



**FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL Y AMBIENTAL**

**PLANTEAMIENTO DE UN SISTEMA DE PREFILTRADO A TRAVÉS DE MALLAS
GEOTEXTILES EN PROCESOS DE ÓSMOSIS INVERSA: UNA SOLUCIÓN PARA LA
SALINIZACIÓN EN CUERPOS DE AGUA COSTEROS.**

PROYECTO DE GRADO

Presentado ante la

UNIVERSIDAD ANTONIO NARIÑO

Como parte de los requisitos para optar al título de

INGENIERO CIVIL

Realizado por:

DURÁN ORTÍZ, CLAUDIA YURANY.

Tutor:

ING. MORALES REY, ALEXANDRA.

Fecha: Bogotá, noviembre de 2020.

UNIVERSIDAD ANTONIO NARIÑO
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL Y AMBIENTAL

**PLANTEAMIENTO DE UN SISTEMA DE PREFILTRADO A TRAVÉS DE MALLAS
GEOTEXTILES EN PROCESOS DE ÓSMOSIS INVERSA: UNA SOLUCIÓN PARA LA
SALINIZACIÓN EN CUERPOS DE AGUA COSTEROS.**

Este jurado; una vez realizado el examen del presente trabajo, ha evaluado su contenido con el resultado: _____.

JURADO EXAMINADOR

Nombre: _____.

Firma: _____.

Nombre: _____.

Firma: _____.

ABSTRACT.

Salinization in water bodies is a widely discussed topic and with an even wider range of variables, it can be natural, due to the geology of the terrain or the climate, or anthropogenic, that is, generated by man through industrial and mining activities, by the action of dumping, agricultural waste, among others. Historically, the first known desalination plant dates from the time of Thales of Miletus and Democritus who commented that fresh water was obtained by filtering seawater through the land. Much later, in the 60's of the last century, the discovery of the technique that would revolutionize the entire desalination process took place: reverse osmosis, a system that, due to its efficiency and high performance, is currently the most used in the world.

Today, there is a production of more than 24 million cubic meters of desalinated water per day throughout the world, supplying more than 100 million people. In Colombia, salinization affects a remarkable amount of water bodies, a special affected is the Magdalena River, because of the intrusion of the sea on the Mallorquin swamp, this situation has a negative influence on the quality of life of the population, intervening equally in the poor development of flora and fauna.

Thus, this research addresses the main benefits and disadvantages of geotextile meshes, along with their application in reverse osmosis, the important treatments to ensure their optimal functioning and how it could be preliminarily developed, an alternative solution to mitigate and subsequently eliminate, the salt intrusion in the marsh of Mallorquin.

TABLA DE CONTENIDOS.

LISTA DE TABLAS.	IV
LISTA DE ILUSTRACIONES.	V
INTRODUCCIÓN.	1
CAPÍTULO I. TEMA DE INVESTIGACIÓN.	3
I.1. Descripción del tema.	3
I.2. Planteamiento del problema.....	4
I.3. Justificación.....	5
I.4. Pertinencia social.....	6
I.5. Objetivos.....	6
I.5.1. Objetivo general.....	6
I.5.2. Objetivos específicos.	6
CAPÍTULO II. ESTADO DEL CONOCIMIENTO.	7
II.1. Marco conceptual.	7
II.2. Antecedentes.	13
II.3. Marco teórico.....	19
CAPÍTULO III. MARCO METODOLÓGICO.	24
III.1. Tipo de investigación.	24
III.2. Fases de la investigación.	24
III.3 Cronograma de actividades.....	25
III.4. Presupuesto.	25
CAPÍTULO IV. DESARROLLO DE LA INVESTIGACIÓN.	26
IV.1 Revisión monográfica inicial sobre las mallas geotextiles.	26
IV.2 Descripción de los procesos previos a la ósmosis inversa.	33
IV.3 Análisis conceptual de soluciones con la técnica de mallas geotextiles en procesos de ósmosis inversa para zonas como la ciénaga de mallorquín.	41
CAPÍTULO V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.	43
V.1. Conclusiones.	43
V.2. Recomendaciones.	44
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.	45
ANEXOS.	51

LISTA DE TABLAS.

Tabla 1: Ventajas y desventajas de los métodos de desalinización de agua de mar. 10

Tabla 2: Diagrama de Gantt para programar las actividades. 25

Tabla 3: Análisis de precios unitarios para presupuesto (Valores expresados en COP). 25

Tabla 4: Referencias del uso de geomembranas en embalses, 1969-1987 (adaptación de ICOLD 1991). 28

Tabla 5: Referencias del uso de geomembranas en embalses, 1975-1992 (adaptación de Duquennoi 2002). 29

Tabla 6: Valoración de los materiales con respecto a sus propiedades (adaptación de MARM 2010). 31

Tabla 7: Sustancias problemáticas para las membranas de ósmosis inversa. 33

Tabla 8: Matriz de selección de las mallas geotextiles. 40

LISTA DE ILUSTRACIONES.

<i>Ilustración 1: Zona costera de la ciénaga de mallorquín</i>	<i>8</i>
<i>Ilustración 2: Esquema del sistema de pre filtrado propuesto.</i>	<i>12</i>
<i>Ilustración 3: Difusión de moléculas.</i>	<i>19</i>
<i>Ilustración 4: Difusión de moléculas con membrana.</i>	<i>20</i>
<i>Ilustración 5: Proceso de osmosis natural.</i>	<i>21</i>
<i>Ilustración 6: Presión osmótica en procesos de osmosis.</i>	<i>22</i>
<i>Ilustración 7: Proceso de osmosis inversa.</i>	<i>23</i>

INTRODUCCIÓN.

La salinización en los cuerpos de agua es un tema ampliamente tratado y con un abanico aún más amplio de variables. Históricamente, la primera desalinizadora que se conoce data de la época de Tales de Mileto y Demócrito quienes comentaron que el agua dulce se obtenía por filtración del agua de mar a través de la tierra. Aristóteles mencionaba la desalación en sus obras y fabricó el primer evaporador conocido. Alejandro de Afrodisias describió por primera vez el procedimiento de destilación como método de obtención de agua dulce a partir de agua de mar.

En la Edad Media, John Gaddesden describe cuatro métodos para la desalación del agua de mar en su *Rosa medicinae*, y, a mitad del siglo XIX algunos barcos comenzaban a llevar instalados destiladores para potabilizar el agua salada. Más tarde, después de la Segunda Guerra Mundial, empezaron a instalarse las primeras plantas desaladoras. En los años 60 se produce el descubrimiento de la técnica que revolucionaría todo el proceso de la desalinización: la ósmosis inversa, un sistema que, por su eficacia y alto rendimiento, actualmente es el más usado en el mundo.

Tras su descubrimiento, comienza a ganar popularidad rápidamente, en síntesis, la osmosis inversa es el proceso mediante el cual ocurre la separación de una cantidad de agua del agua salada por causa de una presión ejercida. La presión necesaria para esta depende de la cantidad de sólidos disueltos y del grado de desalinización que se quiera obtener. La inversión de energía en el proceso resulta en un aumento de entropía.

Actualmente existe una producción de más de 24 millones de metros cúbicos diarios de agua desalada en todo el mundo, lo que supone el abastecimiento de más de 100 millones de personas. Pero no todo es positivo, las plantas desalinizadoras también presentan inconvenientes, puesto que en el proceso de extracción de la sal se producen residuos salinos y sustancias contaminantes que pueden perjudicar a la flora y la fauna. Además, suponen un gasto elevado de consumo eléctrico. Con el fin de mitigar estos inconvenientes, actualmente se realizan estudios para construir plantas desalinizadoras más competitivas, menos contaminantes y que utilicen fuentes de energía renovables.

PLANTEAMIENTO DE UN SISTEMA DE PREFILTRADO A TRAVÉS DE MALLAS GEOTEXILES EN PROCESOS DE ÓSMOSIS INVERSA: UNA SOLUCIÓN PARA LA SALINIZACIÓN EN CUERPOS DE AGUA COSTEROS.

En Colombia, la salinización afecta una notable cantidad de cuerpos de agua, un perjudicado especial es el río Magdalena, a causa de la intrusión del mar sobre la ciénaga de mallorquín, esta situación influye negativamente en la calidad de vida de la población, interviniendo igualmente en el mal desarrollo de la flora y la fauna. El origen de esta afectación se debe a la mala planificación del desarrollo industrial en la zona, y como ocurre ahí, es un caso que se repite en otras regiones del país. Por lo anterior, se plantea una monografía que pueda aportar una alternativa de solución basada en la ósmosis inversa para cuerpos de agua dulce en zonas costeras como la ciénaga de mallorquín.

Vale decir, que del mar proviene una fuente prácticamente ilimitada de agua salada. Así que también hay que destacar que una planta, usando ósmosis inversa va a necesitar hasta tres veces la cantidad del agua producida. Por eso, el diseño de los pozos o sistema de captación debe considerar este factor para su capacidad. También, dadas las limitantes establecidas en los parámetros de esta monografía, en los capítulos posteriores únicamente hallará el desarrollo de la problemática de salinización en los cuerpos de agua costeros y en especial, en la ciénaga de mallorquín.

CAPÍTULO I. TEMA DE INVESTIGACIÓN.

1.1. Descripción del tema.

El origen de la salinidad en los cuerpos de agua dulce puede ser natural, debido a la geología del terreno o a la climatología, o bien antropogénico, es decir, generada por el hombre a través de actividades industriales, mineras, por la acción de vertidos, residuos agrícolas, entre otros. En una amplia variedad de ecosistemas fluviales alrededor del globo, el exceso de sal en los cuerpos de agua a causa de la actividad humana es un factor que condiciona la supervivencia de organismos y comunidades, afecta la biodiversidad y el equilibrio ecológico, además de generar efectos de carácter económico y problemas de salud pública. Con eso en mente es que surge este proyecto de grado, que busca ofrecer una visión integradora, estableciendo los fundamentos teóricos para un sistema de pre filtrado a través de mallas geotextiles en procesos de ósmosis inversa, como solución a los graves efectos ecológicos, económicos y de salud global que provoca la salinización.

De acuerdo a cifras del IDEAM, en Colombia, el 45% de la superficie continental e insular (unas 51'270.290 hectáreas aproximadamente) presenta algún grado de amenaza por salinización. Como sería de esperarse, la mayor severidad de esta situación se concentra en las áreas de La Guajira, Atlántico, Magdalena, Sucre, Córdoba y Cauca, afectando principalmente los ecosistemas de La Guajira, el Cauca y el Magdalena con problemas como el estrés hídrico, alteración del pH, destrucción de la estructura del suelo, disminución de la productividad, toxicidad específica, entre otros muchos problemas.

Existe un caso de estudio particular, un desarrollo industrial mal planificado en la zona costera del noroccidente del país, en Barranquilla específicamente, ha venido provocando la intrusión del mar en un cuerpo de agua dulce, la ciénaga de mallorquín, la cual tiene contacto subterráneo con el río Magdalena, es decir, que este último se ve igualmente afectado por la intrusión salina. Estas razones son motivo suficiente para generar estrategias de prevención frente a problemas tales como la afectación de la flora, la fauna y la población que requiere del buen estado de estos cuerpos de agua para su desarrollo y calidad de vida.

Palabras claves: Ósmosis inversa, Intrusión salina, Ciénaga de mallorquín, Río Magdalena.

PLANTEAMIENTO DE UN SISTEMA DE PREFILTRADO A TRAVÉS DE MALLAS GEOTEXTILES EN PROCESOS DE ÓSMOSIS INVERSA: UNA SOLUCIÓN PARA LA SALINIZACIÓN EN CUERPOS DE AGUA COSTEROS.

1.2. Planteamiento del problema.

Muchas de las acciones del hombre deben estar orientadas a la recuperación de los recursos naturales. El agua especialmente es un recurso cada vez más finito, en Colombia, por ejemplo, el acceso es limitado sobre todo en las zonas costeras, en las que la población le da un uso indiscriminado, sin conciencia ambiental, poniendo en riesgo la calidad y cantidad del recurso hídrico, el cual en gran parte se obtiene a partir de la explotación de acuíferos costeros, todo esto sin mencionar los agentes naturales que pueden generar contaminación. Este riesgo aumenta su peligrosidad en época de verano, donde, los sitios turísticos albergan gran cantidad de población flotante, trayendo consigo una mayor demanda de agua. Esta actividad de explotación indiscriminada de acuíferos costeros, ha venido generado susceptibilidad en las aguas subterráneas, dando paso a un fuerte proceso de contaminación por intrusión salina; un proceso dinámico en el que el frente de agua salada avanza tierra adentro durante los períodos de menor recarga del acuífero y retrocede hacia el mar cuando la recarga aumenta (Madera & Valderrama, 2014).

Un caso de estudio destacable es la Ciénaga de mallorquín, ubicada en Barranquilla, originalmente era un cuerpo de agua dulce, sin embargo debido al desarrollo industrial en la zona fue invadido por el mar, convirtiéndose en un sistema estuarino, que a su vez ha ido aumentando considerablemente los niveles de sal en el río Magdalena, trayendo consecuencias negativas, principalmente a la población que hace vida en la ribera del río, ya que la contaminación salina limita el uso del recurso hídrico por las personas, y a su vez limita la proliferación de la fauna y la flora. Así, es como comienzan a crearse los fundamentos principales de esta monografía, específicamente se basa en responder ¿Puede un sistema de pre filtrado a través de mallas geotextiles en un proceso de ósmosis inversa ser una solución para la desalinización en cuerpos de agua costeros?

Vale decir que el gobierno local ha anunciado recientemente la propuesta de crear un eco parque en la ciénaga, en un intento por mermar la contaminación generada por los desperdicios de la población que es otro problema no menos grave. Esta monografía no hará énfasis en eso, sin embargo, hay que destacar que esa situación ha generado distintas consecuencias igualmente malas. Así pues, es fácil inferir que este tipo de iniciativas son cada vez más necesarias para mejorar en materia de ambiente y por supuesto, seguir desarrollando la ingeniería civil. Por lo anterior, es preciso recolectar información cualitativa y cuantitativa respecto a los niveles de salinidad en la ciénaga para conocer los potenciales beneficios de implantar un proceso de osmosis inversa.

PLANTEAMIENTO DE UN SISTEMA DE PREFILTRADO A TRAVÉS DE MALLAS GEOTEXTILES EN PROCESOS DE ÓSMOSIS INVERSA: UNA SOLUCIÓN PARA LA SALINIZACIÓN EN CUERPOS DE AGUA COSTEROS.

1.3. Justificación.

El problema abordado en esta monografía es consecuencia del desarrollo industrial mal planificado, el cual provocó una intrusión salina en la ciénaga de mallorquín, este por señalar uno de los tantos ejemplos que han ocurrido en otras regiones del país. Frente a eso, se realizará una revisión teórica sobre la utilización de mallas geotextiles como un sistema de pre filtrado en procesos de ósmosis inversa para explorar las ventajas, desventajas y aplicaciones en todo el mundo para así plantear la opción de implementar un sistema como el antes mencionado en la tubería que conecta el río Magdalena con la ciénaga de mallorquín. Este planteamiento busca ser un complemento a la propuesta del gobierno de crear un eco parque y en aras de alimentar futuras investigaciones. Propuestas como estas, ayudan sustancialmente al desarrollo como sociedad, mejoran la calidad de vida tanto de la fauna como de la población en general y disminuyen el impacto ambiental provocado por la contaminación salina.

Cabe destacar que iniciativas similares ya han sido puestas en práctica en otros departamentos del país, los mismas se exponen más abajo, entre el estado del conocimiento, y han servido para tener bases sólidas en esta investigación.

1.4. Pertinencia social.

Como se ha descrito previamente, se busca exponer una alternativa de solución para salvar la ciénaga de mallorquín, volver a convertirla en un cuerpo de agua dulce, interrumpiendo el contacto con el mar y mermando a la vez el paso de la sal hacia el río mediante un proceso de ósmosis inversa. Todo esto traería entre otros beneficios, mejor calidad de vida para los pescadores, disminución del sprite marino en las estructuras aledañas, y con las políticas adecuadas, eventualmente habría menos contaminación por desechos en la zona. Esencialmente se quiere abrir el camino hacia nuevas perspectivas sobre cómo abordar esta problemática a mayor escala.

1.5. Objetivos.

1.5.1. Objetivo general.

- ✓ Establecer los fundamentos teóricos de un sistema de pre filtrado a través de mallas geotextiles en procesos de ósmosis inversa como solución al problema de la salinidad en cuerpos de agua costeros.

1.5.2. Objetivos específicos.

- Realizar una revisión monográfica sobre las mallas geotextiles en procesos de ósmosis inversa o similares, para evaluar ventajas y desventajas aplicadas en Colombia y en todo el mundo.
- Describir los procesos previos al sistema de filtración que se quiere implantar, con el objetivo de que se lleven a cabo para aumentar la eficiencia de esta iniciativa.
- Realizar un análisis conceptual de soluciones con la técnica de mallas geotextiles en procesos de ósmosis inversa para zonas como la ciénaga de mallorquín.

CAPÍTULO II. ESTADO DEL CONOCIMIENTO.

II.1. Marco conceptual.

Definir los conceptos más relevantes de la investigación ayuda a situar en contexto al lector sobre las hipótesis que se plantean, por lo que antes de profundizar en materia, se describen las ideas más trascendentes.

Lo primero a destacar es conocer ¿qué es la intrusión salina? Este es el proceso en el que el agua de mar fluye hacia el subsuelo continental mezclándose con las reservas de agua dulce. Su origen se debe casi siempre, a que la densidad del agua del mar es más alta que la del agua dulce, no obstante, en ocasiones se produce por acción del hombre, como ha sido el caso en el origen del problema en la ciénaga de mallorquín. La situación se suele evidenciar por la rápida elevación de la concentración del ión cloruro y/o de la conductividad eléctrica, generando alteraciones en la composición del agua dulce natural con aumento del contenido de sales (Madera & Valderrama, 2014).

Luego, es prudente conocer la diferencia entre agua dulce y salada; la primera se encuentra naturalmente en la superficie de la tierra, en capas de hielo, glaciares, icebergs, lagunas, lagos, ríos, arroyos y bajo la superficie, como agua subterránea en acuíferos y corrientes de agua subterránea. Y aunque dos terceras partes del planeta sean agua, realmente la cantidad de agua dulce es menor al 1% del total, y aun peor, la cantidad de esta que es accesible para el hombre está en torno al 0.00037% del total. Mientras tanto, el agua salada es una solución basada en agua y caracterizada por la alta concentración de sales minerales disueltas, esta compone principalmente los mares y océanos, y representa más del 99% de agua del planeta.

A continuación, mencionar que una ciénaga se trata de una gran masa de agua estancada y poco profunda en la cual crece una vegetación acuática, que en ocasiones es muy densa, generalmente es plana, y cuya superficie se inunda de manera permanente o intermitentemente. Esta formación geológica en la cual se almacena y transita el agua se considera un acuífero, que entre sus tipos se encuentran: acuitardos, acuicludos, acuífugos, libres, confinados o semiconfinados; siendo este último uno de los motivos principales por el que surge esta investigación (Saval, Lara, Lesser y Nieto, s.f.).

PLANTEAMIENTO DE UN SISTEMA DE PREFILTRADO A TRAVÉS DE MALLAS GEOTEXTILES EN PROCESOS DE ÓSMOSIS INVERSA: UNA SOLUCIÓN PARA LA SALINIZACIÓN EN CUERPOS DE AGUA COSTEROS.

Esta ciénaga, se encuentra en la zona costera de Barranquilla, específicamente a la izquierda de los tajamares de conducción del río Magdalena en su desembocadura con el mar Caribe. Este hecho es de destacar, debido a que a nivel global las zonas costeras juegan un rol fundamental, ya que la extensión del planeta está comprendida por 72% agua y 28% masa continental; de los cuales, en el porcentaje donde se ubican mares y océanos, el 20% corresponde a las zonas costeras, áreas de transición entre el mar y la tierra en las que habitan aproximadamente el 60% de la población mundial. Vale resaltar, que las zonas costeras son espacios importantes porque en ellas surgen procesos ecológicos, económicos e institucionales, los cuales le otorgan un posicionamiento a la zona. Además, estas áreas necesitan una planificación en torno a las problemáticas que se puedan presentar, con el objetivo de preservar el ambiente e impulsar el desarrollo sostenible en estos lugares (INVEMAR y CRA, 2007).



Ilustración 1: Zona costera de la ciénaga de mallorquín

Fuente: Google Maps.

Para este caso, la ciénaga de mallorquín, que cuenta con unas increíbles 857 hectáreas, una profundidad de 1,2 m en su fondo menos hondo y 1,5 m en los lugares más profundos está siendo afectada por una problemática que le impide la preservación y el desarrollo sostenible, como se mencionó anteriormente. Por la desembocadura del río Magdalena con el mar Caribe, esta ciénaga ha sufrido modificaciones, debido a que, al buscar una mejor posibilidad de navegabilidad en el puerto de Barranquilla, el cual es un punto estratégico de acceso para la costa, se implementaron obras que permitieran interrumpir el transporte de sedimentos, transformando lo que era el sistema deltaico, en una laguna costera parcialmente cerrada separada del mar por una barra de arena (Departamento Administrativo Nacional de Estadística – DANE, 2005).

PLANTEAMIENTO DE UN SISTEMA DE PREFILTRADO A TRAVÉS DE MALLAS GEOTEXTILES EN PROCESOS DE ÓSMOSIS INVERSA: UNA SOLUCIÓN PARA LA SALINIZACIÓN EN CUERPOS DE AGUA COSTEROS.

Sin embargo, el mayor problema sigue siendo la intrusión salina. A partir de aquí surgen varias consecuencias en la ciénaga de mallorquín, porque cada vez es más común encontrar complicaciones en un cuerpo de agua que es originalmente dulce; entre estas consecuencias destacan la afectación de los ecosistemas, una unidad conocida como sistema biológico, constituido por una comunidad de organismos vivos interdependientes que comparten el mismo hábitat donde se relacionan. Además, el acuífero se vuelve un sistema estuarino, es decir, una zona de transición donde se intercambia agua salada y agua dulce.

Por otro lado, según el informe del DANE (2005), en conjunto a la baja permeabilidad del suelo de la ciénaga de mallorquín, se obtiene otro efecto negativo en el ecosistema que implica a la erosión selectiva parcial, esta consiste en la degradación del suelo a través de factores naturales, como en este caso lo es el agua y la intrusión salina.

Continuando la línea de ideas, en este punto vale destacar que la medida del contenido combinado de todas las sustancias inorgánicas y orgánicas contenidas en un líquido en forma molecular, ionizada o en forma de suspensión micro-granular, se conoce como Sólidos Disueltos Totales, y de acuerdo a la cantidad en mg/l se puede clasificar el agua en:

- Agua dulce: 0 a 1.000 mg/l (aguas superficiales y subterráneas continentales)
- Agua salobre: 1.000 a 10.000 mg/l (sistemas estuarios)
- Agua salada: 10.000 a 100.000 mg/l (mares y océanos)
- Salmuera más de 100.000 mg/l (rechazo de la ósmosis inversa, no es natural)

Con esto en mente, se requiere realizar un tratamiento al agua de la ciénaga, con lo que se realizará la extracción, desactivación o eliminación de los microorganismos patógenos, tales como bacterias, virus y protozoos parásitos que existen en la misma, ya que pueden ser dañinos para la salud de las personas que habitan en comunidades limítrofes. Logrando la efectiva destrucción y/o desactivación de estos microorganismos existentes, se puede suponer el final de la reproducción y crecimiento de los mismos. Posteriormente, se requiere un proceso de filtración donde ocurre la separación de sólidos en una suspensión a través de un medio mecánico poroso, también llamados tamiz, criba, cedazo o filtro. Todo esto con el fin de mantener el buen estado del cuerpo de agua tras el tratamiento.

PLANTEAMIENTO DE UN SISTEMA DE PREFILTRADO A TRAVÉS DE MALLAS GEOTEXTILES EN PROCESOS DE ÓSMOSIS INVERSA: UNA SOLUCIÓN PARA LA SALINIZACIÓN EN CUERPOS DE AGUA COSTEROS.

Para tratar la intrusión salina, con todas sus causas y consecuencias, existen diversos procesos que permiten hacer el agua de la ciénaga, dulce nuevamente. Entre los procesos más efectivos destacan la destilación flash multietapa, la congelación, la destilación multiefecto y la ósmosis inversa, procesos que por sí mismos requerirían cada uno, una investigación completa e independiente. No obstante, a continuación, se exhibe una tabla que expone las ventajas y desventajas de estos procesos basándose en características tales como: el costo de producción, consumo energético, parámetros de operación y aplicación del agua producto.

Método	Ventajas	Desventajas
Destilación Flash Multietapa	<ul style="list-style-type: none"> * Aplicable a proyectos de mediana y gran escala. * A mayor etapas en el proceso, mayor eficiencia en sus resultados 	<ul style="list-style-type: none"> * Mantenimiento costoso de maquinaria. * Genera residuos que requieren manejo especial. * Emplea gran cantidad de energía
Destilación multiefecto	<ul style="list-style-type: none"> * Aplicable a proyectos de mediana y gran escala. * El calor que se utiliza en una etapa es reutilizado en la etapa siguiente. * Maneja cámaras de baja presión para ayudar en la vaporización. 	<ul style="list-style-type: none"> * Mantenimiento costoso de maquinaria. * Consume gran cantidad de energía. * Genera residuos que requieren manejo especial.
Congelación	<ul style="list-style-type: none"> * Utiliza menos cantidad de energía. * Utiliza Icebergs. 	<ul style="list-style-type: none"> * Dificultad de eliminar la salmuera que tiende a adherirse a los cristales de agua dulce congelada. * Tiempo: Congelación y descongelación.
Ósmosis inversa	<ul style="list-style-type: none"> * Muy alta eficiencia. * Genera aguas de alta calidad. * Es capaz de remover todo tipo de contaminante. * Puede tratar grandes volúmenes de agua. * Bajos costos de operación 	<ul style="list-style-type: none"> * Requiere pretratamientos específicos. * Dependiendo de la membrana, puede generar rechazo. * Las membranas se deben ir renovando periódicamente, por lo que genera un costo mayor

Tabla 1: Ventajas y desventajas de los métodos de desalinización de agua de mar.

Fuente: (Aca, 2016).

Entonces, entre los métodos de tratamientos que existen para atacar la intrusión salina en los acuíferos específicamente, la más efectiva es, la ósmosis inversa, porque se obtiene mayor cantidad de agua dulce que en el método de la destilación o la congelación, por ejemplo, y además crea menos cantidad de salmuera, gracias a los procesos de pretratamiento específicos que exige.

La ósmosis inversa es una técnica en la que se aplica una presión externa para invertir el flujo natural de un solvente. En la purificación de agua es habitualmente utilizado, ya que emplea una membrana parcialmente permeable para eliminar iones, moléculas no deseadas y partículas más grandes del agua potable. Este popular y eficaz proceso, deriva de la ósmosis, que no es más que un fenómeno físico asociado a la capacidad de dos líquidos de mezclarse entre sí, a través de una membrana semipermeable. Tal comportamiento supone una difusión simple a través de una membrana, sin gasto de energía. La primera vez que este proceso de ósmosis inversa se propuso fue en el año 1953, pero no se tomó en consideración porque la membrana no tenía una resistencia química favorable. Luego en el año 1959, se implementó otro material para la membrana utilizada y así se logró su mejora para su posterior aprobación y eventual aplicación.

La ósmosis inversa conlleva unas herramientas un poco más especializadas, y para el caso particular de la ciénaga, que tiene un contacto submarino con el río Magdalena, y que está siendo igualmente afectado, es prácticamente imperativo implantar una bomba capaz de transformar la energía con la que es accionada en energía para el fluido incompresible que mueve, el agua del acuífero, en este caso, junto a una geomembrana, es decir, un conjunto de láminas geosintéticas que aseguran la estanqueidad de una superficie. Normalmente se usan para remediar las pérdidas de agua por infiltración o para evitar la migración de los contaminantes al suelo, unas características muy útiles para la situación actual de la ciénaga y del río.

También es importante saber que es un geotextil; se trata de una tela permeable y flexible de fibras sintéticas, principalmente elaboradas a base de polipropileno y poliéster, las cuales se pueden fabricar de forma tejida o no tejida, dependiendo de su uso o función a desempeñar. Se fabrican generalmente desde 90 hasta los 400 g/m² y sus principales aplicaciones son: el control de la erosión, el refuerzo de suelos, la filtración y separación entre capas de materiales, el proporcionar una capa drenante y la protección de geomembranas.

La conjunción de todos estos conceptos deja como resultado un sistema de bombeo, su función principal es elevar la presión del fluido térmico para vencer la resistencia que opondrá el circuito a su circulación en un proceso de alternancia cíclico. Las presiones de trabajo deben ser tales que se garantice en todo momento que el fluido permanece en estado líquido y que no hay vaporización. Este sistema desplazará el agua desde un cuerpo de agua hacia el otro por turnos, a través de la tubería que debe tener los filtros ya instalados; estos filtros, tal como los filtros caseros retendrán los sólidos disueltos, solo que dos veces por vuelta, al principio y al final de la tubería, y a mayor escala. Este proceso ayudaría potencialmente a filtrar el contenido de sal que se está pasando hacia la ciénaga, mejoraría la calidad de vida de la población que necesita del buen estado del río para desarrollar sus actividades económicas y traería un impacto positivo al ecosistema de la zona.

La figura a continuación, esquematiza como podría ser el sistema final. Destacando que, como las tuberías ya existen, las mallas deben ir en las juntas entre estas y las bombas que también deben ser implantadas. Para conocer con exactitud la cantidad de agua óptima que debe ser impulsada por cada ocasión y la cantidad de veces por mes que deben ser reemplazados los filtros, es obligatorio realizar los estudios de campo que por el tema de la pandemia han sido imposibles desarrollar aun en estas fechas, sin embargo, no fueron un factor limitativo para el avance del documento.



Ilustración 2: Esquema del sistema de pre filtrado propuesto.

Fuente: Propia.

II.2. Antecedentes.

En principio, es importante conocer que el físico francés Jean Antoine Nollet, en el año 1748 fue el primero en descubrir que el agua se difundía espontáneamente a través de una membrana de vejiga de cerdo, para entonces no fue capaz de explicar el porqué de dicho fenómeno. Casi un siglo hubo de transcurrir hasta que Henri Dutrochet retomó la investigación de Nollet y expuso que la difusión del solvente a través de una membrana semipermeable ocurría siempre de la solución de menor concentración de un soluto hacia la solución de mayor concentración, además, el solvente que fluye es capaz de desarrollar una presión sobre la membrana, a este fenómeno lo denominó presión osmótica. (Zulkamaev, s.f.).

Más tarde, en 1953, Charles E. Reid y J. Breton describieron por primera vez en qué consistía el fenómeno de osmosis inversa. Reid y Breton realizaron una investigación en la que trataban de conseguir agua potable procedente del agua del mar, como parte de su investigación le propusieron a la oficina de Aguas Salinas de EE. UU, utilizar el proceso de ósmosis inversa para obtener agua potable del agua del mar pero infortunadamente para ese entonces se consideró que la ósmosis inversa era un proceso impráctico para esa aplicación; el principal problema de la investigación fue el hecho de conseguir una membrana osmótica con unas determinadas cualidades físicas y químicas que permitiera realizar ese proceso sin sufrir alteraciones en su naturaleza ni interferir químicamente con el disolvente, además, presentaba otras limitaciones como carencias en la resistencia química de la membrana que, entre otras cosas, era muy poco porosa para garantizar un proceso efectivo.

No fue hasta 1959, que Reid y Breton descubrieron una membrana de acetato de celulosa la cual solucionaba el problema de la separación de agua a partir de agua de mar. En esa misma década, Sydney Loeb y Srinivasa Sourirajan crearon una membrana de celulosa asimétrica que mejoraba la anterior membrana creada por Reid y Brenton. Esta serie de descubrimientos, impulsó las investigaciones para mejorar el proceso de ósmosis inversa a través de la optimización de la membrana semipermeable (López, Martínez y Quevedo, 2013).

Así, la ósmosis inversa es un proceso en el cual se aplica presión a una solución contaminada haciéndola pasar por una membrana semipermeable que logra separar los agentes contaminantes de la misma, obteniendo una solución limpia. Este proceso llega a reducir considerablemente algunas de

las impurezas más peligrosas como: mercurio, cromo, plomo, cloro, sedimentos y carga orgánica (Vicencio, 2015).

El proceso de ósmosis inversa es aplicable tanto a nivel doméstico como industrial y su principal aplicación es en el ámbito industrial con el fin de desalinizar el agua de mar y convertirla en agua pura, apta para el consumo humano. No obstante, también tiene parte importante en el proceso de tratamientos de aguas residuales.

De igual forma, previo al tratamiento de ósmosis inversa existen distintos tipos de pretratamientos de filtrado, los cuales son: filtro de arena, sedimentos, de carbón activado y el suavizador. Estos tienen como objetivo remover los sedimentos y partículas que puedan degradar las membranas semipermeables en el tratamiento de ósmosis inversa, se sugiere su implementación para aumentar la eficiencia de todo el ciclo.

Esta monografía explorará la posibilidad de usar mallas geotextiles como pretratamientos de filtrado de la ósmosis inversa con el objetivo de establecer las bases y criterios para desarrollar el proceso completo, ya que las mallas geotextiles tienen excelentes propiedades como material filtrador, estas dejan fluir el agua mientras retienen las partículas de grano fino y grano grueso junto a un conjunto de características que las vuelven muy útiles en las obras hidráulicas.

Según el informe del DANE (2005), destinado al diagnóstico analítico de la cuenca de mallorquín, es bien sabido que la ciénaga es objeto de contaminación por diferentes fuentes entre las cuales se hace mención al tipo doméstico, industrial y los vertimientos de desechos de las plantas de tratamiento. En cuanto a los contaminantes de origen industrial, se reportan denuncias de la comunidad con respecto a la disposición clandestina de desechos por parte de industrias locales en la zona. Por otro lado, la contaminación doméstica está relacionada con los desechos procedentes del basurero de Las Flores y la basura arrojada por las comunidades asentadas ilegalmente en la zona. Otra fuente de contaminación es la del vertimiento del efluente de la planta de tratamiento de agua ubicada en el barrio El Palito. Estos desechos son arrojados al arroyo Hondo o León los cuales descargan en la ciénaga.

En el mismo informe se compararon los valores de la calidad del agua de la ciénaga de mallorquín con los estándares nacionales, arrojando resultados no favorables con respecto a la contaminación microbiológica, ya que registró niveles superiores a los de la norma (Dec. 1594/84),

PLANTEAMIENTO DE UN SISTEMA DE PREFILTRADO A TRAVÉS DE MALLAS GEOTEXTILES EN PROCESOS DE ÓSMOSIS INVERSA: UNA SOLUCIÓN PARA LA SALINIZACIÓN EN CUERPOS DE AGUA COSTEROS.

por lo tanto, es perjudicial el contacto directo de las poblaciones con el agua. Por otro lado, se llegó a niveles históricos de DBO5 (demanda biológica de oxígeno), lo cual confirma la presencia de grandes contenidos de material orgánico, esto se puede atribuir a las descargas de aguas residuales. También se hace mención a una entrada de nutrientes inorgánicos en magnitudes altas, especialmente fósforo y nitrógeno; causantes del fenómeno de eutrofización, lo que quiere decir que se promueve el crecimiento desmedido de las algas.

Se habla, además, que en algunos sectores de la zona baja de la cuenca se presenta el fenómeno de la salinidad en los suelos. Pero el sistema de colinas es la zona principal donde se presenta dicho fenómeno. Esto se debe a las irrupciones marinas, ascenso en las irrupciones del nivel freático saturado de sales o la evaporación de antiguas ciénagas o cuerpos de agua.

Debido a la descentralización en Colombia, los municipios han tomado mayor responsabilidad en la gestión de los recursos para el desarrollo ambiental y socioeconómico. El principal problema ambiental, que se ha ido intensificando últimamente, es la contaminación hídrica, causada por los desechos tanto domésticos como industriales. Solo un 22% de los municipios en el país realiza tratamiento de aguas residuales.

Se realizó un estudio que buscaba analizar el impacto del crecimiento de la población en la ciénaga de mallorquín. Se pretendía materializar ciertas acciones con el fin de recuperar las áreas contaminadas e iniciar un proceso de ordenamiento en la cuenca de mallorquín, arroyo Grande y arroyo León (Lima, Gómez y Ripoll, 2008).

La ciénaga de mallorquín es considerada uno de los ecosistemas más importantes en el departamento del Atlántico. Esto se debe a que la misma ha conservado y protegido la fauna y flora, y ha funcionado como barrera contra la erosión marina. A pesar del crecimiento de la contaminación en la misma zona.

Debido a esta problemática, se han presentado iniciativas tanto a nivel gubernamental como académico, las cuales exhiben alternativas que ayudarían a mitigar la contaminación y recuperar la calidad del agua. Uno de estas propuestas fue el desarrollo de un modelo hidrodinámico y un modelo de calidad de agua basado en la simulación de operación del recurso hídrico de la ciénaga de mallorquín. El mismo buscaba generar un criterio acertado en la toma de decisiones con respecto a

mejorar las condiciones de calidad del agua y las condiciones hidrodinámicas (Grupo de Investigación en Tecnologías del Agua - Universidad del Norte, 2005).

Benavides (2019), buscando conocer el estado salubre del agua, realizó un análisis sobre la influencia de la calidad del agua del arroyo León en la calidad del agua de la ciénaga de mallorquín. Su análisis arrojó que el arroyo, desde su origen hasta su desembocadura, presenta una calidad ICA “mala”, recordando que el Índice de calidad de Agua, (ICA) es una valoración de las condiciones físicas, químicas y en algunos casos microbiológicas del cuerpo de agua, el cual da indicios de los problemas de contaminación. Que en este caso exhibió registros de fósforo, nitrógeno, desechos sólidos no degradables, poca oxigenación, sedimentos y materia orgánica. Esto repercute en que la ciénaga de mallorquín está siendo afectada por el arroyo, principalmente en el exceso de nutrientes, carga orgánica, sólidos y en su microbiología. Además, se realizó un análisis de la calidad de las aguas marinas y costeras en la ciénaga el cual reveló que el agua tiene una calidad “pésima”, esto equivale a que el agua presenta muchas restricciones en su uso.

Por otro lado, Cortés y Lesmes (2014) simularon una planta desalinizadora de agua de mar ubicada al norte del mar caribe colombiano – municipio Uribia – La Guajira. Su objetivo era simular el funcionamiento de una planta de ósmosis inversa con condiciones previamente establecidas en base a las características de dicho municipio. Su fundamento se basó en que el lugar presenta fuertes sequías y bajos volúmenes de precipitación durante la mayor parte del año, así que con esta propuesta se pretendía atender la demanda de agua potable. Finalmente, sus resultados arrojaron que el proyecto es viable al menos en papel, entre sus mayores beneficios destacan los ambientales y sanitarios debido a que la fuente de agua es prácticamente inagotable.

Por su parte, Moreno (2011), realizó el diseño de una planta de tratamiento de agua de ósmosis inversa para la empresa Dober Osmotech de Colombia LTDA. Elaboró un diseño mecatrónico, apoyado en programación por PLC y herramientas CAD con el fin de modelar de forma precisa el funcionamiento de una planta de ósmosis inversa. Obtuvo que, para garantizar la calidad del agua, la automatización y otros factores relevantes, el costo de la manufactura de la planta era algo elevado, pero dentro de los estándares esperados para un proyecto de dicha envergadura.

Así mismo, Imitola, López y Ramírez (2019). Llevaron más allá el proyecto de Cortés y Lesmes, realizando el diseño de una planta desalinizadora de agua de mar en la zona media – alta de La Guajira, a propósito de que años más tarde, la zona todavía presenta fuertes problemas de sequía.

PLANTEAMIENTO DE UN SISTEMA DE PREFILTRADO A TRAVÉS DE MALLAS GEOTEXTILES EN PROCESOS DE ÓSMOSIS INVERSA: UNA SOLUCIÓN PARA LA SALINIZACIÓN EN CUERPOS DE AGUA COSTEROS.

En esta ocasión, el equipo evaluó tres alternativas para la selección del proceso de desalinización: Proceso flash de etapas múltiples, destilación de múltiples efectos y el proceso de ósmosis inversa con recuperación a presión. Teniendo en cuenta criterios como calidad final del agua, consumo energético por metro cúbico de agua, impacto ambiental, disponibilidad de la fuente de energía y recuperación del proceso. El resultado de dicha selección fue el proceso de ósmosis inversa ya que el mismo se ajustaba mejor a las variables antes mencionadas para el diseño. Dividieron el diseño de la planta en cuatro subsistemas: Sistema de captación, pretratamientos químicos, etapas de filtrado, y, por último, etapa de desalinización en las membranas de ósmosis inversa. Se definieron las especificaciones técnicas de cada componente del subsistema para su posterior selección en los catálogos. Finalmente, comprobaron que el uso de la tecnología de ósmosis inversa es una alternativa para solucionar de forma inmediata el problema de falta de agua potable, el cual afectaba principalmente a las comunidades indígenas. No obstante, la misma presentó grandes retos económicos debido a la alta demanda de capital y altos costos de operación.

Jorge Ignacio Rebolledo Colina e Iván Martín León (2017). Plantearon que para restablecer las condiciones hidrodinámicas de la Ciénaga de mallorquín se presentó el diseño, cálculo y aplicación de un módulo – modelo, denominado (DM2H), compuesto por tuberías de 28” y un caudal promedio de 0,40 a 0,80 metros cúbicos por segundo, que cruzaron el tajamar occidental y facilitaron el vertimiento de las aguas procedentes del río Magdalena a la ciénaga. El resultado permitió solucionar la problemática hidrológica e hidrodinámica y sedimentológico ambiental en que se encuentra la ciénaga de mallorquín en función de los cambios batimétricos, de los efectos de mareas del Mar Caribe, de la entrada de agua del río Magdalena, de la acción de los vientos, del cálculo, se presentó el diseño y cálculo de seis módulos hidráulicos, presididos en sus bocas por compuertas de inspección que permitieron controlar el flujo de agua dulce procedente del río Magdalena y de manera secuencial el establecimiento de directrices de rehabilitación, estabilización, conservación, manejo y uso sostenible, junto al restablecimiento de los procesos biológicos y químicos de la Ciénaga de mallorquín.

Cesar Torres Marchena (2015). Investigó y logró afirmar que el conocimiento sobre el funcionamiento de los sistemas costeros está limitado por la escasa disponibilidad de observación e investigaciones en el campo de la hidrodinámica. Su estudio muestra cómo los modelos numéricos pueden contribuir a generar el conocimiento acerca de los procesos costeros, con poca información local y a un costo relativamente bajo. Él estudió los procesos de hidrodinámica y transporte de la ciénaga de mallorquín, mediante la aplicación del modelo numérico bidimensional (2D), MOHID

PLANTEAMIENTO DE UN SISTEMA DE PREFILTRADO A TRAVÉS DE MALLAS GEOTEXTILES EN PROCESOS DE ÓSMOSIS INVERSA: UNA SOLUCIÓN PARA LA SALINIZACIÓN EN CUERPOS DE AGUA COSTEROS.

Studio, el cual es una interfaz de usuario del sistema de modelación MOHID. El modelo MOHID es un sistema numérico para la modelación tridimensional de ecosistemas acuáticos, resuelve las ecuaciones primitivas incompresibles, suponiendo equilibrio hidrostático y empleando la aproximación Boussinesq. Su análisis complementa los comportamientos hidrodinámicos y de transporte de la ciénaga de mallorquín, para los dos escenarios de simulación, épocas secas y de lluvias.

Siendo tan completo el análisis a través de la modelación numérica, se puede concluir con propiedad que; en el escenario de época de lluvias, el viento mantiene la influencia en la dinámica de circulación en la ciénaga, los procesos de flujo y reflujo como efecto de la interacción de la marea con la ciénaga son importantes en la entrada o “boca” y en las zonas próximas a la misma, dado que en esta zona es donde se presentan las mayores velocidades del sistema. En esta época del año, el Arroyo León aumenta su caudal aportante y en consecuencia influencia, por lo que transporta la escorrentía recogida a lo largo de su trayecto por causa de la época invernal. También se ha podido observar la importancia del intercambio de flujo y la distribución de la salinidad en la ciénaga, que permite la asimilación y lavado de nutrientes y que además le confiere características propicias para su productividad biológica.

II.3. Marco teórico.

Para tener una idea más detallada del proceso de ósmosis inversa, se necesitan dejar en claro los principios físico-químicos de este pretratamiento del agua. Estos contemplan: el soluto, el solvente, la solución y la difusión, en ese orden:

Soluto: se trata de una sustancia que se encuentra disuelta en solución, la misma está presente en menor cantidad en dicha solución (Moreno, 2011).

Solvente: es una sustancia que permite la dispersión de otra en su seno, esta sustancia se encuentra en mayor cantidad en una solución (Moreno, 2011).

Solución: es una mezcla, casi siempre homogénea, de dos o más sustancias. La solución muestra la relación en las cantidades de soluto y solvente (Moreno, 2011).

Difusión: este fenómeno se refiere al proceso en el cual las moléculas se mezclan como resultado de su energía cinética producto del movimiento aleatorio. Para explicarlo mejor se considera el siguiente ejemplo: hay dos contenedores los cuales albergan una sustancia (liquido o gas) A y B respectivamente y se encuentra separados por un tabique. Las moléculas de ambas sustancias se encuentran en movimiento de forma constante dentro del contendor. Si se retira el tabique, las moléculas de las sustancias se mezclarían debido a la velocidad al azar de las mismas, tal como se muestra en la figura 2 (Moreno, 2011).

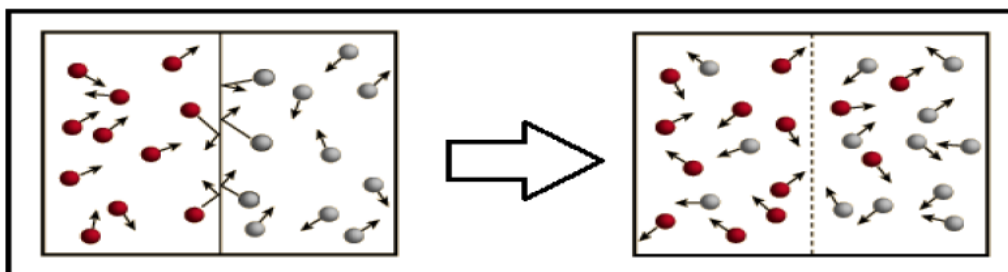


Ilustración 3: Difusión de moléculas.

Fuente: (Moreno, 2011)

La inclinación a la difusión de las moléculas es muy fuerte, inclusive si la mezcla se encontrara a temperatura ambiente, esto se debe a las altas velocidades moleculares vinculadas con la energía térmica de las partículas. Este fenómeno conduce a una concentración completamente uniforme de sustancias en una solución que inicialmente no habría sido uniforme. Para contextualizar la dinámica de funcionamiento de este fenómeno se detallan a continuación las fórmulas más relevantes:

Gradiente de concentración: la diferencia de concentraciones se expresa de la forma ΔC , la cual significa la diferencia entre las concentraciones de dos soluciones distintas (Moreno, 2011).

$$\Delta C = C_2 - C_1$$

La distancia que separa las dos soluciones se denomina ΔX , para este caso, esa distancia viene siendo el espesor de la membrana o tabique, y el gradiente de concentración de difusión es igual a:

$$\text{Gradiente de concentración} = \frac{\Delta C}{\Delta X}$$

El cual expresa la diferencia de concentración de las soluciones y la separación de las mismas. En la siguiente figura se ilustra de una forma más clara los términos antes mencionados.

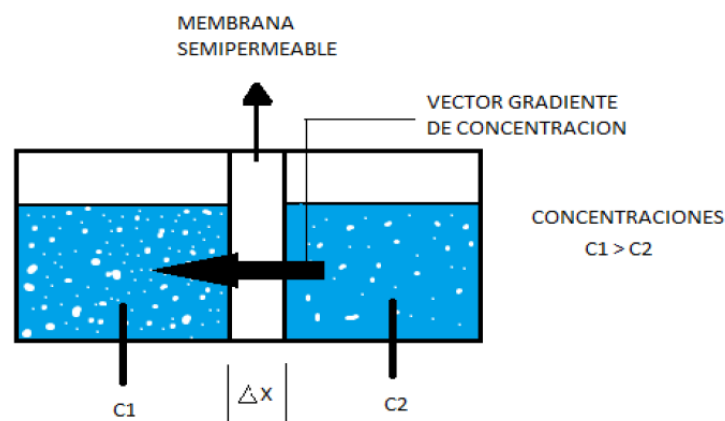


Ilustración 4: Difusión de moléculas con membrana.
Fuente: (Moreno, 2011)

Ley de Fick de la difusión: tal como se puede ver en la figura 3, la ley de Fick expresa que el flujo de soluto que atraviesa la membrana es proporcional al gradiente de concentración ΔC pero en sentido contrario. Todo multiplicado por la constante de Fick o constante de difusión D (Moreno, 2011).

$$\phi = D \cdot \frac{C_2 - C_1}{\Delta X}$$

Así, todas estas formulaciones llevan a conocer el concepto de;

Ósmosis: es un proceso natural donde el solvente, principalmente agua, fluye a través de una membrana semipermeable, esto significa que la membrana solo deja pasar las moléculas más pequeñas de solvente, de una solución con concentración baja de sólidos disueltos a una solución con alta concentración de sólidos disueltos (Moreno, 2011). Este solvente fluye a través de la membrana hasta que las concentraciones se igualen en ambos lados de la membrana.

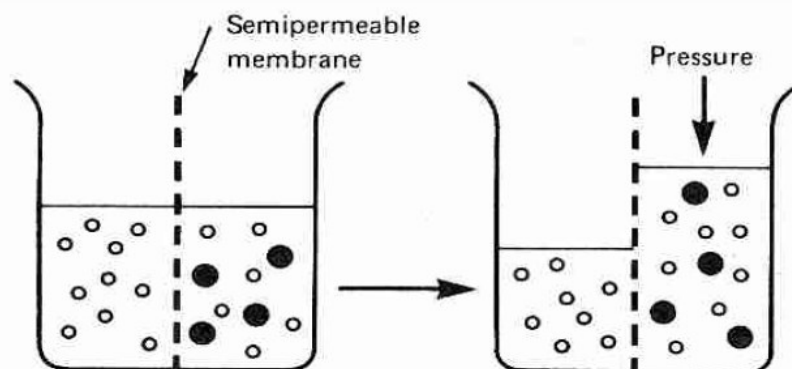


Ilustración 5: Proceso de ósmosis natural.

Fuente: (Moreno, 2011).

La ósmosis natural suele ser de gran importancia en procesos biológicos donde mayormente el solvente es agua. La energía que impulsa el proceso, es denominada presión osmótica.

Presión osmótica: es una presión natural que obliga al líquido a pasar de un lado al otro. Esta presión se simboliza con la letra π , y su valor se determina a través de la ecuación de Van't Hoff (Moreno, 2011):

$$\pi = (C_2 - C_1) \cdot R \cdot T$$

PLANTEAMIENTO DE UN SISTEMA DE PREFILTRADO A TRAVÉS DE MALLAS GEOTEXILES EN PROCESOS DE ÓSMOSIS INVERSA: UNA SOLUCIÓN PARA LA SALINIZACIÓN EN CUERPOS DE AGUA COSTEROS.

Donde:

$C_2 - C_1$: Diferencia de concentraciones.

R : Constante de los gases ideales ($0.082 \frac{L.atm}{K.mol}$).

T : Temperatura absoluta (K).

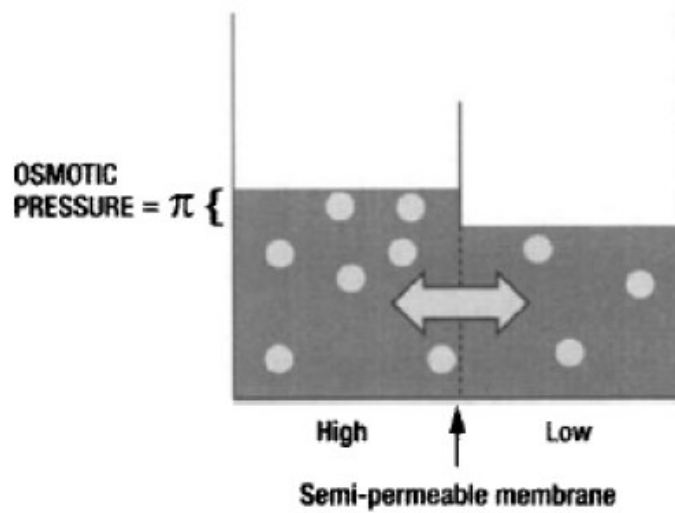


Ilustración 6: Presión osmótica en procesos de ósmosis.

Fuente: (Moreno, 2011)

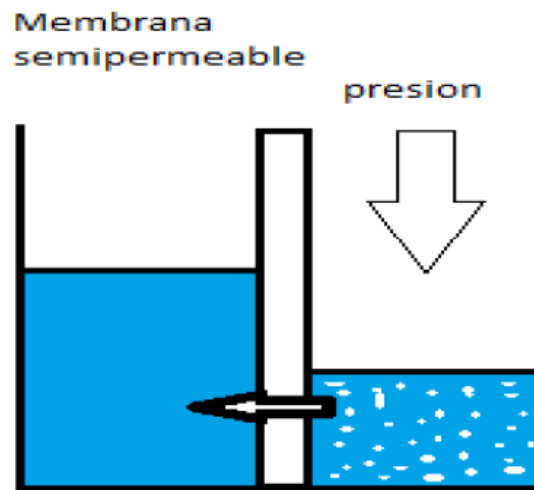
Otro enfoque para la medición de la presión osmótica, sería medir la cantidad de presión hidrostática requerida para evitar la transferencia de líquido por ósmosis. Finalmente, se conoce;

Ósmosis inversa: se trata de un proceso en cual se aplica una presión superior a la presión osmótica, esta presión es ejercida en el compartimiento donde la concentración de sólidos disueltos es mayor. La presión obliga al agua a fluir a través de la membrana semipermeable en dirección contraria al proceso de ósmosis natural (Moreno, 2011).

Para poder limpiar el agua es necesario realizar el proceso contrario al de ósmosis natural, esto se conoce como ósmosis inversa. Este proceso se realiza a través de membranas, y como se mencionó anteriormente se aplica una mayor presión osmótica en el compartimiento con mayor concentración de sólidos disueltos. Esta presión obliga a pasar al agua por la membrana en dirección contraria del proceso de ósmosis natural, dejando las impurezas en la misma. La permeabilidad de la

PLANTEAMIENTO DE UN SISTEMA DE PREFILTRADO A TRAVÉS DE MALLAS GEOTEXILES EN PROCESOS DE ÓSMOSIS INVERSA: UNA SOLUCIÓN PARA LA SALINIZACIÓN EN CUERPOS DE AGUA COSTEROS.

membrana puede ser tan pequeña que todas las moléculas de impurezas como: sal, virus y bacterias son separados del agua (Moreno, 2011).



*Ilustración 7: Proceso de ósmosis inversa.
Fuente: (Moreno, 2011)*

Componentes de la ósmosis inversa:

- Membrana semipermeable.
- Bombas generadoras de presión.
- Válvulas de control.
- Contenedores de permeado.

Características de la ósmosis inversa:

- Permite remover un 99% de los sólidos, orgánicos e inorgánicos disueltos en el agua.
- Remueve los materiales en suspensión y microorganismos.
- Dependiendo de los caudales, el proceso puede necesitar poco espacio.
- Tecnología simple, bajo mantenimiento y bajo consumo energético.
- Proceso continuo de purificación.

PLANTEAMIENTO DE UN SISTEMA DE PREFILTRADO A TRAVÉS DE MALLAS GEOTEXILES EN PROCESOS DE ÓSMOSIS INVERSA: UNA SOLUCIÓN PARA LA SALINIZACIÓN EN CUERPOS DE AGUA COSTEROS.

CAPÍTULO III. MARCO METODOLÓGICO.

III.1. Tipo de investigación.

Entre las modalidades a considerar, esta obedece a la condición de monografía, su enfoque está en ofrecer información de una temática particular, recogida de diversas fuentes; argumentada y organizada en forma analítica y crítica, junto a las apreciaciones y posiciones pertinentes propias del razonamiento objetivo del autor.

III.2. Fases de la investigación.

En una monografía, como en cualquier tipo de investigación, las bases teóricas argumentadas son fundamentales. Así; es como el primer paso fue acudir a fuentes bibliográficas de bibliotecas físicas y digitales, para llevar a cabo una revisión bibliográfica y analítica de los diferentes procesos de pre filtrado que se han realizado empleando la ósmosis inversa, lo anterior con el objetivo de indagar las posibles soluciones.

El paso a seguir, fundamentar con la profundización de los documentos investigados, los beneficios y desventajas de aplicar dicho sistema en la zona de interés. Concluyendo con la realización de un análisis conceptual de soluciones apoyados principalmente en las mallas geotextiles para procesos de ósmosis inversa, con especial atención a la zona de la ciénaga de mallorquín

Segmentar el problema resultó ser un gran apoyo para poder ir de los datos más generales, englobados en los conceptos de ósmosis inversa, salinidad en acuíferos de agua dulce y sistemas de pre filtrado, hasta llegar a puntos más específicos como lo es tratar la problemática de la salinidad en la ciénaga de mallorquín y su afectación directa sobre el río Magdalena.

A partir de cuadros descriptivos y comparativos, se dejarán conocer cuáles son las mejores herramientas y características para ofrecer soluciones a los problemas de salinización en los cuerpos de agua, desde ahí, el siguiente paso es discernir los beneficios y desventajas para aportar una concusión clara a la problemática de la ciénaga.

III.3 Cronograma de actividades.

Actividad	Semana												
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Trabajo escrito	█												
Investigación y recolección de información	█												
Revisión monográfica sobre las mallas geotextiles en procesos de ósmosis inversa			█										
Descripción de los procesos previos involucrados en el proceso de filtración						█							
Análisis conceptual de soluciones con mallas geotextiles en procesos de ósmosis inversa para zonas como la ciénaga de mallorquín							█						
Resultados, conclusiones y recomendaciones										█			
Revisión y correcciones											█		
Entrega final													█

Tabla 2: Diagrama de Gantt para programar las actividades.

Fuente: Propia.

III.4. Presupuesto.

Item	Unidad	Cantidad	Valor	Subtotal	
				Estudiante	UAN
Tutorías docente	UND	34	\$ 40.000		\$ 1.360.000
Papelería	Impresiones	UND	\$ 200	\$ 20.000	
	Carpetas	UND	\$ 500	\$ 1.000	
	Documento	UND	\$ 45.000	\$ 90.000	
Equipos	Cómputo	Horas	\$ 800	\$ 240.000	
TOTAL				\$ 351.000	\$ 1.360.000

Tabla 3: Análisis de precios unitarios para presupuesto (Valores expresados en COP).

Fuente: Propia.

PLANTEAMIENTO DE UN SISTEMA DE PREFILTRADO A TRAVÉS DE MALLAS GEOTEXTILES EN PROCESOS DE ÓSMOSIS INVERSA: UNA SOLUCIÓN PARA LA SALINIZACIÓN EN CUERPOS DE AGUA COSTEROS.

CAPÍTULO IV. DESARROLLO DE LA INVESTIGACIÓN.

IV.1 Revisión monográfica inicial sobre las mallas geotextiles.

Lo primero a destacar es que los geotextiles son telas sintéticas, elásticas y resistentes que se utilizan en obras de ingeniería principalmente para reforzar los suelos. Suelen ser desarrollados con polímeros, es decir, moléculas unidas de un mismo compuesto para conseguir otro de peso molecular más elevado (García L. H., 1999).

Existen dos tipos de geotextiles; tejidos y no tejidos, los primeros tienen los hilos paralelos de tal manera que constituyen una estructura como el de las telas comunes, los segundos son telas producidas por punzonamiento, es decir, se colocan las telas sintéticas en máquinas textiles las cuales poseen una amplia cantidad de agujas y conforme éstos pasan van siendo desmenuzadas y presionadas para darles la consistencia del material conocido con el nombre de alfombra baja. Vale decir que dentro de los no tejidos se encuentran los termo soldados cuya técnica de fabricación se rige por la aplicación de altas presiones a una cierta temperatura para obtener geotextiles de superficies tersas e impermeables (García L. H., 1999).

Por su parte, una malla geotextil es un material fabricado a partir de fibras de polipropileno. Este material presenta una serie de características que lo hacen perfecto para su aplicación como elemento de refuerzo, separación, drenaje y protección. Su uso en obras hidráulicas se remonta a inicios de 1940, teniendo un auge en su desarrollo para la década de los 60's y 70's (Duquennoi, 2002).

Entre los expertos del área, se considera que la primera aplicación de este tipo de materiales fue la de diseñar sistemas para la retención de líquidos. Las barreras geosintéticas poliméricas, por ejemplo, comienzan a utilizarse como geomembranas en sistemas de impermeabilización, en torno a 1930, especialmente el caucho butilo, seguidos por el poli (cloruro de vinilo) plastificado (PVC-P) a principios de los años 40.

Tras esta primitiva generación de mallas geotextiles, comienzan a aparecer las primeras patologías en este tipo de materiales; como la escasa resistencia al ozono del caucho butilo y de cloropreno, también se asoma la fragilidad y los agrietamientos que sufren las geomembranas de PVC, fundamentalmente cuando se empleaban en edificación en contacto con un material bituminoso totalmente incompatible (Arango, 2015).

Estos primeros inconvenientes hicieron surgir nuevas vías de investigación que se enfocaron en la mejora físico-química del polímero y de sus aditivos, la inclusión de los materiales de refuerzo y la mejora en el diseño y las condiciones de su instalación. El objetivo final de estas investigaciones se centró en conseguir una mayor durabilidad y calidad del material, debido a dos motivos de gran peso: el ahorro económico y la protección social/medioambiental (Arango, 2015).

Está claro que un material de larga durabilidad va a suponer un ahorro económico, puesto que su sustitución en caso de rotura o fallo se va a prolongar más en el tiempo. Además, es importante que este material cumpla la función para la que ha sido diseñado, así la utilización de un material de elevada calidad en el caso de la impermeabilización de un embalse, cuyo objetivo principal es la retención de agua, nos asegurará que existan las mínimas fugas en el mismo. Por otro lado, hay que tener en cuenta que las estructuras hidráulicas pueden tener tamaños considerables, donde un embalse consigue retener grandes cantidades de agua y, además, pueden encontrarse cerca de poblaciones. En este caso, es imprescindible asegurar que este material sea de gran calidad ya que su rotura podría causar daños humanos, materiales y/o medioambientales.

Una gran parte de las investigaciones de las mallas geotextiles ha estado centrada en su aplicación en vertederos, especialmente en el caso del polietileno de alta densidad, puesto que las láminas sintéticas constituyen una de las partes fundamentales en un sistema de impermeabilización que debe conservar sus propiedades durante una buena cantidad de años. La impermeabilización de embalses con geomembranas ha tenido gran repercusión a nivel internacional, ya que como se observa en las Tablas 3 y 4, numerosos países han optado por este sistema para garantizar la estanqueidad de los mismos.

Vale decir que son evidentes los grandes daños que podría ocasionar una mala impermeabilización de un vertedero de residuos urbanos o peligrosos, ya que no sólo afectaría al medioambiente de su entorno con la contaminación de los suelos, sino que, además, esta contaminación podría llegar a las aguas subterráneas y al ser humano.

PLANTEAMIENTO DE UN SISTEMA DE PREFILTRADO A TRAVÉS DE MALLAS GEOTEXTILES EN PROCESOS DE ÓSMOSIS INVERSA: UNA SOLUCIÓN PARA LA SALINIZACIÓN EN CUERPOS DE AGUA COSTEROS.

Localización	País	Año	Uso	Tipo de geomembrana	Fabricante	Superficie (m ²)
Kualapuu	USA	1969	Abastecimiento	IIR (0.8 mm)	Wisdom-Rubber	45000
Biesbosch	Países Bajos	1973	Abastecimiento	Geomembrana bituminosa (5 mm)	Hypofors NF 1000	550000
El Tablazo	Venezuela	1973	Abastecimiento	Geomembrana bituminosa (3 mm)	Hypofors NF 1200	490000
La Coche	Francia	1975	Hidroeléctrico	PVC (1 mm)	Euroflor	110000
Gorghiglio	Italia	1977	Hidroeléctrico	PVC (2 mm)	Sibelon CNT 2800	32000
Oelegem	Bélgica	1978	Abastecimiento	Geomembrana bituminosa (3 mm)	Enka Hypofors	147000
Cotter	USA	1979	Embalse	CSPE (0.9-1.5 mm)	-	800000
Mount Elbert	USA	1980	Riego	CPE reforzado (1.1 mm)	-	1174000
Kyperrounda	Chipre	1985	Riego	PVC (0.8-1.0 mm)	-	45000
Barranco de Benijos	España	1986	Abastecimiento	PVC (1.5 mm)	Aiscondel	24000
San Justo	USA	1987	-	PEAD (1.0 mm)	-	190000
Castreccioni	Italia	1987	Riego	PVC (1.2 mm)	Alkor (Solvay)	46000
Stillwater	USA	1987	-	PEAD 2.5 mm)	-	69000
IIR = Caucho butilo; CPE = Polietileno clorado; CSPE = Polietileno clorosulfonado; PVC = Poli (cloruro de vinilo); PEAD = Polietileno de alta densidad.						

Tabla 4: Referencias del uso de geomembranas en embalses, 1969-1987 (adaptación de ICOLD 1991).

Fuente: (Arango, 2015).

Localización	País	Año	Uso	Tipo de geomembrana	Superficie (m ²)
Îlle de la Réunion	Francia	1975	Agua potable	IIR (0.75, 1 y 1.5 mm)	70000
Ayron	Francia	1976	Recreativo	Geomembrana bituminosa (4 mm)	40000
Mount Elbert	USA	1980	Electricidad	CPE reforzado (1.1 mm)	1170000
Guazza	Francia	1983	Riego	Geomembrana bituminosa (3 mm)	60000
Cleveland	USA	1983	Investigación	Doble PEAD (2.5 mm c/u)	4000
Witbank	Sudáfrica	1985	Agua potable	Cubierta flotante de CSPE reforzado	-
Localizaciones varias	Tailandia	1985	Riego	Geocomposite PP-PE	-
Genevilliers	Francia	186	Recreativo	PEAD (3 mm)	110000
Kuriyama	Japón	1990	Electricidad	PVC (1.5 mm)	195000
Eagle Rock	USA	1990	Agua potable	Cubierta flotante de CSPE	130000
Villa Juarez	México	1991	Electricidad	PEAD (1.5 mm)	22000
Oblatos Gorge	México	1992	Electricidad	CSPE (0.9 y 1.5 mm)	140000
Barlovento	España	1992	Riego	PVC (1.5 mm)	250000
IIR = Caucho butilo; CPE = Polietileno clorado; CSPE = Polietileno clorosulfonado; PP = Polipropileno; PE= Polietileno; PVC = Poli (cloruro de vinilo); PEAD = Polietileno de alta densidad.					

Tabla 5: Referencias del uso de geomembranas en embalses, 1975-1992 (adaptación de Duquennoi 2002).

Fuente: (Arango, 2015).

Dentro de acuíferos como ríos, lagos, estuarios, entre otros, la acción del agua puede llegar a erosionar la cimentación de la estructura de protección a base de cajones de concreto, escolleras, diques de abrigo u otros sistemas. El oleaje, las mareas, corrientes, la circulación repentina de agua por riadas e incluso oscilación de la cota o nivel de aguas favorece el lavado y la socavación de la capa de terreno sobre el que descansa y asienta la estructura. La instalación de mallas geotextiles,

PLANTEAMIENTO DE UN SISTEMA DE PREFILTRADO A TRAVÉS DE MALLAS GEOTEXTILES EN PROCESOS DE ÓSMOSIS INVERSA: UNA SOLUCIÓN PARA LA SALINIZACIÓN EN CUERPOS DE AGUA COSTEROS.

como elemento separador, crea un efecto de filtro y drenaje bajo estructuras de protección costeras y fluviales de forma efectiva y ahorrativa.

Específicamente, los sistemas de impermeabilización mediante geomembranas en el campo de la ingeniería civil o mediante láminas en obras de edificación, requieren la instalación de un geotextil no tejido como elemento de protección. Las impermeabilizaciones tradicionales a base de membranas de Polietileno, Caucho terpolímero de etileno-propilneo-dieno o Polietileno de alta densidad son fácilmente protegidas por geotextiles no tejidos de manera eficaz. Un papel importante y fundamental de los geotextiles no tejidos es la función protectora como elemento antipunzonante, evitando presiones y tensiones sobre las membranas de impermeabilización provocadas por las aristas y cantos vivos del terreno o soporte.

Su estructura tridimensional, y por tanto el espesor es una característica importante y exigible para conseguir un mayor efecto de amortiguación de presiones y un drenaje mejorado. Durante la construcción de embalses, lagos, canales, balsas de riego, etc. Se colocarán los geotextiles sobre el terreno o superficie de asiento compactado, quedando, por lo tanto, bajo el geosintético de impermeabilización.

Entre las mayores ventajas de instalar geotextiles en obras de impermeabilización destacan su alta resistencia a potenciales daños mecánicos, ocasionados durante su puesta en obra y al impacto por la caída de bloques durante la instalación. La prolongada vida útil que ofrece la protección de las membranas geosintéticas, el controlado proceso de fabricación que otorga unas excelentes prestaciones mecánicas, sobretodo resistencia al punzonamiento, tanto dinámica como estática y la buena flexibilidad y deformidad, permitiendo su adaptabilidad a las irregularidades de la capa inferior de asiento.

El criterio de escogencia para seleccionar uno u otro material podría determinarse en función de las propiedades que ofrece, por lo tanto, en la Tabla 5 se muestra una valoración subjetiva del comportamiento de los distintos materiales con respecto a sus propiedades.

Propiedad	Materiales						
	PEAD	CPE	PVC	PP	CSPE	IIR	EPDM
Características de tracción	E	A	A	B	B	A	A
Resistencia al desgarro	E	A	A	E	E	R	R
Dinámico	E	B	B	B	B	R	R
Estático	R	B	B	B	R	E	E
Resistencia radiaciones UV	E	B	A	B	B	E	E
Resistencia al ozono	E	E	E	E	E	R	B
Soldabilidad	B	B	E	A	A	R	R
Pelado	E	B	B	B	B	R	R
Facilidad de instalación	E	B	E	B	B	B	B
Reparabilidad	E	A	E	A	R	R	R
R = Regular; A = Aceptable; B = Bueno; E = Excelente							

Tabla 6: Valoración de los materiales con respecto a sus propiedades (adaptación de MARM 2010).

Fuente: (Arango, 2015).

Particularmente, el empleo de la ósmosis inversa como tratamiento de desalación, es un método predilecto para esta dinámica, dado que permite ser reutilizado en un amplio abanico de posibilidades que logra la separación de los microcontaminantes orgánicos e inorgánicos presentes, junto con los iones disueltos, además de tener la capacidad de eliminar totalmente la Echerichia coli y la mayoría de virus debido a que el tamaño de paso de las membranas está entre 10-9 y 10-10 μm .

La evolución reciente de la ósmosis inversa ha venido marcada por dos aspectos críticos: la selección del pretratamiento óptimo que permita una operación con largos periodos entre limpiezas químicas y la disponibilidad de membranas para la desalación específica de efluentes secundarios de estaciones depuradoras de aguas residuales. La entrada en servicio de instalaciones que cuenten principalmente con ósmosis inversa tanto con pretratamientos convencionales como optimizados o con sistemas de membranas de microfiltración y ultrafiltración, ha supuesto la adquisición del conocimiento en la operación de las mismas y un avance en su diseño. (Guandarilla, 2016)

PLANTEAMIENTO DE UN SISTEMA DE PREFILTRADO A TRAVÉS DE MALLAS GEOTEXTILES EN PROCESOS DE ÓSMOSIS INVERSA: UNA SOLUCIÓN PARA LA SALINIZACIÓN EN CUERPOS DE AGUA COSTEROS.

Las propiedades físicas y químicas de las membranas son el principal causante del fenómeno de ensuciamiento de las mismas, siendo este punto crítico en su aplicación al tratamiento de efluentes secundarios de estaciones depuradoras de aguas residuales. Además, dichas propiedades también juegan un papel importante en la adhesión bacteriana y en la consiguiente formación de biopelícula, probablemente la causa más destacada del ensuciamiento al tratar efluentes secundarios, junto con el ensuciamiento orgánico, inorgánico y coloidal (Guandarilla, 2016).

En general, las presiones de diseño para tratamientos con ósmosis inversa, oscilan entre valores de 10-15 bares para membranas de poliamida aromática y entre 20-30 bares en membranas de acetato de celulosa. El índice de atascamiento SDI fija la calidad del agua de alimentación a membranas respecto al riesgo de ensuciamiento coloidal y matiza los valores de turbidez como indicadores cuando éstos son inferiores a 1 NTU. En la mayoría de casos se debe cumplir la condición de conseguir un índice de atascamiento SDI inferior a 5 y se aconseja alcanzar un valor inferior a 3 para un control óptimo del ensuciamiento coloidal, valor que se consigue en general empleando como pretratamiento la microfiltración o ultrafiltración. El ensuciamiento bacteriano origina los mayores problemas de funcionamiento.

IV.2 Descripción de los procesos previos a la ósmosis inversa.

Para tratar el agua a través del proceso de ósmosis inversa, se requiere un control de prefiltrado que garantice las condiciones del agua, asegure la integridad y el buen funcionamiento de la membrana semipermeable de dicho proceso. Esta membrana es importante porque permite suprimir todos los microorganismos presentes en el agua, tales como bacterias, virus, hongos, sales minerales, químicos y otras partículas a través de la constante circulación de la misma. Es por esa razón, que cuidar la membrana semipermeable es fundamental y parte de ello es evitando su daño o bloqueo a causa de la temperatura, pH y concentración de iones presentes en ciertas sustancias como las siguientes (Rivas, P., 2019):

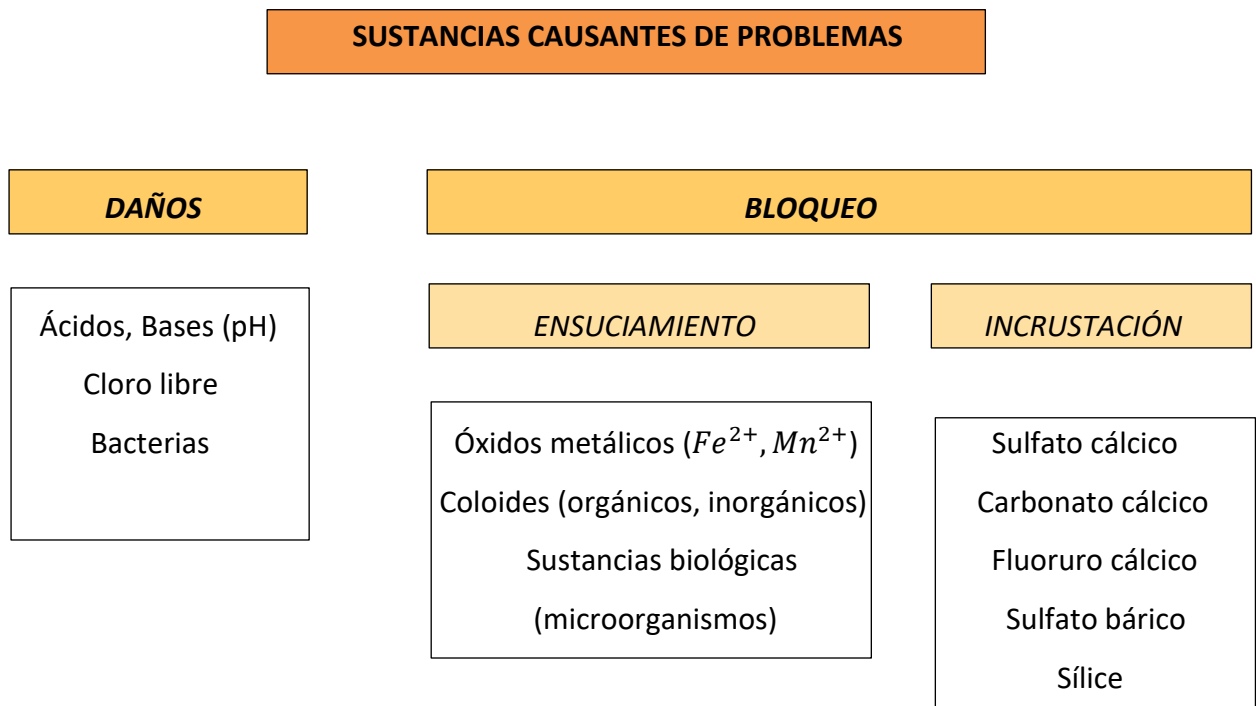


Tabla 7: Sustancias problemáticas para las membranas de ósmosis inversa.

Fuente: (Rivas, P., 2019).

Parte del tratamiento para las sustancias problemáticas que pueden afectar la membrana son:

Ácidos, Bases: Es importante que el pH del agua se encuentre entre 3 y 11, ya que de esta manera son estables las membranas de poliamidas que son utilizadas para el proceso de ósmosis inversa (Rivas, P., 2019). Sin embargo, según el Instituto de Investigaciones Marinas y Costeras (INVEMAR, 2016), en el caso de la ciénaga de mallorquín el pH del agua alcanza valores entre los 6,45 y 7,68, es casi neutro. Por esta razón este pretratamiento para regular el pH del agua en la ciénaga de mallorquín no es necesario.

Cloro libre: Los iones de cloro, en ninguna concentración son beneficiosos para la membrana, es por ello que es importante eliminarlos del agua antes de su paso por la membrana. Una forma de realizar este pretratamiento es con bisulfato de sodio, dióxido de azufre o carbón activado (Rivas, P., 2019).

Bacterias y Sustancias biológicas: Después de un tiempo de funcionamiento, las presencias de bacterias y sustancias biológicas pueden afectar el rendimiento de la membrana de poliamida, es por esta razón que los tratamientos indicados para ello son el lavado de la membrana, filtro de carbón activado granular o lámpara UV (Rivas, P., 2019).

Óxidos metálicos: Según Hassani (2007), la precipitación de los óxidos metálicos sobre la superficie de la membrana utilizada en la ósmosis inversa puede ir disminuyendo la eficiencia de la misma. Los metales más comunes que afectan la membrana son:

Hierro (Fe): Cuando se trata de la química del hierro en presencia del agua, esta suele ser muy compleja. Hay dos tipos de iones, el férrico y el ferroso. El ion férrico es casi completamente insoluble en agua alcalina o débilmente ácida. Por otro lado, el ion ferroso es inestable en presencia de aire y por lo tanto cambia al estado férrico. El ion ferroso se puede diluir en cantidades de hasta 50 ppm en aguas casi neutras y en aguas ligeramente ácidas se pueden diluir cantidades mayores.

Para poder eliminar el hierro de un cuerpo de agua, se puede utilizar el proceso de aireación del agua, el cual consiste en realizar una infusión de aire en el fondo del cuerpo de agua mediante la agitación de la superficie y posteriormente complementar el proceso anterior con un proceso de filtración.

Manganeso (Mn): Este elemento aparece como bicarbonato manganoso soluble y cambia a hidróxido de manganeso soluble cuando reacciona con el oxígeno del aire. El manganeso, se comporta de forma muy similar al hierro bajo las mismas condiciones. El tratamiento más recomendable es evitar su oxidación usando bombas sumergibles, las cuales impulsan directamente el agua desde la captación hasta la aspiración de la bomba, sin exponerla al aire. Debido a los iones de hidróxido férrico y bicarbonato manganoso, cuando estos aparecen al mismo tiempo en el agua, el hidróxido férrico puede catalizar la oxidación del bicarbonato manganoso, por lo que es recomendable la utilización de anti-inscrustantes, ya que esto permite producir la precipitación del hierro y el manganeso sobre la membrana de la ósmosis inversa, lo que baja el pH del agua aproximadamente a 3 y aporta un mejor resultado de la limpieza en la membrana.

Coloides: Son partículas suspendidas que se encuentran en la dispersión de una sustancia, en un medio dado por otra sustancia. Generalmente, las partículas coloidales son muy pequeñas para ser perceptibles a la vista humana, pero lo suficientemente grandes para permitir el efecto Tyndall, el cual consiste en la dispersión de la luz a través de ellas y por ende provocan un aspecto turbio u opaco al agua. Es fundamental destacar que, para el caso de la ciénaga de mallorquín el medio de dispersión en el que se encuentran los coloides es acuoso. Estos coloides, podemos dividirlos en dos tipos, los hidrofílicos que tienen atracción por el agua y al tener interacción con el medio se consideran estables, mientras que por otro lado están los hidrofóbicos, que se caracterizan por la repulsión por el agua y por ende son inestables, generando una acción estabilizadora como lo es adsorción, en la cual las partículas forman conglomerados que se distribuyen en la superficie del agua.

Una de las causas principales en la actualidad, sobre el ensuciamiento coloidal de las membranas en ósmosis inversa para la desalinización del agua, es la adsorción de materia orgánica natural a la superficie de esta. Este ensuciamiento se produce cuando la repulsión electrostática que se origina entre la membrana y el coloide, es decir, cuando las cargas de igual signo repelen, es superada por la fuerza asociada al flujo de permeado que atraviesa la membrana (Hassani, 2007).

Una forma de evitar el ensuciamiento de la membrana sería tratando el agua a través de los procesos de coagulación y floculación. El primero consiste en desestabilizar las partículas coloidales que se encuentran en suspensión para así favorecer su aglomeración y, en consecuencia, eliminar las materias en suspensión. Por último, la floculación, es el proceso siguiente a la coagulación y el mismo consiste en la agitación de la masa coagulada para favorecer el crecimiento y la aglomeración de las

partículas en suspensión con el propósito de aumentar su tamaño y peso, y así sedimentar con más facilidad (Cárdenas, 2000).

Sulfato cálcico: La incrustación en la membrana a raíz del sulfato cálcico, proviene de la contribución de los sulfatos a la salinidad del agua, esto ocurre cuando la solubilidad de dichos sulfatos es excedida. Para prevenir este caso, se pueden utilizar resinas de intercambio iónico para la eliminación del Ca^{++} (catión calcio) en proporciones o en su totalidad. Sin embargo, esto es un pretratamiento costoso y por ende existen otros mecanismos como la precipitación con cal o cal más sosa que conllevan a la reducción del catión calcio (Hassani, 2007).

Carbonato cálcico: Es la incrustación más común y la que causa mayores problemas en la membrana, porque la solubilidad del carbonato cálcico depende del pH del agua, ya que, si el agua muy dura, se van formando en la membrana incrustaciones en las paredes que pueden llegar a bloquearla. El carbonato cálcico, puede ser tratado como una base y se elimina del agua utilizando un ácido como el sulfúrico a modo de pretratamiento del agua, siendo este el más común debido a su bajo costo y fácil manipulación (Hassani, 2007).

Fluoruro cálcico: Existe un incrustamiento potencial en la membrana, cuando hay niveles de fluoruro en el agua hasta 0.1 mg/l. Para este caso, el pretratamiento a aplicar para la precipitación de las sales, es el mismo que en el caso del sulfato cálcico (Hassani, 2007).

Sulfato bórico: Los problemas de incrustaciones en la membrana por sulfato bórico surgen porque este es muy insoluble, su concentración de saturación es de 0,1 mg/l lo que forma núcleos de cristalización y causa que se precipiten otros componentes en el agua como las sales sobresaturadas. Una opción de pretratamiento sería anti-incrustantes que utilicen la meta-estabilidad para frenar dichas precipitaciones (Hassani, 2007).

Sílice: Las incrustaciones por sílice aún no se pueden conocer de forma predeterminada, esto sucede porque la sílice tiene diferentes solubilidades. Por esta razón, se recomienda evaluar los límites de precipitación de la sílice para evitarlos o identificar si las salmueras que lo contengan pueden provocar un estado grave o irreversible en la membrana (Hassani, 2007).

Entonces, por todo lo antes expuesto, se requieren de los siguientes procesos de prefiltrado para asegurar el correcto funcionamiento de la membrana semipermeable en el proceso de ósmosis inversa:

PROCESOS DE PREFILTRADO.

- ETAPA I, Filtro de sedimentos: Este filtro actúa como pantalla para retener tierra, arena, lodo y sedimentos que puedan ser transportados por el agua.
- ETAPA II, Filtro de arena: Estos filtros eliminan las partículas finas y dependiendo de su elemento filtrante, como puede ser arena verde, grava o turbidex, estos también pueden filtrar los óxidos metálicos y la materia coloidal.
- ETAPA III, Filtro carbón activado: El carbón activo funciona similar al filtro de arena, su elemento diferenciados es que es un material natural que contiene microscópicos agujeros que filtra las moléculas de contaminantes en el agua. Su objetivo es retener las bacterias, el cloro libre, materia orgánica, sabores y neutralización de olores.
- ETAPA IV, Suavizador: La finalidad de este filtrado es disminuir la dureza del agua reduciendo los contenidos de sales minerales y sus incrustaciones, a través de medios físicos, químicos o electrónicos para tratar al agua.

PROCESO DE OSMOSIS INVERSA.

La ósmosis inversa es un proceso en el cual una bomba o más de alta presión, impulsan el agua tratada que proviene de los procesos de pre filtrado anteriormente mencionados, hacia las membranas que producirán este fenómeno, tal como se explicó detalladamente en el marco teórico. En resumen, a partir del agua de alimentación se obtiene apropiadamente un 40% de agua limpia que posteriormente se le agregarán componentes para estabilizar las características físicas (color, olor y turbiedad) y químicas (pH, cloro residual, carbono orgánico, nitritos, nitratos, alcalinidad y entre otras) del agua. Mientras que aproximadamente el 60% restante, se convierte en salmuera, la cual es agua con una alta concentración de sales que será nuevamente enviada al mar.

PLANTEAMIENTO DE UN SISTEMA DE PREFILTRADO A TRAVÉS DE MALLAS GEOTEXILES EN PROCESOS DE ÓSMOSIS INVERSA: UNA SOLUCIÓN PARA LA SALINIZACIÓN EN CUERPOS DE AGUA COSTEROS.

Es importante resaltar, que actualmente en las plantas desalinizadoras el agua se puede hacer pasar por un segundo proceso de ósmosis inversa. Además, el proceso de desalación a través de ósmosis inversa posee una particularidad, la cual es que el proceso requiere de un suministro constante de energía para evitar la degradación de sus membranas (Soto, G. y Soto, M., 2013).

La ilustración a continuación, detalla un poco más el funcionamiento del proceso de desalación a través de la ósmosis inversa.

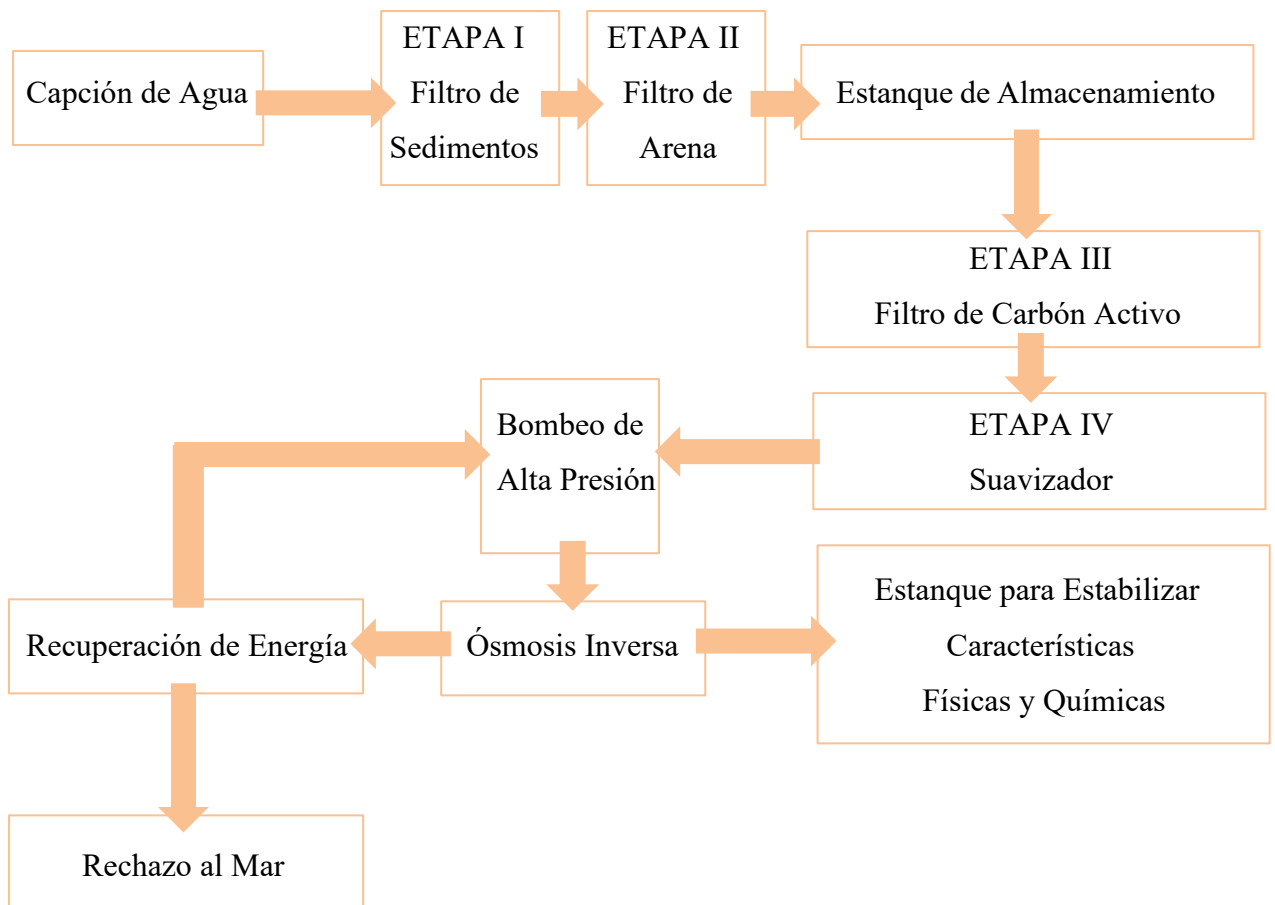


Ilustración 8: Proceso de desalinización por osmosis inversa.

Fuente: Propia.

Habiendo definido las etapas de prefiltrado que se deben cumplir para garantizar el buen funcionamiento de la membrana semipermeable en el proceso de osmosis inversa, es importante destacar el uso que se le dará a la malla geotextil en todo este proceso. Como se explicó en el título anterior, las membranas geotextiles tienen excelentes características como elementos de prefiltrado, siendo las siguientes las más resaltantes: resistencia a las fuerzas mecánicas, retención de agua y

PLANTEAMIENTO DE UN SISTEMA DE PREFILTRADO A TRAVÉS DE MALLAS GEOTEXTILES EN PROCESOS DE ÓSMOSIS INVERSA: UNA SOLUCIÓN PARA LA SALINIZACIÓN EN CUERPOS DE AGUA COSTEROS.

nutrientes, resistencia a la descomposición, químicamente neutrales y, por último, tienen una media de tamaño de poros ideal para la retención de microorganismos que podrían afectar el proceso de osmosis inversa. Por lo anterior, se recomienda mayormente que el uso de las mallas geotextiles sea para la ETAPA I de prefiltrado.

Para el análisis y selección de la malla geotextil que mejor se ajusta a la situación actual de la ciénaga de mallorquin, se plantean las siguientes mallas (en los anexos se pueden encontrar las fichas técnicas de cada tipo de malla):

Malla Geotextil ZinCo Sistema SF: Es una malla de polipropileno termosoldado por ambas caras, con un peso aproximado de 100 g/m², resistencia al punzonamiento CBR según normativa EN ISO 12236 de aproximadamente 1100N, resistencia clase 2, permeabilidad (H50) según normativa EN ISO 11058 de 70 l/m².s, apertura de poro (O90) según normativa EN ISO 12956 de 95 µm. Además, esta malla posee características como: fácil y rápida instalación, resistencia a la descomposición, biología y química neutral y resistencia a todo tipo de ácidos y alcalinos naturales.

Malla Geotextil TERRAM RG Robust: Es una malla de material sintético que cumple con funciones de separación y filtración. Debido al grosor de esta malla geotextil, la misma es ideal para la protección de membranas impermeables en áreas basales de vertederos, tapas de lagunas, embalses, estanques y lagos artificiales para prevenir la erosión del suelo. Posee un peso aproximado de 350 g/m², resistencia al punzonamiento CBR según normativa EN ISO 12236 de 3000N, permeabilidad (H50) según normativa EN ISO 11058 de 60 l/m².s, y apertura de poro (O90) según normativa EN ISO 12956 de 80 µm.

Malla Geotextil Pavigarden: Es una malla de polipropileno no tejida formada de fibras cortadas y unida mecánicamente por un proceso de agujeteado y termofilado. Este geotextil es antihiervas y anti raíces. Permite el paso del agua y aire, por ende, tiene usos en la construcción de embalses y presas, vertederos de residuos, contenedores de residuos de solitos y líquidos. Tiene un peso de 120 g/m², resistencia al punzonamiento CBR según normativa EN ISO 12236 de 1400 N, permeabilidad (H50) según normativa EN ISO 11058 de 100 l/m².s, y apertura de poro (H90) según normativa EN ISO 12956 de 100 µm.

Luego de hacer mención de las mallas antes descritas, es prudente realizar una matriz de selección que abarque todas sus características y propiedades para así poder seleccionar la mejor. Nuevamente, el criterio de escogencia para seleccionar uno u otro material podría determinarse en función de las propiedades que ofrece, por lo tanto, de acuerdo al juicio del autor, se muestra una valoración subjetiva del comportamiento de los distintos materiales con respecto a sus propiedades.

Dicha escala valorativa se puntuará entre 1 y 4, siendo 1 la representación más baja de la escala y por ende el resultado más pobre, y 4 la puntuación más alta, representando que el criterio para esa aplicación de la malla es el óptimo. Finalmente, se arroja un resultado global representado como un porcentaje en base al total de puntos alcanzados; entendiendo que, se trata de una interpolación directa, así por ejemplo, si el objeto de estudio tiene la mayoría de sus ítems evaluados con un puntaje igual a 2, su porcentaje global debe rondar el 50%.

Criterios	%	ZinCO Sistema SF	TERRAM RG Robust	Pavigarden
Peso	15	2	4	3
Resistencia al punzonamiento CBR	20	2	4	3
Permeabilidad	20	2	3	1
Apertura de Poro	20	2	3	1
Durabilidad	15	3	2	3
Instalación	10	4	2	4
Total	100	58.75%	77.5%	57.5%

Tabla 8: Matriz de selección de las mallas geotextiles.

Fuente: Propia.

Ahora, como se puede observar en la tabla 7, la malla geotextil TERRAM RG Robust es la malla que más se ajusta a los criterios de selección establecidos. Por lo tanto, se recomienda utilizar esta malla como filtro de sedimentos en la ETAPA I del prefiltrado del proceso de osmosis inversa. El uso de esta malla podrá garantizar el buen cumplimiento de la ETAPA 1 y una vida útil prolongada de la membrana en el proceso de osmosis inversa, sin mencionar las ventajas de abaratar los costos de mantenimiento.

IV.3 Análisis conceptual de soluciones con la técnica de mallas geotextiles en procesos de ósmosis inversa para zonas como la ciénaga de mallorquín.

Un análisis conceptual de problemas y soluciones permite determinar las causas más relevantes del mismo. Este análisis se realiza bajo la consideración de que su conocimiento sirve como pauta para la selección de alternativas de solución. El análisis de soluciones ofrece una primera idea del impacto que tendría un proyecto, en la medida que permite identificar los efectos o consecuencias que serían evitados si el problema fuera solucionado.

Después de identificar y validar el problema, resulta crucial que, en la perspectiva de su solución, éste sea entendido correctamente, lo que implica la identificación y comprensión de sus causas y efectos más relevantes. El análisis conceptual de problemas y soluciones tiene como propósito fundamental la correcta determinación de las causas que originan una dificultad, en el entendimiento de que su conocimiento sirve como pauta para la determinación de las alternativas de solución. Si bien el análisis de problemas se efectúa en términos cualitativos, en las etapas avanzadas de diseño del proyecto puede ser efectuado en forma cuantitativa, dando como resultado la construcción de la línea de base del proyecto.

Los problemas asociados a la contaminación de cuerpos de agua costeros pueden tener diversas causas, dependiendo del nivel en el que se haya situado el problema central, que en este caso, se define como: la salinización en los cuerpos de agua costeros. Sus causas se encontrarán probablemente a lo largo de toda una cadena de acciones: la mala planificación del desarrollo industrial modificó la conexión permanente y dependiente del sistema estuarino con el río Magdalena, el procesamiento inadecuado de los desechos sólidos de la ciudad hacia este sector de forma indiscriminada promueve la proliferación de enfermedades, la entrada de las aguas del río Magdalena que si bien es cierto, contribuyen de manera definitiva en el equilibrio hidrológico de la ciénaga, también incorpora toneladas de sedimento y contaminantes orgánicos, residuos de plaguicidas y metales pesados, convirtiendo a la ciénaga en un sumidero de sustancias nocivas.

Vale decir que, el análisis conceptual de problemas y soluciones, basado en la noción esencial de Aristóteles, “encontrar las primeras causas y los últimos efectos”, exige contar, tanto con un marco teórico acertado, como con información fehaciente y actual sobre la problemática bajo análisis.

Contemplando lo anterior y manteniendo esa misma línea de ideas; se sabe que la aplicación más grande y más importante de la ósmosis inversa es la separación del agua pura del agua de mar y las aguas salobres; por lo que la solución a contemplar es implantar un sistema de prefiltrado a través de mallas geotextiles diseñadas para permitir que solo el agua pase a través de ellas, que sean capaces de retener el paso de solutos (como los iones de sal) que circularán y se presurizarán contra su superficie a causa de la alta presión ejercida en el lado de mayor concentración de la membrana por una bomba que logre superar la presión osmótica, causando el transporte de agua empobrecida a través de la malla geotextil y la aparición de agua paulatinamente menos contaminada desde el lado de baja presión, generalmente las presiones que deben aplicarse son de 2 a 17 bar (unos 30 a 250 psi) para agua dulce y salobre, y 40 a 82 bar (unos 600 a 1200 psi) para agua de mar, que tiene alrededor de 27 bar (390 psi) de presión osmótica natural que debe superarse.

Este sistema debe ir en la conexión existente entre la ciénaga de mallorquín y el río Magdalena, debe ser bidireccional, es decir, debe ser capaz de filtrar en los dos sentidos para optimizar el efecto, aunado a su implementación deben tomarse medidas preventivas y correctivas para eliminar el problema definitivamente en el transcurso de los próximos años.

Como en este caso particular, este tipo de aplicación se vuelve muy útil en una amplia variedad de situaciones donde la intrusión salina se convierte en un problema que escala hasta escaparse del control de las autoridades. Vale destacar que implementarlo en el territorio nacional sería ese punto de inflexión para dar un paso adelante en el desarrollo tecnológico y social del país y situarlo como ejemplo en la región.

CAPÍTULO V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.

V.1. Conclusiones.

Tras conocer los principales beneficios y desventajas de emplear la ósmosis inversa, además de sus características y materiales más destacados, se puede afirmar que, en un balance entre los beneficios y desventajas, los primeros salen ganando porque suponen mayores ventajas económicas, tecnológicas y de seguridad versus su principal factor en contra que es la renovación constante de las membranas.

A lo largo de la investigación se puede discernir la importancia de las etapas de pre filtrado, son fundamentales para poder controlar el ensuciamiento de las membranas de osmosis inversa y garantizar el máximo rendimiento en la filtración de la ciénaga. Con esto se podría aseverar que no habría una mejor técnica para la desalación tanto de la ciénaga de mallorquín como del río Magdalena, por lo que el siguiente paso sería definir las estrategias para su instalación efectiva.

También se debe resaltar que la funcionalidad de la malla geotextil será solo en la etapa I de prefiltrado, la misma equivale a la remoción de sedimentos, ya que las etapas siguientes son las encargadas de remover el cloro, ácidos, bacterias, los metales pesados y los coloides, los cuales afectan principalmente la vida útil de la membrana de osmosis inversa y pondrían en peligro la eficiencia del proceso.

Si bien, la implementación de esta alternativa de solución supondría una mejora sustancial en la calidad del agua de los dos cuerpos y de la población en general, es de suma importancia apoyar el proyecto con las correspondientes medidas preventivas y correctivas para salvaguardar la estabilidad higiénica de la ciénaga, evitando a toda costa que se siga utilizando como centro de acopio para desperdicios domésticos e industriales.

Para los efectos de esta investigación, los objetivos se pueden considerar como desarrollados satisfactoriamente, ya que se han podido evidenciar los beneficios y desventajas de las mallas geotextiles, junto a su aplicación en la ósmosis inversa, los tratamientos importantes para garantizar

su funcionamiento óptimo y como se podría desarrollar preliminarmente, una alternativa de solución que mitigue y posteriormente elimine, la intrusión salina en la ciénaga de mallorquín.

Es relevante destacar que el estudio desarrollado carece de números, indicadores y estadísticas que puedan servir como bases del proyecto, en caso de que se quisiera implementar. Lo anterior, dado que esta es una investigación monográfica. Así que es necesario un análisis más profundo que incluya parámetros específicos a cerca de las cargas contaminantes reales junto a sus consecuencias nocivas y alternativas escalables, siempre acatando las normas que manejan el tratamiento de aguas.

Por último, se refuerza la hipótesis inicial y se puede afirmar que es positiva la respuesta a la pregunta base de esta investigación. Actualmente, se desarrollan procesos asociados a la ósmosis inversa a lo largo y ancho de todo el país para la desalinización de agua de mar y agua salobre, para la reutilización de aguas residuales, para eliminar nitratos y sulfatos, en aplicaciones industriales, entre otros. En ese orden de ideas, esta propuesta no solo es factible, sino que cobra valor al ofrecer una alternativa de solución a un cuerpo de agua que no ha sido debidamente tratado y además, empleando geotextiles comerciales de fácil accesibilidad.

V.2. Recomendaciones.

Indistintamente de la decisión, afirmativa o no, de atacar la intrusión salina en la ciénaga de mallorquín, se recomienda con especial carácter de urgencia, la implementación de un programa de vigilancia constante por parte del Estado, para evitar que se sigan contaminando los cuerpos de agua por agentes humanos.

A la fecha, muchas de las investigaciones que han formado parte de la bibliografía de este proyecto son relativamente antiguas, por lo que se sugiere, actualizarlas, o bien, realizar nuevas investigaciones con enfoques frescos y perspectivas claras.

Finalmente, es aconsejable desarrollar este tipo de proyectos con asociación entre organizaciones públicas, privadas y mixtas, dado que los costos pueden ser sustancialmente altos y es un tema de interés para todos.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.

- Alonso, J.M.Q. Email Author, Ramírez, J.A.L., Ruiz, S.G., Zerrouk, M.H. [Scopus] Ensuciamiento de membranas de osmosis inversa por coloides. Estudio de la interacción entre la superficie de las membranas y las partículas coloidales. Universidad de Cádiz, Facultad de Ciencias Del Mar y Ambientales, CASEM, Polígono Río San Pedro, s/n, 11510 Puerto Real, Cádiz, España.
- Arango, A. M. (2015). *Estudio de barreras geosintéticas poliméricas (GBR-P) a base de PVC-P, PEAD y EPDM utilizadas en la impermeabilización de embalses*. Leganés: Universidad Carlos III.
- Barranquilla (2 de febrero de 2020). Barranquilleros construirán impresionante megaparque en una ciénaga. <https://www.eltiempo.com/colombia/barranquilla/alcalde-de-barranquilla-construira-ecoparque-en-cienaga-de-mallorquin-457864>.
- Básico, D. d. (Noviembre de 2000). Reglamento técnico del sector de agua potable y saneamiento básico RAS-2000. *Tratamiento de aguas residuales*. Bogotá, Cundinamarca, Colombia.
- Beltrán, J. P. (2005). *Bogotá Región: Crecimiento Urbano en la consolidación del territorio Metropolitano*. Bogotá: Publicaciones Universidad Distrital.
- Berrocal Durán, J. C., Ortega Gómez, A. M., Reales Vega, R. J., González Ibáñez, S. & Calderón Toscano, R. (2018). Contaminación en la ciénaga de Mallorquín: una perspectiva socio-jurídica. En D. Filut, L. I. Albor-Chadid, A. Selec Imperato, G. M. Cardeño-Sanmiguel, J. del C. Castillo-Bolaños, P. Ruiz-Tafur, . . . R. Oyaga Martínez, & L. I. Albor-Chadid (Ed.), Educación Socioambiental. Acción Presente (pp.231-261). Barranquilla: Ediciones Universidad Simón Bolívar.

- Bohórquez, F. C. (2016). *Modelo de revitalización urbana para la localidad de Ciudad Bolívar sobre el eje ambiental de la cuenca del río Tunjuelito, en la ciudad de Bogotá*. Bogotá: Publicaciones Pontificia Universidad Javeriana.
- Cárdenas, Y. (2000). Tratamiento de agua coagulación y floculación. SEDAPAL.
- Civil, L. d. (Enero de 2018). *Listado de precios 2018 Pontificia Universidad Javeriana*. Obtenido de Listado de precios 2018 Pontificia Universidad Javeriana: <http://ingenieria.javeriana.edu.co/documents/7508381/0/Lista+de+Precios+laboratorios+2018.pdf/c968dd39-258c-4d45-a233-bfb0fbff7e14>
- Corporación Autónoma Regional del Atlántico (2007). Plan de ordenamiento y manejo de la cuenca hidrográfica ciénaga de mallorquín y declaratoria de un distrito de manejo integrado: <http://www.crautonomia.gov.co/documentos/mallorquin/aprestamiento/proyectomallorquin.pdf>.
- Corporación Autónoma Regional del Atlántico (2007). Ciénaga de mallorquín. Situación actual y derroteros: <http://www.crautonomia.gov.co/documentos/mallorquin/MallorquinDerroteros.pdf>
- Cortés, F., Chejne, D., Vélez, F., Chejne, F. [Scopus] Operación óptima de desalación de agua por ósmosis inversa. Facultad de Minas, Universidad Nacional de Colombia, Colombia.
- Departamento Administrativo Nacional de Estadística, DANE (2005). Diagnostico analítico de la cuenca de Mallorquín. Extraído el 6 de Julio del 2020 de: www.dane.gov.co.
- Duquennoi, C. (2002). *Containment ponds, reservoirs and canals. Geosynthetics and their applications*. Londres: Thomas Thelford Publishing.
- Galiulin, R. V., Bashkin, V. N., & Galiulina, R. A. (May de 2005). *Ecological risk assessment of riverine contamination in the Caspian Sea basin: A conceptual model for persistent organochlorinated compounds*. Obtenido de Scopus:

PLANTEAMIENTO DE UN SISTEMA DE PREFILTRADO A TRAVÉS DE MALLAS GEOTEXILES EN PROCESOS DE ÓSMOSIS INVERSA: UNA SOLUCIÓN PARA LA SALINIZACIÓN EN CUERPOS DE AGUA COSTEROS.

<https://ezproxy.uan.edu.co:2072/record/display.uri?eid=2-s2.0-20544464905&origin=resultslist&sort=plf-f&src=s&st1=contamination+water&nlo=&nlr=&nls=&sid=ae33c74a0bee69a229017f6b418c7356&sot=b&sdt=sisr&sl=34&s=TITLE-ABS-KEY%28contamination+water%29&ref=%28>

- García, C. D. (2014). *Análisis de Alternativas de solución al problema de discontinuidad en el servicio de agua potable en Cali. Estudio de pre-factibilidad de la planta de biorremediación de aguas residuales*. Santiago de Cali: Publicaciones Universidad del Valle.
- García, J. C. (Enero de 2013). *Secretaría de ambiente Bogotá*. Obtenido de Sitio web de la Secretaría de ambiente de Bogotá: <http://www.ambientebogota.gov.co/documents/10157/2883159/PAL+USME+2013-2016.pdf>
- García, L. H. (1999). *Los geotextiles y su aplicación en las carreteras*. Mexico D.F.: Instituto Tecnológico de la Construcción.
- Giraldo, G. (1995). *Manual de Análisis de Aguas* [Trabajo presentado como requisito parcial para optar a la categoría de Profesor Asistente] Universidad Nacional de Colombia.
- Hassani, M. (2007). *Estudio de los mecanismos de ensuciamiento de bioensuciamiento de las membranas de ósmosis inversa en la regeneración de las aguas residuales urbanas* [Tesis doctoral] Universidad de Cádiz.
- IDEAM. *Estudio sobre la Determinación de las Componentes Armónicas de la Marea y Descripción de su Comportamiento en Diferentes Puntos de las Costas Colombianas*. METEO/003. Bogotá. 2010.
- Imitola, A., López, A. y Ramírez, J. (2019). *Diseño de una planta desalinizadora de agua de mar en la zona media - alta Guajira* [Tesis final de grado]. Universidad del Norte.

PLANTEAMIENTO DE UN SISTEMA DE PREFILTRADO A TRAVÉS DE MALLAS GEOTEXTILES EN PROCESOS DE ÓSMOSIS INVERSA: UNA SOLUCIÓN PARA LA SALINIZACIÓN EN CUERPOS DE AGUA COSTEROS.

- Instituto de Hidrología, M. y. (10 de Septiembre de 2007). *Toma de muestras de aguas residuales*. Obtenido de Toma de muestras de aguas residuales: http://www.ideam.gov.co/documents/14691/38158/Toma_Muestras_AguasResiduales.pdf/f5baddf0-7d86-4598-bebd-0e123479d428
- Instituto de Investigaciones Marinas y Costeras (INVEMAR) y Corporación Autónoma Regional del Atlántico (CRA) (2007). Ordenamiento Ambiental de la Zona Costera del Departamento del Atlántico. Santa Marta DTHC.
- Instituto de Investigaciones Marinas y Costeras (INVEMAR) (2016). Evaluación de la calidad ambiental de los manglares de la Ciénaga de Mallorquín, Departamento del Atlántico. Santa Marta DTHC.
- Isaza, M. E. (2015). *Parque metropolitano del agua entorno a la recuperación y saneamiento de los principales cuerpos hídricos y ambientales de la ciudad de Bogotá*. Bogotá: Publicaciones Pontificia Universidad Javeriana.
- Jiménez, C. M. (12 de Enero de 2015). Lagunas de oxidación se rezagaron en Valledupar. *El Pílon*, págs. 2-3.
- Leitão, P., (2003). “Integração de Escalas e Processos na Modelação do Ambiente Marinho”, Dissertação para a obtenção do grau de Doutor em Engenharia do Ambiente, Instituto Superior Técnico, Lisboa.
- Lima, W., Gómez, A. y Ripoll, A. (2008). Impacto ambiental por el crecimiento poblacional acelerado sobre la ciénaga de Mallorquín [Tesis final de postgrado]. Corporación universitaria de la costa.
- López, Y., Martínez, P. y Quevedo, K. (2018). Análisis comparativo de tecnologías de potabilización del agua de las plantas de Jebel Ali (Dubái) y el Dorado (Bogotá) para determinar la aplicabilidad técnica de la osmosis inversa en La Guajira. [Tesis final de grado]. Universidad Piloto de Colombia.

- Martins, F., P. C. Leitão, A. Silva & R. Neves. (2001). 3D modelling of the Sado Estuary using a new generic vertical discretization approach, *Oceanologica Acta*, 24 (1), 51-62.
- Martin, A. M. (1991). *Biological Degradation of Wastes*. Amsterdam: Springer Netherlands.
- Moreno, A. (2011). Diseño de planta de tratamiento de agua de ósmosis inversa para la empresa Dober Osmotech de Colombia LTDA [Pasantía Institucional]. Universidad Autónoma de Occidente.
- Pinilla, J. E. (Enero de 2017). *Secretaría de Ambiente de Bogotá*. Obtenido de Sitio web de la Secretaría de Ambiente de Bogotá: <http://oab.ambientebogota.gov.co/apc-aa-files/a65cd60a57804f3f1d35afb36cfcf958/palusme2017a2020.pdf>
- Planeación, S. D. (2011). *Diagnóstico del los aspectos físicos demográficos y socioeconómicos*. Bogotá: Publicaciones Alcaldía Mayor de Bogotá.
- Rebolledo, J. y León, I. (2017) Diseño y cálculo de módulos para el restablecimiento hidrodinámico de la ciénaga de Mallorquín. *Revista interdisciplinar de estudios de ciencias básicas de ingeniería*, 4 (2), 9-20.
- Rosillian, F., & Marchal, C. (2010). *Riverbathing: How to reconcile the different water uses in a natural environment in order to guarantee the good quality of bathing water? Case study: The Semois basin in the Walloon region of Belgium*. Obtenido de Scopus: <https://ezproxy.uan.edu.co:2072/record/display.uri?eid=2-s2.0-77955820275&origin=resultslist&sort=plf-f&src=s&st1=contamination+water&nlo=&nlr=&nls=&sid=ae33c74a0bee69a229017f6b418c7356&sot=b&sdt=sisr&sl=34&s=TITLE-ABS-KEY%28contamination+water%29&ref=%28>
- Rivas, P. (2019). Diseño de una máquina de ósmosis inversa para producir agua ultrapura en el laboratorio de manufactura de la PUCP. [Trabajo final de grado]. Pontificia Universidad Católica del Perú.

- Saval, S., Lara, F., Lesser, J. y Nieto, J. (s.f.). Contaminación de acuíferos con hidrocarburos: causas, efectos, riesgos asociados y medidas de prevención.
- Soto, G. y 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. Centro del agua para zonas áridas y semiáridas para América Latina y el Caribe (CAZALAC).
- Susial, P., Martín-González, M.A., Brito-Monzón, Y., Fleitas-Santana, M.S. [Scopus] Evaluación de una membrana en una planta piloto de ósmosis inversa. Departamento de Ingeniería de Procesos, Escuela Técnica Superior de Ingenieros Industriales, Universidad de Las Palmas de Gran Canaria, España.
- Torres, C. (2015) Aplicación del modelo numérico MOHID para el estudio hidrodinámico y de transporte de la ciénaga Mallorquín. [Tesis Final de grado]. Universidad de la costa.
- Vaz, N. Dias, J.M., Leitão, P.C. and Nolasco, R., (2007). Application of the Mohid-2D model to a mesotidal temperate coastal lagoon. *Computers & Geosciences*, 28, 1204-1209.
- Vicencio, N. (2015). Síntesis y caracterización de membranas para ósmosis inversa con capacidad anti-bio incrustante, por incorporación de nanopartículas de dióxido de titanio [Tesis final de grado]. Universidad de Chile.
- Zulkamaev, A. (s.f.). A brief history of the study of diffusion and osmosis in the context of dialysis. Instituto clínico y de investigación regional de Moscú, Federación Rusa.

ANEXOS.

LINEA PAISAJISMO	
	<h2 style="margin: 0;">PAVIGARDEN ANTIHIERBAS</h2>
<p>DESCRIPCIÓN</p>	<p>Geotextil no tejido formado por fibras cortadas de Polipropileno de alta tenacidad 100%, unido mecánicamente por un proceso de agujeteado y termofijado, estabilizado frente a los rayos UV. Este geotextil es antihierbas y anti raíces. Producto para el paisajismo que permite prescindir de herbicidas y permite el paso de agua, aire y nutrientes. Presume de facilidad de instalación. Perfecto para el diseño de jardines.</p>
<p>CARACTERÍSTICAS Y APLICACIONES</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Geotextil antihierbas y anti-raíces. • Permite prescindir de herbicidas. • Permite el paso de agua, aire y nutrientes. • Facilidad de instalación. <p>Usos:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Carreteras y otras zonas de tráfico: UNE EN 13249. • Construcciones ferroviarias: UNE EN 13250. • Movimientos de tierras, cimentaciones y estructuras de protección: UNE EN 13251. • Sistemas de drenaje: UNE EN 13252. • Obras para el control de la erosión: UNE EN 13253. • Construcción de embalses y presas: UNE EN 13254. • Construcción de canales: UNE EN 13255. • Construcción de túneles y estructuras subterráneas: UNE EN 13256. • Vertederos de residuos sólidos: UNE EN 13257. • Proyectos de contenedores de residuos líquidos: UNE EN 13265. <p>Funciones:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Separación. • Refuerzo. • Protección. • Drenaje. • Filtración.
<p>MODO DE EMPLEO</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Limpiar el suelo de piedras y otros cuerpos afilados. • Arrancar las malas hierbas, rastrillar y aplanar el lugar • Desenrollar los rollos de PAVIGARDEN ANTIHIERBAS y extenderlo.
<p>PRESENTACIÓN</p>	<p>Rollos de 2 m x 100 m y de 2 m x 10 m (Ancho x Largo).</p>
<p>DATOS TÉCNICOS</p>	

Rev: 2018_05 - Esta revisión anula todas las anteriores. Compruebe el revision en la página web: www.grupouna.com 903 11 09 12

LINEA PAISAJISMO PAVIGARDEN ANTIHIERBAS

Característica	Norma	Unidades	Valor Nominal	Tolerancia
Gramaje	UNE EN ISO 9864	gr / m ²	120	±10%
Espesor	UNE EN ISO 9863-1	mm 2kPa	0,7	±10%
Resistencia a la tracción	UNE EN ISO 10319	KN/m MD	7,5	±20%
		KN/m CD	7,5	±20%
Alargamiento a la rotura	UNE EN ISO 10319	% MD	>45	±20%
		% CD	>45	±20%
CBR	UNE EN ISO 12236	KN	1,4	±20%
Perforación dinámica	UNE EN ISO 13433	mm	32	±20%
Porometría	UNE EN ISO 12956	µm	100	±20%
Permeabilidad normal al plano	UNE EN ISO 11058	l/m ² /s	100	±20%
Durabilidad	UNE EN 12224	A recubrir en 24h después de una instalación. Durabilidad prevista para un mínimo de 25 años en suelos naturales con 4 <pH<9 y una T<25°C.		

Tolerancia en el ancho del rollo ±1%. Tolerancia en la longitud ±5% si la longitud es <100 m, ±7% si la longitud es >100 m. La información está basada en un análisis estadístico con un nivel de confianza del 95%. Los datos pueden ser modificados sin previo aviso.

NOTA

Las instrucciones de forma de uso se hacen según nuestros ensayos y conocimientos y no suponen compromiso de GRUPO PUMA ni liberan al consumidor del examen y verificación de los productos para su correcta utilización. Las reclamaciones deben acompañarse del envase original para permitir la adecuada trazabilidad.

GRUPO PUMA no se hace responsable, en ningún caso, de la aplicación de sus productos o soluciones constructivas por parte de la empresa aplicadora o demás sujetos intervinientes en la aplicación y/o ejecución de la obra en cuestión, limitándose la responsabilidad de GRUPO PUMA exclusivamente a los posibles daños atribuibles directa y exclusivamente a los productos suministrados, individuales o integrados en sistemas, debido a fallos en la fabricación de aquellos.

En cualquier caso, el redactor del proyecto de obra, la dirección técnica o responsable de la obra, o subsidiariamente la empresa aplicadora o demás sujetos intervinientes en la aplicación y/o ejecución de la obra en cuestión, deben cerciorarse de la idoneidad de los productos atendiendo a las características de los mismos, así como las condiciones, soporte y posibles patologías de la obra en cuestión.

Los valores de los productos o soluciones constructivas de GRUPO PUMA que en su caso sean determinados en la norma UNE o cualquier otra que le fuera de aplicación en cada caso se refieren exclusivamente a las condiciones expresamente estipuladas en dicha normativa y que vienen referidos, entre otros, a unas determinadas características del soporte, condiciones de humedad y temperatura, etc. sin que sean exigibles a ensayos obtenidos en condiciones diferentes, todo ello de acuerdo con lo expresamente establecido en la normativa de referencia.



PRODUCT DATA SHEET

Robust Geotextiles

PD5029 Issue 9—Sept 2020

DESCRIPTION:

Nonwoven geotextile manufactured from UV stabilised, high tenacity, virgin polypropylene fibres that have been mechanically entangled to provide high strength, high extensibility, high loft and excellent abrasion characteristics.

APPLICATIONS:

Typical uses for Terram Robust Geotextiles include the protection of impermeable membranes in landfill basal areas, side walls and caps, tailing lagoons, reservoirs, balancing ponds, reed beds, artificial lakes to prevent soil erosion from beneath rock armour and pre-cast concrete revetments, sea shores, rivers and water channels, lakes and reservoirs.

Application areas include:-

- Environmental engineering
- SUDS
- Coastal and Waterways
- Pipeline and utility protection

FEATURES & BENEFITS:

- Manufactured from inert high tenacity virgin polypropylene fibres giving excellent long term durability in all soil types.
- High static and dynamic puncture resistance ensures a low risk of damage during and post construction.
- Random orientated web with isotropic properties provide the same strength, permeability and filtration in all directions.
- High elongation at break maintains separation and filtration functions under load, particularly in soft and variable ground conditions.
- High loft gives excellent cushioning, protecting underlying geomembranes from puncture.
- Mechanical entanglement of the fibres produces an extremely flexible material, ensuring full contact with highly undulating ground contours maintaining the protection, filtration and separation function



European Association of
Geosynthetic product Manufacturers



PLANTEAMIENTO DE UN SISTEMA DE PREFILTRADO A TRAVÉS DE MALLAS GEOTEXTILES EN PROCESOS DE ÓSMOSIS INVERSA: UNA SOLUCIÓN PARA LA SALINIZACIÓN EN CUERPOS DE AGUA COSTEROS.



Robust Geotextiles

PRODUCT DATA SHEET

PD5029 Issue 9—Sept 2020

INTENDED USE/FUNCTION:



INTENDED APPLICATION:



MECHANICAL PROPERTIES	Test Method	Unit	Mean Value								
			RG3	RG3.3	RG4	RG5	RG6	RG7	RG8	RG9	RG11
Tensile Strength	EN ISO 10319	kN/m	20.0	22.0	25.0	30	35	40	45	50	60
Tensile Elongation	EN ISO 10319	%	80	80	80	80	80	80	80	80	80
CBR Puncture Resistance	EN ISO 12236	kN	3.0	3.3	4.0	5.0	6.0	7.0	8.0	9.0	11.0
Cone Drop	EN ISO 13433	mm	6	5	5	5	4	3	2	2	1
HYDRAULIC PROPERTIES											
Pore Size - Mean AOS	EN ISO 12956	µm	80	80	80	75	70	70	70	60	60
Permeability—(HSJ)	EN ISO 11058	l/m ² s	60	60	50	40	30	30	30	25	15
DURABILITY PROPERTIES											
Weathering (UV Exposure)	EN 12224	Days	30	30	30	30	30	30	30	30	30
Combined ageing (Oxidation, temperature & moisture)	EN ISO 13438	Service Life (Yrs)	100	100	100	100	100	100	100	100	100
PHYSICAL PROPERTIES											
Thickness @ 2kPa (Nominal)	EN ISO 9863-1	mm	2.6	2.8	2.9	3.5	4.0	5.0	5.5	6.0	7.5
MATERIAL DIMENSIONS											
Standard Roll Length		m	175	175	150	150	150	125	125	100	75
Standard Roll Width		m	5.85	5.85	5.85	5.85	5.85	5.85	5.85	5.85	5.85
Maximum Roll Width		m	6	6	6	6	6	6	6	6	6
Gross Roll Weight (Nominal)		kg	360	380	420	520	620	550	620	570	520

PACKAGING & IDENTIFICATION Terram Geotextiles are supplied on cardboard cores and wrapped in Polyethylene sheeting with identification labels in accordance with ISO 10320.

STORAGE The rolls of geotextile shall be stored on stable/ level ground and stacked not more than two rolls high and no other materials shall be stacked on top. The rolls can be stored outdoors when packaged, but should be protected from exposure to UV. All materials should be stored in accordance with good health and safety practice and in accordance with local laws. For additional information please refer to Terram Geotextiles MSDS.

QUALITY Terram Geotextiles are supplied having met internal quality requirements in accordance with our Quality Management system which is certified to BS EN ISO 9001:2015.

NOTES Reported values are arithmetic mean values unless otherwise stated. For further details on physical parameters please refer to the individual Declaration of Performance certificates available for download from www.terram.com

Reported values related to durability testing are generally based on the lowest grade product within a family.

A Nominal value indicates that the value is not part of the performance specification and is provided for guidance only.

Gross roll weight is based on 4.5m wide rolls at standard length; information provided is for lifting guidance only and does not for part of quality control.

ADDITIONAL INFORMATION Refer to the Terram Jointing Methods (downloadable from www.terram.com) for when simple overlaps are required for subsequent and adjacent roll lengths. However, pegging, sewing, stapling or gluing can also be used depending upon the application, the sub-grade conditions, the loading, the convenience and the cost.

These figures relate to standard product weights and roll sizes. Other weights, sizes and colours may be available on request. For further information please contact Terram Technical Support.

As part of its continued improvement process Terram® Ltd reserve the right to change the properties listed on this data sheet without prior notice. Terram® is a trademark of Berry Global, Inc. or one of its affiliates.



A Berry Global Company
Berry Geosynthetics Ltd
Blackwater Trading Estate
The Causeway, Malden, CM9 4GG
United Kingdom

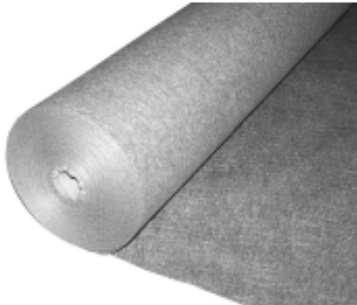
Tel: +44 (0)1621 874000
Fax: +44 (0)1621 874000
Email: info@terram.com
www.terram.com



PLANTEAMIENTO DE UN SISTEMA DE PREFILTRADO A TRAVÉS DE MALLAS GEOTEXTILES EN PROCESOS DE ÓSMOSIS INVERSA: UNA SOLUCIÓN PARA LA SALINIZACIÓN EN CUERPOS DE AGUA COSTEROS.

Ficha técnica Filtro sistema SF

Nº art. 2100 - 2102



Filtro de polipropileno termosoldado, utilizable como manta filtrante sobre elementos de drenaje para una tensión y estiramiento normal.

Datos técnicos

Filtro sistema SF

Filtro de polipropileno termosoldado.

Grosor:	aprox. 0,60 mm		
Peso:	aprox. 100 g/m ²		
Color:	gris		
Resistencia al punzonamiento CBR según normativa EN ISO 12236:	aprox. 1100 N		
Resistencia clase:	2		
Resistencia a tracción (200 mm) según normativa EN ISO 10319:	aprox. 7,0 kN/m		
Dilatación de rotura: Longitudinal/Transversal:	aprox. 40% / 55%		
Permeabilidad (H ₅₀) según normativa EN ISO 11058:	aprox. 70 l/(m ² ·s)	(± 0,07 m/s)	
Abertura de poro (O ₉₀) según normativa EN ISO 12956:	aprox. 95 µm		

Dimensiones:

Largo	100,00 m	Ancho	2,00 m	Nº art. 2100
		Ancho	1,00 m	Nº art. 2102
Largo	10,00 m	Ancho	2,00 m	Nº art. 2101

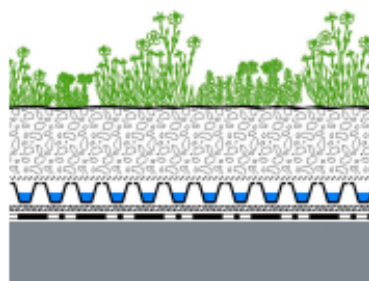


Características

- Cargabilidad mecánica
- Varias posibilidades de aplicación
- Resistente a todo tipo de ácidos y alcalinos naturales
- Biológica y químicamente neutral
- Alta permeabilidad
- Rápida y fácil instalación
- Resistente a la descomposición

Ejemplo de aplicación

“Cubierta verde extensivo tipo Tapizante Floral según normativa ETA-13/0668”



Nivel de vegetación p. ej. “Tapizante Floral”

Zincofera “Floral”

Filtro sistema SF

Floradrain® FD 25-E

Manta protectora y retenedora SSM 45

Farjado con impermeabilización antirraíces



Descripción para la memoria técnica

Filtro agujeteado de polipropileno termosoldado por ambas caras, peso aprox. 100 g/m², resistencia al punzonamiento CBR según normativa EN ISO 12236: aprox. 1100 N, resistencia clase 2, permeabilidad (H₅₀) según normativa EN ISO 11058:

aprox. 70 l/(m²·s), apertura de poro (O₉₀) según normativa EN ISO 12956: aprox. 95 µm, suministro y colocación según instrucciones del fabricante.

Producto: ZinCo Filtro Sistema SF

ZinCo Cubiertas Ecológicas S.L.
C/ Velázquez 15, 1º Derecha · 28001 Madrid
Teléfono 910 059 175 · contacto@zinco-iberica.es
www.zinco-cubiertas-ecologicas.es

Life on Roofs



Se reserva el derecho de realizar modificaciones técnicas. No se responde por errores de impresión. Primera edición 03/14, Actualización 07/2018