesorios
- $f$ : Factor de fricción de la tubería
- $D$ : Diámetro nominal de la tubería

Finalmente, para hallar la altura dinámica se utiliza la se utiliza la ecuación de Bernoulli

$$H_b = h_f + \left[ \left( \frac{P_2}{\rho * g} \right) + \frac{v_2^2}{2 * g} + z_2 \right] - \left[ \left( \frac{P_1}{\rho * g} \right) + \frac{v_1^2}{2 * g} + z_1 \right]$$

Donde:

- H<sub>b</sub> altura dinámica
- H<sub>f</sub> = pérdida
- P = presión
- g = gravedad
- Z = altura
- V = velocidad
- ρ = densidad

La potencia neta de las bombas necesarias después de obtenida se multiplica por un factor de seguridad de 1,25 según las recomendaciones del fabricante,

Bomba	Pretratamiento	Planta de osmosis	Riego	Succión
H <sub>f1</sub> (m)	0,076142132	0,114213198	0,054857104	1,37055838
H <sub>facc</sub> (m)	0,486980571	0,243490285	0,155932615	1,460941713
H <sub>ft</sub> (m)	0,563122703	0,357703484	0,210789719	2,831500093
H <sub>b</sub> (m)	36,18001529	73,61007376	35,82768231	47,97067975
Potencia (HP)	0,225159123	1,144881109	0,222966449	0,746103383
Potencia segura (HP)	0,337738685	1,717321664	0,334449673	1,119155074
Potencia de compra (HP)	0,5	2	0,5	1,5

Tabla 5 Características de las bombas

En la elección de pretratamiento se eligen 2 tecnologías, la primera es un desbaste que consiste en la retención de partículas con tamaños superiores a 1 cm, por medio de rendijas, este proceso se propone para la durabilidad del segundo método que es el uso de un filtrador, específicamente un filtrador de arena, que ayuda a la eliminación de SST. Este proceso cuenta a su vez con tres subprocesos en su interior, el filtrado, el lavado y el aclarado. A lo largo del recorrido el agua es bombeada para iniciar con el filtrado, seguido se inyecta aire de manera tal que el agua se va clarificando y el proceso se repite. Para llevar a cabo este procedimiento se utilizan máquinas especializadas

El agua desalinizada por lo general tiende a ser muy corrosiva, por lo cual necesita una

Remineralización, esta tiene como objeto aumentar la alcalinidad y la dureza hasta llegar a unos valores de LSI – índice de saturación de Langelier, de esta manera se reduce su carácter agresivo, aumentando los bicarbonatos respecto al cloro y los sulfatos. En el sector agrícola, como en este caso, se utiliza también para la mejora, ya que incluye un contenido mayor de calcio y de sodio. El agua desalada por lo general no cuenta con suficiente CO<sub>2</sub> como para permitir una remineralización, por eso en la mayoría de los procesos se debe incluir este componente [16].

Según el área que se necesita regar, se selecciona un aspersor que tenga la capacidad de proveer agua a todo el terreno, esta se activará con el temporizador que se encuentra previo al tanque de presión constante, sin embargo, el diseño por seguridad debe llevar una válvula.

Habiendo elegido el tipo de aspersor con un diámetro de cobertura que varía entre 28 y 40 metros [17],

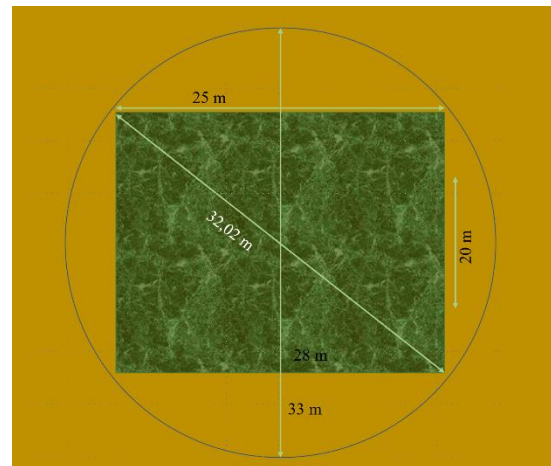


Figura 3 Diámetro aspersor

Con el fin de encontrar el consumo estimado, lo primero que se debe realizar es una tabla en la que se discriminen todos los artefactos que consuman energía eléctrica y calcular la potencia diaria requerida

Elementos para instalar	Potencia (W)	Factor de corrección por pérdidas 25% (W)	Horas de trabajo (h)	Energía total (Wh/día)
Bomba de alta presión	1492	1865	1	1865
Bomba de pretratamiento	373	466,2	1	466,2

Elementos para instalar	Potencia (W)	Factor de corrección por pérdidas 25% (W)	Horas de trabajo (h)	Energía total (Wh/día)
Filtro de remineralización	373	466,2	1	466.2
Bomba succión	1119	1399	1	1399
Bomba de riego	373	466,2	1,25	583
<b>TOTAL</b>	<b>3730</b>	<b>4663</b>	<b>5,25</b>	<b>4779,4</b>

Tabla 6 Consumo estimado

Se selecciona el factor de seguridad de 4 veces la potencia necesaria dada la carga inductiva generada por el arranque de las bombas dejando el margen adecuado para el correcto funcionamiento en el escenario del pico de corriente. Por lo cual se selecciona un inversor de 15000 W y 48 V

Dimensionamiento baterías		
Días de autonomía (en caso de mal tiempo)	2	Días
Eficiencia profundidad de descarga	85%	
Energía requerida	9558,8	Wh
Voltaje total de la batería	48	V
Batería comercial	100	Ah
<b>Nº total de batería Litio</b>	<b>3</b>	

Tabla 7 Dimensionamiento de baterías

Se seleccionan baterías de 48 Voltios y 100 Ah, por lo tanto, se requieren 3 de éstas generando 300 Ah.

Dimensionamiento paneles solares		
Potencia del panel	550	W
Ubicación	Cabo de la Vela	
Periodo del año que usaremos la instalación	Media anual	
Horas pico solar	6	h
Energía generada por un módulo al día	3300	Wh
Nº módulos después de pérdidas	4	<b>paneles</b>
Voltaje del panel	24	<b>V</b>
Voltaje requerido	48	<b>V</b>
<b>Nº de paneles del sistema</b>	<b>8</b>	<b>paneles</b>

Tabla 8 Dimensionamiento de paneles solares

Se requieren 4 paneles de 550 W, estos paneles funcionan a 24 V, lo que se traduce en un arreglo de 4X2.

Es decir, finalmente se necesitan 8 paneles solares para alimentar el sistema.

Para el correcto funcionamiento del sistema se requiere un inversor de 15 kW para sistemas de 48 V, 3 baterías de 48 voltios a 100 Ah, un controlador MPPT de 50 A a 48 V y 8 paneles de 550 W a 24 Voltios, para formar con arreglo de 4X2 para tener generar una potencia de 2200 W en una configuración de 48 V

#### 4. COSTOS

Teniendo todo decidido se procede a realizar una evaluación de costos que se observa en la siguiente tabla

Artefacto	Unidades	Costo unitario	Costo total
Membrana	1	\$ 117.700	\$ 117.700
Mallas	1	\$ 650.000	\$ 650.000
Filtrador	1	\$ 1.500.000	\$ 1.500.000
Remineralizador	1	\$ 3.680.000	\$ 3.680.000
Bomba de succión	1	\$ 1.268.000	\$ 1.268.000
Bomba de presión cte.	2	\$ 799.000	\$ 1.598.000
Bomba de alta presión	1	\$ 1.299.000	\$ 1.299.000
Válvulas	12	\$ 113.500	\$ 1.362.000
Aspersores	4	\$ 71.900	\$ 287.600
Cable solar rojo m	200	\$ 5.360	\$ 1.072.000
Cable solar verde m	200	\$ 5.360	\$ 1.072.000
Cable solar negro m	200	\$ 5.360	\$ 1.072.000
Inversor	1	\$ 7.357.155	\$ 7.357.155
Breaker termo magnético	1	\$ 150.000	\$ 150.000
Caja fusible tipo Riel	1	\$ 69.300	\$ 69.300
Totalizador	1	\$ 150.000	\$ 150.000
Sistema de puesta a tierra	1	\$ 2.700.000	\$ 2.700.000
Hidrogel g	50000	\$ 89	\$ 4.450.000
Transporte	3	\$ 1.500.000	\$ 4.500.000
Tanque de almacenamiento	1	\$ 2.436.000	\$ 2.436.000
Tubería m	274	\$ 8.967	\$ 2.456.958
Días de mano de obra para paneles	45	\$ 180.000	\$ 8.100.000
Días de mano de obra para construcción	45	\$ 140.000	\$ 6.300.000
Protecciones fotovoltaicas	1	\$ 549.253	\$ 549.253
Estructura de paneles	8	\$ 180.000	\$ 1.440.000
Construcción para planta de Ol	1	\$ 20.000.000	\$ 20.000.000
Controlador	1	\$ 1.043.000	\$ 1.043.000
Baterías	4	\$ 3.036.534	\$ 12.146.136
Paneles solares	8	\$ 1.036.000	\$ 8.288.000
Precio total		\$	97.114.102

Tabla 9 Costos

#### 5. EVALUACIÓN AMBIENTAL

se podrá ver cuáles son los impactos más significativos y cuáles de ellos necesitan medidas de compensación, esta matriz se realiza evaluando los impactos frente a las actividades y dando un valor determinado según el criterio evaluado. Los criterios para evaluar son 11 y se pueden evaluar con los siguientes datos:



Criterio	Valor	Significado
Naturaleza	+	Beneficioso
	-	Perjudicial
Intensidad (i)	1	Baja
	12	Total
Extensión (EX)	1	Puntual
	12	Critica
Momento (MO)	1	Largo plazo
	8	Critico
Persistencia (PE)	1	Fugaz
	4	permanente
Reversibilidad (RV)	1	Corto plazo
	4	Irreversible
Sinergia (SI)	1	Sin sinergismo
	4	Muy sinérgico
Acumulación (AC)	1	Simple
	4	Acumulativo
Efecto (EF)	1	Indirecto
	4	Directo
Periodicidad (PR)	1	Irregular
	4	Continuo
Recuperabilidad (MC)	1	Recuperación rápida
	8	Irrecuperable

Tabla 10 Criterios de Matriz Conesa

Una vez se tienen los valores se utiliza la siguiente ecuación, para así conocer la magnitud del impacto.

$$I = \pm(3i + 2EX + MO + PE + RV + SI + AC + EF + PR + MC)$$

Teniendo en cuenta estos datos, se procede a conocer cuáles son las etapas, fases, actividades, medio, elemento e impactos para de esta manera complementar la matriz Conesa.

ETAPA	FASES		ACTIVIDAD
Preoperativa	Gestión Social	Información y comunicación	Exposición de objetivos y alcance del proyecto
		Contratación de servicios, mano de obra y servidumbres	Selección de personal y servicios de terceros
			Contratación de mano de obra no calificada

ETAPA	FASES		ACTIVIDAD			
Operativa	Instalación de planta desalinizadora	Montaje de equipos e instalación de paneles	Educación y capacitación al personal			
			Negociación de tierras y servidumbres			
			Demanda de mano de obra, servicios e insumos de terceros			
			Movilización de personal, equipos y materiales vía fluvial			
			Montaje de equipos e infraestructura			
			Retiro de la capa vegetal			
			Movimiento de tierras			
			Disposición de residuos sólidos			
			Post operativa	Desmantelamiento	Retiro, cambio o mantenimiento de estructura	Demanda de mano de obra y servicios de terceros
						Desmontaje, cambio o mantenimiento de membranas o paneles
Disposición de residuos sólidos						
Recuperación de áreas intervenidas						
Revegetación de áreas intervenidas						
Manejo de las relaciones con la comunidad						
			Terminación de contratos			

Tabla 11 Etapas

Tal como se muestra en la tabla, este proyecto al igual que cualquier otro, cuenta con tres etapas fundamentales: Pre-operativa, en la que se contemplan todas las actividades en las que se puede ejecutar previo a la implementación del proyecto, la operativa que es proceso de construcción de la planta desalinizadora, y la post operativa que es cuando se va a realizar la desmantelación de los equipos, esto se ejecuta con el fin de contemplar todas las posibles variables e impactos que se podrían generar

En la siguiente tabla se verá un resumen, en donde solo se encuentran el medio, el elemento, los impactos y los resultados, estos fueron evaluados según el resultado como bajo, moderado, severo y critico [18].



MEDIO	ELEMENTO	IMPACTO	VALOR FINAL DEL IMPACTO	TIPO DE IMPACTO
ABIÓTICO	SUELOS	Cambios en el uso del suelo	29,8	Moderado
		Cambios en las propiedades fisicoquímicas del suelo (Regenerar)	30	Moderado
	PAISAJE	Modificación del paisaje	-20,9	Bajo
	AGUA	Insumos hídricos constantes para riego y consumo animal	21	Bajo
BIÓTICO	FLORA	Cambios en la composición y estructura de la cobertura vegetal	-22	Bajo
		Variación en ecosistemas naturales	49	Moderado
	FAUNA	Abastecimiento de agua para consumo animal	39	Moderado
		Modificación del hábitat de la fauna terrestre	20	Bajo
SOCIOECONÓMICO	DIMENSIÓN DEMOGRÁFICA	Cambio en la dinámica y estructura poblacional	33,2	Moderado
	DIMENSIÓN ESPACIAL	Cambio en la oferta y demanda de servicios sociales y ambientales	43,6	Moderado
	DIMENSIÓN ECONÓMICA	Cambio en el valor y uso actual del suelo	55,7	Severo
		Cambio en las actividades productivas económicas tradicionales	47,3	Moderado
		Generación de empleo	41,2	Moderado
	DIMENSIÓN CULTURAL	Cambio en hábitos alimenticios	31,4	Moderado
		Cambio en las prácticas socio culturales tradicionales	13,2	Bajo
		Generación de proyectos sociales	50,6	Severo

Tabla 12 Resumen matriz Conesa

Teniendo en cuenta la tabla anterior se puede ver que dos de los impactos son negativos, aunque con un tipo bajo, por lo cual se deben tomar medidas de compensación como se ve a continuación.

Teniendo en cuenta la tabla anterior, en la que se observan cuáles son los impactos, se puede ver claramente los positivos un valor superior a 0 y negativos con un valor inferior, en severos se encuentran 2 que son de impacto positivo, mientras

que los dos que son negativos se ve que tienen un impacto bajo.

Se puede ver que lo que mayor impacto genera son las acciones que generan proyectos y el cambio en el uso del suelo, esto se debe a los cambios alimenticios y también al cambio en la forma de vida de la población, donde se ve la matriz Conesa completa, donde evalúa los impactos

Impacto	Compensación
Modificación del paisaje	Construcción de malocas
	Revegetalización
Cambios en la composición y cobertura vegetal	Remediación del suelo cuando se termine el proyecto
	Incentivar proyectos para la alimentación del ganado

Tabla 13 Compensaciones

Tal como se muestra en la tabla previa hubo dos impactos que salen negativos, en este el primero es la modificación del paisaje y se trata de realizar la compensación con ayuda de malocas en las cuales la población se pueda reunir y no pierdan espacios de integración y la segunda manera es por medio de la revegetalización, esta además de ayudar de compensar en primer impacto, también está incluido en el segundo impacto que se observa en la tabla anterior, pues para realizar la revegetalización, primero se debe realizar una restauración del suelo.

Como principal beneficio para la comunidad se habilitan 300 m<sup>2</sup> de tierra con fines agrícolas, este territorio será recuperado, de manera tal que su fertilidad aumente.

Adicional, según el DANE en una hectárea de siembra de maíz se consiguen 3,24 Ton/cosecha [19], por lo cual para los 300 m<sup>2</sup> que se implementa, se producen aproximadamente 97,2 Kg tres veces al año. Este modelo agrícola es un complemento a la seguridad alimentaria de la comunidad, sin embargo, en caso de ver excedentes, estos pueden ser utilizados para la venta, produciendo ganancias económicas. En el caso que el maíz se vendiera en su totalidad y tomando un valor dado por un almacén de cadena de 4712 pesos colombianos / kg el ingreso total sería de 458000 pesos colombianos 3 veces al año, lo que equivale a 1374000 en un año.

La cosecha toma aproximadamente 4 meses y después de esta hay un periodo de restauración del suelo que toma aproximadamente 1 semana,

tiempo suficiente para arar el terreno, aplicar cal viva y dejar reposar.

En la comunidad Wayúu, existe una jerarquía, por tal razón ellos se pueden poner de acuerdo, para el uso de esta agua dulce que está llegando durante la semana de reposo, que es de aproximadamente 14575 litros. Se propone que sea utilizada con fines de limpieza o en actividades cotidianas que no incluyan el consumo.

Finalmente cabe recalcar que este proyecto presenta estos beneficios para la comunidad esperando que la se vea incentivada al cuidado de la planta.

Actualmente comer en hojas como recipientes biodegradables se ha vuelto más común, también se puede hacer almidón de maíz [20], o se puede utilizar para refuerzo de determinados plásticos, incluso en caso que la comunidad no disponga de los elementos para hacerlo ellos mismo se puede vender a las empresas encargadas [21]. Finalmente, un último uso que se podría realizar es mediante la generación de biomasa con las cascara y tallos [22]

A lo largo del tiempo en La Guajira se han planteado diversas soluciones, entre ellas una planta desalinizadora [23], sin embargo, estas han fracasado por incumplimientos o en su mayoría por a falta de mantenimiento. Tal cómo se planteó en el capítulo 3 se espera que el proyecto tenga una durabilidad de 20 años y para ello se requiere de un plan a largo plazo [24].

Las membranas y los filtros requieren un mantenimiento periódico que se puede dar cada 2 meses por la calidad se agua y el cambio de los mismos puede variar entre 6 y 9 meses [25], el mantenimiento de las bombas puede variar entre 3 y 6 meses [26], y finalmente, la limpieza de los paneles de 5 a 3 veces en el año. Se propone tomar en cuenta las siguientes acciones previo a la instalación de la planta desalinizadora:

- Capacitar a la comunidad en el uso de la planta desalinizadora.
- Realizar capacitaciones a la comunidad para el mantenimiento de filtros, bombas y membranas.
- Capacitar a la comunidad en la limpieza de paneles solares
- Mantener Stock de membranas y filtros en caso de requerir de mantenimiento correctivo.
- Realizar periódicamente visitas de un operario para toma de muestras de la calidad del agua.

- Programar visitas de personal de mantenimiento cada semestre para la revisión del sistema completo .
- Tomando como base los costos de mantenimiento se realiza una comparación entre los ingresos y los egresos en el proyecto

## 6. CONCLUSIONES

- Se realizó un análisis bibliográfico a partir de fuentes secundarias, con el fin de localizar las condiciones necesarias para la implementación del diseño conceptual de la planta, basado en lo anterior se eligió el corregimiento del Cabo de la Vela en el municipio de Uribia de La Guajira.

- Se realizó una búsqueda bibliográfica y por medio de una matriz de selección se evaluaron diferentes tecnologías, Electrodiálisis, humidificación-deshumidificación, osmosis inversa, flash multietapa y destilación de múltiple efecto donde según las características más relevantes a consideración del estudiante fueron calificadas, siendo consumo de energía, costo de la instalación, capacidad de producción, fracción de agua recuperada, mantenimiento, impacto en el medio ambiente y pérdida de energía, con asignación de porcentajes de 15%, 19%, 9%, 9%, 18%, 20% y 10% respectivamente, para finalmente la tecnología más viable para la instalación de la planta desalinizadora bajo dichas condiciones es ósmosis inversa, con un valor de 2,43/3.

- Se realiza un diseño en donde se calcula el caudal de las corrientes de alimentación (659L/día), rechazo (362L/día) y permeado de la planta (297L/día), teniendo en cuenta estos valores se conoce que la planta desalinizadora requerirá para su correcto funcionamiento 1 membrana, que funciona con alta presión, por lo cual se instalará previo a la planta una bomba que sea capaz de inyectar el agua a bajo dichas condiciones.

- Se requiere una bomba de alta presión, una bomba para el pretratamiento, la bomba que incluye el remineralizador, la bomba de succión encargada de transportar el agua desde el mar y una bomba para el sistema de riego.

- Para el correcto funcionamiento del sistema se requiere un inversor de 15 kW para sistemas de 48 V, 3 baterías de 48 voltios a 100 Ah, un controlador MPPT de 50 A a 48 V y 8 paneles de 550 W a 24 Voltios, para formar con arreglo de 4X2 para tener generar una potencia de 2200 W en una configuración de 48 V

- El costo total de la aproximación del presupuesto realizado para la posible implementación del proyecto es de \$ 97.114.102, que consta de la planta desalinizadora, el pre tratamiento, tratamiento y post tratamiento, sistema fotovoltaico, mano de obra y elementos de construcción y transporte.
- Se estableció que los dos impactos negativos son: la modificación del paisaje y los cambios en la composición y estructura de la cobertura vegetal, los cuales se propone subsanar por medio de la construcción de malocas y nuevos espacios que para la comunidad y la revegetalización una vez terminado el proyecto
- El proyecto no es económicamente viable porque los costos de mantenimiento a lo largo de 10 años superan los ingresos generados en el mismo periodo de tiempo, en el caso de vender la producción completa de la cosecha

#### RECOMENDACIONES

- Se recomienda ampliar la capacidad de la planta desalinizadora, para que el proyecto pueda ser económicamente viable, sin embargo se considera la mejora en la calidad de vida de los habitantes de la comunidad
- Se recomienda la implementación del proyecto y realizar capacitaciones a la comunidad para el mantenimiento de la planta desalinizadora, para que de esta manera tenga una mayor vida útil.
- Realizar la caracterización del agua proveniente de la planta desalinizadora frecuentemente, para asegurar la calidad de la misma.
- Realizar campañas de incentivo para el aprovechamiento del proyecto.
- Pactar con la comunidad periodos y formatos para el mantenimiento del proyecto.

#### 7. BIBLIOGRAFÍA

- [1] F. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura, “Mal manejo del riego: amenaza para los suelos, el agua y la seguridad alimentaria,” 2019. <http://www.fao.org/FOCUS/S/SpeclPr/spr013-s.htm> (accessed May 18, 2020).
- [2] IDEAM, “La Guajira - Boletín de la Sociedad Geográfica de Colombia,” no. 4. p. 1, 2020.
- [3] INVEMAR, “Programa Nacional para la Investigación de la Erosión Costera,” 2012. [http://www.invemar.org.co/inicio?p\\_p\\_id=101&p\\_p\\_lifecycle=0&p\\_p\\_state=maximized&p\\_p\\_mode=view&\\_101\\_struts\\_action=%2Fasset\\_publisher%2Fview\\_content&\\_101\\_returnToFullPageURL=%2F&\\_101\\_assetEntryId=77906&\\_101\\_type=content&\\_101\\_urlTitle=programa-nacional-para-la-investigacion-de-la-erosion-costera&inheritRedirect=false](http://www.invemar.org.co/inicio?p_p_id=101&p_p_lifecycle=0&p_p_state=maximized&p_p_mode=view&_101_struts_action=%2Fasset_publisher%2Fview_content&_101_returnToFullPageURL=%2F&_101_assetEntryId=77906&_101_type=content&_101_urlTitle=programa-nacional-para-la-investigacion-de-la-erosion-costera&inheritRedirect=false) (accessed May 29, 2021).
- [4] S. Prada Ruiz, P. V. Prieto Martínez, and C. A. Vergara, “La Erosión En El Suelo De La Zona Costera De La Guajira Desde 1975 a La Actualidad Y Su Relación Con Las Actividades Económicas De La Región \*,” *Revista Estudiantes Facultad de Ciencias Económicas*, vol. V, no. 1, pp. 31–39, 2015.
- [5] F. De la Hoz, “Agricultores piden al Gobierno culminar obras de distrito de riego en La Guajira,” *El Heraldo*, 2020. <https://www.elheraldo.co/la-guajira/agricultores-piden-al-gobierno-culminar-obras-de-distrito-de-riego-en-la-guajira-810140> (accessed May 29, 2021).
- [6] K. Cortes and N. Alvis, “Informe técnico séptima edición ,” Sep. 2016. <https://www.ins.gov.co/Direcciones/ONS/publicaciones/alternas/boletin8-wayuu/resultados.html> (accessed Mar. 11, 2021).
- [7] J. D. López Morales, “Así son los días en Uribia, el pueblo más seco de Colombia,” Sep. 2017. <https://www.eltiempo.com/colombia/otras-ciudades/el-pueblo-donde-menos-llueve-en-colombia-es-uribia-en-la-guajira-135092> (accessed Mar. 11, 2021).
- [8] A. Martínez Ortiz, “La Guajira Caracterización Departamental y municipal. Informe presentado a Cerrejón

- Minería responsable,” *Cerrejon*, p. 192, 2019.
- [9] Instituto de Hidrología Meteorología y Estudios Ambientales - IDEAM, “Radiación Solar,” pp. 6–10, 2019.
- [10] W. Qi, J. Liu, and P. D. Christofides, “A distributed control framework for smart grid development: Energy/water system optimal operation and electric grid integration,” *Journal of Process Control*, vol. 21, no. 10, pp. 1504–1516, 2011, doi: 10.1016/j.jprocont.2011.05.010.
- [11] C. O. Gómez, “Desalinización De Agua Para Aplicaciones De Potabilización Mediante El Desarrollo De Tecnología Solar Sustentable,” pp. 12–50, 2018.
- [12] C. Tejedor, “Introducción a la Desalación por ósmosis inversa. Conceptos Básicos,” *EOI Escuela de Negocios*, p. 56, 2008.
- [13] Dupon, “System Design. The Steps to Design a Membrane System. Tech Manual,” no. 45, pp. 4–9, 2020.
- [14] DOW FilmTec, “FILMTEC™ Reverse Osmosis Membranes Technical Manual.,” no. February. p. 210, 2021.
- [15] R. L. Mott, *Mecánica de fluidos aplicada*. PEARSON, 2006.
- [16] M. Hernandez Suarez, “Guía para la remineralización de las aguas desaladas,” 2010.
- [17] Aspercol, “Aspersores,” 2020. <https://www.aspercol.com/aspersores.php> (accessed May 16, 2021).
- [18] Hidroar, “Metodología para el Calculo de las Matrices Ambientales,” no. I, pp. 1–5, 2015.
- [19] DANE, “Maíz tecnificado en Colombia,” pp. 1–13, 2004.
- [20] C. Grande and B. Orozco, “Producción y procesamiento del maíz,” *Revista Científica Guillermo de Ockham*, vol. 11, no. 1, pp. 97–110, 2013.
- [21] P. Mujté *et al.*, “Residuos de tallo de maíz como refuerzo de polipropileno,” *Simposio Iberoamericano de Ingeniería de Residuos*, pp. 23–24, 2008.
- [22] A. Sosa, “PRODUCCION DE BIOMASA, RENDIMIENTO Y COMPETENCIA ENTRE PLANTAS DE MAIZ SEGÚN SU VARIABILIDAD TEMPORAL EN LA EMERGENCIA,” 2007.
- [23] J. D. Naranjo, “La Guajira: agua que mata,” 2021. <https://semanarural.com/web/articulo/los-ninos-siguen-muriendo-de-hambre-en-la-guajira-y-los-proyectos-de-pozos-han-fracasado-o-no-han-sido-suficientes/1932> (accessed Dec. 01, 2021).
- [24] M. alberto Ramos Peroza, “Operaciones de mantenimiento y reparación en la planta desaladora de Santa Cruz de Tenerife,” 2016.
- [25] J. Aparicio Gonzáles, “Planificación del mantenimiento de una planta desaladora,” 2019.
- [26] Termodinámica y Biología del agua, “Mantenimiento de bomba de presión de agua ,” 2020. <https://controldelagua.es/mantenimiento-bomba-de-presion-de-agua/> (accessed Dec. 01, 2021).